



(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)



1-0032450

(51)⁸ C22C 38/00; C21D 9/46; H01F 1/147; (13) B
C22C 38/60; C21D 8/12

(21) 1-2018-02930

(22) 14/12/2016

(86) PCT/JP2016/087279 14/12/2016

(87) WO/2017/115657 06/07/2017

(30) 2015-256634 28/12/2015 JP

(45) 25/07/2022 412

(43) 25/10/2018 367A

(73) JFE Steel Corporation (JP)

2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japan

(72) UESAKA Masanori (JP); SENDA Kunihiro (JP); OMURA Takeshi (JP).

(74) Công ty Cổ phần Sở hữu công nghiệp INVESTIP (INVESTIP)

(54) TẤM THÉP KỸ THUẬT ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG VÀ PHƯƠNG PHÁP
SẢN XUẤT TẤM THÉP KỸ THUẬT ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao hụt sắt thấp ngay cả dưới sự kích thích biến tần và có thể được sử dụng thích hợp làm lõi sắt của động cơ. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có thành phần hóa học cụ thể và có cỡ hạt trung bình r nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm . Tỷ lệ diện tích R của tổng diện tích của các hạt có cỡ hạt bằng $1/6$ độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép là 2 % hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình r (μm) và tỷ lệ diện tích R (%) thỏa mãn điều kiện được biểu diễn bởi biểu thức (1), $R > -2,4 \times r + 200$ (1).

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng với sự tăng cực nhỏ về độ hao hụt sắt do các sóng hài được tạo ra bởi sự chuyển của bộ chuyển đổi khi tấm thép được sử dụng làm lõi sắt của động cơ. Sáng chế còn đề cập đến phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có các đặc tính kỹ thuật nêu trên.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các tấm thép kỹ thuật điện đã được sử dụng rộng rãi để làm nguyên liệu lõi sắt trong các động cơ, các máy biến áp, và tương tự. Trong những năm gần đây, việc giảm năng lượng đang trở thành tiêu điểm ở nhiều lĩnh vực khác nhau để giải quyết các vấn đề về môi trường và giảm chi phí, và các nhu cầu mạnh mẽ đã được đặt ra để độ hao hụt sắt giảm trong các tấm thép kỹ thuật điện.

Các động cơ thường là được dẫn động bởi dòng điện xoay chiều hình sin. Để hiệu suất được gia tăng trong lĩnh vực của các động cơ, hiện đang trở nên phổ biến về việc dẫn động các động cơ nhờ kiểm soát điều chế độ rộng xung (pulse width modulation-PWM) bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi. Trong việc kiểm soát PWM bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi, tuy nhiên, đã được biết rằng các sóng hài hòa do sự chuyển của bộ chuyển đổi bị chồng chất lên nhau, dẫn đến sự tăng tiêu tổn năng lượng trong lõi sắt. Vì lý do này, các nguyên liệu được phát triển mà xét đến các đặc tính từ, dưới sự kích thích biến tần, của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng dùng cho các động cơ.

Ví dụ, JP H10-025554 A (PTL 1) mô tả việc kiểm soát độ dày tấm của

tấm thép kỹ thuật điện không định hướng để nằm trong khoảng từ 0,3 mm đến 0,6 mm, độ nhám bề mặt tấm Ra là 0,6 μm hoặc nhỏ hơn, điện trở suất nằm trong khoảng từ 40 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ đến 75 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, và cỡ hạt nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm để nâng cao hiệu suất khi sử dụng tấm thép này như một động cơ bộ nén điều khiển biến tần.

JP 2001-279403 A (PTL 2) mô tả tấm thép kỹ thuật điện không định hướng chứa Cr ở lượng nằm trong khoảng từ 1,5% theo khối lượng đến 20% theo khối lượng và Si ở lượng nằm trong khoảng từ 2,5% theo khối lượng đến 10% theo khối lượng và có độ dày tấm nằm trong khoảng từ 0,01 mm đến 0,5 mm. Bằng cách bổ sung Cr, giải pháp kỹ thuật được mô tả trong PTL 2 ngăn tấm thép khỏi bị giòn do sự có mặt của lượng lớn Si, nhờ đó, cho phép sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thích hợp để sử dụng dưới sự kích thích cao tần.

JP 2002-294417 A (PTL 3) và JP 4860783 B2 (PTL 4) tương ứng là mô tả tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bao gồm lượng Mo được xác định trước và tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bao gồm W ở lượng được xác định trước. Bằng cách bổ sung các lượng thích hợp của Mo và W, các kỹ thuật được mô tả trong PTL 3 và 4 có thể hạn chế sự có thể hạn chế việc làm giảm độ hao hụt sắt do kết tủa các hợp chất Cr, ngay cả khi có mặt Cr.

Danh sách tài liệu đối chứng

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: JP H10-025554 A

Tài liệu sáng chế 2: JP 2001-279403 A

Tài liệu sáng chế 3: JP 2002-294417 A

Tài liệu sáng chế 4: JP 4860783 B2

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Không may là, trong giải pháp kỹ thuật được mô tả trong PTL 1, tấm thép bị giòn do bổ sung một lượng lớn các nguyên tố như là Si để tăng điện trở suất. Hơn nữa, độ dày tấm cần phải được giảm để đạt được mức độ hao hụt sắt thấp hơn, nhưng việc giảm độ dày tấm làm tăng nguy cơ đứt gãy trong quá trình sản xuất và nứt khi gia công lõi sắt của động cơ.

Giải pháp kỹ thuật được mô tả trong PTL 2 có thể hạn chế sự tăng độ giòn do Si nhưng có vấn đề về độ hao hụt sắt gia tăng do sự kết tủa của các hợp chất Cr.

Các giải pháp kỹ thuật được mô tả trong PTL 3 và 4 có thể hạn chế sự kết tủa của các hợp chất Cr bằng cách bổ sung Mo và W nhưng có vấn đề là giá thành của hợp kim gia tăng.

Ngoài các điểm nêu trên, các giải pháp kỹ thuật đã biết như là các giải pháp kỹ thuật được mô tả trong PTL 1 đến 4 có những vấn đề về các đặc tính từ bị suy giảm mạnh do các sóng hài hòa khi sử dụng bộ chuyển đổi và sự suy giảm đáng kể hiệu suất của động cơ phụ thuộc vào các điều kiện kích thích.

Trên cơ sở xem xét các vấn đề trên, sẽ là hữu ích nếu tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà có mức độ hao hụt sắt thấp ngay cả dưới sự kích thích biến tần và có thể được sử dụng thích hợp làm lõi sắt của động cơ. Sáng chế cũng hữu ích nếu đề xuất được phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có các đặc tính kỹ thuật nêu trên.

Giải pháp cho vấn đề

Là kết quả của việc thực hiện nghiên cứu để giải quyết các vấn đề nêu trên, các tác giả sáng chế đã phát hiện được rằng việc kiểm soát một cách thích hợp cỡ hạt của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng cho phép giảm hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần. Một ví dụ về các thí nghiệm được thực hiện để thu được phát hiện này được mô tả dưới đây.

Trong phòng thí nghiệm, thép được nung chảy và đúc để thu được vật

liệu thép thô, thép này bao gồm thành phần hóa học chứa (bao gồm), tính theo % khối lượng:

C: 0,0013 %,

Si: 3,0 %,

Mn: 1,4 %,

Sol.Al: 1,5 %,

P: 0,2 %,

Ti: 0,0006 %,

S: 0,001 %, và

As: 0,0006 %, và

phần còn lại gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi. Sau đó, vật liệu thép thô được trải qua liên tiếp các bước xử lý từ (1) đến (5) dưới đây để tạo ra các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

(1) Cán nóng đến độ dày tấm là 2,0 mm,

(2) Ủ trên đai nóng bao gồm bước (2-1) và (2-2) dưới đây:

(2-1) Xử lý ngâm ướt thứ nhất với nhiệt độ ngâm ướt là 1000 °C và thời gian ngâm ướt là 200 giây,

(2-2) Xử lý ngâm ướt thứ hai với nhiệt độ ngâm ướt là 1150 °C và thời gian ngâm ướt là 3 giây,

(3) Tẩy gỉ,

(4) Cán nguội đến độ dày tấm là 0,35 mm, và

(5) Ủ cuối cùng.

Bước ủ cuối cùng được thực hiện ở các nhiệt độ khác nhau nằm trong khoảng từ 600 °C đến 1100 °C để tạo ra nhiều tấm thép kỹ thuật điện không định hướng với nhiều loại cỡ hạt trung bình khác nhau. Việc làm nóng trong bước ủ cuối cùng được thực hiện theo hai điều kiện: điều kiện A là tốc độ làm nóng là 10 °C/ giây và điều kiện B là tốc độ làm nóng là 200 °C/ giây. Các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được theo điều kiện A sau

đây được gọi là nhóm A, và các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được theo điều kiện B được gọi là nhóm B. Môi trường không khí trong bước ủ cuối cùng là $H_2:N_2 = 2:8$, và điểm đục là $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($P_{H_2O}/P_{H_2} = 0,006$).

Bằng cách sử dụng các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được (các tấm đã được ủ cuối cùng), các mảnh thử nghiệm hình nhẫn để đánh giá các đặc tính từ được tạo ra bởi quy trình sau đây. Đầu tiên, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được xử lý bằng cách cắt dây thành các mẫu hình nhẫn với đường kính ngoài là 110 mm và đường kính trong là 90 mm. Hai mươi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng đã cắt được xếp chồng lên nhau, và việc quấn sơ cấp bằng 120 vòng và quấn thứ cấp bằng 100 vòng được quấn xung quanh chồng thép này, tạo ra mảnh thử nghiệm hình nhẫn.

Tiếp theo, các đặc tính từ của mảnh thử nghiệm hình nhẫn này được đánh giá theo hai điều kiện: kích thích hình sin và kích thích biến tần. Các điều kiện kích thích này gồm mật độ từ thông tối đa là 1,5 T, tần số cơ bản là 50 Hz, tần số sóng mang là 1 kHz, và hệ số điều biến là 0,4.

Fig. 1 minh họa các đặc tính từ theo sự kích thích hình sin, và Fig. 2 minh họa các đặc tính từ theo sự kích thích biến tần. Fig. 3 minh họa mối quan hệ giữa tốc độ tăng lượng hao hụt sắt W_{inc} và cỡ hạt trung bình. Ở đây, tốc độ tăng lượng hao hụt sắt để chỉ sự khác biệt giữa lượng hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần và độ hao hụt sắt dưới sự kích thích hình sin được biểu hiện ở dạng tỷ lệ so với độ hao hụt sắt dưới sự kích thích hình sin. Định nghĩa chi tiết được đưa ra dưới đây.

Như có thể được quan sát thấy trong Fig. 1 đến Fig. 3, độ hao hụt sắt giảm khi cỡ hạt tăng trong các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng của cả hai nhóm A và B dưới sự kích thích hình sin. Mặt khác, độ hao hụt sắt lớn hơn dưới sự kích thích biến tần so với dưới sự kích thích hình sin. Trong vùng mà cỡ hạt trung bình nhỏ, độ hao hụt sắt giảm khi cỡ hạt tăng, như với các kết quả dưới sự kích thích hình sin. Trong vùng mà cỡ hạt trung bình

bằng ít nhất là một trị số cụ thể, tuy nhiên, độ hao hụt sắt tăng theo sự tăng cỡ hạt trung bình. Dưới sự kích thích hình sin, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm B có độ hao hụt sắt tương đương với độ hao hụt sắt của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm A, nhưng dưới sự kích thích biến tần, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm B cho thấy độ hao hụt sắt thấp hơn các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm A.

Cỡ hạt trung bình của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm B có xu hướng nhỏ hơn cỡ hạt trung bình của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong nhóm A thu được ở cùng một nhiệt độ ủ. Hơn nữa, kiểm tra sự phân bố cỡ hạt bộc lộ rằng nhiều hạt có cỡ hạt là 60 μm hoặc nhỏ hơn có mặt ngay cả khi các hạt thô và các hạt nhỏ đều có mặt trong các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thuộc nhóm B, ví dụ, khi cỡ hạt trung bình xấp xỉ là 100 μm .

Cơ chế chi tiết mà bởi đó độ hao hụt sắt, dưới sự kích thích biến tần, của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thuộc nhóm B thấp hơn độ hao hụt sắt của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thuộc nhóm A hiện chưa được biết rõ. Tuy nhiên, nghiên cứu khác về mối quan hệ giữa sự phân bố cỡ hạt và độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần đã chỉ ra rằng sự có mặt của nhiều hạt nhỏ mà có cỡ hạt là 1/6 độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn làm giảm trị số tối đa của dòng điện sơ cấp dưới sự kích thích biến tần, do đó làm giảm độ hao hụt sắt. Do đó, các tác giả sáng chế đã kết luận rằng độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần có thể được giảm bằng cách kiểm soát cỡ hạt nằm trong khoảng thích hợp.

Sáng chế dựa trên các phát hiện nêu trên, và các đặc tính cơ bản của nó là như sau.

1. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng gồm:

thành phần hóa học gồm (bao gồm), tính theo % khối lượng,

C: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

Si: 4,5 % hoặc nhỏ hơn,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,02 % đến 2,0 %,

Sol.Al: 2,0 % hoặc nhỏ hơn,

P: 0,2 % hoặc nhỏ hơn,

Ti: 0,007 % hoặc nhỏ hơn,

S: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

một trong số hoặc cả hai thành phần As và Pb: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

phần còn lại gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi;

trong đó cỡ hạt trung bình r nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm ,

và

trong đó tỷ lệ diện tích R của tổng diện tích của các hạt có cỡ hạt bằng $1/6$ độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép là 2 % hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình r μm và tỷ lệ diện tích R % thỏa mãn điều kiện được biểu diễn bởi biểu thức (1),

$$R > -2,4 \times r + 200 \quad (1).$$

2. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục 1., trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc cả hai thành phần chứa Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 % và Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %.

3. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục 1. hoặc 2., trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều trong số

REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %,

Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

4. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số

các mục từ 1. đến 3., trong đó độ dày của tấm thép là 0,35 mm hoặc nhỏ hơn.

5. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ 1. đến 4., trong đó tỷ lệ tăng hao hụt sắt W_{inc} % được tính theo $100(W_{inv} - W_{sin})/W_{sin}$ là 100 % hoặc nhỏ hơn, trong đó bằng cách sử dụng mảnh thử nghiệm hình nhân có diện tích mặt cắt ngang của đường đi của từ trường là 70 mm^2 và có sợi dây được quấn trên đó với số vòng quấn sơ cấp là 120 vòng và số vòng quấn thứ cấp là 100 vòng, độ hao hụt sắt W_{inv} được đo khi tiến hành kích thích bằng sự kiểm soát điều biến độ rộng xung bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T, tần số cơ bản là 50 Hz, tần số sóng mang là 1 kHz, và hệ số điều biến là 0,4, và độ hao hụt sắt W_{sin} được đo khi tiến hành kích thích ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T và với dòng điện xoay chiều hình sin ở tần số là 50 Hz.

6. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, phương pháp này bao gồm:

tạo ra phôi thép chứa thành phần hóa học gồm (bao gồm), tính theo % khối lượng,

C: nằm trong khoảng từ 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

Si: 4,5 % hoặc nhỏ hơn,

Mn: 0,02 % đến 2,0 %,

Sol.Al: 2,0 % hoặc nhỏ hơn,

P: 0,2 % hoặc nhỏ hơn,

Ti: 0,007 % hoặc nhỏ hơn,

S: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

một trong số hoặc cả hai As và Pb: tổng là từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

phần còn lại gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi;

cán nóng phôi thép thành tấm thép được cán nóng;

ủ trên đai nóng tấm được cán nóng này mà bao gồm bước xử lý ngâm

ướt thứ nhất được tiến hành với nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 800 °C đến 1100 °C và thời gian ngâm ướt là 5 phút hoặc nhỏ hơn và bước xử lý ngâm ướt thứ hai được tiến hành với nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 1150 °C đến 1200 °C và thời gian ngâm ướt là 5 giây hoặc nhỏ hơn;

cán nguội một lần hoặc cán nguội hai hoặc nhiều lần tấm được cán nóng sau khi được ủ trên đai nóng với bước ủ trung gian ở giữa để thu được tấm thép có độ dày tấm thành phẩm; và

ủ cuối cùng tấm thép sau khi được cán nguội;

trong đó tốc độ làm nóng từ nhiệt độ 400 °C đến 740 °C trong bước ủ cuối cùng nằm trong khoảng từ 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây.

7. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục 6., trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc cả hai thành phần chứa Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 % và Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %.

8. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục 6. hoặc 7., trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều trong số

REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %,

Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

(Hiệu quả có lợi của sáng chế)

Sáng chế có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà có mức độ hao hụt sắt thấp ngay cả dưới sự kích thích biến tần và có thể được sử dụng một cách thích hợp làm lõi sắt của động cơ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Trong các hình vẽ kèm theo:

Fig. 1 minh họa mối quan hệ giữa độ hao hụt sắt dưới sự kích thích

hình sin và cỡ hạt trung bình;

Fig. 2 minh họa mối quan hệ giữa độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần và cỡ hạt trung bình;

Fig. 3 minh họa mối quan hệ giữa tốc độ tăng độ hao hụt sắt W_{inc} và cỡ hạt trung bình; và

Fig. 4 minh họa các khoảng trị số của tỷ lệ diện tích R và cỡ hạt trung bình r mà đạt được độ hao hụt sắt thỏa đáng dưới sự kích thích biến tần.

Mô tả chi tiết sáng chế

Thành phần hóa học

Theo sáng chế, điều quan trọng là tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và phôi thép được sử dụng để sản xuất tấm thép có thành phần hóa học nêu trên. Trước tiên, các lý do cho việc giới hạn thành phần hóa học này sẽ được lý giải. Trong phần mô tả sau, “%” khi đề cập đến các thành phần biểu thị “% theo khối lượng” trừ trường hợp điều khác được lưu ý.

C: 0,005 % hoặc nhỏ hơn

Nếu hàm lượng C vượt quá 0,005 %, độ hao hụt sắt biến chất vì hiện tượng hóa già do từ tính. Hàm lượng C, do đó, được đặt là 0,005 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng C tốt hơn nếu là 0,0020 % hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,0015 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng C, nhưng hàm lượng C tốt hơn nếu là 0,0005 % hoặc lớn hơn, do sự giảm quá mức dẫn đến chi phí tinh luyện gia tăng.

Si: 4,5 % hoặc nhỏ hơn

Si là một thành phần mà có tác dụng làm tăng điện trở suất của thép và giảm độ hao hụt sắt. Do tỷ lệ sự tổn thất dòng điện xoáy cao hơn dưới sự kích thích biến tần so với dưới sự kích thích hình sin, nó được coi là có hiệu quả để thiết lập điện trở suất cao hơn trong nguyên liệu được sử dụng dưới sự kích thích hình sin. Tuy nhiên, nếu hàm lượng Si vượt quá 4,5 %, tấm thép

sẽ bị giòn và có xu hướng gãy trong quá trình cán nguội. Hàm lượng Si do đó, được đặt là 4,5 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Si tốt hơn nếu là 4,0 % hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 3,7 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng Si, nhưng để tăng hiệu quả của việc bổ sung Si, hàm lượng Si tốt hơn nếu là 2,5 % hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa nếu là 3,0 % hoặc lớn hơn.

Mn: nằm trong khoảng từ 0,02 % đến 2,0 %

Mn là một thành phần mà có tác dụng làm giảm tính giòn nóng của thép bằng cách tạo liên kết với S.

Việc làm tăng hàm lượng Mn cũng làm thô hóa các kết tủa như là MnS và có thể làm tăng sự phát triển hạt. Hơn nữa, Mn có tác dụng làm tăng điện trở suất và giảm độ hao hụt sắt. Để đạt được các tác dụng này, hàm lượng Mn được đặt là 0,02 % hoặc lớn hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn nếu là 0,05 % hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa nếu là 0,10 % hoặc lớn hơn, và thậm chí là, tốt hơn nữa nếu là 0,30 % hoặc lớn hơn. Không có sự tăng thêm hiệu quả của việc bổ sung Mn có thể được mong đợi một khi Mn vượt quá 2,0 %, trong khi đó chi phí tăng. Do đó, hàm lượng Mn được đặt là 2,0 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn nếu là 1,8 % hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa nếu là 1,6 % hoặc nhỏ hơn, và thậm chí là, tốt hơn nữa nếu là 1,4 % hoặc nhỏ hơn.

Sol.Al: 2,0 % hoặc nhỏ hơn

Bằng cách tạo kết tủa ở dạng AlN, Al có tác dụng hạn chế sự phát triển hạt ở vùng lân cận để cho phép các hạt nhỏ được duy trì. Hơn nữa, Al có tác dụng làm tăng điện trở suất và giảm độ hao hụt sắt. Tuy nhiên, không có sự tăng thêm các tác dụng của việc bổ sung Al có thể được mong đợi một khi Al vượt quá 2,0 %. Hàm lượng Al, do đó, được đặt là 2,0 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Al tốt hơn nếu là 1,5 % hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 1,2 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng Al, nhưng để tăng điện trở suất, hàm lượng Al tốt hơn nếu là 0,0010 %

hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa nếu là 0,01 % hoặc lớn hơn, và thậm chí là, tốt hơn nữa nếu là 0,10 % hoặc lớn hơn.

P: 0,2 % hoặc nhỏ hơn

P là một thành phần mà có tác dụng thúc đẩy sự phân tách biên hạt trong quá trình ủ trên đai nóng và cải thiện kết cấu của tấm được ủ cuối cùng. Tuy nhiên, không có sự tăng thêm các tác dụng của việc bổ sung P có thể được mong đợi một khi P vượt quá 0,2 %. Hơn nữa, tấm thép sẽ bị giòn và có xu hướng gãy trong quá trình cán nguội. Theo đó, hàm lượng P được đặt là 0,2 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng P tốt hơn nếu là 0,1 % hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,010 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng P, nhưng để tăng tác dụng của việc thêm P, hàm lượng P tốt hơn nếu là 0,001 % hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,004 % hoặc lớn hơn.

Ti: 0,007 % hoặc nhỏ hơn

Ti là thành phần chứa độc tố mà có các tác dụng làm chậm lại sự hồi phục/ tái kết tinh và làm tăng các hạt định hướng {111}, và Ti khiến mật độ từ thông suy giảm. Do các tác động có hại này là đáng kể nếu hàm lượng Ti vượt quá 0,007 %, hàm lượng Ti được đặt là 0,007 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Ti tốt hơn nếu là 0,005 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng Ti, nhưng sự giảm quá mức tăng chi phí nguyên liệu thô. Do vậy, hàm lượng Ti tốt hơn nếu là 0,0001 % hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa nếu là 0,0003 % hoặc lớn hơn, và thậm chí là, tốt hơn nữa nếu là 0,0005 % hoặc lớn hơn.

S: 0,005 % hoặc nhỏ hơn

Nếu hàm lượng S vượt quá 0,005 %, các kết tủa như là MnS tăng và sự phát triển hạt suy giảm. Hàm lượng S do đó, được đặt là 0,005 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng S tốt hơn nếu là 0,003 % hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với hàm lượng S, nhưng việc thiết lập hàm lượng

S là nhỏ hơn 0,0001 % dẫn đến chi phí sản xuất bị tăng. Do vậy, hàm lượng S tốt hơn nếu là 0,0001 % hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa nếu là 0,0005 % hoặc lớn hơn, và thậm chí là, tốt hơn nữa nếu là 0,0010 % hoặc lớn hơn.

Một trong số hoặc cả hai As và Pb: tổng hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

Bằng cách bao gồm ít nhất một trong số các thành phần As và Pb với tổng hàm lượng là 0,0005 % hoặc lớn hơn, các kết tủa như là AlN có thể có thể được tăng lên với As và/ hoặc Pb kết tủa, hoặc hợp chất của chúng, như là hạt nhân, cho phép sự phân bố cỡ hạt được kiểm soát cách thích hợp. Theo đó, tổng hàm lượng của As và Pb được đặt là 0,0005 % hoặc lớn hơn. Tổng hàm lượng của As và Pb tốt hơn nếu là 0,0010 % hoặc lớn hơn. Mặt khác, không có tác dụng hơn nữa có thể đạt được bằng cách bổ sung As và P khi tổng hàm lượng vượt quá 0,005 %, và tấm thép sẽ bị giòn và có xu hướng nứt gãy trong quá trình cán nguội. Theo đó, tổng hàm lượng của As và Pb được đặt là 0,005 % hoặc nhỏ hơn. Tổng hàm lượng của As và Pb tốt hơn nếu là 0,003 % hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,002 % hoặc nhỏ hơn.

Ngoài các thành phần nêu trên, phần còn lại của chế phẩm hóa học của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và phôi thép theo một phương án của sáng chế bao gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Theo một phương án khác, thành phần hóa học có thể còn bao gồm một hoặc cả hai thành phần chứa Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 % và Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %.

Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %

Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %

Sn và Sb là các nguyên tố mà có tác dụng làm giảm các hạt {111} trong kết cấu được kết rắn lại và cải thiện mật độ từ thông. Để đạt được các tác dụng này, hàm lượng của Sn và Sb khi các nguyên tố này được thêm vào được đặt là 0,01 % hoặc lớn hơn đối với mỗi nguyên tố. Hàm lượng của Sn

và Sb tốt hơn nếu là 0,02 % hoặc lớn hơn đối với mỗi nguyên tố. Tuy nhiên, không có hiệu quả nhiều hơn nữa đạt được, khi bổ sung dư thừa. Do đó, khi bổ sung Sn và Sb, hàm lượng của mỗi nguyên tố được đặt là 0,2 % hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng của Sn và Sb tốt hơn nếu là 0,1 % hoặc nhỏ hơn đối với mỗi nguyên tố.

Theo một phương án khác, thành phần hóa học có thể còn bao gồm một hoặc nhiều thành phần trong số REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %

Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %

Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %

Các kim loại đất hiếm (REM), Mg, và Ca là các nguyên tố mà có tác dụng làm thô hóa các sulfua và cải thiện sự tăng trưởng hạt. Để đạt được các tác dụng này khi bổ sung REM, Mg, và Ca, hàm lượng của mỗi nguyên tố này được đặt là 0,0005 % hoặc lớn hơn. Hàm lượng của REM, Mg, và Ca tốt hơn nếu là 0,0010 % hoặc lớn hơn đối với mỗi nguyên tố. Tuy nhiên, do sự bổ sung quá mức thực tế là khiến sự tăng trưởng hạt tồi tệ hơn, hàm lượng REM, Mg, và Ca khi những nguyên tố này được bổ sung vào được đặt là 0,005 % hoặc nhỏ hơn đối với mỗi nguyên tố. Hàm lượng của REM, Mg, và Ca tốt hơn nếu là 0,003 % hoặc nhỏ hơn đối với mỗi nguyên tố.

Kích thước hạt

Hơn nữa, theo sáng chế, quan trọng là cỡ hạt trung bình r là 40 μm hoặc lớn hơn và 120 μm hoặc nhỏ hơn, mà tỷ lệ diện tích R của các hạt mà có cỡ hạt bằng 1/6 độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn (sau đây được gọi đơn giản là “tỷ lệ diện tích R ”) là 2 % hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình r (μm) và tỷ lệ diện tích R (%) thỏa mãn điều kiện được biểu thị bằng biểu thức (1) dưới đây. Kết quả là, độ hao hụt sắt có thể được giảm trong trường hợp sự

kích thích dưới sự kiểm soát PWM bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi. Các lý do cho những giới hạn này được mô tả dưới đây.

$$R > -2,4 \times r + 200 \quad (1)$$

- Cỡ hạt trung bình r : 40 μm đến 120 μm

Như được minh họa trên Fig. 1 và Fig. 2, việc thiết đặt cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm có thể giảm độ hao hụt sắt cả dưới sự kích thích hình sin và dưới sự kích thích biến tần. Để giảm hao hụt sắt hơn nữa, cỡ hạt trung bình r tốt hơn nếu được đặt là 60 μm hoặc lớn hơn. Ngoài ra, để giảm hao hụt sắt hơn nữa, cỡ hạt trung bình r tốt hơn nếu được đặt là 100 μm hoặc nhỏ hơn. Cỡ hạt trung bình r được đề cập đến ở đây là cỡ hạt trung bình được đo ở mặt cắt ngang được tạo ra bằng cách cắt tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo hướng chiều dày, song song với hướng cán, ở tâm theo hướng chiều ngang của tấm này. Cỡ hạt trung bình r có thể được đo nhờ phương pháp được mô tả trong các ví dụ thực hiện sáng chế. Cỡ hạt trung bình của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sử dụng làm lõi sắt của động cơ được coi là cỡ hạt trung bình mà thu được bằng phép đo giống như phép đo nêu trên mà ở trên mặt cắt ngang của mảnh thử nghiệm được cắt ra khỏi phần của lõi sắt.

- Tỷ lệ diện tích R : 2 % hoặc lớn hơn, và $R > -2,4 \times r + 200$

Nếu tỷ lệ diện tích R , mà là tỷ lệ của tổng diện tích của các hạt mà có cỡ hạt là 1/6 độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép, là thấp, thì độ hao hụt sắt tăng được coi là kết quả của dòng điện sơ cấp tăng dưới sự kích thích biến tần. Tỷ lệ diện tích R , do đó, được đặt là 2 % hoặc cao hơn và được đặt để thỏa mãn $R > -2,4 \times r + 200$. Để giảm hơn nữa độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần, tỷ lệ diện tích R (%) và cỡ hạt trung bình r (μm) tốt hơn nữa nếu thỏa mãn mối quan hệ trong biểu thức (2) dưới đây và thậm chí tốt hơn nữa nếu đồng thời thỏa mãn các mối quan hệ trong các biểu thức (3) và (4) dưới đây.

$$-2,4 \times r + 280 > R > -2,4 \times r + 210 \quad (2)$$

$$-2,4 \times r + 260 > R > -2,4 \times r + 230 \quad (3)$$

$$80 \geq R \geq 40 \quad (4)$$

Độ dày tấm

Độ dày tấm: 0,35 mm hoặc nhỏ hơn

Không có giới hạn cụ thể được đặt ra đối với độ dày tấm của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, và tấm thép có thể có độ dày bất kỳ. Tuy nhiên, việc thiết lập độ dày tấm là 0,35 mm hoặc nhỏ hơn có thể giảm sự tổn thất dòng điện xoáy. Do tỷ lệ tổn thất dòng điện xoáy tăng đáng kể từ tác động của các sóng hài hòa dưới sự kích thích biến tần, hiệu quả giảm hao hụt sắt do giảm độ dày của tấm thép tăng. Theo đó, độ dày của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng tốt hơn nếu là 0,35 mm hoặc nhỏ hơn. Độ dày tấm tốt hơn nữa nếu là 0,30 mm hoặc nhỏ hơn. Nếu tấm thép quá mỏng, tuy nhiên, sự tăng hao hụt độ trễ vượt quá sự giảm tổn thất dòng điện xoáy, và độ hao hụt sắt cuối cùng tăng. Theo đó, độ dày của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng tốt hơn nếu là 0,05 mm hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,15 mm hoặc lớn hơn.

Các đặc tính từ

Bằng cách kiểm soát thành phần hóa học và cỡ hạt như đã nêu trên, có thể thu được tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có các đặc tính từ ưu việt dưới sự kích thích biến tần. Không có giới hạn cụ thể được đặt ra đối với các đặc tính từ của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, nhưng tỷ lệ tăng hao hụt sắt W_{inc} (%), được xác định là $100(W_{inv} - W_{sin})/W_{sin}$, tốt hơn nếu là 100 % hoặc nhỏ hơn, trong đó W_{sin} là độ hao hụt sắt dưới sự kích thích hình sin, và W_{inv} là độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần. Nếu W_{inc} lớn, ngay cả khi nguyên liệu với mức độ hao hụt sắt thấp dưới sự kích thích hình sin kết thúc với độ hao hụt tăng khi được sử dụng làm lõi sắt của động cơ được điều khiển bởi bộ chuyển đổi. W_{inc} tốt hơn nữa

nếu là 90 % hoặc nhỏ hơn.

W_{sin} và W_{inv} được xác định như sau.

- W_{sin} : hao hụt sắt được đo khi tiến hành kích thích ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T và với dòng điện xoay chiều hình sin ở tần số là 50 Hz.

- W_{inv} : hao hụt sắt được đo khi tiến hành kích thích bằng sự kiểm soát PWM sử dụng bộ chuyển đổi ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T, tần số cơ bản là 50 Hz, tần số sóng mang là 1 kHz, và hệ số điều biến là 0,4.

Không giống như các đặc tính từ dưới sự kích thích hình sin, các đặc tính từ dưới sự kích thích biến tần chịu ảnh hưởng lớn bởi diện tích mặt cắt ngang của đường đi của từ trường của mảnh thử nghiệm được sử dụng cho phép đo và số vòng quấn. Do đó, W_{sin} và W_{inv} được lấy làm các trị số được đo bằng cách sử dụng mảnh thử nghiệm có diện tích mặt cắt ngang của đường đi của từ trường là 70 mm², số vòng quấn sơ cấp là 120 vòng, và số vòng quấn thứ cấp là 100 vòng. Trong quá trình kiểm soát PWM bằng bộ chuyển đổi, hệ số điều biến và tần số sóng mang chịu ảnh hưởng bởi biên độ và tần số của thành phần hài hòa cao, và độ hao hụt sắt tăng và giảm. Do đó, W_{inv} được đo với các điều kiện kiểm soát biến tần được đặt với hệ số điều biến là 0,4 và tần số sóng mang là 1 kHz.

Tiếp theo, phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một phương án của sáng chế được mô tả. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có thể được tạo ra bằng cách cho phôi thép với thành phần hóa học nêu trên trở thành đối tượng của bước cán nóng, ủ trên đai nóng, cán nguội, và ủ cuối cùng.

Phôi thép

Phôi thép được cán nóng có thể là phôi thép bất kỳ với thành phần hóa học nêu trên. Phôi thép có thể, ví dụ, được sản xuất từ thép nóng chảy, được điều chỉnh theo thành phần hóa học nêu trên, mà sử dụng phương pháp đúc thổi và tạo phôi lớn điển hình hoặc phương pháp đúc liên tục. Ngoài ra,

thép phôi tấm mỏng hoặc thép đúc mỏng hơn có độ dày là 100 mm hoặc nhỏ hơn có thể được tạo ra bằng cách sử dụng phương pháp đúc trực tiếp.. C, Al, B, và Se là các nguyên tố mà có thể bị trộn lẫn một cách dễ dàng trong quá trình luyện thép và do đó, phải được kiểm soát chặt chẽ.

Cán nóng

Tiếp theo, phôi tấm thu được này được trở thành đối tượng của bước cán nóng để thu được tấm được cán nóng. Phôi tấm này có thể được trở thành đối tượng của bước cán nóng sau khi được gia nhiệt hoặc có thể được trở thành đối tượng của bước cán nóng trực tiếp sau khi đúc, mà không cần được gia nhiệt.

Ủ trên đai nóng

Sau bước cán nóng, tấm được cán nóng thu được trở thành đối tượng của bước ủ trên đai nóng. Theo sáng chế, hiện tượng ngâm ướt trong quá trình ủ trên đai nóng được thực hiện theo hai giai đoạn: xử lý ngâm ướt thứ nhất và bước xử lý ngâm ướt thứ hai. Các lý do cho các giới hạn đối với các điều kiện của bước xử lý ngâm ướt thứ nhất và bước xử lý ngâm ướt thứ hai được mô tả dưới đây.

Bước xử lý ngâm ướt thứ nhất

T_1 : nằm trong khoảng từ 800 °C đến 1100 °C

Nếu nhiệt độ ngâm ướt T_1 trong bước xử lý ngâm ướt thứ nhất nhỏ hơn 800 °C, kết cấu đai nóng được tạo ra ở thời điểm mà bước cán nóng đang diễn ra, do đó việc cứng hóa có xu hướng xảy ra. Theo đó, T_1 được đặt là 800 °C hoặc cao hơn. T_1 tốt hơn nếu là 850 °C hoặc cao hơn và tốt hơn nữa nếu là 900 °C hoặc cao hơn. Ngược lại, nếu T_1 vượt quá 1100 °C, chi phí ủ tăng. Do đó, T_1 tốt hơn nếu là 1100 °C hoặc thấp hơn và tốt hơn nữa nếu là 1050 °C hoặc thấp hơn.

t_1 : 5 phút hoặc nhỏ hơn

Thời gian ngâm ướt t_1 trong suốt bước xử lý ngâm ướt thứ nhất được

đặt là 5 phút hoặc nhỏ hơn, do năng suất giảm nếu t_1 dài quá mức. Thời gian ngâm ướt t_1 tốt hơn nếu là 2 phút hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa nếu là 60 giây hoặc nhỏ hơn, thậm chí tốt hơn nữa nếu là 30 giây hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất nếu là 20 giây hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với t_1 , nhưng để thu được các tác động của bước xử lý ngâm ướt thứ nhất đủ, t_1 tốt hơn nếu là 5 giây hoặc lớn hơn.

Bước xử lý ngâm ướt thứ hai

T_2 : nằm trong khoảng từ 1150 °C đến 1200 °C

Nếu nhiệt độ ngâm ướt T_2 trong bước xử lý ngâm ướt thứ hai là 1150 °C hoặc cao hơn, các kết tủa trong thép có thể được hòa tan tạm thời và sau đó được tạo kết tủa mịn trong quá trình giảm nhiệt. Theo đó, T_2 được đặt là 1150 °C hoặc cao hơn. Ngược lại, nếu T_2 vượt quá 1200 °C, chi phí ủ tăng. Theo đó, T_2 được đặt là 1200 °C hoặc nhỏ hơn.

t_2 : 5 giây hoặc nhỏ hơn

Vì sự phân bố không đồng đều của các kết tủa mịn, thời gian ngâm ướt t_2 trong bước xử lý ngâm ướt thứ hai cần phải được rút ngắn. Theo đó, t_2 được đặt là 5 giây hoặc nhỏ hơn. Không có giới hạn dưới được đặt ra cụ thể đối với t_2 , nhưng để thu được hiệu quả thích đáng của bước xử lý ngâm ướt thứ hai, t_2 tốt hơn nếu là 1 giây hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa nếu là 2 giây hoặc lớn hơn. Kết hợp với việc bổ sung các lượng nhỏ As và Pb, việc thực hiện bước xử lý ngâm ướt thứ hai theo cách này khiến sự phân bố các thể kết tủa nhỏ thậm chí là không đồng đều hơn nữa, tạo ra tác động về kích thước hạt không đồng đều sau bước ủ cuối cùng.

Bước ủ trên đai nóng có thể được thực hiện bởi phương pháp bất kỳ. Cụ thể là, bước ủ trên đai nóng có thể được thực hiện bằng cách gia nhiệt tấm được cán nóng đến nhiệt độ ngâm ướt T_1 và giữ ở nhiệt độ T_1 trong thời gian ngâm ướt t_1 , và tiếp theo đó, gia nhiệt tấm được cán nóng đến nhiệt độ ngâm ướt T_2 và giữ ở nhiệt độ T_2 trong thời gian ngâm ướt t_2 . Do hiện tượng ngâm

ướt sử dụng lò ủ theo mẻ có năng suất thấp, bước ủ trên đai nóng tốt hơn nếu được thực hiện bằng cách sử dụng lò ủ liên tục. Tốc độ giảm nhiệt sau bước xử lý ngâm ướt thứ hai không ảnh hưởng đến các đặc tính từ và do đó, không bị giới hạn. Tầm được cán nóng có thể, ví dụ, được giảm nhiệt ở tốc độ giảm nhiệt nằm trong khoảng từ 1 °C/ giây đến 100 °C/ giây.

Cán nguội

Tiếp theo, tấm thép cán nóng đã được ủ được cán nguội để thu được tấm thép được cán nguội với độ dày tấm thành phẩm. Tấm thép cán nóng đã được ủ tốt hơn nếu được trải qua bước tẩy gỉ trước bước cán nguội. Bước cán nguội có thể được thực hiện một lần hoặc hai hoặc nhiều lần với bước ủ trung gian ở giữa các lần. Bước ủ trung gian có thể được thực hiện theo các điều kiện bất kỳ nhưng tốt hơn nếu được thực hiện, ví dụ, sử dụng lò ủ liên tục dưới các điều kiện gồm nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 800 °C đến 1200 °C và thời gian ngâm ướt là 5 phút hoặc nhỏ hơn.

Bước cán nguội có thể được thực hiện theo các điều kiện bất kỳ. Để thúc đẩy sự tạo thành vùng biến dạng và phát triển kết cấu $\langle 250 \rangle \{001\}$, tuy nhiên, ít nhất là nhiệt độ nguyên liệu phía vận chuyển cán cho một lần đi qua tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 100 °C đến 300 °C. Nếu nhiệt độ nguyên liệu phía vận chuyển cán là 100 °C hoặc cao hơn, sự phát triển của các hạt định hướng $\{111\}$ có thể được hạn chế. Nếu nhiệt độ nguyên liệu phía vận chuyển cán là 300 °C hoặc nhỏ hơn, sự ngẫu nhiên hóa của kết cấu này có thể được hạn chế. Nhiệt độ nguyên liệu phía vận chuyển cán có thể được đo bằng nhiệt kế bức xạ hoặc nhiệt kế tiếp xúc.

Sự giảm cán trong bước cán nguội có thể là trị số bất kỳ. Để cải thiện các đặc tính từ, tuy nhiên, sự giảm cán trong bước cán nguội cuối cùng tốt hơn nếu là 80 % hoặc lớn hơn. Việc lập ra sự giảm cán trong bước cán nguội cuối cùng là 80 % hoặc lớn hơn làm tăng độ sắc nhọn của kết cấu và có thể cải thiện hơn nữa các đặc tính từ. Không có giới hạn trên được đặt ra một

cách cụ thể đối với sự giảm cán, nhưng chi phí giảm cán tăng đáng kể nếu sự giảm cán vượt quá 98 %. Do đó, sự giảm cán tốt hơn nếu là 98 % hoặc nhỏ hơn. Sự giảm cán tốt hơn nữa nếu nằm trong khoảng từ 85 % đến 95 %. Ở đây, “bước cán nguội cuối cùng” để chỉ trường hợp cán nguội duy nhất khi bước cán nguội được thực hiện một lần và để chỉ trường hợp cán nguội cuối cùng khi bước cán nguội được thực hiện hai hoặc nhiều lần.

Không có giới hạn cụ thể được đặt ra đối với độ dày tấm thành phẩm, mà có thể giống như độ dày tấm của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng nêu trên. Để tăng sự giảm cán, độ dày tấm thành phẩm tốt hơn nếu là 0,35 mm hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa nếu là 0,30 mm hoặc nhỏ hơn.

Ủ cuối cùng

Sau bước cán nguội cuối cùng, bước ủ cuối cùng được thực hiện. Không có giới hạn cụ thể được đặt ra đối với thời gian ngâm ướt trong suốt bước ủ cuối cùng. Nó đủ để điều chỉnh thời gian ngâm ướt để đạt được cỡ hạt mong muốn. Nhiệt độ ngâm ướt có thể, ví dụ, nằm trong khoảng từ 700 °C đến 1100 °C. Không có giới hạn được đặt ra cụ thể đối với thời gian ngâm ướt trong bước ủ cuối cùng. Nó đủ để thực hiện bước ủ cuối cùng dài đủ để tái kết tinh diễn ra. Thời gian ngâm có thể là, ví dụ, 5 giây hoặc dài hơn. Tuy nhiên, nếu thời gian ngâm dài quá mức, không đạt được hiệu quả thêm nữa, và năng suất giảm. Do đó, thời gian ngâm tốt hơn nếu là 120 giây hoặc ít hơn.

Tốc độ gia nhiệt: 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây

Trong bước ủ cuối cùng, tốc độ gia nhiệt từ 400 °C đến 740 °C được đặt là nằm trong khoảng từ 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây. Thiết lập tốc độ gia nhiệt nằm trong khoảng từ 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây cho phép cỡ hạt được đặt với sự phân bố thích hợp. Nếu tốc độ gia nhiệt nhỏ hơn 30 °C/ giây, phân bố cỡ hạt trở nên nhọn, và số lượng hạt mà có kích cỡ có lợi liên quan đến hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tàn giảm đột ngột. Ngược lại, nếu tốc

độ gia nhiệt cao hơn 300 °C/ giây, không thu được hiệu quả thêm của việc giữ chắc các hạt nhỏ, và sự cong vênh xuất hiện ở hình dạng tấm. Chi phí cũng tăng, do một lượng lớn năng lượng sẽ cần đến. Tốc độ gia nhiệt tốt hơn nếu là 50 °C/ giây hoặc cao hơn. Ngoài ra, tốc độ gia nhiệt tốt hơn nếu là 200 °C/ giây hoặc nhỏ hơn. Tốc độ gia nhiệt để chỉ tốc độ gia nhiệt trung bình từ nhiệt độ 400 °C đến 740 °C. Khi nhiệt độ ngâm ướt ít hơn 740 °C, tốc độ gia nhiệt trung bình từ nhiệt độ 400 °C lên đến nhiệt độ ngâm ướt được coi là tốc độ gia nhiệt.

Sau bước ủ cuối cùng, việc bọc cách điện được thực hiện nếu cần thiết, nhờ đó thu được tấm thành phẩm. Loại bọc cách điện bất kỳ có thể được sử dụng theo mục đích, như là chất bọc vô cơ, chất bọc hữu cơ, hoặc chất bọc trộn vô cơ-hữu cơ

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Trong phòng thí nghiệm, thép mà có thành phần hóa học trong bảng 1 được nung chảy và được đúc để thu được vật liệu thép thô (phôi tấm). Sau đó, vật liệu thép thô được trải qua liên tiếp các bước xử lý từ (1) đến (5) dưới đây để tạo ra các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

- (1) Cán nóng đến độ dày tấm là 2,0 mm,
- (2) Ủ trên đai nóng,
- (3) Tẩy gỉ,
- (4) Cán nguội, và
- (5) Ủ sau cùng ở nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 850 °C đến 1100 °C và thời gian ngâm ướt là 10 giây.

Trong quá trình (2) ủ trên đai nóng, bước xử lý ngâm ướt hai giai đoạn bao gồm (2-1) và (2-2) dưới đây được thực hiện.

- (2-1) Xử lý ngâm ướt thứ nhất với nhiệt độ ngâm ướt là T_1 (°C) và thời

gian ngâm ướt là t_1 (giây), và

(2-2) Xử lý ngâm ướt thứ hai với nhiệt độ ngâm ướt là T_2 ($^{\circ}\text{C}$) và thời gian ngâm ướt là t_2 (giây).

Bảng 2 liệt kê các điều kiện xử lý trong mỗi quá trình. Vì mục đích so sánh, bước xử lý ngâm ướt thứ hai không được thực hiện trong một số ví dụ. Khi không thực hiện bước xử lý ngâm ướt thứ hai, bước giảm nhiệt được thực hiện sau bước xử lý ngâm ướt thứ nhất.

Độ dày tấm sau cùng trong quá trình cán nguội được đặt là 0,175 mm, 0,25 mm, hoặc 0,70 mm. Trong bước ủ cuối cùng, gia nhiệt lên đến 740°C được thực hiện bằng thiết bị gia nhiệt cảm ứng, và kết quả đầu ra được kiểm soát, sao cho tốc độ gia nhiệt là $20^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ từ nhiệt độ phòng đến 400°C và nằm trong khoảng từ $20^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ đến $200^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ từ nhiệt độ 400°C đến 740°C . Việc gia nhiệt từ 740°C trở lên được thực hiện trong lò nung điện, và tốc độ gia nhiệt trung bình lên đến nhiệt độ ngâm ướt được đặt là $10^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Bảng 2 liệt kê các điều kiện ủ cuối cùng của mỗi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng. Áp suất môi trường không khí của bước ủ cuối cùng là $\text{H}_2:\text{N}_2 = 2:8$, và điểm đục là -20°C ($P_{\text{H}_2\text{O}}/P_{\text{H}_2} = 0,006$).

Cỡ hạt và các đặc tính từ của mỗi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (các tấm đã được ủ cuối cùng) thu được theo cách trên được đánh giá bằng phương pháp sau.

Cỡ hạt trung bình r

Cỡ hạt trung bình r của mỗi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được, được đo. Phép đo được thực hiện ở mặt cắt ngang được tạo ra bằng cách cắt tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo hướng chiều dày, song song với hướng cán, ở trung tâm theo hướng chiều ngang của tấm này. Mặt cắt ngang đã được cắt được đánh bóng, tạo rãnh khắc, và tiếp theo đó, được quan sát dưới kính hiển vi quang học. Kích cỡ của 1000 hạt hoặc lớn hơn được đo bằng phương pháp phân đoạn đường để tính toán cỡ hạt trung

bình r. Bảng 2 liệt kê các giá trị thu được.

Tỷ lệ diện tích R

Bằng phương pháp giống như phương pháp đo cỡ hạt trung bình r, mặt cắt ngang của tấm thép được quan sát, và tỷ lệ diện tích R của tổng diện tích của các hạt có cỡ hạt bằng 1/6 độ dày tấm hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép được tính toán. Bảng 2 liệt kê các giá trị thu được.

Các đặc tính từ

Sử dụng các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được, các mảnh thử nghiệm hình nhẫn để đánh giá các đặc tính từ được tạo ra bởi quy trình sau. Đầu tiên, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được xử lý bằng cách cắt dây thành các mẫu hình nhẫn với đường kính ngoài là 110 mm và đường kính trong là 90 mm. Các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng đã cắt được xếp chồng lên nhau đến độ dày xếp chồng là 7,0 mm, và bước quấn sơ cấp với 120 vòng và bước quấn thứ cấp với 100 vòng được quấn xung quanh chồng thép này, tạo ra mảnh thử nghiệm hình nhẫn (diện tích mặt cắt ngang đường từ trường là 70 mm²).

Tiếp theo, các đặc tính từ của mảnh thử nghiệm hình nhẫn này được đánh giá theo hai điều kiện: kích thích hình sin và kích thích biến tần. Bảng 2 liệt kê các trị số sau mà thu được bằng phép đo này.

- W_{sin} : hao hụt sắt được đo khi tiến hành kích thích ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T và với dòng điện xoay chiều hình sin ở tần số là 50 Hz.

- W_{inv} : hao hụt sắt được đo khi tiến hành kích thích bằng sự kiểm soát PWM sử dụng bộ chuyển đổi ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T, tần số cơ bản là 50 Hz, tần số sóng mang là 1 kHz, và hệ số điều biến là 0,4.

- Tốc độ tăng hao hụt sắt $W_{inc} (\%) = 100(W_{inv} - W_{sin})/W_{sin}$

Bảng 1

ID của mẫu thép	Thành phần hóa học (% theo khối lượng)*									Lưu ý
	C	Si	M n	Sol. Al	P	Ti	S	As	Pb	
C	0,00 10	3, 7	0, 8	1,4	0,00 5	0,00 2	0,00 1	0,00 09	0,00 09	Điều chỉnh thép
D	0,00 09	3, 2	1, 6	0,5	0,00 6	0,00 2	0,00 1	0,00 09	0,00 09	Điều chỉnh thép
E	0,00 07	3, 3	0, 1	0,001	0,00 5	0,00 2	0,00 1	0,00 09	0,00 09	Điều chỉnh thép

*Phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi

Bảng 2

S T T	ID của mẫu thép	Điều kiện sản xuất				Các kết quả đánh giá						Lưu ý			
		Độ dày tâm thành phẩm (mm)	Ủ trên đai nóng			Ủ cuối cùng		r (μm)	R (%)	-2,4 × r + 200	W _{inv} (W/kg)		W _{inc} (%)		
			T ₁ (°C)	t ₁ (s)	T ₂ °C)	t ₂ (s)	Nhiệt t độ ngâm ướt (°C)							Tốc độ gia nhiệt * (°C/s)	
1	C	0,7	1000	10	1150	3	950	150	80	85	8	7,01	12,94	84,59	Ví dụ
2	C	0,7	1000	10	1150	3	950	200	80	91	8	7,13	13,86	94,39	Ví dụ
3	C	0,7	1000	10	1150	3	1100	150	110	10	-64	6,88	12,98	88,66	Ví dụ
4	C	0,7	1000	10	1150	3	1100	200	110	20	-64	6,92	13,66	97,40	Ví dụ
5	D	0,175	1000	5	1150	3	950	100	91	4	-18,4	1,92	3,22	67,71	Ví dụ
6	D	0,25	1000	5	1150	3	950	100	91	12	-18,4	2,22	3,92	76,58	Ví dụ
7	D	0,7	1000	5	1150	3	950	100	90	52	-16	7,23	12,88	78,15	Ví dụ
8	E	0,25	1000	30	1150	3	900	20	63	45	48,8	2,46	5,11	107,72	Ví dụ so sánh
9	E	0,25	1000	30	1150	3	900	50	62	55	51,2	2,55	4,36	70,98	Ví dụ
10	E	0,25	1000	30	1150	3	900	100	63	67	48,8	2,62	3,88	48,09	Ví dụ
11	E	0,25	1000	30	1150	3	850	20	50	75	80	2,61	5,32	103,83	Ví dụ so sánh
12	E	0,25	1000	30	1150	3	850	50	50	84	80	2,68	4,26	58,96	Ví dụ
13	E	0,25	1000	30	1150	3	850	100	50	92	80	2,69	3,98	47,96	Ví dụ
14	D	0,25	1000	60	1150	3	950	100	92	9	-20,8	2,19	3,95	80,37	Ví dụ
15	D	0,25	900	60	1150	3	950	100	89	10	-13,6	2,22	3,86	73,87	Ví dụ
16	D	0,25	1050	60	1150	3	950	100	92	11	-20,8	2,17	3,85	77,42	Ví dụ
17	D	0,25	1000	10	1200	3	950	100	97	23	-32,8	2,11	3,91	85,31	Ví dụ
18	D	0,25	1000	10	1150	5	950	100	93	6	-23,2	2,14	3,94	84,11	Ví dụ
19	D	0,25	1150	10	-	-	950	100	94	1	-25,6	2,31	5,12	121,65	Ví dụ so sánh
20	D	0,25	1000	10	-	-	950	100	90	0	-16	2,15	5,06	135,35	Ví dụ so sánh
21	D	0,25	1000	10	1125	3	950	100	89	1	-13,6	2,21	5,21	135,75	Ví dụ so sánh
22	D	0,25	1000	10	1150	8	950	100	76	15	17,6	2,46	4,97	102,03	Ví dụ so sánh

*Tốc độ gia nhiệt trung bình từ nhiệt độ 400 $^{\circ}$ C đến 740 $^{\circ}$ C

Rõ ràng từ các kết quả trong Bảng 2, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà thỏa mãn các điều kiện của sáng chế có mức độ hao hụt sắt thấp dưới sự kích thích biến tần. Ngược lại, trong các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng của các ví dụ so sánh mà không thỏa mãn các điều kiện theo sáng chế, tốc độ tăng độ hao hụt sắt W_{inc} vượt quá 100 %, và độ hao hụt sắt suy giảm dưới sự kích thích biến tần.

Ví dụ 2

Trong phòng thí nghiệm, thép mà có thành phần hóa học trong bảng 3 được nung chảy và được đúc để thu được vật liệu thép thô. Sau đó, vật liệu thép thô được trải qua liên tiếp các bước xử lý từ (1) đến (5) dưới đây để tạo ra các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

- (1) Cán nóng đến độ dày tấm là 1,8 mm,
- (2) Ủ trên đai nóng,
- (3) Tẩy gỉ,
- (4) Cán nguội đến độ dày tấm cuối cùng là 0,35 mm, và
- (5) Ủ sau cùng ở nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 900 °C đến 1000 °C và thời gian ngâm ướt là 10 giây.

Trong quá trình (2) ủ trên đai nóng, bước xử lý ngâm ướt hai giai đoạn bao gồm (2-1) và (2-2) dưới đây được thực hiện.

(2-1) Xử lý ngâm ướt thứ nhất với nhiệt độ ngâm ướt là 1000 °C và thời gian ngâm ướt là 10 giây, và

(2-2) Xử lý ngâm ướt thứ hai với nhiệt độ ngâm ướt là 1150 °C và thời gian ngâm ướt là 3 giây.

Trong bước ủ cuối cùng, gia nhiệt lên đến 740 °C được thực hiện với thiết bị gia nhiệt cảm ứng, và kết quả đầu ra được kiểm soát sao cho tốc độ gia nhiệt là 20 °C/ giây từ nhiệt độ phòng đến 400 °C và là 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây từ 400 °C đến 740 °C. Các điều kiện khác giống như các điều

kiện trong ví dụ 1. Cỡ hạt trung bình và các đặc tính từ của mỗi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được, được đánh giá bằng các phương pháp giống như trong ví dụ 1. Bảng 4 liệt kê các điều kiện ủ cuối cùng và sự đánh giá các kết quả của mỗi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

Bảng 3

ID của mẫu thép	Thành phần hóa học (% theo khối lượng)*														Lưu ý
	C	Si	Mn	Sol. Al	P	Ti	S	As	Pb	Sn	Sb	REM	Mg	Ca	
F	0,0009	3,2	0,5	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0007	0,0006	0,02	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép
G	0,0009	3,2	0,49	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0008	0,001	0,0001	0,015	0,0001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép
H	0,0009	3,2	0,48	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0007	0,0007	0,0001	0,1	0,0001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép
I	0,0009	3,2	0,5	0,21	0,005	0,002	0,001	0,004	0,0007	0,0001	0,0001	0,001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép
J	0,0009	3,2	0,49	0,2	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,004	0,0001	Điều chỉnh thép
K	0,0009	3,2	0,52	0,21	0,005	0,002	0,001	0,0009	0,0009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007	0,0001	Điều chỉnh thép
L	0,0009	3,2	0,5	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0007	0,0007	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	Điều chỉnh thép
M	0,0009	3,2	0,52	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0007	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép
N	0,0009	3,2	0,52	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Ví dụ so sánh
O	0,0009	3,2	0,52	0,19	0,005	0,002	0,001	0,0001	0,0007	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Điều chỉnh thép

* Phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi

Bảng 4

ST T	ID mẫu thép	Điều kiện sản xuất		Các kết quả đánh giá						Lưu ý
		Ủ cuối cùng		r (μm)	R (%)	-2,4 × r + 200	W _{sin} (W/kg)	W _{inv} (W/kg)	W _{inc} (%)	
		Nhiệt độ ngâm ướt (°C)	Tốc độ gia nhiệt* (°C/s)							
23	F	1000	30	90	22	-16	2,35	4,32	83,83	Ví dụ
24	G	1000	30	92	24	-20,8	2,32	4,25	83,19	Ví dụ
25	H	1000	30	90	21	-16	2,29	4,22	84,28	Ví dụ
26	I	1000	30	91	23	-18,4	2,21	4,08	84,62	Ví dụ
27	J	1000	30	91	22	-18,4	2,35	4,33	84,26	Ví dụ
28	K	1000	30	92	22	-20,8	2,26	4,15	83,63	Ví dụ
29	L	1000	30	91	19	-18,4	2,35	4,42	88,09	Ví dụ
30	M	1000	30	90	15	-16	2,36	4,44	88,14	Ví dụ
31	N	1000	30	92	5	-20,8	2,31	5,11	121,21	Ví dụ so sánh
32	O	950	30	80	15	8	2,35	4,59	95,32	Ví dụ
33	O	950	50	80	35	8	2,34	4,29	83,33	Ví dụ
34	O	950	100	81	50	5,6	2,37	3,98	67,93	Ví dụ
35	O	950	200	79	65	10,4	2,31	3,81	64,94	Ví dụ
36	O	950	300	80	80	8	2,43	4,49	84,77	Ví dụ
37	O	900	100	63	52	48,8	2,51	4,61	83,67	Ví dụ
38	O	925	100	69	52	34,4	2,48	4,35	75,40	Ví dụ
39	O	950	100	76	50	17,6	2,42	3,93	62,40	Ví dụ

40	O	975	100	85	50	-4	2,4	3,81	58,75	Ví dụ
41	O	1000	100	90	48	-16	2,37	4,31	81,86	Ví dụ
42	O	935	100	70	85	32	2,51	4,47	78,09	Ví dụ

* Tốc độ gia nhiệt trung bình từ nhiệt độ 400 °C đến 740 °C

Rõ ràng từ các kết quả trong Bảng 4, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà thỏa mãn các điều kiện của sáng chế có mức độ hao hụt sắt thấp dưới sự kích thích biến tần. Ngược lại, trong các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng của các ví dụ so sánh mà không thỏa mãn các điều kiện theo sáng chế, tốc độ tăng độ hao hụt sắt W_{inc} vượt quá 100 %, và độ hao hụt sắt biến chất dưới sự kích thích biến tần.

Trong Fig. 4, kết quả của cỡ hạt trung bình r được dựng đồ thị trên trục hoành và kết quả của tỷ lệ diện tích R trên trục tung cho tất cả các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, trong ví dụ 1 và ví dụ 2, mà để thành phần hóa học thỏa mãn các điều kiện của sáng chế. Trong Fig. 4, độ hao hụt sắt dưới sự kích thích biến tần W_{inv} trong các ví dụ thực hiện sáng chế và các ví dụ so sánh được phân loại trên cơ sở các tiêu chí đánh giá trong Bảng 5 và được dựng đồ thị mà sử dụng các ký hiệu tương ứng với phân loại. Do là rõ ràng từ hình vẽ này, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng với mức độ hao hụt sắt thấp dưới sự kích thích của bộ chuyển đổi có thể thu được bằng cách kiểm soát R và r để nằm bên trong các khoảng thích hợp.

Bảng 5

Ký hiệu	Đánh giá	Hao hụt sắt trong điều kiện kích thích biến tần: W_{inv}			
		Độ dày tấm là 0,7 mm	Độ dày tấm là 0,35 mm	Độ dày tấm là 0,25 mm	Độ dày tấm là 0,175 mm
Vòng tròn kép	Vùng có độ hao hụt sắt cực thấp	12 W/kg hoặc thấp hơn	4,0 W/kg hoặc thấp hơn	3,5 W/kg hoặc thấp hơn	3,0 W/kg hoặc thấp hơn
Vòng tròn	Vùng có độ hao hụt sắt đặc biệt thấp	hơn 12 W/kg đến 13 W/kg	hơn 4,0 W/kg đến 4,5 W/kg	hơn 3,5 W/kg đến 4,0 W/kg	3,0 W/kg đến 3,5 W/kg
Tam giác	Vùng có độ hao hụt sắt thấp	hơn 13 W/kg đến 14 W/kg	hơn 4,5 W/kg đến 5,0 W/kg	hơn 4,0 W/kg đến 4,5 W/kg	3,5 W/kg đến 4,0 W/kg
X	Vùng có độ hao hụt sắt bị đáng kể	hơn 14 W/kg	hơn 5,0 W/kg	hơn 4,5 W/kg	hơn 4,0 W/kg

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bao gồm,

thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng:

C: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

Si: 4,5 % hoặc nhỏ hơn,

Mn: 0,02 % đến 2,0 %,

Sol.Al: 2,0 % hoặc nhỏ hơn,

P: 0,2 % hoặc nhỏ hơn,

Ti: 0,007 % hoặc nhỏ hơn,

S: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

một hoặc cả hai thành phần trong số As và Pb: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

phần còn lại gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi;

trong đó cỡ hạt trung bình r nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm , và

trong đó tỷ lệ diện tích R của tổng diện tích của các hạt có cỡ hạt bằng $1/6$ độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép là 2 % hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình r μm và tỷ lệ diện tích R % thỏa mãn điều kiện được biểu diễn bởi biểu thức (1),

$$R > -2,4 \times r + 200 \quad (1).$$

2. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1, trong đó thành phần hóa học của tấm thép này còn bao gồm, tính theo % khối lượng: một hoặc cả hai thành phần gồm Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 % và Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %.

3. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, trong đó thành phần hóa học của tấm thép này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều thành phần trong :

REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %,

Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

4. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó độ dày của tấm thép là 0,35 mm hoặc nhỏ hơn.
5. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó tỷ lệ tăng hao hụt sắt W_{inc} % được tính toán là $100(W_{inv} - W_{sin})/W_{sin}$ là 100 % hoặc nhỏ hơn, trong đó bằng cách sử dụng mảnh thử nghiệm hình nhẫn có diện tích mặt cắt ngang đường từ trường là 70 mm² và có sợi dây được quấn trên đó với số vòng quấn sơ cấp là 120 vòng và số vòng quấn thứ cấp là 100 vòng, độ hao hụt sắt W_{inv} được đo khi tiến hành kích thích bằng sự kiểm soát điều biến độ rộng xung bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T, tần số cơ bản là 50 Hz, tần số sóng mang là 1 kHz, và hệ số điều biến là 0,4, và độ hao hụt sắt W_{sin} được đo khi tiến hành kích thích ở mật độ từ thông tối đa là 1,5 T và với dòng điện xoay chiều hình sin ở tần số là 50 Hz.
6. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, phương pháp này bao gồm các bước:

tạo ra phôi thép chứa thành phần hóa học bao gồm, tính theo % khối lượng:

C: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

Si: 4,5 % hoặc nhỏ hơn,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,02 % đến 2,0 %,

Sol.Al: 2,0 % hoặc nhỏ hơn,

P: 0,2 % hoặc nhỏ hơn,

Ti: 0,007 % hoặc nhỏ hơn,

S: 0,005 % hoặc nhỏ hơn,

một hoặc cả hai trong số As và Pb: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

phần còn lại gồm Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi;

cán nóng thổi thép thành tấm thép được cán nóng;

ủ trên đai nóng tấm được cán nóng này mà bao gồm bước xử lý ngâm ướt thứ nhất được tiến hành với nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 800 °C đến 1100 °C và thời gian ngâm ướt là 5 phút hoặc nhỏ hơn và bước xử lý ngâm ướt thứ hai được tiến hành với nhiệt độ ngâm ướt nằm trong khoảng từ 1150 °C đến 1200 °C và thời gian ngâm ướt là 5 giây hoặc nhỏ hơn;

cán nguội một lần hoặc cán nguội hai hoặc nhiều lần tấm được cán nóng sau khi được ủ trên đai nóng với bước ủ trung gian ở giữa để thu được tấm thép có độ dày tấm thành phẩm; và

ủ cuối cùng tấm thép sau khi được cán nguội;

trong đó tốc độ làm nóng từ nhiệt độ 400 °C đến 740 °C trong bước ủ cuối cùng nằm trong khoảng từ 30 °C/ giây đến 300 °C/ giây.

trong đó cỡ hạt trung bình r của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng nằm trong khoảng từ 40 μm đến 120 μm , và

trong đó tỷ lệ diện tích R của tổng diện tích của các hạt có cỡ hạt bằng $1/6$ độ dày của tấm thép hoặc nhỏ hơn với diện tích mặt cắt ngang của tấm thép là 2 % hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình r μm và tỷ lệ diện tích R % thỏa mãn điều kiện được biểu diễn bởi biểu thức (1),

$$R > -2,4 \times r + 200$$

7. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 6, trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc cả hai thành phần chứa Sn: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 % và Sb: nằm trong khoảng từ 0,01 % đến 0,2 %.

8. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 6 hoặc 7, trong đó thành phần hóa học này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều trong số

REM: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %,

Mg: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %, và

Ca: nằm trong khoảng từ 0,0005 % đến 0,005 %.

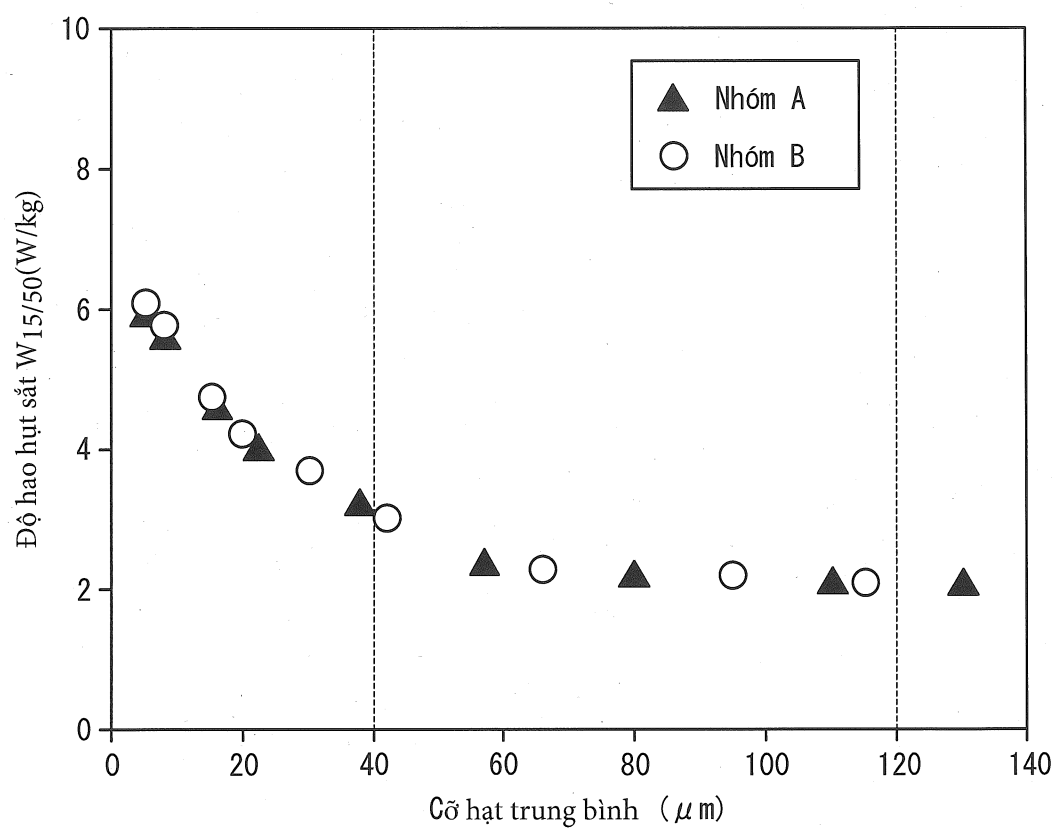
FIG. 1

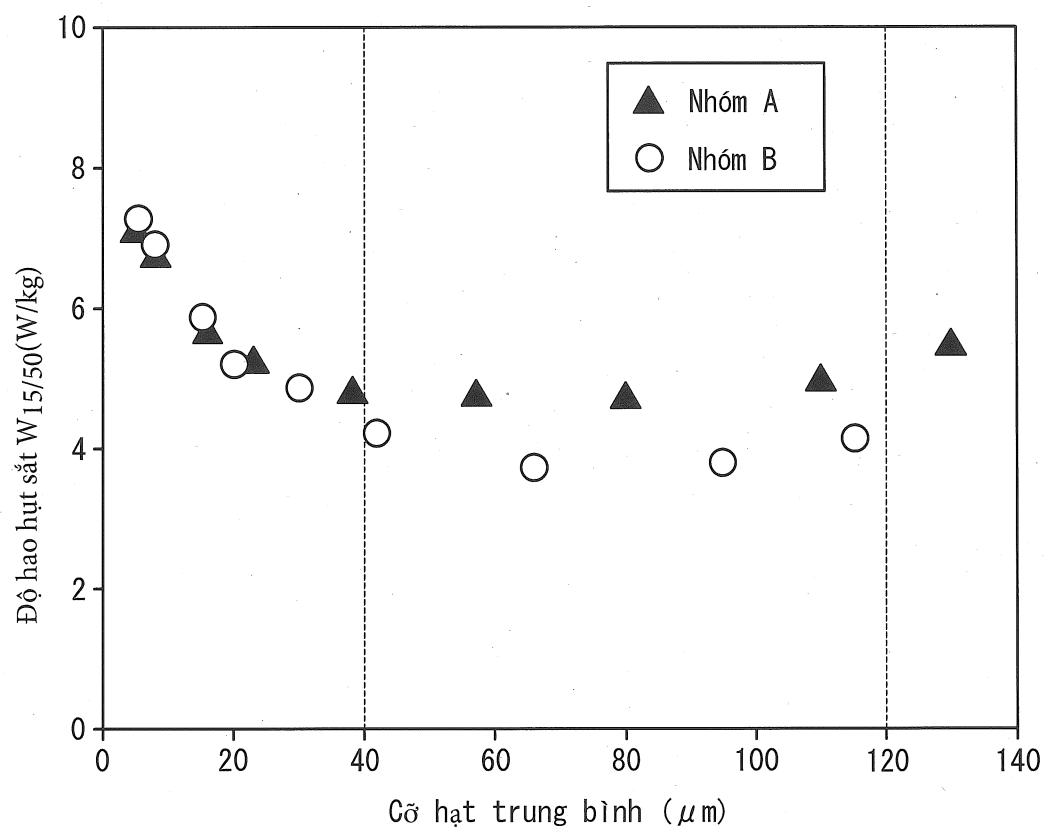
FIG. 2

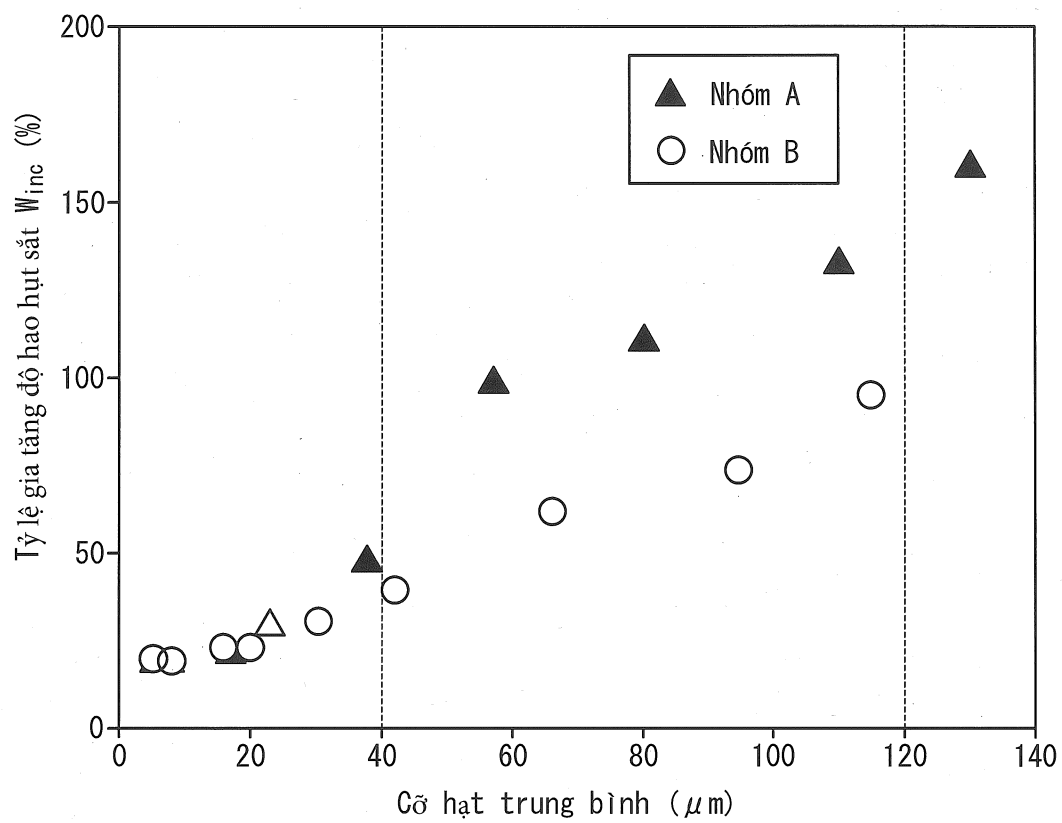
FIG. 3

FIG. 4