

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ NHIỆT LUYỆN ĐẾN CHẤT LƯỢNG MÀI HỢP KIM PERMENDUR 2V

RESEARCH ON THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON GRINDING QUALITY
OF PERMENDUR 2V ALLOY

Nguyễn Quang Quang^{1,*}, Nguyễn Văn Dương¹, Dương Quốc Dũng¹, Lục Vân Thương²

¹Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Hàn và Xử lý Bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí

*Email: nguyenquangquang1999@gmail.com

TÓM TẮT

Hợp kim Permendur 2V là vật liệu từ mềm với cảm ứng từ bão hòa kỹ thuật cao nhất, trên 2,2T. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ nhiệt luyện đến chất lượng mài hợp kim Permendur 2V trong chế tạo chi tiết từ mềm dùng trong ngành hàng không, tên lửa. Các tấm Permendur 2V được nhiệt luyện sơ bộ với các chế độ khác nhau và được mài phẳng với cùng một chế độ. Kết quả đánh giá chất lượng các tấm sau mài phẳng có thể giúp định hướng lựa chọn công nghệ nhiệt luyện phối Permendur 2V trước khi mài trong chế tạo các chi tiết.

Từ khóa: Hợp kim Permendur 2V; Vật liệu từ mềm.

ABSTRACT

Permendur 2V alloy is a soft magnetic material with the highest technical saturation magnetization, exceeding 2.2T. This paper studies the effect of heat treatment on the grinding quality of Permendur 2V alloy in the manufacturing of soft magnetic components for the aerospace and missile industries. Permendur 2V plates were subjected to preliminary heat treatment under various conditions and subsequently ground flat using the same parameters. The assessment results of the quality of the plates after grinding can aid in directing the selection of heat treatment technology for Permendur 2V billets prior to grinding in the fabrication of components.

Keywords: Permendur 2V alloy; Soft magnetic materials.

1. TỔNG QUAN

Permendur là hợp kim trên cơ sở Fe-Co-V với thành phần 49% Fe, 49% Co, 2% V. Ưu điểm của hợp kim này: cảm ứng từ kỹ thuật cao nhất (trên 2.2 T) [1-4]. Do vậy, hợp kim này được dùng trong máy điện của ngành hàng không, tên lửa. Đây là các máy phát có công suất riêng lớn tức là yêu cầu đạt được công suất cao đồng thời khối lượng thấp. Trong các máy điện này, Permendur được dập từ các tấm thành các chi tiết nhỏ (đơn vị lắp ghép). Trong quy trình này, các chi tiết sau dập có thể được mài để tạo chi tiết với kích thước phù hợp. Sau khi chế tạo xong các chi tiết được nhiệt luyện trong lò chân không để tạo tính chất từ. Sau đó, các chi tiết này được ghép cách điện với nhau để tạo thành roto, hay stato của máy điện [5-6]. Ngoài ra, nguyên công mài còn có mặt trong quy trình chế tạo nhiều chi tiết khác bằng vật liệu Permendur như công tơ, con trượt, lõi biến thế,...

Phôi cho dập chi tiết bằng tấm Permendur có thể là phôi sau cán nguội, hoặc phôi sau nhiệt luyện (ủ, hoặc tôi). Vì vậy đánh giá ảnh hưởng của trạng thái nhiệt luyện phôi đầu vào đến quá trình chế tạo chi tiết bằng hợp kim FeCoV có ý nghĩa thực tiễn quan trọng. Bài báo này tập trung đánh giá, so sánh kết quả mài của các loại phôi FeCoV với trạng thái nhiệt luyện khác nhau để định hướng phù hợp cho công nghệ sản xuất chi tiết bằng vật liệu này.

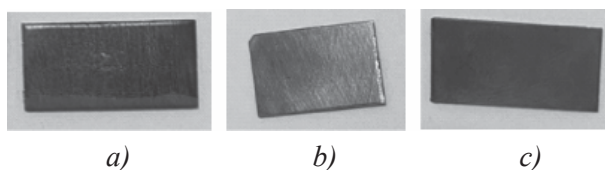
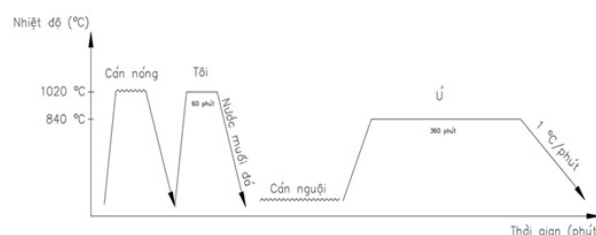
2. TỔ CHỨC THỰC NGHIỆM

Hợp kim Permendur thành phần dự kiến 49% Fe, 49% Co, 2% V được nấu luyện trong lò cảm ứng chân không VIF02. Mè liệu từ Fe, Ni, V độ sạch cao được tính toán theo thành phần nêu trên được nấu rót trong khuôn

đồng làm nguội bằng nước. Kết quả phân tích thành phần hóa học phôi sau đúc được thể hiện ở bảng 1 cho thấy hợp kim có thành phần phù hợp với hợp kim Permendur 2V [7].

Bảng 1. Kết quả phân tích thành phần hóa học phôi sau đúc

Hợp kim	Thành phần hóa học, %				
	Fe	Co	V	Ni	Si
Permendur	49,38	48,4	1,79	0,38	0,046



Hình 1. Quy trình chuẩn bị mẫu và hình ảnh mẫu trước khi mài:

- a) Nhóm I - Mẫu sau cán nóng, tôi;
- b) Nhóm II - Mẫu được cán nóng, tôi, cán nguội;
- c) Nhóm III - Mẫu sau cán nóng, tôi, cán nguội, ủ ở 840 °C.

Từ phôi đúc kích thước 80x25x35 cắt ra các tấm dày 4 mm. Sau đó, tấm này được cán nóng đến chiều dày 2 mm ở nhiệt độ 1020 °C. Các tấm được cán nóng qua 3 lượt cán, ở mỗi lượt cán, chúng được đưa qua máy cán 3 lần để giảm 0,6 - 0,7 mm chiều dày. Sau đó, chúng được nung tôi từ nhiệt độ cán nóng 1020 °C trong nước muối đá. Sau khi tôi, chúng được cán nguội đến chiều dày 1 mm, làm sạch. Các tấm được cán nguội qua 3 lượt cán, ở mỗi lượt cán, chúng được đưa qua máy cán 15 lần để giảm 0,3 - 0,4 mm chiều dày.

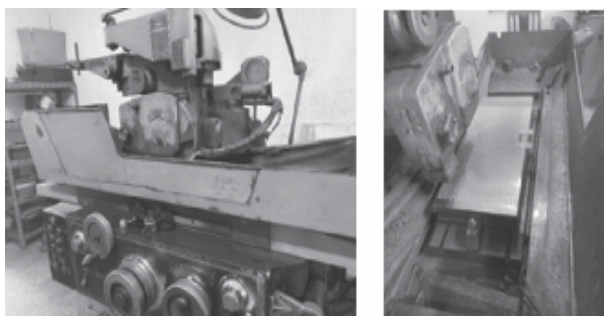
Từ phôi sau tôi, sau cán cắt ra tấm kích thước 50 mm x 80 mm, chia làm 03 nhóm mẫu:

+ Nhóm I là các mẫu cán nóng, tôi trực tiếp.

+ Nhóm II là các mẫu được cán nóng, tôi trực tiếp, cán nguội.

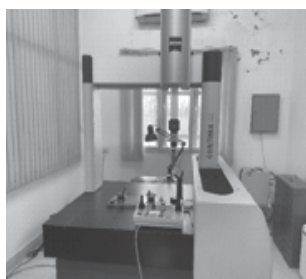
+ Nhóm III là các mẫu sau nóng, tôi và cán nguội, được ủ trong môi trường khí Argon siêu sạch, nhiệt độ 840 °C, giữ nhiệt 6h và làm nguội chậm với tốc độ 1 °C/phút đến 200 °C và làm nguội tiếp trong không khí (Hình 1).

Các nhóm mẫu được mài trên máy mài, đá mài Norton 38A_120966 có tốc độ quay 2500 vòng/phút, tốc độ tịnh tiến qua lại của bàn gá mẫu 10 m/s, mài với độ dày bóc tách vật liệu 0,1 mm (Hình 2).



Hình 2. Máy mài DIAFORM LIMITED 10000/5/1

Sau mài, các mẫu được đo độ không phẳng, độ không song song bằng thiết bị đo Contura G2. Các mẫu được đo độ nhám bề mặt bằng thiết bị đo Mitutoyo Dufrest SJ-301 (Hình 3).



a)

b)

Hình 3. Thiết bị đo các chỉ tiêu bề mặt:

a) Thiết bị đo độ không phẳng, độ không song song Contura G2; b) Thiết bị đo độ nhám bề mặt Mitutoyo Dufrest SJ-301

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả đo chỉ tiêu bề mặt các nhóm mẫu trước nguyên công mài

Các nhóm mẫu trước nguyên công mài có độ không phẳng, độ không song song giữa hai bề mặt và độ nhám bề mặt tương đối cao. Trong đó, ở nhóm I, các mẫu chỉ được tôi sau cán nóng có độ chính xác kích thước và chất lượng bề mặt đều kém hơn so với hai nhóm còn lại. Nguyên nhân là các mẫu này được tôi từ nhiệt độ 1020 °C trong môi trường nước nên ứng suất nhiệt, ứng suất chuyển biến pha rất lớn gây ra cong vênh thể hiện ở sự không phẳng của bề mặt và sự không song song giữa hai mặt tấm. Đồng thời, oxit hình thành khi nung và tác dụng của bề mặt với môi trường tôi cũng làm cho độ nhám bề mặt cao hơn. Các mẫu nhóm II và nhóm III đều được gia công cán nguội gây biến dạng ép hai bề mặt tấm giữa hai trục cán. Vì vậy, các mẫu này có độ sai lệch phẳng nhỏ hơn nhiều so với mẫu sau tôi. Song do quá trình cán nguội chỉ đến chiều dày 1 mm nên phôi sẽ có độ cong nhất định thể hiện ở sai lệch độ song song lớn hơn. Ngoài ra, quá trình cán nguội làm bong một phần các vảy oxit và làm phẳng các nhấp nhô bề mặt dẫn đến cải thiện độ nhám bề mặt của nhóm I so với nhóm II và nhóm III.

Bảng 2. Kết quả đo các chỉ tiêu bề mặt các nhóm mẫu trước nguyên công mài

Mẫu		Sai lệch độ phẳng (mm)	Sai lệch độ song song (mm/100mm chiều dài)	Độ nhám (μm)	
				Ra	Rz
Nhóm I (mẫu tôi)	Trước khi mài	0,0247	0,04211	1,04	6,49
Nhóm II (mẫu cán nguội)	Trước khi mài	0,0074	0,09588	0,64	3,64
Nhóm III (mẫu ủ)	Trước khi mài	0,0183	0,05071	0,49	3,64

3.2. Kết quả đo chỉ tiêu bề mặt các nhóm mẫu sau nguyên công mài

Các nhóm mẫu sau nguyên công mài có độ không phẳng, độ không song song giữa hai bề mặt và độ nhám bề mặt tương đối thấp, chất lượng bề mặt được cải thiện rõ rệt. Chất lượng bề mặt và độ chính xác hình học đạt cấp chính xác gia công tinh, điều này chứng tỏ khả năng mài tốt của vật liệu Permendur 2V sau các dạng chuẩn bị tổ chức khác nhau.

Về độ chính xác hình học, mẫu sau tôi và mẫu sau cán nguội có độ chính xác hình học thấp hơn rõ ràng so với mẫu sau ủ. Sau tôi trong mẫu tồn tại ứng suất dư nhiệt và ứng suất dư chuyển biến pha. Ứng suất này tồn tại giữa các vùng khác nhau của mẫu, chẳng hạn khi ứng suất nhiệt làm phần bề mặt chịu kéo và phần

trong lõi chịu nén. Khi mài một phần lớp bề mặt bị mất đi dẫn đến mất liên kết tạo nên cho phần lõi nên làm cho mẫu bị cong vênh. Đây là nguồn gốc tạo độ sai lệch không phẳng và sai lệch song song cho mẫu sau mài. Đối với mẫu cán nguội, quá trình cán nguội tiếp tục tạo ứng suất dư bổ sung vào ứng suất dư sau tôi. Vì vậy, mẫu sau cán nguội có độ chính xác hình học thấp nhất.

Mẫu sau tôi và cán nguội khi được ủ ở nhiệt độ cao 840 °C, thời gian dài 6h. Nhiệt độ ủ này lớn hơn nhiệt độ kết tinh lại của hợp kim Permendur 2V, khoảng 740 °C [4], cùng với thời gian sẽ dẫn đến tích thoát ứng suất dư. Do vậy, trong mẫu sau ủ ứng suất dư giảm đến mức thấp nhất nên độ sai lệch phẳng và độ sai lệch song song nhỏ nhất.

Bảng 3. Kết quả đo các chỉ tiêu bề mặt các nhóm mẫu sau nguyên công mài

Mẫu		Sai lệch độ phẳng (mm)	Sai lệch độ song song (mm/100mm chiều dài)	Độ nhám (μm)	
				Ra	Rz
Nhóm I (mẫu tôi)	Sau khi mài	0,0020	0,00356	0,07	0,62
Nhóm II (mẫu cán nguội)	Sau khi mài	0,0031	0,00706	0,16	1,21
Nhóm III (mẫu ủ)	Sau khi mài	0,0011	0,00157	0,11	0,78



Độ nhám bề mặt các nhóm mẫu sau mài đều đạt mức độ nhám của gia công tinh, cấp 9-10 theo TCVN 2511:2007 [8]. Trong đó, mẫu sau cán nguội (nhóm mẫu II) có độ nhám bề mặt cao hơn rõ ràng so với hai nhóm mẫu còn lại. Kết quả này có thể có mối liên hệ đến độ cứng bề mặt và tổ chức tế vi của các mẫu. Kết quả đo độ cứng bề mặt cho thấy mẫu sau cán nguội cho độ cứng 320-340 HV, trong khi các mẫu sau tôi có độ cứng khoảng 230-245 HV và độ cứng nhóm mẫu sau ủ là 170-180 HV. Bản chất của tổ chức của mẫu sau cán nguội là gồm các hạt bị vuốt dài với ứng suất vi mô giữa các hạt. Do vậy khi mài sẽ làm cho các hạt chịu ứng suất dư này bị biến dạng vi mô làm tăng độ nhám bề mặt. Tuy nhiên để làm sáng tỏ về sự khác biệt về độ nhám bề mặt của ba loại mẫu này cần có các nghiên cứu sâu hơn về tổ chức tế vi và hình thái bề mặt của các mẫu.

Kết quả tổng hợp đo độ chính xác kích thước và độ nhám bề mặt sau mài cho thấy mẫu sau ủ cho chất lượng sau mài tốt nhất. Do vậy, các chi tiết làm việc độc lập như công từ, con trượt với yêu cầu độ chính xác chế tạo cao nên được chế tạo từ phôi vật liệu sau ủ. Đối với các chi tiết dạng tấm ép liên nhiều đơn vị lắp ghép (như lõi roto) không yêu cầu chính xác kích thước cao sau mài thì có thể dùng phôi sau cán nguội. Hơn nữa độ nhám bề mặt cao sau mài cũng giúp liên kết tốt hơn bề mặt của các đơn vị lắp ghép với nhựa tấm. Ngoài ra, phôi tấm cán nguội có giá thành rẻ hơn so với phôi ủ do không yêu cầu quá trình nhiệt luyện trong chân không và thời gian dài.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu chất lượng của tấm hợp kim Permendur 2V sau quá trình mài cho 03 loại phôi tấm khác nhau: phôi sau tôi, phôi sau cán nguội và phôi sau ủ. Chất lượng tấm được đánh giá bằng độ chính xác hình học (độ không phẳng, độ không song song) và độ nhám bề mặt (Ra và Rz).

Cả ba loại phôi đều có tính mài khá tốt, chất lượng các phôi sau mài đạt cấp chính xác 10-11. Trong đó, phôi sau ủ cho độ chính xác hình học cao nhất, phôi sau tôi đạt chất lượng bề mặt cao hơn so với hai nhóm phôi còn lại. Sự khác biệt về độ chính xác hình học và độ nhám bề mặt sau mài bước đầu được giải thích bằng các đặc điểm trong cấu trúc vật liệu Permendur 2V thu được trong các điều kiện khác nhau. Cũng từ kết quả đánh giá chất lượng bề mặt sau mài có thể thấy có thể dùng phôi sau cán nguội hoặc phôi sau ủ để gia công và mài cho các ứng dụng quan trọng. Trong đó, phôi sau cán nguội khi mài cho chất lượng đảm bảo sự hài hòa giữa các yêu cầu khác nhau, song lại có giá thành thấp hơn nên có thể được dùng cho một số trường hợp nhất định. ❖

Ngày nhận bài: 25/02/2025

Ngày phản biện: 17/3/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. R.S. Sundar and S.C. Deevi, "Soft magnetic FeCo alloys: alloy development, processing, and properties". International Materials Reviews, Vol. 50, No. 3 (2005), pp. 157-192.
- [2]. D. F. Susan, A. B. Kustas, R. A. Kellogg, J. D. Carroll, J. R. Michael, I. Karaman, "The Effects of Annealing After Equal Channel Angular Extrusion (ECAE) on Mechanical and Magnetic Properties of 49Fe-49Co-2V Alloy". Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 52, pp 4090-4099 (2021).
- [3]. Riipinen, T., Metsä-Kortelainen, S., Lindroos, T., Keränen, J.S., Manninen, A. and Pippuri-Mäkeläinen, J., "Properties of soft magnetic Fe-Co-V alloy produced by laser powder bed fusion". Rapid Prototyping Journal, 18 February 2019, Vol. 25 No. 4, pp. 699-707 (2019).
- [4]. K. Kawahara, "Structures and mechanical properties of an FeCo-2V alloy". J. Mat. Sci., 18:3427-3436 (1983).
- [5]. Nguyen Văn Dương, Nguyễn Thanh Hùng, Lê Minh Đức, Tạ Đình Xuân, "Effects of cooling rate upon annealing on the microstructure and properties of the FeCo49V2Nb0.2 alloy". JMST, vol. 96, no. 96, pp. 145-151, Jun. 2024.
- [6]. Под редакцией Ю.В.Корицкого, "Справочник по электротехническим материалам", 3 тома. Ленинград Энергоатомиздат (1988).
- [7]. Nguyễn Văn Dương, Nguyễn Thanh Hùng, Lê Minh Đức, Lục Văn Thương, "Nghiên cứu công nghệ đúc phôi hợp kim 49K2ΦA làm lõi stato của máy phát điện nhỏ trong quân sự". Nghiên cứu KH&CN quân sự, 89 (2023), 160-165.
- [8]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 2511:2007 (ISO 12085:1996) về Đặc tính hình học của sản phẩm (GPS) - Nhám bề mặt - Phương pháp Profin - Các thông số của mẫu Profin (năm 2007).