

NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SẢN XUẤT VÀ GIA CÔNG MỚI CHO THÉP VÔ ĐỊNH HÌNH TRONG CHẾ TẠO ĐỘNG CƠ TỪ TRỞ

RESEARCH OF NEW TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING FOR AMORPHOUS STEEL IN SWITCHED RELUCTANCE MOTOR MANUFACTURING

Phí Hoàng Nhã^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.002>

TÓM TẮT

Hợp kim vô định hình là loại vật liệu mới, được biết đến với tính chất lý hóa ưu việt. Đặc biệt trong các thiết bị điện như máy biến áp, máy biến dòng, động cơ điện, thép vô định hình thay thế thép Silic trở thành sự lựa chọn tối ưu trong vấn đề tiết kiệm năng lượng. Tuy nhiên, ứng dụng vật liệu này trong chế tạo động cơ là một thách thức lớn bởi tính giòn, khó uốn; mặc dù những ưu điểm khi động cơ sử dụng thép vô định hình thay thế Silic là đáng kể. Công nghệ mới trong sản xuất và gia công vật liệu được nhóm tác giả đánh giá, đề xuất áp dụng trong chế tạo động cơ từ trở. Những phân tích khẳng định tính dẻo trong thép vô định hình được tăng cường, khả năng uốn nén được cải thiện, phù hợp để ứng dụng chế tạo động cơ từ trở trong thời gian tới. Đồng thời, kết quả mô phỏng cho thấy, so với động cơ sử dụng thép Silic truyền thống, động cơ sử dụng thép vô định hình đạt được ưu điểm trong vấn đề tiết kiệm năng lượng và giảm tổn hao.

Từ khóa: Thép vô định hình, vật liệu mới, sản xuất thép vô định hình, gia công thép vô định hình, động cơ từ trở.

ABSTRACT

An amorphous alloy is a new material that known for its superior physical and chemical properties. Especially in electrical equipment such as transformer, current transformers, electric motor, amorphous alloy substitutes silicon steel become the optimal choice in the energy saving. However, the use of this material in motor manufacturing is a major challenge because of its brittleness; although the advantages of the motor using amorphous alloy is significant. New technology in material production and processing is evaluated by the authors, proposed for use in switched reluctance motor manufacture. Initial analysis showed that the plasticity in the amorphous steel was enhanced, the compression bending improved, suitable for future switched reluctance motor manufacture applications. Same, the result shows that compared with Silic steel traditional motors, the amorphous alloy motor has the advantages of energy economizing, loss reducing.

Keywords: Amorphous steel, new material, amorphous alloy production, amorphous alloy processing, switched reluctance motor.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: phihoangnha@gmail.com; nhaph@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/01/2023

Ngày chấp nhận đăng: 24/02/2023

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, cuộc khủng hoảng về năng lượng đang diễn ra rộng khắp. Các nghiên cứu nhằm giải

quyết vấn đề này chủ yếu ở bốn khía cạnh: tìm kiếm nguồn năng lượng thay thế, cải tiến về quản lý năng lượng truyền tải, sử dụng thiết bị hiệu suất cao, thu hồi và tái chế năng lượng dư thừa. Trong đó, thiết bị điện (động cơ điện) chiếm ưu thế tuyệt đối trong công nghiệp, nếu có thể tìm thấy thiết bị điện có hiệu suất cao hơn và tiết kiệm năng lượng, nó sẽ giải quyết được hiệu quả vấn đề này. Do ảnh hưởng nổi bật của động cơ điện trong các ngành công nghiệp, những cải tiến dù nhỏ nhất của nó chắc chắn sẽ dẫn đến lợi ích to lớn cho xã hội về tiết kiệm năng lượng, và những nghiên cứu về động cơ điện trong vấn đề này là hết sức cần thiết.

Đối với động cơ điện nói chung, biện pháp quan trọng để động cơ có khả năng tiết kiệm năng lượng và hiệu suất cao là can thiệp vào quy trình sản xuất và sử dụng vật liệu mới - vật liệu vô định hình (VĐH) để chế tạo rotor và stator [1-2]. Nhiều công trình nghiên cứu gồm [3-10] đã đưa ra phương án sử dụng vật liệu vô định hình trong chế tạo hoặc stator, hoặc rotor hoặc cả stator và rotor. Những kết quả trong các công trình đó để khẳng định tính ưu việt trong khả năng giảm tổn hao, tuy nhiên, chỉ dừng lại trên các nghiên cứu với động cơ cảm ứng (IM), động cơ một chiều không chổi than (BLDC) hay động cơ một chiều không chổi than nam châm vĩnh cửu (PMBLDC),... Trong các loại động cơ điện, động cơ từ trở (SRM) có nhiều ưu điểm [11], ngày càng được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp và gia dụng, được nhóm tác giả đề xuất sử dụng thép vô định hình thay thế thép Silic truyền thống trong chế tạo rotor và stator. Tài liệu [6] sử dụng VĐH trong sản xuất động cơ từ trở, nhưng mới chỉ đánh giá khả năng làm việc của động cơ về nhiệt.

Bên cạnh đó, một thách thức lớn đặt ra là tính chất vật lý của VĐH rất giòn, cứng nên khó gia công, nhất là gia công uốn tròn trong chế tạo động cơ. Đặc biệt, tính giòn, dễ nứt gãy trong quá trình lắp ráp, cũng như tính an toàn trong chuyển động quay của động cơ cần được xem xét kỹ lưỡng. Hiện nay, VĐH được sản xuất với dải băng rất mỏng (0,025 - 0,03mm), gây khó khăn vì cần số lượng lớn vật liệu để tạo độ dày gông từ, cũng như khó khăn trong công nghệ lắp ghép.

Để giải quyết những vấn đề trên, bài báo này ứng dụng công nghệ mới trong sản xuất và gia công thép vô định hình nhằm tăng tính dẻo và tăng khả năng đúc các khối lớn

của vật liệu vô định hình. Đồng thời, đặc tính tổn hao thấp của vật liệu VĐH trong SRM được kiểm chứng thông qua mô phỏng Ansys. Điều này tạo cơ sở cho việc ứng dụng VĐH thay thế Silic trong chế tạo động cơ từ trở trong thời gian tới.

Sau phần giới thiệu, bài báo trình bày về vật liệu vô định hình ở phần 2. Phần 3 trình bày ảnh hưởng của công nghệ chế tạo đến tính chất lý hóa của vật liệu. Công nghệ chế tạo và gia công mới được phân tích ở phần 4. Phần 5 trình bày kết quả mô phỏng tổn hao khi ứng dụng vật liệu vô định hình trong chế tạo động cơ từ trở. Cuối cùng là kết luận.

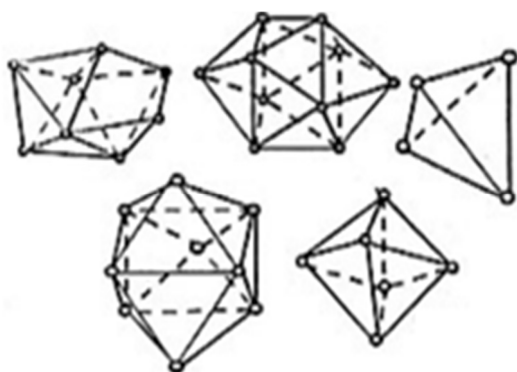
2. VẬT LIỆU VÔ ĐỊNH HÌNH

2.1. Khái niệm

Vật liệu vô định hình là chất rắn không có trật tự xa (hay cấu trúc tuần hoàn) về vị trí cấu trúc nguyên tử. Hầu hết các nhóm vật liệu có thể thấy hoặc có cấu trúc từ dạng vô định hình như thủy tinh, polymer (polystyrene),... Kim loại vô định hình cũng là một loại vật liệu vô định hình. Thông thường, cấu trúc tinh thể là cấu trúc có tính trật tự xa, có nghĩa là tính chất sắp xếp tuần hoàn có mặt ở trong độ dài rất lớn so với hằng số mạng tinh thể. Cấu trúc vô định hình có nghĩa là bất trật tự, nhưng về mặt thực chất, nó vẫn mang tính trật tự xét trong phạm vi rất hẹp, gọi là trật tự gần (short-range order).

Trạng thái vô định hình là trạng thái của vật liệu gồm những nguyên tử được sắp xếp một cách bất trật tự sao cho một nguyên tử có các nguyên tử bao bọc một cách ngẫu nhiên nhưng xếp chặt xung quanh nó. Khi xét một nguyên tử làm gốc thì bên cạnh nó với khoảng cách d dọc theo một phương bất kỳ (d là bán kính nguyên tử) có thể tồn tại một nguyên tử khác nằm sát với nó, nhưng ở khoảng cách $2d, 3d, 4d...$ thì khả năng tồn tại của nguyên tử loại đó giảm dần. Cách sắp xếp như vậy tạo ra trật tự gần. Vật rắn vô định hình được mô tả giống như những quả cầu cứng xếp chặt trong túi cao su bó chặt một cách ngẫu nhiên tạo nên trật tự gần (theo mô hình quả cầu rắn xếp chặt của Bernal và Scot).

Cấu trúc vô định hình được hình thành từ năm loại mạng chính (như biểu diễn trong hình 1), tỉ lệ nguyên tử chiếm 65% thể tích, còn lại 35% là lỗ trống và số lân cận gần nhất là 5.



Hình 1. Năm loại mạng cơ bản trong cấu trúc trật tự gần theo mô hình Bernal [12]

2.2. Tính chất lý hóa của vật liệu

Sự đồng nhất về tính chất hóa học của vật liệu vô định hình sinh ra các tính chất cơ học. Sự thiếu hụt về ranh giới và hướng giữa các hạt tạo ra mô đun đàn hồi rất cao trong vật liệu này. Hằng số cơ học, thông số vật lý của vô định hình và hợp kim Silic thông thường được so sánh và trình bày trong bảng 1.

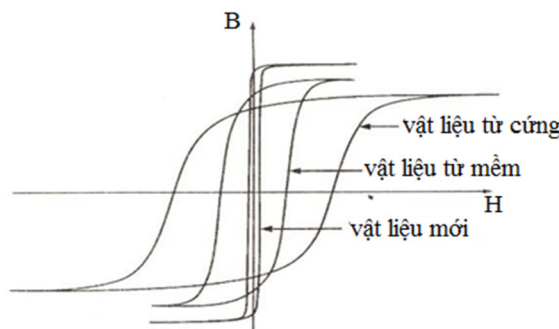
Bảng 1. Đặc tính của sắt vô định hình và thép Silic

Đặc tính	Sắt vô định hình	Thép Silic
Mật độ từ thông (T)	1,56	1,8 - 2
Điện trở suất ($\mu\Omega.cm$)	130 - 170	50 - 60
Độ dày lá thép (mm)	0,03	0,3 - 0,5
Sức căng (kg/mm^2)	150	50
Độ cứng Vickers	900	200 - 300
Mật độ khối lượng (g/cm^3)	7,18	7,65
Độ từ thẩm vật liệu (H/m)	$10^4 - 15.10^5$	3000 - 8000
Tổn hao lõi sắt tại 1,45T và 50Hz (W/kg)	0,22	2,8

Tuy nhiên, sự thay đổi các tính chất cơ học do quá trình xử lý nhiệt làm thay đổi ít nhiều tính chất từ của vật liệu. Đối với hợp kim vô định hình, các phân tử mang nhiệt độ thay đổi nhanh chóng, gây ra khó khăn để thao tác trong quá trình ủ từ, dải băng trở nên mỏng hơn [13].

Mặc dù mật độ electron dẫn rất cao trong thép từ vô định hình, điện trở suất của nó khác với những gì quan sát được trong trạng thái tinh thể. Đó là sự thiếu vắng của các chu kỳ tuần hoàn hóa học cùng với những trở ngại mà các điện tử gặp phải, vượt xa những gì mong muốn. Điện trở suất của vô định hình ($130\mu\Omega.cm$) rất lớn, ít nhất là gấp 2 hoặc 3 lần so với thép Silic ($48\mu\Omega.cm$) hiện đang được sử dụng trong máy biến áp và động cơ.

Sự rối loạn nguyên tử cục bộ chỉ ảnh hưởng một phần đến giới hạn đối với cấu trúc điện tử của chất rắn và trên các khớp nối giữa các vùng nguyên tử. Nó không chi phối sự tồn tại sắt từ. Vật liệu sắt từ có cảm ứng từ (phản cực) ngay cả khi không kích thích. Do đó sắt từ được phân loại (hình 2) gồm từ mềm nếu từ hóa của nó có thể dễ dàng thay đổi bởi kích thích, nam châm cứng (hoặc nam châm vĩnh cửu) nếu sự từ hóa của nó là hằng số dưới bất cứ sự kích thích nào (trong một số giới hạn). Trong đồ thị đường B/H ở hình 2, thép VĐH có từ trễ rất nhỏ, gần như bằng 0 so với vật liệu từ mềm.

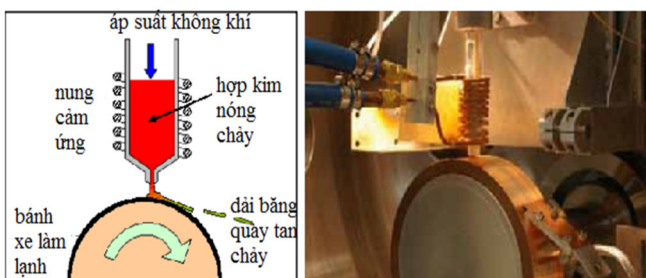


Hình 2. Đường cong từ trễ của các loại vật liệu

Sự không đẳng hướng từ là khuynh hướng của vector từ hóa để phù hợp với hướng đặc biệt gọi là trục từ. Khi vật liệu bị từ hóa dọc theo trục này, nó có độ từ thẩm cao và đạt được độ bão hòa nhanh. Nói chung, trong các vật liệu từ tinh thể, sự dị hướng bị chi phối bởi sự bất đẳng hướng từ. Đối với các tấm Fe-Si thông thường, sự không đẳng hướng từ thực tế chi phối bởi sự định hướng tinh thể của các hạt. Trong trường hợp vật liệu vô định hình, trục từ này là không ảnh hưởng vì rối loạn quy mô lớn, nó không thể xuất hiện trục ưu tiên vì tất cả các hướng đều tương đương nhau. Nhưng các ảnh hưởng bên trong liên quan đến tính ổn định hóa nhanh là nguồn gốc của tính dị hướng trong vô định hình, được gọi là dị hướng dị từ. Những ảnh hưởng này do một phần tốc độ làm mát không giống nhau trên mặt bên của dải băng ở phía bánh xe làm lạnh và ở phía không khí trong quá trình sản xuất. Vì vậy, vật liệu cần phải giảm áp lực để giảm những sức căng bề mặt vật liệu không đáng có. Nhiệt độ tăng cao làm tăng tính di động của các nguyên tử khiến cho nó có thể dễ dàng tuân theo sự sắp xếp vi mô đồng nhất hơn, dẫn đến một trạng thái ổn định hơn về nhiệt động lực học.

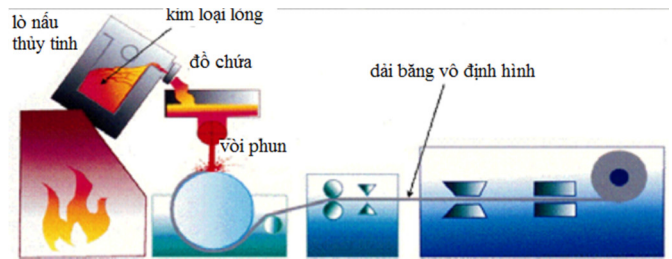
3. ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO ĐẾN TÍNH CHẤT LÝ HÓA CỦA VĐH

Chế tạo vật liệu vô định hình đòi hỏi yêu cầu công nghệ khắc khe, ở đó nhiệt độ phải được đảm bảo để không xảy ra việc kết tinh ở nhiệt độ thủy tinh (Tg). Vật liệu vô định hình được phát triển trong công nghiệp bằng kỹ thuật quay chảy sợi, bao gồm việc chiết lọc kim loại nóng chảy vào bề mặt một bánh xe chuyển động để đạt được sự tăng nhiệt phù hợp. Quá trình này được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Quá trình nung nóng và làm lạnh nhanh [13]

Hợp chất kim loại tan chảy trong vòi phun được kích hoạt. Quá trình yêu cầu phải có nhiệt độ đủ lớn để làm giảm độ nhớt của hợp kim. Vì vậy, nhiệt độ phải được điều chỉnh để hỗn hợp không quá nhớt, sau đó kết quả cần đạt được là chất lỏng phải đóng băng tại thời điểm tiếp xúc với bánh xe làm lạnh. Khi hợp kim ở nhiệt độ thích hợp, một áp lực nén dùng khí Argon làm cho kim loại lỏng chảy qua vòi, phun lên trên bánh xe điện tích lớn quay với tốc độ khoảng 30m/s. Kim loại lỏng đông lại rất nhanh khi tiếp xúc với bánh xe và một dải băng mỏng được hình thành. Các dải băng được tạo thành có hai mặt khác biệt. Khuôn mặt tiếp xúc với bề mặt bánh xe trải qua tốc độ làm mát nhanh nhất có bề mặt mịn và sáng hơn bề mặt tiếp xúc với không khí. Các dải băng đó thu được có một độ dày khoảng 0,025mm và chiều rộng khoảng vài cm (20cm).



Hình 4. Chu trình sản xuất vật liệu vô định hình [13]

Quá trình xử lý nhiệt ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất vật liệu vô định hình và có tầm quan trọng trong thực tiễn rất lớn. Trong thực tế, các dải băng hình thành từ việc làm nguội trên bánh xe làm lạnh thường không thể sử dụng được ngay. Chúng có rất nhiều hạn chế, đặc biệt là tính chất từ tính yếu. Để loại bỏ những ảnh hưởng không đáng có và đạt được các tính chất từ, nó là cần phải được ủ nhằm tăng tính dẫn từ và tổ chức lại cấu trúc.

Giá trị của từ trường Hc phụ thuộc vào sự bất đẳng hướng, trong các hợp kim vô định hình, sự bất đẳng hướng từ luôn tồn tại do các ràng buộc nội bộ. Cũng cần lưu ý rằng việc áp dụng từ trường trong xử lý nhiệt có thể thúc đẩy tính dị hướng không tuyến tính xảy ra. Một lưu ý rằng, tùy thuộc vào hướng của từ trường được áp dụng trong quá trình ủ, hiệu suất từ trường là rất khác nhau. Một từ trường dọc trục không đối xứng gây ra bởi sự không đẳng hướng với một độ từ thẩm nhất định, trong khi một từ trường ngang trục gây ra một sự không đẳng hướng ngang được biểu hiện bằng chu kỳ trễ không đổi.

3.1. Ảnh hưởng của quá trình xử lý nóng chảy đến tính chất VĐH

Kể từ những nghiên cứu đầu tiên của Duhaj [14], một vài nghiên cứu thử nghiệm đã được thực hiện để nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ của quá trình tan chảy đến cấu trúc và tính chất thép vô định hình. Trong phần lớn các nghiên cứu đều không tìm thấy ảnh hưởng của hiện tượng quá nhiệt (ở nhiệt độ 100 - 150K) đối với tính chất của VĐH. Tuy nhiên, một số thay đổi trong cấu trúc vô định hình và trình tự kết tinh của nó đã được tìm thấy sau nhiệt độ tan chảy từ 1520 đến 1620K. Novak tìm thấy một số ảnh hưởng của thép vô định hình ở nhiệt độ nóng chảy tới cấu trúc vi mô, độ kháng từ và bão hòa từ của thủy tinh kim loại. Mật độ phụ thuộc vào nhiệt độ của hợp kim vô định hình dạng lỏng được nghiên cứu. Người ta thấy rằng chúng có độ quá nhiệt lên đến 1870 - 1970K để trở thành vi đồng nhất.

Nghiên cứu định lượng về ảnh hưởng của xử lý nhiệt nóng chảy đến các tính chất cơ học của kim loại vô định hình bắt đầu vào đầu những năm 1990 bởi Bengus [14] và sau đó bởi Calvo-Dahlborg và đồng nghiệp. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, quá trình xử lý nóng chảy ảnh hưởng đến cấu trúc vi mô và tính dẻo của vật liệu. Đặc biệt, tính giòn, dễ nứt gãy của vật liệu do quá trình xử lý nhiệt gây ra.

3.2. Ảnh hưởng của quá trình xử lý làm lạnh đến tính chất VĐH

Hợp kim vô định hình có một vùng chuyển đổi trạng thái thủy tinh và có một vùng lỏng siêu lạnh, ở đó biểu hiện

khả năng làm việc tốt ở nhiệt độ trong hoặc xung quanh vùng đó [15]. Hơn nữa, hợp kim VĐH thu được dễ dàng dưới dạng bột hoặc dải băng mỏng, sau đó tạo thành các vật liệu vô định hình lớn bằng cách đúc và cũng là các hợp kim thể hiện khả năng làm việc thuận lợi ở nhiệt độ trong hoặc xung quanh vùng lỏng siêu lạnh. Tuy nhiên, khi hợp kim vô định hình được giữ trong vùng nước siêu lạnh nêu trên trong thời gian dài, nó bắt đầu được biến đổi thành dạng tinh thể của nó, do đó hạn chế thời gian làm việc cũng như sự hình thành hợp nhất.

Như vậy, với các hợp kim vô định hình nói chung, hợp kim đã được làm nóng, khi nung nóng ở nhiệt độ ngay dưới nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh, đột nhiên mất đi độ dẻo đặc biệt của hợp kim vô định hình và chắc chắn sẽ còn tiếp tục. Theo đó, hợp kim vô định hình phải được tạo thành hoặc tái tạo thành ở nhiệt độ cao và vấn đề không thể hiện đủ các đặc tính vốn có của nó cần xem xét.

4. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO

4.1. Công nghệ sản xuất mới

Một sáng chế liên quan đến quá trình sản xuất vật liệu thép vô định hình được cải tiến để ngăn ngừa sự nứt gãy đối với hợp kim vô định hình khi vật liệu bị kéo, giãn nở trong quá trình làm việc ở nhiệt độ cao [16].

Hợp chất vô định hình khi được nung nóng bằng hoặc thấp hơn nhiệt độ chuyển tiếp của thủy tinh (thuật ngữ "nhiệt độ thủy tinh chuyển tiếp (Tg)" có nghĩa là điểm bắt đầu của một đỉnh nhiệt xuất hiện trước khi kết tinh trong đường cong nhiệt độ, quét vi sai thu được ở tốc độ gia nhiệt 40°C/phút.), nó sẽ bị phá vỡ cấu trúc ban đầu, các nguyên tử được sắp xếp ổn định hơn. Đó gọi là sự phá vỡ cơ cấu. Đây là hiện tượng mà trong đó có sự giải phóng nguyên tử của hợp kim vô định hình, một phần thể tích tự do được gia tăng trong quá trình nung nóng. Một số nghiên cứu cho thấy rằng sự phá vỡ cơ cấu nói trên có thể được kiểm soát và xóa bỏ bằng cách can thiệp vào nhiệt độ nung nóng. Tuy nhiên, việc gia nhiệt trong thực tế bị hạn chế vì nó chỉ có hiệu quả đối với sự phá vỡ cơ cấu ở nhiệt độ tương đối thấp, và nó phải được thực hiện trong thời gian ngắn với điều kiện nhiệt độ được điều khiển chính xác.

Bằng sáng chế số 18207/1991 mô tả sự nứt gãy của hợp chất vô định hình do quá trình làm việc ở nhiệt độ bằng hoặc thấp hơn nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh có thể được khắc phục bằng cách sử dụng kết hợp các trạng thái ở nhiệt độ đó với các tính chất trong vùng siêu lạnh. Vùng lỏng siêu lạnh bao gồm khu vực trong khoảng nhiệt độ chuyển đổi thủy tinh đến nhiệt độ kết tinh (thuật ngữ "nhiệt độ kết tinh (Tx)" có nghĩa là điểm xuất phát của đỉnh cao tối ưu trong một đường cong nhiệt lượng quét vi sai). Cụ thể, hợp kim vô định hình được xử lý nhiệt lần đầu tiên, trong đó hợp kim được giữ ở nhiệt độ bằng hoặc thấp hơn nhiệt độ chuyển tiếp của thủy tinh, nhờ đó hợp kim chịu được sự nứt gãy do sự phá vỡ của cấu trúc. Sau đó, hợp kim phải được xử lý nhiệt giai đoạn hai, trong đó hợp kim được nung nóng đến nhiệt độ trong vùng chất lỏng siêu lạnh và được giữ ở nhiệt độ đó trong một thời gian quy định, qua

đó sự phá vỡ kết cấu gây ra trong giai đoạn đầu biến mất trong vùng chất lỏng siêu lạnh. Sau đó, hợp kim trong vùng siêu lạnh được thay đổi đến nhiệt độ phòng bằng một phương pháp thích hợp như làm mát nước, theo đó các cấu trúc lỏng siêu lạnh được cố định như vậy ở nhiệt độ phòng và độ bền của hợp kim được khôi phục.

Quá trình sản xuất này có thể tiến hành bằng cách đưa hợp chất vô định hình tới độ dẻo làm việc ở nhiệt độ trong vùng lỏng siêu lạnh nhằm tận dụng khả năng làm việc dễ dàng trong vùng. Nói một cách cụ thể hơn, một hợp chất vô định hình có một vùng chất lỏng siêu lạnh được làm nóng tới nhiệt độ trong vùng đó, với một mức độ không nhỏ hơn 50% ở tốc độ biến dạng và không dưới 0,02 giây và tốt nhất sau đó được để nguội trong lò hoặc tự động trong các thiết bị làm việc để cho phép sản xuất các vật liệu hợp kim vô định hình có độ dẻo tuyệt tốt hơn. Điều quan trọng là phải để hợp kim ở nhiệt độ trong vùng siêu lạnh.

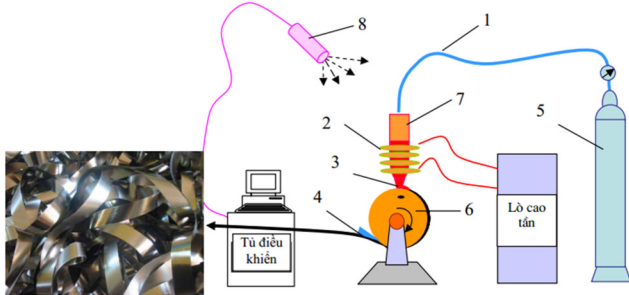
Sáng chế này có thể cung cấp một vật liệu hợp kim vô định hình hoàn hảo về độ bền và độ dẻo làm việc mà không mất tính dẻo do sự giãn nở cấu trúc gây ra bởi nhiệt trong quá trình hình thành.

4.2. Công nghệ gia công mới

Hợp kim vô định hình đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Vô định hình và các hợp kim nano tinh thể đã được sản xuất bằng các kỹ thuật chế tạo mới, như kỹ thuật làm tan chảy và khí phun, hoặc kỹ thuật phản ứng trạng thái rắn, chẳng hạn như hợp kim cơ học hoặc cơ khí mài. Những kỹ thuật này tạo ra các vật liệu vô định hình ở thể rắn, dải băng mỏng, hoặc dạng bột. Các hình dạng của các hợp kim vô định hình ở dạng băng mỏng và tính cứng, giòn làm các ứng dụng nó bị hạn chế nghiêm trọng, mặc dù họ có nhiều ưu điểm, bao gồm độ bền cơ học cao, độ dẻo tốt, tính chất từ tính tốt và tính chống ăn mòn cao.

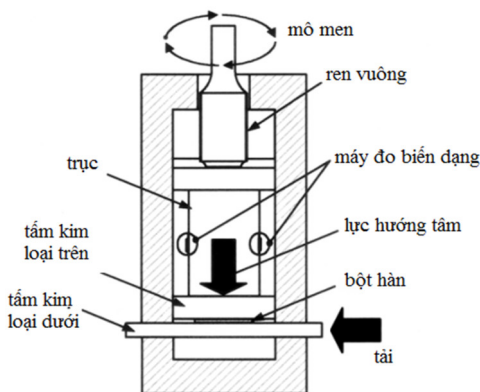
Do đó, cần có kỹ thuật chế tạo mới để sản xuất các hợp kim này với số lượng lớn. Thông thường, bột và dải băng đã được sản xuất sử dụng các kỹ thuật luyện kim bột. Tuy nhiên, những kỹ thuật này có thể làm giảm, thay đổi, hoặc loại bỏ, làm giảm các tính chất hữu ích của vật liệu, vì tiếp xúc nhiệt thường dẫn đến sự kết tinh tinh thể và sự kết hợp này tạo ra các thuộc tính hoàn toàn khác. Khác với kỹ thuật luyện kim bột, về cơ bản có hai phương pháp tiếp cận để sản xuất các vật liệu vô định hình, một trong số đó là sự ép chặt bằng phương pháp nổ và phương pháp khác liên quan đến khuôn đúc kim loại hoặc các phương pháp đúc hút. Theo một kết quả của nghiên cứu chuyên sâu về đa phân tử mới cho hợp kim vật liệu vô định hình, người ta thấy rằng số lượng lớn các vật liệu vô định hình của Zr-Al-TM, Mg-Ln-TM và Ln-Al-TM đã được sản xuất bằng khuôn kim loại theo phương pháp đúc. Vật liệu vô định hình có thể được sản xuất theo dạng hình que với đường kính tiêu biểu khoảng 1 - 5mm, nhưng kỹ thuật này có thể được áp dụng cho hợp kim nhiều thành phần. Mặt khác, sự đầm nén tức thời đã được sử dụng thành công để sản xuất hợp kim vô định hình cùng các hợp kim khác nhau. Tuy nhiên, đã không có áp dụng thực tế nào do những khó khăn trong quá trình này.

Gần đây một phương pháp đã được phát triển với kỹ thuật hợp nhất mới gọi là phương pháp cắt nén [17]. Không giống kỹ thuật hợp nhất thông thường, phương pháp này có thể hợp nhất bột thành dạng khối ở nhiệt độ phòng bằng cách áp dụng áp lực cắt cho bột. Điều này làm cho phương pháp cắt nén trở nên hữu ích trong việc sản xuất vật liệu VĐH từ bột VĐH. Trong nghiên cứu này, hợp kim vô định hình Nd-Fe-B được sản xuất bằng cách nung chảy tạo thành bột vô định hình được sử dụng. Mục đích của nghiên cứu này là để điều tra khả năng sản xuất số lượng lớn vật liệu vô định hình của hợp kim Nd-Fe-B bằng phương pháp cắt nén.



Hình 5. Sơ đồ thiết bị điều khiển công nghệ sản xuất vô định hình
 1. Van khí; 2. Vòng cảm ứng; 3. Hợp kim lỏng; 4. Băng mỏng;
 5. Bình khí Argon; 6. Bánh xe làm lạnh; 7. Ống thạch anh; 8. Dụng cụ đo nhiệt

Các phiôi hợp kim Nd-Fe-B với thành phần danh nghĩa Nd₄Fe_{77.5}B_{18.5} đã được chuẩn bị tan chảy bởi hồ quang trong khí Argon. Một lượng nhỏ phiôi hợp kim được đặt trong một phiến thạch anh với một lỗ trống 0,6mm tại đây. Các phiôi hợp kim được nóng chảy bằng khí Argon và sau đó thoát ra qua lỗ cùng với Argon vào một bánh xe đồng mạ crom quay với vận tốc 50m/s (hình 5). Bột vô định hình được quay li tâm khá giòn và có thể bị nghiền nát về mặt cơ khí và sau đó tách thành các kích thước hạt dao động từ 45 đến 212µm. Bột VĐH được đặt trên một tấm thép cứng và sau đó ép thành màu xanh lá cây nhỏ gọn trước khi áp dụng phương pháp cắt nén.



Hình 6. Công nghệ cắt nén mới [17]

Hình 6 mô tả công nghệ cắt nén mới. Áp lực cắt đã được áp dụng cho các compact màu xanh lá cây bằng cách di chuyển các tấm thép thấp hơn bình thường 10mm theo hướng áp suất nén dọc trục 100kN. Tốc độ di chuyển của

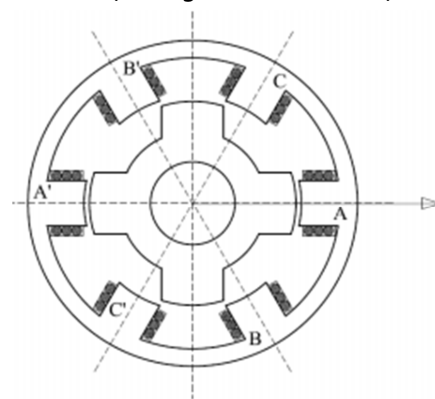
tấm dưới được giữ ở khoảng 0,1mm/s. Áp lực cắt áp dụng cho các compact màu xanh đã được tính toán để được 877MPa cho chất dẻo xanh với diện tích bề mặt nén 114mm². Các giai đoạn của mẫu vật được kiểm tra bằng nhiễu xạ tia X (XRD) sử dụng bức xạ Cu K_α. Các cấu trúc vi mô của mẫu vật được kiểm tra bằng kính hiển vi điện tử (SEM) và kính hiển vi điện tử truyền dẫn (TEM). Tính chất nhiệt của mẫu vật được đo bằng khí argon với tốc độ gia nhiệt là 0,16K/s sử dụng một máy quét đo lượng tử vi sai (DSC). Sự từ hóa của các mẫu vật được kiểm tra trong khí heli tại một trường ứng dụng của 500Oe (40kA/m) bởi một rung động từ kế (VSM). Các vòng trễ của các mẫu được đo bằng VSM với trường áp dụng tối đa 15 kOe (1,2MA/m). VSM đã được hiệu chuẩn sử dụng một cầu Niken tinh khiết. Dải băng tan chảy đã được củng cố thành công vào vật liệu số lượng lớn bằng phương pháp cắt nén.

Vật liệu số lượng lớn ban đầu có cấu trúc vô định hình và cho thấy lực kháng từ thấp khoảng 300Oe (24kA/m). Điều này xác nhận rằng vật liệu rời được sản xuất bằng phương pháp cắt nén giữ lại bản chất của bản gốc băng tan chảy. Trong nghiên cứu này, vật liệu vô định hình của Nd-Fe-B hợp kim được sản xuất thành công bằng phương pháp cắt nén lạnh. Những kết quả này mở ra cơ hội để sản xuất các hợp kim vô định hình bằng phương pháp cắt nén mà không làm mất các tính chất ban đầu và cấu trúc.

5. ỨNG DỤNG VĐH TRONG CHẾ TẠO ĐỘNG CƠ TỪ TRỞ

5.1. Động cơ từ trở

Động cơ từ trở (switched reluctance motor) là loại động cơ kiểu mới, được đề xuất từ những năm 1842. Tuy nhiên, động cơ từ trở hoạt động theo nguyên lý đóng ngắt dòng điện cấp cho từng pha, do đó, việc điều khiển động cơ này trở nên khó khăn vào thời điểm đó. Đến những năm 80, với sự phát triển nhanh chóng của điện tử công suất, vi xử lý và công nghệ điều khiển, động cơ SRM bắt đầu trở thành sự lựa chọn cho các hệ thống điều khiển tốc độ cao.



Hình 7. Cấu tạo của SRM 6/4

Hình 7 trình bày cấu tạo của động cơ từ trở thay đổi loại 3 pha 6/4. Trên stator có 3 cặp cực đối diện nhau, lần lượt được quấn quanh bởi các cuộn dây AA', BB', CC'. Tùy theo vị trí của cặp cực rotor với cặp cực stator tương ứng mà ta có các vị trí thẳng hàng và không thẳng hàng. Khi cặp cực 2-2' của rotor trùng đúng vị trí của cặp cực AA' thì ta gọi rotor

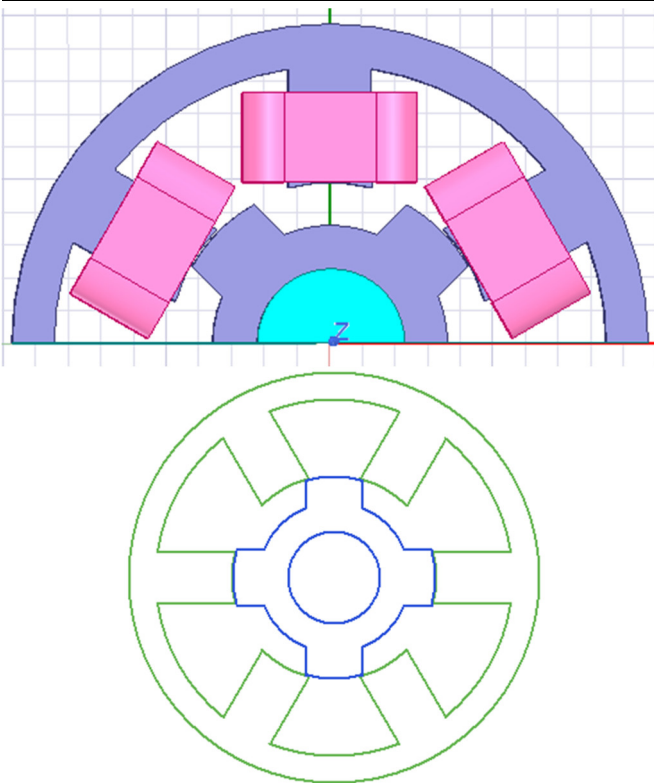
đang ở vị trí thẳng hàng so với pha A của stator. Ngược lại khi các điểm chính giữa của 2 cặp cực 1-1' và 2-2' của rotor trùng với vị trí của cặp cực CC' của stato thì ta gọi rotor đang ở vị trí không thẳng hàng so với pha A của stator.

5.2. Mô hình mô phỏng

Hình 8 là cấu trúc động cơ từ trở thiết lập bằng phần mềm Maxwell 3D và Rmxprt. Các thông số kích thước được thiết lập theo bảng 2.

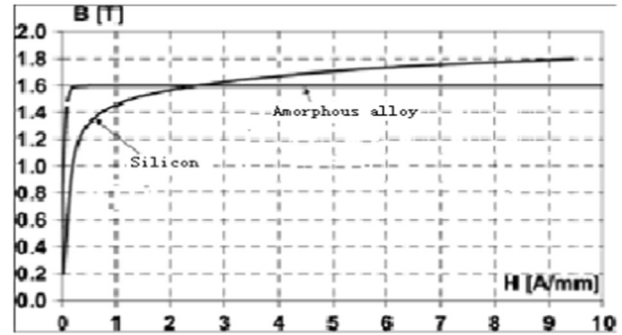
Bảng 2. Thông số kích thước động cơ từ trở

N_s/N_r (Số cực stator/rotor)	6/4	β_s/β_r (Góc cực stator/rotor)	20/24 độ
D_0 (Đường kính ngoài stator)	190mm	D (Đường kính trong Stator)	89,7mm
D_{sh} (Đường kính trục)	28mm	y_s, y_r (Độ dày gông stator, rotor)	12,5mm
h_s (Chiều cao cực stator)	77,2mm	h_r (Chiều cao cực rotor)	59,5mm
g (Chiều dài khe khí)	0,3mm	l (Chiều dài động cơ)	114mm
D_r (Đường kính ngoài rotor)	100mm	Vật liệu	Silic



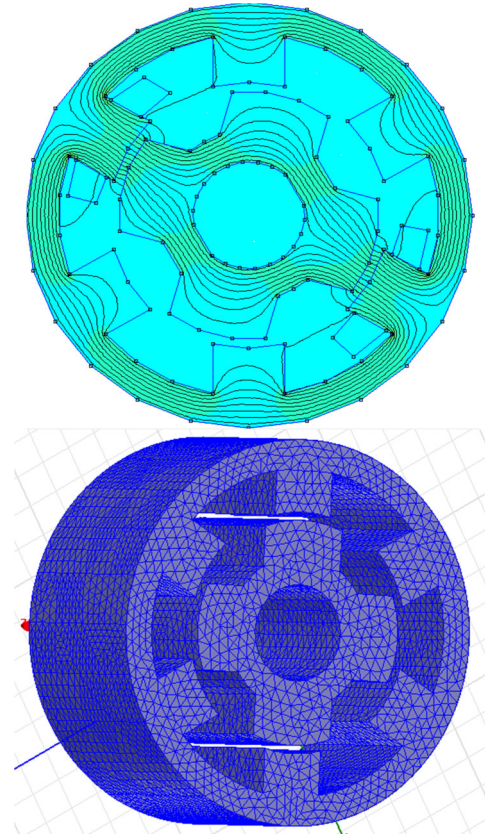
Hình 8. Cấu trúc động cơ từ trở dựa trên phần mềm Ansys Maxwell

Hình 9 là đường đặc tính B-H của vật liệu thép vô định hình và thép Silic. Đặc tính B-H trong hình 2 gồm ba loại vật liệu: vật liệu từ cứng, vật liệu từ mềm và vật liệu vô định hình. Vật liệu VĐH có đường từ trễ rất hẹp, điều này giúp vật liệu nhanh đạt giá trị bão hòa, đồng thời giúp giảm tổn hao từ trễ.

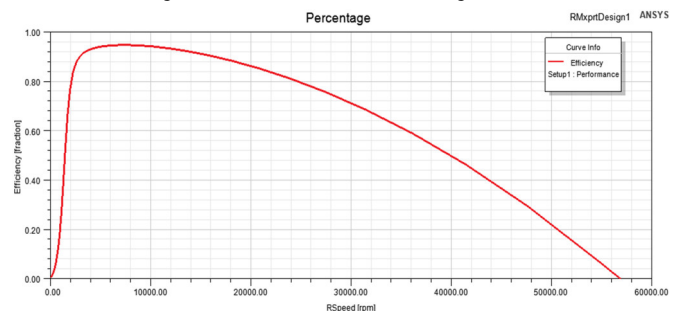


Hình 9. Đặc tính B-H của vật liệu VĐH và Silic

Phần mềm Maxwell trong bộ Ansys có thể thực hiện nhiều công việc trong đó có phân tích giá trị tức thời của trường điện từ. Từ công cụ hữu ích này, nhiều thông tin có giá trị thu được, có thể hỗ trợ chúng ta trong thiết kế thành công động cơ từ trở. Hình 10 thể hiện đường sức từ và các phần tử hữu hạn thông qua các mắt lưới.

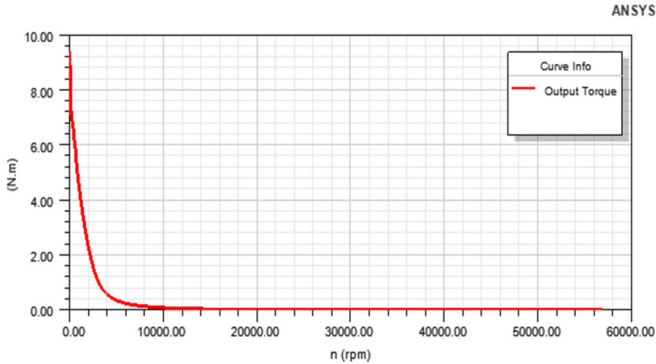


Hình 10. Đường sức từ và lưới chia trên bề mặt động cơ từ trở



Hình 11. Đặc tính hiệu suất với tốc độ

Hình 11 cho thấy mối quan hệ giữa hiệu suất và tốc độ động cơ. Hình 12 là đặc tính giữa tốc độ và mô men.



Hình 12. Đặc tính mô men và tốc độ

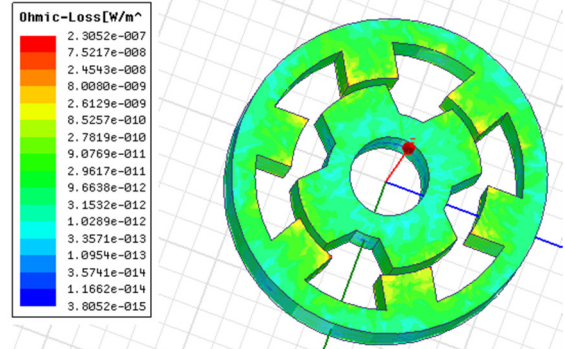
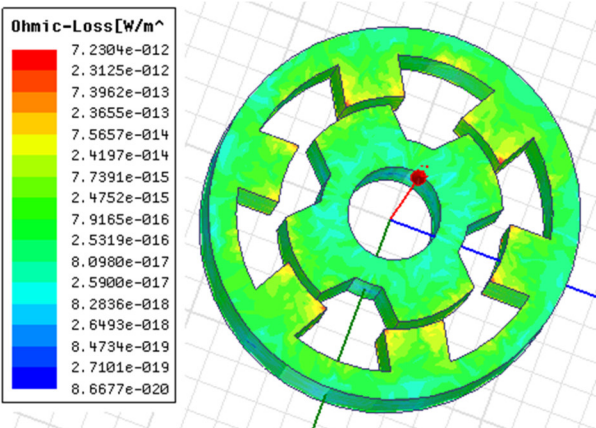
5.3. Kết quả và thảo luận

Động cơ từ trở sử dụng vật liệu vô định hình trong chế tạo stator và rotor thể hiện được ưu điểm tuyệt vời của đặc tính vật liệu này trong bài toán giảm tổn hao. Theo công trình nghiên cứu [18], công suất tổn hao dòng điện xoáy (Foucault) được biểu diễn:

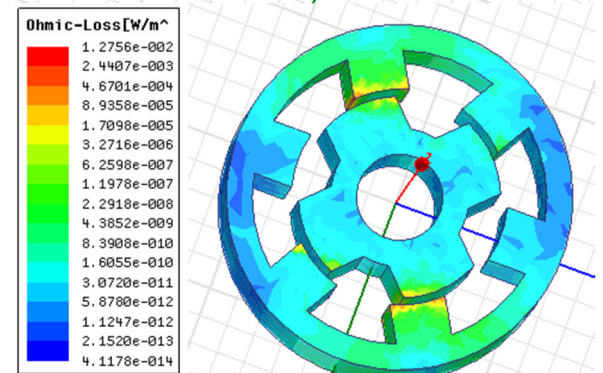
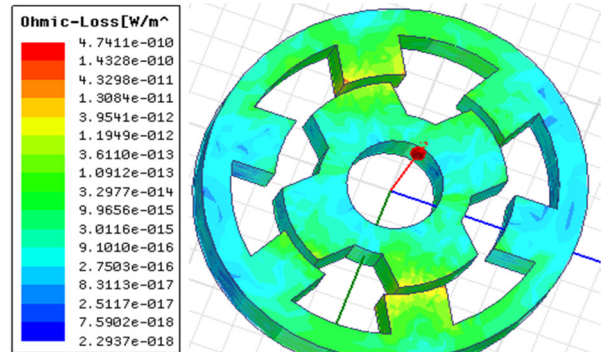
$$P_{\text{Foucault}} = \frac{4B_s^2 d^2 k_f^2 f^2}{3\gamma\rho} \quad (1)$$

- trong đó: B_s là cảm ứng từ bão hòa của lõi thép
- d là độ dày của lõi thép
- k_f là hệ số đặc trưng
- γ là khối lượng riêng của vật liệu
- f là tần số từ trường xoay chiều
- ρ là điện trở suất của vật liệu

Theo công thức (1), để giảm tổn hao dòng điện xoáy cần chế tạo lõi thép có đặc tính giảm cảm ứng bão hòa, giảm độ dày và khối lượng lõi. Theo bảng 1, điện trở suất của vật liệu vô định hình lớn hơn 3 lần so với điện trở suất của thép silic. Khi đó, theo (1) công suất tổn hao do dòng Foucault cũng được giảm đi khoảng 3 lần. Hơn nữa, tổn hao lõi sắt của vật liệu vô định hình (0,22W/kg) là thấp hơn nhiều lần so với vật liệu thép Silic thông thường (2,8W/kg). Khi đó, tổn hao lõi sắt được giảm, tổng tổn hao trong động cơ từ trở sử dụng vật liệu vô định hình giảm đáng kể so với động cơ chế tạo bằng thép Silic thông thường.

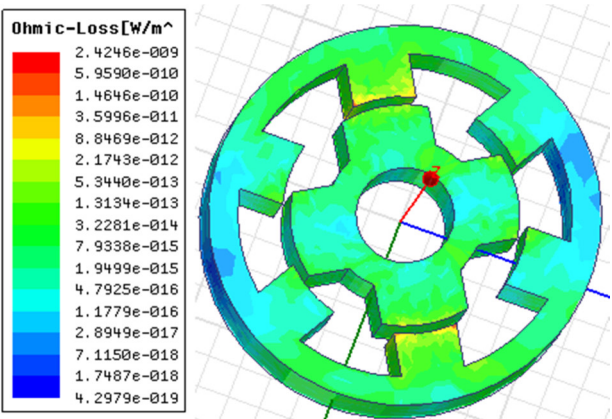


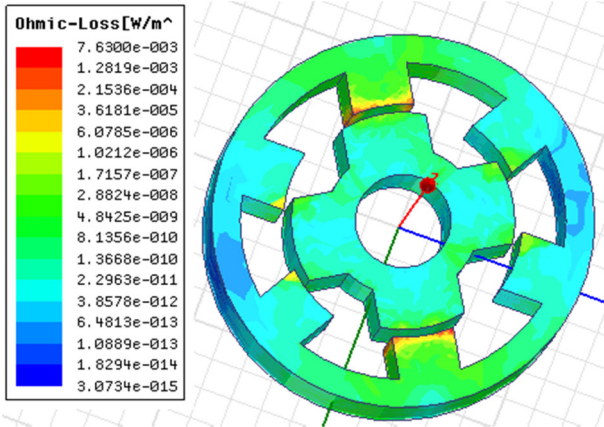
Hình 13. Tổn hao trong SRM với kích thích 3 pha



Hình 14. Tổn hao trong SRM với cực stator và rotor gổỉ chống

Động cơ từ trở được mô phỏng để đánh giá mật độ tổn hao phân bố trong động cơ là loại 6/4 cực 3 pha. Kết quả mô phỏng mật độ tổn hao phân bố trong stator, rotor giữa SRM sử dụng thép truyền thống với SRM sử dụng thép vô định hình thể hiện trong hình 13, 14 và 15.





Hình 15. Tồn hao trong SRM với cực stator và rotor thẳng hàng

Giá trị tổn hao lớn nhất trong động cơ từ trở chế tạo bằng thép Silic và thép vô định hình với các trường hợp khác nhau được cho trong bảng 3.

Bảng 3. Giá trị tổn hao lớn nhất trong động cơ từ trở tại các trường hợp (đơn vị: W/m³)

Cực rotor, stator thẳng hàng (kích thích từng pha)		Cực stator, rotor gối chông (kích thích cả 3 pha)		Cực stator, rotor gối chông (kích thích từng pha)	
SRM truyền thống	SRM mới	SRM truyền thống	SRM mới	SRM truyền thống	SRM mới
2,3052.10 ⁻⁷	7,2304.10 ⁻¹²	1,2756.10 ⁻²	4,7411.10 ⁻¹⁰	7,6300.10 ⁻³	2,4246.10 ⁻⁹

Kết quả mô phỏng cho thấy, SRM vật liệu mới cho giá trị mật độ tổn hao nhỏ hơn nhiều so với SRM vật liệu truyền thống. Với mật độ tổn hao phân bố trong động cơ rất thấp, SRM sử dụng thép vô định hình cho thấy tính ưu việt trong bài toán tiết kiệm năng lượng. Để chế tạo và thử nghiệm đòi hỏi cơ sở thiết bị lớn và nhiều thời gian, nên các kết quả chế tạo cụ thể sẽ được tác giả công bố trong các nghiên cứu tiếp theo.

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày tính chất lý hóa của vật liệu vô định hình - một loại vật liệu mới áp dụng trong chế tạo máy biến áp, động cơ, góp phần giảm tổn hao lớn. Công nghệ sản xuất và phương pháp gia công mới thép VĐH được trình bày, phân tích và ứng dụng trong chế tạo động cơ từ trở. Vật liệu mới này giúp cải thiện được hiệu suất năng lượng, tốc độ làm việc cao, tổn hao thấp. Các kết quả mô phỏng trong bài báo có thể cung cấp một vài thông tin giá trị trong thiết kế động cơ từ trở.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Yuan Liqing, Zhong Degang, Chen Yongxiao, 2004. *Amorphous metal motor and its prospects*. Small & Special Electrical Machines, vol. 4, pp. 34-36.
 [2]. Yu Datai, 2004. *Full digital high speed precision AC servo control technology and unit*. CNC and Software, vol. 4, pp. 60-63.

[3]. Leng Jian Wei, Qi Xiaohui, Li Jungfang, An Fei, 2010. *The high frequency characteristic of amorphous iron induction motor*. International conference on computer and communication technologies in agriculture engineering, pp. 439-442.
 [4]. Zhuonan Wang, Ryoso Masaki, Shigeki Morinaga, Yuji Enomoto, 2011. *Development of an axial gap motor with amorphous metal cores*. IEEE transactions on industry applications. Vol. 47, no. 3, pp. 1293-1299.
 [5]. M. Dems, K. Komez, 2012. *Performance characteristics of a high speed energy saving induction motor with amorphous stator core*. IEEE. pp. 2454-2462.
 [6]. Akira Chiba, Hiroaki Hayashi, Kensaku Nakamura, et al, 2008. *Test results of an SRM made from a layered block of heat-treated amorphous alloys*. IEEE. Vol. 44, no. 3, pp. 699-706.
 [7]. Tao Fan, Xuihui Wen, 2014. *Development of a high power density motor made of amorphous alloy cores*. IEEE. Vol. 61, no. 9, pp. 4510-4518.
 [8]. Roman Kolano, Krzysztof Krykowski, et al., 2013. *Amorphous soft magnetic materials for the stator of a novel high speed PMBLDC motor*. IEEE. Vol. 49, no. 4, pp. 1367-1371.
 [9]. Zhuonan Wang, Yuji Enomoto, Motoya Ito, et al., 2010. *Development of a permanent magnet motor utilizing amorphous wound cores*. IEEE. Vol. 46, no. 2, pp. 570-573.
 [10]. L. Wang, J. Li, S. Li, G. Zhang, S. Huang, 2011. *Application of amorphous alloy in the new energy-efficient electrical motor*. Applied Mechanics and Materials. Vol. 48-49, pp. 246-248.
 [11]. Phi Hoang Nha, Dao Quang Thuy, 2016. *Improving the characteristics of switched reluctance motor*. Automatic Control and System Engineering Journal, vol 16, issue 2, pp.59-66.
 [12]. Doan Thanh Bao, 2010. *Nghien cuu che tao may bien ap co loi thép su dung vat lieu vo dinh hình*. Master Thesis, Hanoi University of Science and Technology.
 [13]. Malick Mouhamad, 2012. *Reduction des pertes a vide des transformateurs de distribution par utilization de rubans amorphes*. These De Doctorat, France.
 [14]. V. Manov, P. Popel, E. Brook-Levinson, et al., 2001. *Influence of the treatment of melt on the properties of amorphous materials: ribbons, bulks and glass coated macrowires*. Elsevier Science, pp. 54-60.
 [15]. K. Tsuchiya, Y. Hada, T. Koyano, et al., 2019. *Production of TiNi amorphous/nanocrystalline wires with high strength and elastic modulus by severe cold drawing*. Elsevier Science, vol. 60, pp. 749-752.
 [16]. T. Masumoto, A. Inoue, J. Nagahora, K. Kita, 1991. *Process for producing amorphous alloy material*. US5296059A.
 [17]. T. Saito, H. Takeishi, 2005. *New method for the production of bulk amorphous materials of Nd-Fe-B alloys*. Materials research society, vol. 20, pp. 563-566.
 [18]. Phi Hoang Nha, Dao Quang Thuy, Nguyen Son Tung, Pham Hung Phi, 2018. *Influence of harmonic current in switched reluctance motors*. The University of Danang - Journal of Science and Technology, vol. 1(122), pp. 57-60.

AUTHOR INFORMATION

Phi Hoang Nha
 Hanoi University of Industry