



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0044976

C22C 38/00; C21D 8/00; C21D 8/12; (13) B

C21D 9/46; C22C 38/02; H02K 1/02;

(51)^{2020.01} C22C 38/06; C22C 38/14; C22C 38/34;

C22C 38/42; C22C 38/50; C22C 38/58;

C21D 6/00; C22C 38/04

(21) 1-2021-04217

(22) 17/01/2020

(86) PCT/JP2020/001536 17/01/2020

(87) WO2020/149405 A1 23/07/2020

(30) 2019-006447 17/01/2019 JP

(45) 25/04/2025 445

(43) 25/10/2021 403A

(71) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan

(72) NATORI Yoshiaki (JP); Hiroyoshi YASHIKI (JP); Miho TOMITA (JP).

(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) TẤM THÉP KỸ THUẬT ĐIỆN CÓ CẤU TRÚC KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG, STATO
PHÂN MẢNH VÀ MÁY ĐIỆN QUAY

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015% và Si: 2,5 đến 4,0% và có kích thước hạt tinh thể trung bình nằm trong khoảng từ 10 đến 40μm, và lớp oxy hóa bên trong có chiều dày nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,0μm có mặt theo hướng chiều dày tấm của bề mặt của nó.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, stato phân mảnh và máy điện quay bao gồm stato phân mảnh này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Về các máy điện quay như các động cơ điện và các máy phát điện, đã biết đến các cấu tạo trong đó có stato và rôto cung cấp ở phía chu vi bên trong của stato được bao gồm. Để làm vật liệu cho stato và rôto, các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thường được sử dụng. Khi stato được sản xuất liền khối, có vấn đề là hiệu suất bị giảm. Do đó, các stato phân mảnh trong đó nhiều mảnh stato được kết hợp để sắp xếp cạnh nhau theo hướng chu vi thường được sử dụng (chẳng hạn, tham khảo tài liệu sáng chế 1).

Ngoài ra, trong những năm gần đây, các vấn đề về môi trường toàn cầu đang thu hút sự chú ý và nhu cầu về các hiệu ứng bảo toàn năng lượng ngày càng tăng. Đặc biệt là, có nhu cầu mạnh mẽ về hiệu suất cao hơn của các thiết bị điện và xu hướng này là đáng kể trong các động cơ truyền động cho các xe điện và xe lai và các động cơ máy nén cho máy điều hòa không khí.

Để gia tăng hiệu suất của các thiết bị điện, hữu hiệu là cải thiện các đặc tính từ của các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được sử dụng trong các động cơ được bao gồm trong các thiết bị điện. Vì lý do này, để đối phó với các vấn đề như vậy, chẳng hạn, tài liệu sáng chế 2 bộc lộ tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có các đặc tính từ cải thiện đáng kể theo hướng cán.

Theo tài liệu sáng chế 2, có thể cải thiện đáng kể các đặc tính từ theo hướng cán bằng cách thực hiện cán ép nhẹ ở tỷ lệ giảm độ dày khi cán quy định và ủ khử biến dạng sau khi ủ hoàn thiện. Tuy nhiên, nhờ nghiên cứu bởi các tác giả của sáng chế, đã phát hiện ra rằng, ngay cả khi kỹ thuật được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 2 được áp dụng ở tấm thép chứa Si với lượng lớn hơn hoặc bằng 2,5%, các đặc tính từ của nó theo hướng cán không thể được cải thiện trong một số trường hợp.

Ngoài ra, các stato phân mảnh được sản xuất bằng cách gia công các tấm thép

kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng nhờ quá trình gia công đột dập, cắt, hoặc quá trình tương tự. Vì lý do này, các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được sử dụng cho các stato phân mảnh được yêu cầu phải có khả năng gia công, khả năng gia công trên máy, và đặc tính tương tự. Tuy nhiên, khi các đặc tính từ của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo hướng cán được cải thiện như trong tài liệu sáng chế 2, hiện tượng dị hướng có thể xuất hiện trong cấu trúc, điều này làm giảm khả năng gia công trong một số trường hợp.

Ngoài ra, khi stato phân mảnh như trên được sử dụng, cần cố định nhiều mảnh stato từ phía chu vi bên ngoài nhờ quá trình ghép co hoặc quá trình tương tự trong vỏ dạng vòng. Vì lý do này, ứng suất nén theo hướng chu vi được đặt giữa các mảnh stato mà đã được phân mảnh và liền kề với nhau. Ứng suất nén theo hướng chu vi như vậy gây ra sự biến dạng của stato phân mảnh. Do đó, quan tâm đến việc giảm độ chính xác kích thước. Tuy nhiên, tài liệu sáng chế 2 không xem xét vấn đề như vậy.

Tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2010-193659.

Tài liệu sáng chế 2: công bố đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2006-265720.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Sáng chế được thực hiện để giải quyết các vấn đề như vậy, và mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thích hợp cho stato phân mảnh và có khả năng gia công và các đặc tính từ rất tốt sau khi ủ khử biến dạng, stato phân mảnh mà có các đặc tính từ rất tốt, trong đó sự biến dạng gây ra bởi ứng suất nén theo hướng chu vi được giảm đến mức tối thiểu, và có độ chính xác kích thước cao, và máy điện quay bao gồm stato phân mảnh này.

Cách thức giải quyết vấn đề

Ý chính của sáng chế bao gồm tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, stato phân mảnh, và máy điện quay sau đây.

(1) Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo một khía cạnh của sáng chế bao gồm: thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%; và Si: 2,5 đến 4,0%, và trong đó kích thước hạt tinh thể trung bình nằm trong khoảng từ 10 đến 40 μ m, và lớp oxy hóa bên trong có độ dày nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,0 μ m có mặt theo hướng độ dày tấm của bề mặt của nó.

(2) Trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo mục (1), thành phần hóa học có thể chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%; Si: 2,5 đến 4,0%; Mn: 0,05 đến 2,0%; Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%; P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%; S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%; Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%; Ni: 0 đến 0,10%; Cu: 0 đến 0,10%; Cr: 0 đến 0,10%; Sn: 0 đến 0,20%; Ca: 0 đến 0,0050%; Mg: 0 đến 0,0050%; REM: 0 đến 0,0050%; và phần còn lại: Fe và các tạp chất.

(3) Trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo mục (1) hoặc (2), E_L/E_c là tỷ số giữa môđun Young E_L theo hướng cán và môđun Young E_c theo hướng vuông góc với hướng cán có thể lớn hơn hoặc bằng 0,90.

(4) Trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3), độ bền kéo có thể lớn hơn hoặc bằng $(230+100 \times ([Si]+0,5 \times [Al \text{ hòa tan}]))$ MPa và độ giãn có thể nhỏ hơn 20%, trong đó [Si] là hàm lượng Si theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng và [Al hòa tan] là hàm lượng Al hòa tan theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng.

(5) Stato phân mảnh theo một khía cạnh khác của sáng chế là stato phân mảnh dùng cho máy điện quay được phân mảnh thành nhiều mảnh stato theo hướng chu vi bao gồm: vòng ô hình trụ kéo dài theo hướng trục; và nhiều răng kéo dài theo hướng xuyên tâm từ bề mặt chu vi bên trong của vòng ô, trong đó mỗi trong số các mảnh stato được tạo ra bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, khi các hướng trong đó răng kéo dài được xác định là tham chiếu của trục tinh thể, tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ của mảnh stato là lớn hơn hoặc bằng 5, kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng nằm trong khoảng từ 100 đến 200 μ m, và thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%; và Si: 2,5 đến 4,0%.

(6) Trong stato phân mảnh theo mục (5), giá trị của B50/Bs theo các hướng trong đó răng của mảnh stato kéo dài có thể lớn hơn hoặc bằng 0,85, và mô đun Young E (GPa) của vòng ôm theo hướng chu vi có thể thỏa mãn biểu thức (i) sau đây: $E \geq 205 - 3,3 \times [\text{Si}] + 10 \dots (i)$, trong đó [Si] trong biểu thức nêu trên là hàm lượng Si theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng.

(7) Trong stato phân mảnh theo mục (5) hoặc (6), thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có thể chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%; Si: 2,5 đến 4,0%; Mn: 0,05 đến 2,0%; Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%; P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%; S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%; Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%; Ni: 0 đến 0,10%; Cu: 0 đến 0,10%; Cr: 0 đến 0,10%; Sn: 0 đến 0,20%; Ca: 0 đến 0,0050%; Mg: 0 đến 0,0050%; REM: 0 đến 0,0050%; và phần còn lại: Fe và các tạp chất.

(8) Máy điện quay theo một khía cạnh khác của sáng chế bao gồm: stato phân mảnh theo mục bất kỳ trong số các mục từ (5) đến (7); rôto được bố trí ở phía chu vi bên trong của stato phân mảnh; và vỏ ở trạng thái tiếp xúc chặt với nhiều mảnh stato từ chu vi bên ngoài của vòng ôm và cố định các mảnh stato.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

Theo khía cạnh của sáng chế, có thể thu được tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có khả năng gia công và các đặc tính từ rất tốt sau khi ủ khử biến dạng, stato phân mảnh có các đặc tính từ rất tốt, trong đó sự biến dạng gây ra bởi ứng suất nén theo hướng chu vi được giảm đến mức tối thiểu, và có độ chính xác kích thước cao, và máy điện quay bao gồm stato phân mảnh này.

Mô tả vắn tắt hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ minh họa cấu tạo của máy điện quay theo phương án của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các tác giả của sáng chế đã thực hiện nghiên cứu để đạt được mục đích. Kết quả là đã thu được các phát hiện sau đây.

Ứng suất nén theo hướng chu vi được đặt vào các phần vòng ôm của các mảnh stato, gây ra sự biến dạng. Tuy nhiên, có thể tăng mô đun Young của vòng ôm theo hướng

chu vi và giảm lượng biến dạng đàn hồi bằng cách sử dụng tấm thép trong đó định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ chiếm ưu thế (còn được gọi là “định hướng Goss” trong phần mô tả dưới đây).

Ngoài ra, do tấm thép trong đó định hướng Goss chiếm ưu thế có các đặc tính từ rất tốt, có thể cải thiện các đặc tính từ ở phần răng.

Ở đây, như đã mô tả ở trên, trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có hàm lượng Si cao, định hướng Goss không chiếm ưu thế trong một số trường hợp ngay cả khi quá trình cán ép nhẹ được thực hiện. Do đó, nhờ việc nghiên cứu các đặc tính của các tấm thép được sản xuất trong các điều kiện khác nhau bởi các tác giả sáng chế, đã phát hiện ra rằng, ngay cả khi có hàm lượng Si cao, định hướng Goss có thể được làm cho chiếm ưu thế ổn định sau quá trình ủ khử biến dạng bằng cách tạo ra quá trình khử cacbon trong bước ủ hoàn thiện trước khi cán ép nhẹ để làm giảm hàm lượng C.

Sáng chế được thực hiện dựa trên các phát hiện nêu trên. Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, stato phân mảnh, và máy điện quay bao gồm stato phân mảnh này theo phương án của sáng chế sẽ được mô tả dưới đây dựa vào các hình vẽ.

1. Cấu tạo tổng thể

Fig.1 là sơ đồ minh họa cấu tạo của máy điện quay theo phương án của sáng chế. máy điện quay 100 bao gồm stato phân mảnh 10, rôto 20, và vỏ 30.

Stato phân mảnh 10 bao gồm nhiều mảnh stato 10a được phân mảnh theo hướng chu vi, vòng ôm hình trụ 11 kéo dài theo hướng trục, và nhiều răng 12 kéo dài theo hướng xuyên tâm từ bề mặt chu vi bên trong của vòng ôm 11. Theo phương án này, vòng tròn ảo C đi qua các đáy răng 12a giữa răng 12 được xác định là ranh giới giữa vòng ôm 11 và răng 12. Hơn nữa, mặc dù 45 răng được cung cấp theo phương án này, sáng chế không bị giới hạn ở đó, và chẳng hạn, số lượng răng có thể bằng 12, 18, hoặc tương tự.

Theo phương án này, stato phân mảnh 10 được tạo nên bởi 45 mảnh stato phân mảnh 10a theo hướng chu vi. Điều đó có nghĩa là, một răng 12 được cung cấp cho mỗi trong số các mảnh stato 10a. Hơn nữa, tất cả các mảnh stato 10a có cùng một cấu tạo. Ngoài ra, mỗi trong số các mảnh stato 10a được tạo ra, chẳng hạn, bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng (tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này) có cùng một hình dạng.

Rôto 20 được bố trí ở phía chu vi bên trong của stato phân mảnh 10 sao cho tâm của trục (tâm quay) của nó trùng với tâm của trục của stato phân mảnh 10. Hơn nữa, vỏ 30 ở trạng thái tiếp xúc chặt với nhiều mảnh stato 10a từ chu vi bên ngoài của vòng ôm 11 và cố định các mảnh stato 10a. Vỏ 30 được tiếp xúc chặt với các mảnh stato 10a nhờ, chẳng hạn, quá trình ghép co. Ở thời điểm này, lực được đặt vào các mảnh stato 10a bởi vỏ 30 từ phía chu vi bên ngoài.

2. Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng

2-1. Thành phần hóa học

Thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này thích hợp để tạo ra mỗi trong số các mảnh stato cần thiết để chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015% và Si: 2,5 đến 4,0%. Các lý do đối với mỗi giới hạn sẽ được giải thích. Trong phần mô tả dưới đây, “%” đối với hàm lượng nghĩa là “% khối lượng”.

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%:

C là nguyên tố góp phần gia tăng độ bền của tấm thép. Tuy nhiên, theo phương án này, khi hàm lượng C được giảm xuống, ngay cả khi hàm lượng Si tăng, định hướng Goss chiếm ưu thế có thể thu được một cách ổn định sau bước ủ khử biến dạng. Có thể hình dung được điều này là do, khi hàm lượng C cao được cung cấp, các chất kết tủa TiC trong quá trình ủ khử biến dạng, sự di chuyển ranh giới hạt được ghim tạm thời, và biến dạng cần thiết cho sự phát triển hạt do biến dạng sẽ mất đi qua quá trình phục hồi trong thời gian đó. Do đó, hàm lượng C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%. Tốt hơn là, hàm lượng C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0013%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0010%. Mặc dù giới hạn dưới của hàm lượng C không bị giới hạn, việc giảm quá mức hàm lượng C dẫn đến sự gia tăng các chi phí sản xuất. Vì lý do này, tốt hơn là hàm lượng C lớn hơn hoặc bằng 0,0001%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Si: 2,5 đến 4,0%:

Si là nguyên tố làm tăng điện trở của thép và cải thiện tổn hao do sắt. Hơn nữa, Si là nguyên tố cũng có hiệu quả làm tăng độ bền của tấm thép vì nó có khả năng làm bền dung dịch rắn lớn. Vì lý do này, hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 2,5%. Tốt hơn là, hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 2,8%.

Mặt khác, nếu hàm lượng Si dư được cung cấp, lo ngại rằng khả năng gia công sẽ kém đi đáng kể, làm cho khó thực hiện bước cán lạnh. Do đó, hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 4,0%. Tốt hơn là, hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 3,7%.

Mặc dù không có các giới hạn cụ thể về thành phần hóa học ngoài thành phần hóa học đối với C và Si, mong muốn rằng thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này chứa, chẳng hạn, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%, Si: 2,5 đến 4,0%, Mn: 0,05 đến 2,0%, Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%, P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%, S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, Ni: 0 đến 0,10%, Cu: 0 đến 0,10%, Cr: 0 đến 0,10%, Sn: 0 đến 0,20%, Ca: 0 đến 0,0050%, Mg: 0 đến 0,0050%, REM: 0 đến 0,0050%, và phần còn lại: Fe và các tạp chất.

Các lý do đối với các hạn chế của mỗi trong số nguyên tố là như sau.

Mn: 0,05 đến 2,0%:

Mn là nguyên tố làm tăng điện trở của thép và cải thiện tổn hao do sắt. Hơn nữa, khi hàm lượng Mn quá thấp, ngoài tác dụng nhỏ trong việc làm tăng điện trở, lo ngại rằng các tính chất phát triển hạt sẽ xấu đi trong quá trình ủ do sự kết tủa của sunfit (MnS) mịn. Vì lý do này, tốt hơn là hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,05%. Tốt hơn là, hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,1%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,2%.

Mặt khác, nếu hàm lượng Mn dư được cung cấp, lo ngại rằng mật độ từ thông giảm. Do đó, hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 2,0%. Tốt hơn nữa là, hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%.

Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%:

Al là nguyên tố làm tăng điện trở của thép và cải thiện tổn hao do sắt. Vì lý do này, tốt hơn là hàm lượng Al lớn hơn hoặc bằng 0,0005%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,15%.

Mặt khác, nếu hàm lượng Al dư được cung cấp, lo ngại rằng mật độ từ thông sẽ giảm. Do đó, tốt hơn là hàm lượng Al nhỏ hơn hoặc bằng 1,50%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%. Theo phương án này, hàm lượng Al có nghĩa là hàm lượng Al hòa tan (Al tan được trong axit).

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%:

Nếu P được chứa trong thép dưới dạng tạp chất và có hàm lượng P dư, lo ngại rằng tính dẻo của tấm thép sẽ giảm đáng kể. Do đó, tốt hơn là hàm lượng P nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%. Tốt hơn nữa là hàm lượng P nhỏ hơn hoặc bằng 0,050%.

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%:

S là nguyên tố làm tăng tổn hao do sắt bằng cách tạo ra các chất kết tủa mịn của MnS và làm xấu đi các đặc tính từ của tấm thép. Do đó, tốt hơn là hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Tốt hơn nữa là, hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%.

Mặt khác, do lo ngại rằng sự giảm quá mức của S hàm lượng dẫn đến sự tăng chi phí sản xuất, tốt hơn là hàm lượng S lớn hơn hoặc bằng 0,0001%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0003%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%:

Ti là nguyên tố được đưa vào một cách không thể tránh được và có thể kết hợp với cacbon hoặc nitơ để tạo ra các chất kết tủa (các cacbit hoặc các nitrit). Khi các cacbit hoặc nitrit được tạo ra, lo ngại rằng bản thân các chất kết tủa này sẽ làm xấu đi các đặc tính từ. Ngoài ra, lo ngại rằng các chất kết tủa sẽ ức chế sự phát triển của các hạt tinh thể trong quá trình ủ hoàn thiện và các đặc tính từ sẽ xấu đi. Do đó, tốt hơn là hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Tốt hơn nữa là hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%.

Mặt khác, do lo ngại rằng việc giảm quá mức hàm lượng Ti sẽ dẫn đến sự tăng chi phí sản xuất, tốt hơn là hàm lượng Ti lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Ni: 0 đến 0,10%:

Cu: 0 đến 0,10%:

Cr: 0 đến 0,10%:

Sn: 0 đến 0,20%:

Ca: 0 đến 0,0050%:

Mg: 0 đến 0,0050%:

REM: 0 đến 0,0050%:

Ni, Cu, Cr, Sn, Ca, Mg, và REM là các nguyên tố được đưa vào theo cách không thể tránh được. Mặt khác, do các nguyên tố này còn là các nguyên tố cải thiện các đặc

tính từ, các nguyên tố này có thể được đưa vào một cách có chủ ý.

Khi cần thu được tác dụng cải thiện các đặc tính từ, mong muốn rằng một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ Ni: lớn hơn hoặc bằng 0,01%, Cu: lớn hơn hoặc bằng 0,01%, Cr: lớn hơn hoặc bằng 0,01%, Sn: lớn hơn hoặc bằng 0,01%, Ca: lớn hơn hoặc bằng 0,0005%, Mg: lớn hơn hoặc bằng 0,0005%, và REM: lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Ở đây, nếu các lượng dư của các nguyên tố này được bao gồm, lo ngại rằng hiệu quả kinh tế sẽ giảm. Do đó, nếu các lượng dư của các nguyên tố này được bao gồm một cách có chủ ý, mong muốn là Ni: nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, Cu: nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, Cr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, Sn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,20%, Ca: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, Mg: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, và REM: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%.

Trong thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này, phần còn lại chứa Fe và các tạp chất. Ở đây, “các tạp chất” có nghĩa là các thành phần được trộn vào trong khi thép được sản xuất công nghiệp do các yếu tố khác nhau trong các nguyên liệu thô như quặng và phế liệu, nhưng được phép miễn là tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này không bị ảnh hưởng bất lợi.

2-2. Kích thước hạt tinh thể trung bình

Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này có kích thước hạt tinh thể trung bình nằm trong khoảng từ 10 đến 40 μm . Không mong muốn kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn 10 μm , vì lo ngại rằng số lượng của các hạt tinh thể của định hướng tinh thể có hiện tượng dị hướng cần được làm thô sẽ không đủ. Mặt khác, không mong muốn kích thước hạt tinh thể trung bình vượt quá 40 μm , vì lo ngại rằng việc bắt đầu quá trình phát triển hạt do biến dạng sẽ bị chậm lại và không thu được hiện tượng dị hướng sau quá trình ủ khử biến dạng.

Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này được đo theo JIS G 0551:2013 “Steel-micrographic determination of apparent grain size”.

2-3. Lớp oxy hóa bên trong

Trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này, lớp oxy hóa bên trong có độ dày lớn hơn hoặc bằng 0,5 μm và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 μm

theo hướng độ dày tấm từ bề mặt được tạo ra.

Khi lớp oxy hóa bên trong được tạo ra và có mặt, tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng dễ dàng được cắt nhờ gia công đột dập hoặc cắt và độ chính xác kích thước của quá trình gia công được cải thiện. Khi lớp oxy hóa bên trong không được tạo ra hoặc độ dày của lớp oxy hóa bên trong mỏng, khả năng gia công kém đi. Mặt khác, không mong muốn lớp oxy hóa bên trong có độ dày vượt quá $3,0\mu\text{m}$, do sự phát triển của các hạt tinh thể bị ức chế và các đặc tính từ sau quá trình ủ khử biến dạng xấu đi.

Có thể tạo ra lớp oxy hóa bên trong bằng cách thực hiện quá trình khử cacbon trong khi ủ hoàn thiện.

Có thể đo độ dày của lớp oxy hóa bên trong bằng cách đánh bóng mặt cắt ngang của tấm thép và quan sát mặt cắt ngang nhờ kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope, SEM) hoặc dụng cụ tương tự. Do độ dày của lớp oxy hóa bên trong thay đổi ở mỗi nơi trong một số trường hợp, chẳng hạn, nên lấy giá trị trung bình của tổng các độ dày đo được trong nhiều trường quan sát là ba hoặc nhiều trường quan sát bằng cách sử dụng phạm vi lớn hơn hoặc bằng $10\mu\text{m}$ theo hướng chiều rộng trong mặt cắt ngang hướng C như là một trường quan sát.

2-4. Hiện tượng dị hướng của môđun Young

Nếu định hướng Goss chiếm ưu thế trước khi tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được gia công để có hình dạng của mỗi trong số các mảnh stato của stato phân mảnh, hiện tượng dị hướng của môđun Young xảy ra, và khả năng gia công kém đi, chẳng hạn, độ tròn của lỗ trong quá trình gia công đột dập kém đi hoặc độ chính xác kích thước và lượng vống trong quá trình gia công thay đổi đáng kể với răng của stato phân mảnh theo hướng vòng ô. Vì lý do này, mong muốn rằng tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng không có hiện tượng dị hướng ở giai đoạn tiến hành gia công thành mảnh stato. Trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này, tốt hơn là E_L/E_c là tỷ số giữa môđun Young E_L theo hướng cán và môđun Young E_c theo hướng vuông góc với hướng cán lớn hơn hoặc bằng 0,90. Nếu hiện tượng dị hướng của môđun Young tăng, khả năng gia công kém đi. Tốt hơn là giới hạn trên của E_L/E_c bằng 1,0, và E_L/E_c có thể nhỏ hơn hoặc bằng 0,95.

Mặt khác, mong muốn rằng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định

hướng, cấu trúc được thay đổi sao cho định hướng Goss chiếm ưu thế ở giai đoạn trong đó tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được lắp vào trong stato phân mảnh sau khi ủ khử biến dạng.

2-5. Tính chất cơ học

Mong muốn rằng tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này có độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng $(230+100 \times ([Si]+0,5 \times [Al \text{ hòa tan}]))$ MPa và độ giãn (tổng độ giãn) nhỏ hơn 20%. Khi độ bền cao và độ giãn thấp được tạo ra, mặt cắt ngang có độ chính xác kích thước tốt với độ võng nhỏ được tạo ra trong quá trình gia công và khả năng gia công được cải thiện. Ở đây, [Si] tương ứng với hàm lượng Si theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng và [Al hòa tan] tương ứng với hàm lượng Al hòa tan theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng.

Độ bền kéo và độ giãn được đo theo JIS Z2241:2011 “Metallic materials-Tensile testing”. Hình dạng của mẫu thử nghiệm không bị giới hạn cụ thể. Khi việc lấy mẫu được thực hiện từ tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, chẳng hạn, hình dạng của mẫu thử nghiệm có thể được tạo ra theo JIS13B và được tập hợp sao cho hướng dọc của mẫu thử nghiệm song song với hướng cán.

3. Stato phân mảnh

Stato phân mảnh 10 theo phương án này là stato phân mảnh dùng cho máy điện quay 100 được phân mảnh thành nhiều mảnh stato 10a theo hướng chu vi và bao gồm vòng ôm hình trụ 11 kéo dài theo hướng trục và nhiều răng 12 kéo dài theo hướng xuyên tâm từ bề mặt chu vi bên trong của vòng ôm 11. Ngoài ra, các mảnh stato 10a được tạo ra bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, và khi các hướng trong đó răng 12 kéo dài được sử dụng làm tham chiếu cho trục tinh thể, tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ của các mảnh stato 10a là lớn hơn hoặc bằng 5, kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng nằm trong khoảng từ 100 đến 200 μm , và thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015% và Si: 2,5 đến 4,0%.

Mong muốn rằng thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%, Si: 2,5 đến

4,0%, Mn: 0,05 đến 2,0%, Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%, P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%, S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, Ni: 0 đến 0,10%, Cu: 0 đến 0,10%, Cr: 0 đến 0,10%, Sn: 0 đến 0,20%, Ca: 0 đến 0,0050%, Mg: 0 đến 0,0050%, REM: 0 đến 0,0050%, phần còn lại: Fe và các tạp chất.

Mong muốn rằng tất cả các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được xếp lớp là các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này.

3-1. Hiện tượng dị hướng

Trong mảnh stato 10a, định hướng Goss chiếm ưu thế, và cụ thể là, có tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ của các mảnh stato 10a lớn hơn hoặc bằng 5. Khi định hướng Goss chiếm ưu thế, có thể cải thiện các đặc tính từ, tăng môđun Young của phần vòng ôm theo hướng chu vi, và giảm lượng biến dạng đàn hồi. Tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 8.

Giới hạn trên của tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X không bị giới hạn, nhưng có thể có giới hạn trên thực chất bằng 20.

Tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ được đo bằng cách sử dụng phép nhiễu xạ tia X. Khi phép đo được thực hiện, các hướng trong đó răng kéo dài được xác định là tham chiếu của trục tinh thể.

Ngoài ra, tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X là giá trị bằng số thu được bằng cách đo các cường độ tia X của mẫu chuẩn (chẳng hạn, mẫu hoặc tương tự thu được bằng cách thiêu kết bột Fe) trong đó sự tích lũy không được tạo ra theo định hướng riêng và vật liệu thử nghiệm bằng cách sử dụng phương pháp nhiễu xạ tia X hoặc phương pháp tương tự trong cùng các điều kiện và chia cường độ tia X thu được của vật liệu thử nghiệm cho cường độ tia X là mẫu chuẩn.

Khi tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của mảnh stato được tạo ra trong stato phân mảnh được đo, stato phân mảnh được tháo rời và tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng đã mạ một mặt được lấy ra và đo.

3-2. Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mảnh stato

Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mỗi trong số các mảnh stato nằm trong khoảng từ 100 đến 200 μm . Nếu kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn 100 μm , tổn hao do trễ tăng và tổn hao do sắt xấu đi. Tốt hơn nữa là kích thước hạt tinh thể trung bình lớn hơn hoặc bằng 120 μm . Mặt khác, nếu kích thước hạt tinh thể trung bình vượt quá 200 μm , tổn hao do dòng xoáy tăng và tổn hao do sắt xấu đi. Tốt hơn nữa là kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn hoặc bằng 170 μm .

Về kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mỗi trong số các mảnh stato, kích thước hạt tinh thể trung bình được đo theo JIS G 0551:2013 “Steel-micrographic determination of apparent grain size”.

Khi kích thước hạt tinh thể trung bình của mảnh stato được bao gồm trong stato phân mảnh được đo, stato phân mảnh được tháo rời và tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng đã mạ một mặt được lấy ra và đo.

3-3. Thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mảnh stato

Do thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mảnh stato không thay đổi do quá trình gia công hoặc ủ khử biến dạng, phạm vi và lý do hạn chế cũng giống như đối với thành phần của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được sử dụng làm vật liệu.

3-4. Đặc tính

Như đã mô tả ở trên, mỗi trong số các mảnh stato tạo ra stato phân mảnh theo phương án này có định hướng Goss chiếm ưu thế. Vì lý do này, mảnh stato có các đặc tính từ rất tốt và môđun Young E cao theo hướng chu vi của phần vòng ôm.

Cụ thể, mong muốn rằng các đặc tính từ trong đó giá trị của B50/Bs theo các hướng trong đó răng của mảnh stato kéo dài lớn hơn hoặc bằng 0,85 được tạo ra. Hơn nữa, mong muốn rằng môđun Young E (GPa) của vòng ôm theo hướng chu vi thỏa mãn biểu thức (i) sau đây về mối quan hệ giữa hàm lượng Si và môđun Young E:

$$E \geq 205 - 3,3 \times [\text{Si}] + 10 \cdots (i).$$

Ở đây, [Si] trong biểu thức nêu trên là hàm lượng Si (% khối lượng) trong tấm

thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng tạo ra mảnh stato.

4. Máy điện quay

Như được minh họa trên Fig.1, máy điện quay 100 theo phương án này bao gồm stato phân mảnh 10 theo phương án này đã mô tả ở trên, rôto 20 được lắp đặt ở phía chu vi bên trong của stato phân mảnh 10, và vỏ 30 ở trạng thái tiếp xúc chặt với nhiều mảnh stato 10a từ chu vi bên ngoài của vòng ôm 11 và cố định các mảnh stato này.

Trong máy điện quay, hiện tượng dị hướng thấp của môđun Young của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng trong quá trình gia công đột dập được tạo ra. Do đó, tạo ra độ chính xác kích thước trong quá trình đột dập rất tốt. Ngoài ra, có sự biến dạng đàn hồi nhỏ trong quá trình ghép co do môđun Young cao theo hướng vòng ôm sau khi ủ khử biến dạng. Vì lý do này, độ chính xác kích thước rất tốt dưới dạng lõi tích hợp được tạo ra. Hơn nữa, do mật độ từ thông cao theo hướng răng được tạo ra, tổn hao do dòng giảm và hiệu suất động cơ rất tốt được tạo ra.

6. Phương pháp sản xuất

Mặc dù phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này, stato phân mảnh theo phương án này, và máy điện quay theo phương án này không bị giới hạn cụ thể, quá trình sản xuất có thể được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp sẽ được mô tả sau đây.

6-1. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng

Không có giới hạn cụ thể về phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thích hợp dùng làm vật liệu của stato phân mảnh. Chẳng hạn, tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có thể thu được bằng cách sử dụng phương pháp sản xuất bao gồm các bước sau đây:

(I) bước thu tấm thép cán nóng bằng cách gia nhiệt phôi tấm chứa thành phần hóa học đã được mô tả và sau đó đưa phôi tấm này đi cán nóng (bước cán nóng);

(II) bước đưa tấm thép cán nóng này đi ủ tấm thép cán nóng khi cần thiết (bước ủ tấm thép cán nóng);

(III) bước thu thép cán nguội bằng cách tẩy gỉ và cán lạnh tấm thép cán nóng mà đã trải qua bước cán nóng hoặc bước ủ thép cán nóng (bước cán lạnh);

(IV) bước đưa tấm thép cán nguội đi ủ hoàn thiện (bước ủ hoàn thiện); và

(V) bước đưa tấm thép cán nguội đã trải qua quá trình ủ hoàn thiện đi cán ép nhẹ (bước cán ép nhẹ).

Bước cán nóng

Trong bước cán nóng, tấm thép cán nóng thu được bằng cách gia nhiệt phôi tấm và đưa phôi tấm này đi cán nóng.

Như đã mô tả ở trên, hàm lượng C của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng ở trạng thái của stato phân mảnh cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%. Tuy nhiên, khi hàm lượng C đã thấp từ giai đoạn thép nóng chảy, định hướng Goss sau khi ủ khử biến dạng không chiếm ưu thế. Mặc dù được ưu tiên là các hạt tinh thể của định hướng Goss được phát triển khi quá trình ủ khử biến dạng được thực hiện, nếu hàm lượng C thấp từ giai đoạn thép nóng chảy, số lượng của các hạt định hướng Goss là các nhân phát triển được giảm xuống và định hướng Goss không chiếm ưu thế sau khi ủ khử biến dạng. Tương tự, ngay cả khi hàm lượng C được giảm xuống bằng cách thực hiện quá trình ủ khử cacbon trước khi ủ hoàn thiện, định hướng Goss không chiếm ưu thế sau khi ủ khử biến dạng.

Vì lý do này, hàm lượng C ở giai đoạn chế tạo thép nằm trong khoảng từ 0,0025 đến 0,0100% (hàm lượng C trong phôi tấm nằm trong khoảng từ 0,0025 đến 0,0100%). Do hàm lượng của các nguyên tố không phải là C không thay đổi trong bước sản xuất, nó có thể được chấp nhận miễn là phôi tấm có các thành phần giống như các thành phần của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng đích có thể được sử dụng.

Các điều kiện cán nóng không bị giới hạn cụ thể. Các điều kiện này có thể được xác định theo độ dày và các đặc tính cần thiết.

Bước ủ tấm thép cán nóng

Tấm thép cán nóng thu được bằng cách sử dụng bước cán nóng có thể được đưa đi ủ tấm thép cán nóng nếu cần. Khi quá trình ủ tấm thép cán nóng được thực hiện, sự giảm chất lượng bề mặt do lắp ráp có thể được ngăn chặn và định hướng Goss chiếm ưu thế hơn sau khi ủ khử biến dạng. Do đó, việc thực hiện bước ủ tấm thép cán nóng là được ưu tiên hơn.

Bước cán lạnh

Trong bước cán lạnh, tấm thép cán lạnh thu được bằng cách đưa đi tẩy gỉ và cán

lạnh tấm thép cán nóng mà đã trải qua bước cán nóng hoặc bước ủ tấm thép cán nóng. Mặc dù các điều kiện cán lạnh không bị giới hạn cụ thể, nếu nhiệt độ của tấm thép lớn hơn hoặc bằng 150°C trước khi cán lạnh hoặc trong khi quá trình cán lạnh đang được thực hiện, sự nứt gãy tấm thép được ngăn chặn và định hướng Goss trở nên chiếm ưu thế trong quá trình ủ khử biến dạng. Do đó, nhiệt độ của tấm thép lớn hơn hoặc bằng 150°C là được ưu tiên.

Bước ủ hoàn thiện

Trong phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo phương án này, quá trình khử cacbon được thực hiện trong bước ủ hoàn thiện. Cụ thể là, quá trình khử cacbon được thực hiện bằng cách thiết lập môi trường khí ủ trong bước ủ hoàn thiện để thỏa mãn điều kiện trong đó biểu thức (ii) sau đây được thỏa mãn trong khoảng nhiệt độ trong đó nhiệt độ ủ lớn hơn hoặc bằng 650°C .

Nhờ bước ủ hoàn thiện, có thể ngăn chặn sự hình thành các cacbit ức chế sự phát triển của định hướng Goss trong quá trình ủ khử biến dạng. Hơn nữa, lớp oxy hóa bên trong được tạo ra:

$$0,05 < P_{\text{H}_2\text{O}}/P_{\text{H}_2} \dots(\text{ii}).$$

Ở đây, các ký hiệu trong biểu thức nêu trên có nghĩa như sau:

$P_{\text{H}_2\text{O}}$: áp suất riêng phần của hơi nước (atm), và

P_{H_2} : áp suất riêng phần của hydro (atm).

Khi nhiệt độ ủ thấp hoặc môi trường khí ủ không thỏa mãn biểu thức (ii), quá trình khử cacbon đủ không được thực hiện. Hơn nữa, nếu nhiệt độ ủ vượt quá 900°C , kích thước hạt tinh thể trung bình dễ dàng lớn hơn $40\mu\text{m}$. Do đó, nhiệt độ ủ vượt quá 900°C là không được ưu tiên.

Bước ép nhẹ

Tấm thép cán lạnh đã ủ hoàn thiện được đưa đi cán ép nhẹ. Tỷ lệ giảm độ dày khi cán trong bước cán ép nhẹ tốt hơn là nằm trong khoảng từ 1 đến 10%. Nếu tỷ lệ giảm độ dày khi cán nhỏ hơn 1%, lượng biến dạng đủ cần thiết đối với sự phát triển hạt do biến dạng không được tạo ra. Mặt khác, nếu tỷ lệ giảm độ dày khi cán vượt quá 10%, sự đồng đều về lượng biến dạng đối với mỗi định hướng tinh thể bị mất đi và trở nên đồng nhất. Trong trường hợp này, định hướng Goss đủ không tăng trong quá trình ủ khử biến

dạng.

Khi quá trình khử cacbon trong bước ủ hoàn thiện và bước cán ép nhẹ được kết hợp, cũng trong trường hợp tấm thép chứa Si với lượng lớn hơn hoặc bằng 2,5%, định hướng Goss chiếm ưu thế sau bước ủ khử biến dạng.

6-2. Phương pháp sản xuất stato phân mảnh

Stato phân mảnh theo phương án này có thể thu được bằng cách thực hiện tiếp các bước sau đây bằng cách sử dụng tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng nêu trên làm vật liệu:

(VI) bước làm cho tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có hình dạng của mảnh stato của stato phân mảnh bằng cách gia công đột dập (bước đột dập);

(VII) bước thu mảnh stato bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng mà đã trải qua bước đột dập (bước xếp lớp);

(VIII) bước đưa mảnh stato đi ủ khử biến dạng (bước ủ khử biến dạng); và

(IX) bước tạo ra stato phân mảnh tích hợp bằng cách sắp xếp các mảnh stato ở dạng hình vành (bước tích hợp stato phân mảnh).

Bước đột dập

Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng được làm cho có hình dạng của mỗi trong số các mảnh stato của stato phân mảnh bằng cách gia công đột dập. Các điều kiện đột dập không bị giới hạn cụ thể. Chẳng hạn, việc sản xuất có thể được thực hiện nhất quán cho đến bước xếp lớp tiếp theo bằng cách sử dụng khuôn liên tục.

Bước xếp lớp

Mảnh stato được tạo ra bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng mà đã trải qua bước đột dập. Mặc dù có các phương pháp như dập nổi, dính bám, và hàn như là phương pháp cố định ở thời điểm xếp lớp, sáng chế không bị giới hạn cụ thể.

Bước ủ khử biến dạng

Trong bước ủ khử biến dạng, toàn bộ việc gia nhiệt được thực hiện ở khoảng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 750 đến 900°C trong từ 0,5 đến 5 giờ. Thời gian nung là thời gian tại đó mảnh stato ở nhiệt độ lớn hơn hoặc bằng 750°C và thời gian gia nhiệt và

làm nguội tại đó mảnh stato nhỏ hơn 750°C có thể được thiết lập thích hợp.

Nếu nhiệt độ ủ khử biến dạng vượt quá 900°C hoặc thời gian nung vượt quá 5 giờ, kích thước hạt tinh thể vượt quá $200\mu\text{m}$. Hơn nữa, nếu bước nhiệt độ ủ khử biến dạng nhỏ hơn 750°C hoặc thời gian nung nhỏ hơn 0,5 giờ, kích thước hạt tinh thể nhỏ hơn $100\mu\text{m}$. Ngoài ra, bản thân sự phát triển của các hạt tinh thể trong quá trình ủ khử biến dạng bị kìm hãm, vùng trong đó định hướng tinh thể không thay đổi so với trước khi ủ khử biến dạng còn lại, và định hướng Goss đủ không được tạo ra sau khi ủ khử biến dạng.

Bước tích hợp stato phân mảnh

Stato phân mảnh tích hợp thu được bằng cách sắp xếp các mảnh stato đã trải qua quá trình ủ khử biến dạng sao cho các mảnh stato này được sắp xếp ở dạng hình vành, các vòng ôm được cho tiếp xúc với nhau, và răng được hướng theo hướng tâm của vòng tròn, và việc tích hợp các stato phân mảnh bằng cách sử dụng quá trình ghép co.

6-4. Phương pháp sản xuất máy điện quay

Trong máy điện quay theo phương án này, máy điện quay có thể thu được bằng cách quấn dây trên stato phân mảnh theo phương án này và kết hợp stato phân mảnh với rôto. Mặc dù việc quấn dây có thể được thực hiện sau khi tích hợp, nếu việc tích hợp được thực hiện sau khi việc quấn dây đã được thực hiện ở giai đoạn của mảnh stato sau khi ủ khử biến dạng, đạt được tác dụng cải thiện hệ số không gian đối với việc quấn dây và cải thiện khả năng gia công. Do đó, ưu tiên là thực hiện việc tích hợp sau khi quá trình quấn dây đã được thực hiện.

Mặc dù sáng chế sẽ được mô tả chi tiết hơn dưới đây bằng cách sử dụng phần Ví dụ thực hiện sáng chế, sáng chế không bị giới hạn ở các ví dụ này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Tấm thép cán nóng thu được bằng cách gia nhiệt phôi tấm có thành phần hóa học thể hiện trong bảng 1 đến 1150°C , đưa phôi tấm này đi cán nóng ở nhiệt độ hoàn thiện bằng 800°C để có độ dày tấm hoàn thiện bằng 2,2mm, và cuộn tấm này ở 700°C . Tấm thép cán nóng thu được được đưa đi ủ tấm thép cán nóng được giữ ở 950°C trong 40 giây và gi bề mặt được loại bỏ nhờ quá trình tẩy gỉ. Hơn nữa, tấm thép cán lạnh có độ dày tấm bằng 0,3mm thu được bằng cách đưa tấm thép này đi cán lạnh.

Sau đó, việc điều chỉnh được thực hiện sao cho thu được các hàm lượng C thể hiện trong bảng 2 bằng cách thực hiện quá trình ủ bằng cách thay đổi các điều kiện ủ hoàn thiện (nhiệt độ ủ, thời gian nung, và môi trường khí ủ hoàn thiện) như được thể hiện trong bảng 2.

Tiếp theo, tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thu được bằng cách thực hiện bước cán ép nhẹ trong các điều kiện được thể hiện trong 2 sao cho hướng dọc của răng là hướng cán.

Ở đây, nhờ việc đo các thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng bằng cách sử dụng ICP, các hàm lượng của các nguyên tố khác với hàm lượng C về cơ bản là giống như hàm lượng của chúng ở phôi tấm.

Bảng 1

Bảng 1

Loại thép	Thành phần hóa học (% khối lượng, phần còn lại: Fe và các tạp chất)													
	C	Si	Mn	Al hòa tan	P	S	Ti	Ni	Cu	Cr	Sn	Ca	Mg	REM
A	0,0036	3,4	0,6	0,33	0,013	0,0008	0,0011	-	-	-	-	-	-	-
B	0,0043	3,7	0,8	0,26	0,018	0,0014	0,0007	0,03	0,06	0,05	0,02	0,0011	-	0,0018
C	0,0055	3,1	1,3	0,74	0,071	0,0022	0,0018	0,06	-	-	0,07	-	0,0006	0,0024
D	0,0039	2,8	0,2	1,43	0,024	0,0011	0,0016	-	0,03	0,07	-	-	-	-
E	0,0074	3,2	0,5	0,54	0,008	0,0017	0,0013	0,04	-	0,07	-	0,0021	-	-
F	0,0028	3,3	0,1	0,80	0,014	0,0015	0,0008	-	0,02	-	0,03	-	-	-
G	0,0034	3,1	1,5	0,45	0,021	0,0016	0,0011	0,03	0,04	-	0,04	-	-	0,0033
H	0,0031	3,5	1,5	0,001	0,009	0,0006	0,0007	-	-	-	0,02	-	-	-
I	0,0091	3,1	0,3	0,71	0,011	0,0008	0,0026	-	-	-	-	0,0011	-	-
J	0,0041	2,6	1,1	1,24	0,024	0,0026	0,0008	0,09	0,08	-	0,16	0,0035	-	0,0013
K	0,0036	3,9	0,2	0,001	0,009	0,0006	0,0007	-	-	0,09	-	-	-	-
L	0,0063	3,3	0,06	0,61	0,031	0,0006	0,0019	0,07	0,09	0,03	-	0,0013	0,0005	0,0047
M	0,0046	3,1	1,9	0,81	0,015	0,0027	0,0013	0,05	0,03	0,06	0,02	-	-	-
N	0,0037	2,1	0,5	0,30	0,014	0,0011	0,0015	0,03	0,02	0,06	-	-	-	-

Bảng 2

Thử nghiệm số		Loại thép	Điều kiện sản xuất					Tỷ lệ giảm độ dày ở bước cán ép nhẹ (%)
			Điều kiện nung ủ hoàn thiện		Môi trường khí ủ hoàn thiện P_{H_2O}/P_{H_2}	Hàm lượng C sau bước ủ hoàn thiện (% khối lượng)		
			Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giờ)				
1	A	800	20	0,06	0,0013	5		
2		830	7	0,03	0,0021	5		
3		840	7	0,06	0,0012	-		
4		770	28	0,07	0,0011	5		
5		920	6	0,05	0,0014	5		
6		820	20	0,06	0,0013	13		
7		890	30	0,11	0,0011	7		
8		910	15	0,07	0,0011	2		
9	B	800	25	0,07	0,0013	5		
10	C	810	22	0,11	0,0011	5		
11	D	800	22	0,06	0,0011	5		
12	E	810	13	0,12	0,0014	5		
13	F	790	22	0,06	0,0012	5		
14	G	810	15	0,07	0,0011	5		
15	H	800	15	0,07	0,0011	5		
16	I	830	17	0,12	0,0014	9		
17	J	890	10	0,06	0,0013	7		
18	K	840	15	0,08	0,0013	5		
19	L	780	22	0,07	0,0011	5		
20	M	820	13	0,09	0,0014	5		
21	N	840	8	0,06	0,0014	5		

Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thu được được đo. Kích thước hạt tinh thể trung bình được đo theo JIS G 0551:2013 “Steel-micrographic determination of apparent grain size”.

Ngoài ra, độ dày (độ dày trung bình) của lớp oxy hóa bên trong được đo bằng cách quan sát hướng mặt cắt ngang C nhờ kính hiển vi SEM đối với ba trường quan sát bằng cách sử dụng 10 μ m hướng chiều rộng dưới dạng trường quan sát.

Hơn nữa, mẫu thử nghiệm có chiều dài 50mm và chiều rộng 5mm được cắt ra khỏi tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, và sau đó môđun Young của nó theo hướng cán và môđun Young của nó theo hướng vuông góc với hướng cán được đo bằng cách sử dụng “phương pháp cộng hưởng tự do”.

Ngoài ra, mẫu thử nghiệm JIS13B được thu thập sao cho hướng dọc của mẫu thử nghiệm song song với hướng cán và độ bền kéo và độ giãn được đo theo JIS Z2241:2011 “Metallic materials-Tensile testing”.

Tiếp theo, màng cách điện được tạo ra trên bề mặt của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng. Màng cách điện này được tạo ra bằng cách phủ màng cách điện được tạo nên bởi nhôm phosphat và nhũ tương nhựa copolyme acrylic-styren có kích thước hạt bằng 0,2 μ m để có lượng dính bám đã xác định trước và nung màng cách điện này ở 350°C trong không khí.

Sau đó, tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thu được được đột dập để có hình dạng đã xác định trước và được xếp lớp.

Ở thời điểm đột dập, khi sai số đối với kích thước đột dập so với kích thước khuôn nhỏ hơn hoặc bằng 10 μ m, thì xác định được là đạt được khả năng gia công rất tốt (OK). Khi sai số kích thước này lớn hơn 10 μ m, thì xác định được là khả năng gia công kém hơn (NG). Ở thời điểm này, quá trình đột dập được thực hiện sao cho hướng dọc của răng là hướng cán.

Sau khi xếp lớp, mảnh stato thu được bằng cách đưa tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng thu được đi ủ khử biến dạng (strain relief annealing, SRA) ở nhiệt độ ủ bằng 800°C trong thời gian nung là 1 giờ.

Kích thước hạt tinh thể trung bình của mảnh stato thu được được đo theo JIS G 0551:2013 “Steel-micrographic determination of apparent grain size”. Hơn nữa, tỷ lệ

cường độ ngẫu nhiên tia X của các mảnh stato theo định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ được đo nhờ phép đo nhiễu xạ tia X, bằng cách sử dụng các hướng kéo dài rằng khi các mảnh stato được sử dụng làm stato phân mảnh là tham chiếu của trục tinh thể.

Các đặc tính từ được đánh giá bằng cách sử dụng tỷ lệ (B_{50}/B_s) giữa mật độ từ thông B_{50} và mật độ từ thông bão hòa B_s khi mẫu thử nghiệm mạ một mặt hình vuông có cạnh bằng 55mm được kích thích ở 5000A/m theo hướng cán của nó và tổn hao do sắt $W_{10/400}$ khi mẫu thử nghiệm mạ một mặt hình vuông có cạnh bằng 55mm được kích thích ở 1,0T - 400Hz, mẫu thử nghiệm mạ một mặt hình vuông có cạnh bằng 55mm thu được bằng cách ủ tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng đã được đột dập ra từ mảnh stato trong các điều kiện giống như mảnh stato.

Nếu B_{50}/B_s lớn hơn hoặc bằng 0,85 và tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 12W/kg, xác định được rằng thu được các đặc tính từ rất tốt.

Ngoài ra, để đo môđun Young, một tấm thép được thu hồi từ các mảnh stato sao cho môđun Young của vòng ôm theo hướng chu vi có thể được đo, và mẫu thử nghiệm có chiều dài bằng 50mm và chiều rộng bằng 5mm được cắt ra và sau đó được đo bằng cách sử dụng “phương pháp cộng hưởng tự do”.

Các kết quả này còn được thể hiện trong các bảng 3 và 4.

Bảng 3

Thứ nghiệm số	Loại thép	Tấm thép							Khả năng gia công
		Độ dày lớp oxy hóa bên trong (μm)	Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép (μm)	Độ bền kéo (MPa)	Độ giãn (%)	Modun Young's			
						EL (GPa)	EC (GPa)	EL/EC	
1	A	1,2	17	657	15	185,2	201,4	0,92	OK
2		0,3	18	654	15	183,1	201,3	0,91	NG
3		1,4	21	597	25	179,5	200,6	0,89	NG
4		0,7	9	695	15	186,5	201,6	0,93	OK
5		1,6	48	616	15	180,3	198,6	0,91	OK
6		1,3	24	721	10	179,2	201,3	0,89	NG
7		3,1	38	643	11	184,1	201,5	0,91	OK
8		2,1	54	583	21	182,3	198,2	0,92	NG
9	B	1,4	19	687	14	183,3	199,6	0,92	OK
10	C	1,1	21	665	14	184,1	200,5	0,92	OK
11	D	1,4	18	637	16	185,4	201,7	0,92	OK
12	E	1,3	16	645	16	182,1	200,2	0,91	OK
13	F	1,2	14	669	15	186,1	200,1	0,93	OK
14	G	1,1	18	648	15	181,7	200,6	0,91	OK
15	H	1,1	16	672	15	182,3	200,5	0,91	OK
16	I	2,3	23	662	8	186,8	201,4	0,93	OK
17	J	1,3	31	621	12	187,7	203,4	0,92	OK
18	K	1,1	24	670	14	183,5	200,5	0,92	OK
19	L	1,4	13	668	15	185,6	201,7	0,92	OK
20	M	1,1	19	669	14	185,4	201,9	0,92	OK
21	N	1,7	23	497	21	185,4	204,1	0,91	NG

Bảng 4

Thử nghiệm số	Loại thép	Cường độ ngẫu nhiên tia X theo định hướng $\{110\} <001>$	Kích thước hạt tinh thể trung bình (μm)	Các mảnh stato			Mô đun Young E (GPa)	Giá trị về phải trong biểu thức (i) [†]	Ghi chú
				W _{10/400} (W/kg)	B50 (T)	B50/Bs			
1	A	9	135	11,7	1,72	0,87	205,1	203,8	Ví dụ của sáng chế
2		1	146	11,6	1,65	0,83	198,2	203,8	Ví dụ so sánh
3		1	84	12,7	1,63	0,82	193,2	203,8	
4		4	114	11,8	1,67	0,84	199,6	203,8	
5		3	93	11,8	1,65	0,83	196,7	203,8	
6		2	86	12,6	1,66	0,84	194,4	203,8	
7		4	95	13,8	1,67	0,84	199,4	203,8	
8		2	213	13,3	1,65	0,83	197,6	203,8	
9	B	8	151	11,4	1,71	0,87	204,1	202,8	Ví dụ của sáng chế
10	C	9	136	11,3	1,70	0,87	206,1	204,8	
11	D	7	142	11,7	1,69	0,86	206,3	205,8	
12	E	8	123	11,9	1,72	0,87	205,1	204,4	
13	F	6	138	11,7	1,69	0,86	204,6	204,1	
14	G	8	126	11,5	1,71	0,87	206,1	204,8	
15	H	7	121	11,7	1,70	0,86	205,3	203,5	
16	I	9	134	11,9	1,73	0,87	207,4	205,4	
17	J	9	122	11,5	1,70	0,87	208,3	206,4	
18	K	8	136	11,7	1,72	0,86	204,3	202,1	
19	L	8	153	11,9	1,72	0,87	206,6	204,1	
20	M	7	143	10,8	1,68	0,86	206,2	204,8	
21	N	7	163	13,4	1,77	0,87	208,3	208,1	Ví dụ so sánh

[†]E≥205–3,3×Si+10 ... (i)

Như được thể hiện trong các bảng từ 1 đến 4, các tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng của các ví dụ của sáng chế có khả năng gia công rất tốt và các đặc tính từ rất tốt sau khi ủ khử biến dạng. Hơn nữa, do định hướng Goss chiếm ưu thế trong các mảnh stato trong các stato phân mảnh của các ví dụ của sáng chế, thu được các kết quả trong đó tổn hao do sắt nhỏ, mật độ từ thông cao, và môđun Young cao hơn được tạo ra so với các ví dụ so sánh.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Như đã mô tả ở trên, theo sáng chế, có thể thu được tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng có khả năng gia công rất tốt và các đặc tính từ rất tốt sau khi ủ khử biến dạng, stato phân mảnh có các đặc tính từ rất tốt, trong đó sự biến dạng do ứng suất nén theo hướng chu vi được giảm đến mức tối thiểu, và có độ chính xác kích thước cao, và máy điện quay có stato phân mảnh.

Danh sách các ký hiệu tham chiếu

10 Stato phân mảnh

10a Mảnh stato

11 Vòng ôm

12 Răng

12a Đáy rãnh

20 Rôto

30 Vỏ

100 Máy điện quay

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng, trong đó tấm thép này bao gồm:

thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%;
và

Si: 2,5 đến 4,0%,

Mn: 0,05 đến 2,0%;

Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%;

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%;

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Ni: 0 đến 0,10%;

Cu: 0 đến 0,10%;

Cr: 0 đến 0,10%;

Sn: 0 đến 0,20%;

Ca: 0 đến 0,0050%;

Mg: 0 đến 0,0050%;

REM: 0 đến 0,0050%; và

phần còn lại: Fe và các tạp chất,

trong đó, kích thước hạt tinh thể trung bình được xác định là nằm trong khoảng từ 10 đến 40 μ m, và

có lớp oxy hóa bên trong có độ dày nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3,0 μ m từ bề mặt theo hướng độ dày tấm.

2. Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo điểm 1, trong đó E_L/E_c là tỷ số giữa mô đun Young E_L theo hướng cán và mô đun Young E_c theo hướng vuông góc với hướng cán được xác định là lớn hơn hoặc bằng 0,90.

3. Tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ bền kéo được xác định là lớn hơn hoặc bằng $(230+100 \times ([Si]+0,5 \times [Al \text{ hòa tan}]))$ MPa

và độ giãn nhỏ hơn 20%,

trong đó, [Si] là hàm lượng Si theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng và [Al hòa tan] là hàm lượng Al hòa tan theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng.

4. Stato phân mảnh dùng cho máy điện quay được phân mảnh thành nhiều mảnh stato theo hướng chu vi, stato này bao gồm:

vòng ôm hình trụ kéo dài theo hướng trục; và

nhiều răng kéo dài theo hướng xuyên tâm từ bề mặt chu vi bên trong của vòng ôm,

trong đó, mỗi trong số các mảnh stato được tạo ra bằng cách xếp lớp nhiều tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng,

khi các hướng trong đó răng kéo dài được xác định là tham chiếu của trục tính thể,

tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của định hướng $\{110\} \langle 001 \rangle$ của mảnh stato được xác định là lớn hơn hoặc bằng 5,

kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng nằm trong khoảng từ 100 đến 200 μm , và

thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%;

Si: 2,5 đến 4,0%;

Mn: 0,05 đến 2,0%;

Al hòa tan: 0,0005 đến 1,50%;

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,080%;

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Ni: 0 đến 0,10%;

Cu: 0 đến 0,10%;

Cr: 0 đến 0,10%;

Sn: 0 đến 0,20%;

Ca: 0 đến 0,0050%;

Mg: 0 đến 0,0050%;

REM: 0 đến 0,0050%; và

phần còn lại: Fe và các tạp chất.

5. Stato phân mảnh theo điểm 4, trong đó giá trị của B50/Bs theo các hướng trong đó rãnh của mảnh stato kéo dài được xác định là lớn hơn hoặc bằng 0,85, và

môđun Young E (GPa) của vòng ôm theo hướng chu vi được xác định là thỏa mãn biểu thức sau đây (i):

$$E \geq 205 - 3,3 \times [\text{Si}] + 10 \dots (i),$$

trong đó, [Si] trong biểu thức nêu trên là hàm lượng Si theo % khối lượng trong tấm thép kỹ thuật điện có cấu trúc không định hướng.

6. Máy điện quay, máy điện quay này bao gồm:

stato phân mảnh theo điểm 4 hoặc 5;

rôto được bố trí ở phía chu vi bên trong của stato phân mảnh; và

vỏ ở trạng thái tiếp xúc chặt với nhiều mảnh stato từ chu vi bên ngoài của vòng ôm và cố định các mảnh stato này.

1/1

FIG. 1