



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

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

(11)



1-0052806

(51)^{2006.01} C21C 7/04; B22D 11/10; H01F 1/147; (13) B
C22C 38/00; C22C 38/14; B22D 11/00;
C21D 8/12

(21) 1-2023-04125

(22) 27/11/2020

(86) PCT/JP2020/044202 27/11/2020

(87) WO 2022/113263 A1 02/06/2022

(45) 27/10/2025 451

(43) 25/10/2023 427A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008071 Japan

(72) ARITA, Yoshihiro (JP); MATSUI, Shinichi (JP).

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

(54) TẤM THÉP ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG, PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT TẤM THÉP NÀY VÀ TẤM THÉP CÁN NÓNG

(21) 1-2023-04125

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%, Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%, sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, và O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%, và chứa các một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%, với phần còn lại là Fe và các tạp chất. Mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/cm², và mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự thỏa mãn biểu thức $n/N \geq 0,01$.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

[0001]

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng, phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng, và tấm thép cán nóng có vai trò là vật liệu ban đầu cho tấm thép điện không định hướng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

[0002]

Trong những năm gần đây, do nhu cầu ngày càng tăng trên toàn cầu về tiết kiệm năng lượng trong thiết bị điện, còn có nhu cầu về các đặc tính hiệu suất cao hơn đối với các tấm thép điện không định hướng được sử dụng làm vật liệu lõi sắt của máy quay. Cụ thể, trong số các động cơ của các sản phẩm điện, các mô hình được cho là các mô hình có hiệu quả cao đang chấp nhận ngày càng nhiều vật liệu ban đầu cao cấp trong đó các hàm lượng của Si và Al được tăng lên để tăng điện trở suất và kích thước hạt tinh thể cũng được làm cho lớn hơn. Mặt khác, trong lúc việc cải thiện hiệu suất còn được yêu cầu đối với các động cơ của các mô hình đa năng, thực tế là, vì hạn chế nghiêm ngặt về chi phí, rất khó chuyển các vật liệu của các mô hình như vậy sang loại các vật liệu ban đầu cao cấp được sử dụng cho các mô hình có hiệu suất cao.

[0003]

Tấm thép cần thiết cho mô hình đa năng là vật liệu ban đầu có hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 1,5% trong đó sự phát triển hạt được làm cho xảy ra trong quá trình ủ giảm ứng suất được thực hiện sau khi dập lõi động cơ, do đó cải thiện đáng kể tổn hao do sắt. Để thúc đẩy sự phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất, có hiệu quả là làm giảm lượng của các chất kết tủa chắc chắn được trộn trong thép, hoặc làm cho các chất kết tủa này trở nên vô hại.

[0004]

Chẳng hạn, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ phương pháp sản xuất tấm sắt kỹ thuật điện có các đặc tính từ vượt trội, khác biệt ở chỗ phương pháp này bao gồm việc cho tấm cán nóng thu được bằng cách cán nóng phối tấm thép gồm C: $\leq 0,065\%$, Si: $\leq 2,0\%$, Al: $\leq 0,10\%$, O: $\leq 0,020\%$, và B/N: nằm trong khoảng từ 0,50 đến 2,50, với phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi trải qua bước cán nguội một lần hoặc bước cán nguội hai hoặc nhiều lần với bước ủ trung gian giữa các lần cán này để thu được kích thước cuối cùng, và sau đó thực hiện bước ủ tiếp theo.

[0005]

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ tấm thép điện không định hướng có tổn hao do sắt thấp, tấm thép điện không định hướng này chứa C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,015%, Si: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,0%, sol. Al: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,005%, Mn: nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,008%, N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, và T. O: nhỏ hơn hoặc bằng 0,02%, được đặc trưng bởi tỷ lệ trọng lượng của MnO so với tổng trọng lượng của SiO₂, MnO, và Al₂O₃ là ba loại chất lẫn trong thép nhỏ hơn hoặc bằng 15%, kích thước hạt tinh thể trung bình lớn hơn hoặc bằng 50 μm có thể đạt được sau khi ủ từ tính.

[0006]

Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ tấm thép điện không định hướng là có các đặc tính từ vượt trội, tấm thép điện không định hướng này gồm, theo % trọng lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,01%, Si: lớn hơn hoặc bằng 0,1% đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,0%, Mn: lớn hơn hoặc bằng 0,1% đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, và, theo hệ khử oxy của thép, Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,1% hoặc Zr: nhỏ hơn hoặc bằng 0,05%, với phần còn lại là Fe và các nguyên tố tạp chất không thể tránh khỏi, khác biệt ở chỗ số lượng của các hạt oxit có kích thước với đường kính nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 0,5 μm đến nhỏ hơn hoặc bằng 5 μm trong thép là lớn hơn hoặc bằng 1000 hạt đến nhỏ hơn hoặc bằng 50000 hạt trên mỗi cm^2 .

[0007]

Tài liệu sáng chế 4 bộc lộ tấm thép điện không định hướng tạo nên bởi thép chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, Si: nằm trong khoảng từ 0,05 đến 3,5%, Mn: nhỏ hơn hoặc bằng 3,0%, Al: nhỏ hơn hoặc bằng 3,0%, S: nhỏ hơn hoặc bằng

0,008%, P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,15%, N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, và Cu: nhỏ hơn hoặc bằng 0,2%, và thỏa mãn hệ thức (S dưới dạng Cu sulfua)/(S được chứa trong thép) $\leq 0,2$, hoặc (S dưới dạng Cu sulfua)/(S dưới dạng Mn sulfua) $\leq 0,2$, và hơn nữa, mật độ số lượng của các sulfua chứa Cu và có đường kính nằm trong khoảng từ 0,03 đến 0,20 μm trong tấm thép là nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 hạt/ μm^3 .

[0008]

Tài liệu sáng chế 5 bộc lộ tấm thép điện không định hướng gồm, theo % khối lượng, Si: nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, Mn: lớn hơn hoặc bằng 0,4% đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%, sol. Al: lớn hơn hoặc bằng 0,01% đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,04%, Ti: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%, N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, S: lớn hơn hoặc bằng 0,0010% đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, và B với lượng sao cho B/N là từ lớn hơn hoặc bằng 0,5 đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5, với phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi, trong đó, trong số các sulfua chứa Mn, tỷ lệ số lượng của các sulfua như vậy mà trải qua sự kết tủa hỗn hợp với các chất kết tủa B là lớn hơn hoặc bằng 10%, tổng mật độ phân bố của MnS, Cu₂S, và các sulfua phức hợp của chúng nhỏ hơn hoặc bằng $3,0 \times 10^5$ hạt/mm², và mật độ phân bố của các chất kết tủa Ti có đường kính nhỏ hơn 0,1 μm là nhỏ hơn hoặc bằng $1,0 \times 10^3$ hạt/mm².

Tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

[0009]

Tài liệu sáng chế 1: JP54-163720A

Tài liệu sáng chế 2: JP63-195217A

Tài liệu sáng chế 3: JP3-104844A

Tài liệu sáng chế 4: JP2004-2954A

Tài liệu sáng chế 5: WO 2005/100627

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

[0010]

Tuy nhiên, trong tình hình hiện tại trong đó cần đến các cải thiện hơn nữa về các đặc tính từ, trở nên khó sản xuất tấm thép điện không định hướng trong đó các đặc tính từ được cải thiện đầy đủ và ổn định bằng cách sử dụng giải pháp kỹ thuật đã nêu ở trên.

[0011]

Mục đích của sáng chế, đã được thực hiện dựa vào vấn đề nêu trên, là tạo ra tấm thép điện không định hướng có các đặc tính phát triển hạt tốt trong quá trình ủ giảm ứng suất, trong đó tổn hao do sắt sau khi ủ giảm ứng suất thấp, và trong đó mật độ từ thông sau khi ủ giảm ứng suất cao, phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng, và tấm thép cán nóng có thể được sử dụng làm vật liệu ban đầu cho tấm thép điện không định hướng.

Giải pháp cho vấn đề

[0012]

Sáng chế đã được thực hiện để giải quyết vấn đề nêu trên, và ý chính của sáng chế là tấm thép điện không định hướng, phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng, và tấm thép cán nóng được mô tả trong phần sau đây.

[0013]

(1) Tấm thép điện không định hướng có thành phần hóa học bao gồm, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%,

O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%, và

một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%,

với phần còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó:

mật độ số lượng N của các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60%, và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm là từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/ cm^2 , và

trong số các hạt oxit này, mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng thỏa mãn công thức (i) dưới đây:

$$n/N \geq 0,01 \dots (i).$$

[0014]

(2) Tấm thép điện không định hướng theo mục (1) nêu trên, trong đó thành phần hóa học chứa, thay thế cho một phần của Fe, theo % khối lượng,

Sn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%.

[0015]

(3) Tấm thép điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2) nêu trên, trong đó:

khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit nằm trong khoảng từ 30 đến 300 μm .

[0016]

(4) Tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3) nêu trên, trong đó:

kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn hoặc bằng 30 μm , và

kích thước hạt tinh thể trung bình sau khi thực hiện ủ giảm ứng suất trong các điều kiện giữ tấm thép điện không định hướng ở 750°C trong hai giờ là lớn hơn hoặc bằng 50 μm .

[0017]

(5) Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng, là phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (4) nêu trên, trong đó phương pháp này bao gồm:

quá trình tinh luyện để tạo ra thép nóng chảy,

quá trình đúc liên tục để đúc liên tục thép nóng chảy để tạo ra phôi tấm có thành phần hóa học theo mục (1) hoặc (2) nêu trên,

quá trình cán nóng để, sau khi gia nhiệt phôi tấm thu được, thực hiện cán nóng để thu được tấm thép cán nóng,

quá trình tẩy gỉ để thực hiện tẩy gỉ trên tấm thép cán nóng,

quá trình cán nguội để thực hiện cán nguội trên tấm thép cán nóng sau khi tẩy gỉ để thu được tấm thép cán nguội, và

quá trình ủ tinh để ủ tinh tấm thép cán nguội,

trong đó:

trong quá trình tinh luyện,

lượng oxy của thép nóng chảy trước khi bổ sung hợp kim được làm cho, theo % khối lượng, nằm trong khoảng từ 0,010 đến 0,050%, và

tiếp theo, lượng M1 của Si được bổ sung vào thép nóng chảy và hàm lượng M2 của Si trong phôi tấm được điều chỉnh để thỏa mãn công thức (ii) dưới đây; và

vòi phun được sử dụng trong quá trình đúc liên tục, một phần hoặc toàn bộ thành bên trong của vòi phun tiếp xúc với thép nóng chảy được tạo nên bởi vật liệu chứa, với tổng lượng nằm trong khoảng từ 3 đến 60% khối lượng%, các oxit chứa một hoặc nhiều loại được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca;

$$0,90 \leq M2/M1 \leq 1,10 \dots (ii).$$

[0018]

(6) Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo mục (5) nêu trên, trong đó:

trong quá trình tinh luyện, khoảng thời gian từ khi kết thúc bổ sung hợp kim cho tới khi quá trình đúc liên tục được bắt đầu là nằm trong khoảng từ 30 đến 180 phút; và

trong quá trình cán nóng, sau khi giữ nhiệt độ của phôi tấm nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 1050°C đến nhỏ hơn 1150°C trong từ 15 đến 240 phút, bước cán nóng phôi tấm được thực hiện ngay.

[0019]

(7) Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo mục (5) hoặc (6) nêu trên, trong đó:

trong quá trình ủ tinh, nhiệt độ của tấm thép cán nguội được làm cho nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 800°C đến nhỏ hơn 850°C .

[0020]

(8) Tấm thép cán nóng có vai trò là vật liệu ban đầu cho tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (4) nêu trên, có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, và

O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%,

và chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%,

với phần còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó:

mật độ số lượng N của các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si nằm trong khoảng từ 20 đến 60%, và có đường kính nằm trong khoảng từ $1,0$ đến $5,0\mu\text{m}$ là từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/ cm^2 , và

trong số các hạt oxit, mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng thỏa mãn công thức (i) dưới đây:

$$n/N \geq 0,01...(i).$$

[0021]

(9) Tấm thép cán nóng theo mục (8) nêu trên, trong đó thành phần hóa học chứa, thay thế cho một phần của Fe, theo % khối lượng,

Sn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%.

[0022]

(10) Tấm thép cán nóng theo mục (8) hoặc (9) nêu trên, trong đó:

khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit nằm trong khoảng từ 30 đến 300 μ m.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

[0023]

Theo sáng chế, tấm thép điện không định hướng có các đặc tính phát triển hạt tốt trong quá trình ủ giảm ứng suất và có các đặc tính từ vượt trội có thể được tạo ra một cách ổn định ở chi phí thấp.

Mô tả chi tiết sáng chế

[0024]

Khi tấm thép điện không định hướng được sử dụng làm vật liệu cho bộ phận hợp thành của máy như lõi động cơ, trước tiên, bước gia công như dập được thực hiện, và tiếp theo, chẳng hạn, bước ủ giảm ứng suất được thực hiện trong các điều kiện trong đó tấm thép được giữ ở 750°C trong hai giờ. Trong quá trình ủ giảm ứng suất, cần thúc đẩy sự phát triển hạt trong tấm thép, và để làm giảm tổn hao do sắt của tấm thép. Do đó, tấm thép điện không định hướng phải có đặc tính sao cho sự phát triển hạt được thúc đẩy trong quá trình ủ giảm ứng suất.

[0025]

Một trong số các yếu tố ngăn chặn sự phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất là các chất lẫn như MnS có tác dụng ghim. Thông thường, đã xem xét rằng việc làm giảm lượng của S là nguyên tố tạo ra các chất lẫn có tác dụng thúc đẩy sự phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất. Tuy nhiên, S là nguyên tố được trộn theo cách không thể tránh khỏi trong vật liệu thép, và quá trình được thực hiện để loại bỏ S làm tăng chi phí sản xuất. Hơn nữa, mặc dù các nỗ lực đã được thực hiện trong quá khứ để kiểm soát trạng thái kết tủa của MnS bằng các điều kiện cán nóng, không thể nói rằng các nỗ lực này đã dẫn tới việc cải thiện đủ các đặc tính này.

[0026]

Ở đây, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, khi các hạt oxit được làm cho kết tủa mịn ở giai đoạn sản xuất bộ phận đúc dùng làm vật liệu cho tấm thép điện không định hướng, tổn hao do sắt của tấm thép sau khi ủ giảm ứng suất cải thiện. Các tác giả sáng chế cho rằng điều này là do MnS có hiệu ứng ghim các chất kết tủa trên bề mặt của các hạt oxit tinh luyện và do đó trở nên vô hại. Ngoài ra, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, trong số các hạt oxit, các hạt oxit chứa O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm (dưới đây, còn được gọi là “các hạt oxit thích hợp”) đặc biệt có hiệu quả đáng chú ý là làm cho các chất lẫn trở nên vô hại, và có thể cải thiện tổn hao do sắt của tấm thép bằng cách tối ưu hóa mật độ số lượng của các hạt oxit đó.

[0027]

Tuy nhiên, nhờ việc thực hiện nghiên cứu nghiêm túc hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, chỉ bằng cách kiểm soát mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp như được mô tả ở trên, thì không thu được hiệu ứng làm cho các MnS vô hại một cách ổn định, và sự phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất bị ngăn chặn ở một tỷ lệ nhất định.

[0028]

Do đó, các tác giả sáng chế đã thực hiện các nghiên cứu liên quan đến phương pháp làm cho MnS trở nên vô hại một cách ổn định, và hình thành ý tưởng cố định S bằng cách sử dụng một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ La, Ce, Zr, Mg và Ca. Tuy

nhiên, khi các nguyên tố này được đơn giản bổ sung, các chất lẫn thô chứa các nguyên tố này được tạo ra và không thu được đủ hiệu quả làm cho S trở nên vô hại.

[0029]

Nhờ việc thử các phương pháp bổ sung khác đối với các nguyên tố như La, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng khi các oxit chứa các nguyên tố này được sử dụng trong thành bên trong của vòi phun được sử dụng trong quá trình đúc liên tục, và các nguyên tố này được bổ sung vào thép nóng chảy bằng cách sử dụng tổn hao nóng chảy của vòi phun, La và nguyên tố tương tự không tạo ra các chất lẫn riêng lẻ, mà được chứa trong các hạt oxit thích hợp đã nêu ở trên và phân tán mịn. Bằng cách này, thu được hiệu quả làm cho các MnS trở nên vô hại một cách ổn định. Lưu ý rằng, không cần thiết là La và nguyên tố tương tự được chứa trong tất cả các hạt oxit thích hợp, và hiệu quả này được biểu hiện đủ nếu La và nguyên tố tương tự được chứa trong một số hạt oxit thích hợp.

[0030]

Sáng chế đã được thực hiện dựa trên các phát hiện nêu trên. Các yêu cầu tương ứng của sáng chế được mô tả dưới đây.

[0031]

1. Thành phần hóa học

Thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo một phương án của sáng chế sẽ được mô tả bây giờ. Các lý do hạn chế mỗi nguyên tố là như sau. Lưu ý rằng, ký hiệu “%” đối với hàm lượng trong phần mô tả sau đây có nghĩa là “phần trăm khối lượng”.

[0032]

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%

C làm kém đi các tổn hao do sắt do già hóa từ tính. Do đó, hàm lượng của C cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng của C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Lưu ý rằng, do C không cần thiết đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, giá trị giới hạn dưới của hàm lượng của C là 0%. Tuy nhiên, khi tính đến chi phí loại bỏ C được trộn vào trong

tấm thép dưới dạng tạp chất, chẳng hạn, giá trị giới hạn dưới của hàm lượng của C có thể được đặt đến 0,0001%, 0,0002%, hoặc 0,0005%.

[0033]

Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%

Si là nguyên tố có tác dụng làm tăng điện trở. Ngoài ra, Si là nguyên tố cơ bản để tạo ra các hạt oxit thích hợp đã nêu ở trên. Tuy nhiên, nếu Si được chứa với lượng lớn hơn 1,50%, sẽ xảy ra sự tăng độ cứng, giảm mật độ từ thông, và tăng chi phí sản xuất và tương tự của tấm thép điện không định hướng. Do đó, hàm lượng của Si cần phải nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%. Hàm lượng của Si tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,20%, lớn hơn hoặc bằng 0,40%, hoặc lớn hơn hoặc bằng 0,80%. Hơn nữa, hàm lượng của Si tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1,40%, nhỏ hơn hoặc bằng 1,20%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%.

[0034]

Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%

Mn không chỉ tạo ra các sulfua, mà còn là nguyên tố có tác dụng làm tăng điện trở của tấm thép điện không định hướng. Hơn nữa, Mn có tác dụng ngăn chặn sự rạn nứt do nóng. Tuy nhiên, khi hàm lượng của Mn quá mức, nhiệt độ chuyển hóa giảm quá nhiều, và kích thước hạt tinh thể không thể được làm cho lớn trong quá trình ủ giảm ứng suất. Do đó, hàm lượng của Mn cần phải nằm trong khoảng từ 0,10 đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,50%. Hàm lượng của Mn tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,20%, lớn hơn hoặc bằng 0,40%, hoặc lớn hơn hoặc bằng 0,80%. Hơn nữa, hàm lượng của Mn tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1,40%, nhỏ hơn hoặc bằng 1,20%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%.

[0035]

Sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%

Al là nguyên tố thường được sử dụng để khử oxy trong thép. Tuy nhiên, theo sáng chế, do quá trình khử oxy được thực hiện bằng cách sử dụng Si, Al không cần thiết đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế. Hơn nữa, nếu chứa Al quá mức, sẽ khó tạo ra các hạt oxit thích hợp chứa Si. Do đó, hàm lượng của sol. Al cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%. Hàm lượng của sol. Al tốt hơn là nhỏ hơn

hoặc bằng 0,0045%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%. Tuy nhiên, khi tính đến chi phí loại bỏ Al được trộn vào trong tấm thép dưới dạng tạp chất, chẳng hạn, giá trị giới hạn dưới của hàm lượng của sol. Al có thể được đặt đến 0,0001%, 0,0002%, hoặc 0,0005%.

[0036]

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%

N là nguyên tố tạo ra các nitrua và có nguy cơ ức chế sự phát triển hạt. Do đó, hàm lượng của N tốt hơn là được giảm càng nhiều càng tốt. Tuy nhiên, trong công nghiệp khó làm cho hàm lượng của N trộn vào trong thép dưới dạng tạp chất bằng không. Theo sáng chế, là lượng ở mức cho phép vô hại, hàm lượng của N cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Hơn nữa, giá trị giới hạn dưới của hàm lượng của N có thể là 0,0001%, 0,0002%, hoặc 0,0005%.

[0037]

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%

S là nguyên tố tạo ra các sulfua và có nguy cơ ức chế sự phát triển hạt. Do đó, hàm lượng của S tốt hơn là được giảm càng nhiều càng tốt. Tuy nhiên, trong công nghiệp khó làm cho hàm lượng của S trộn vào trong thép dưới dạng tạp chất bằng không. Theo sáng chế, S được làm cho kết tủa trên bề mặt của các hạt oxit bằng cách đó S trở nên vô hại. Tuy nhiên, nếu hàm lượng của S lớn hơn 0,0040%, lượng kết tủa của các sulfua sẽ tự tăng, và sẽ khó làm cho S trở nên vô hại và do đó sự phát triển hạt sẽ bị ức chế. Do đó, hàm lượng của S cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%. Hơn nữa, giá trị giới hạn dưới của hàm lượng của S có thể được đặt đến 0,0001%, 0,0002%, hoặc 0,0005%.

[0038]

O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%

O là nguyên tố cơ bản để tạo ra các oxit. Nếu hàm lượng của O quá nhỏ, sẽ không thể bảo đảm lượng cần thiết của các hạt oxit. Mặt khác, nếu hàm lượng của O lớn hơn 0,0200%, tác dụng của nó không chỉ sẽ bị bão hòa, mà mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp sẽ quá mức và các hạt oxit thích hợp này sẽ kết tụ. Do đó, hàm lượng của O cần phải nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%. Hàm lượng của O tốt hơn là lớn

hơn hoặc bằng 0,0055%, lớn hơn hoặc bằng 0,0060%, hoặc lớn hơn hoặc bằng 0,0080%. Hơn nữa, hàm lượng của O tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0180%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,0150%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 0,0100%.

[0039]

Một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%

Bằng cách làm cho La, Ce, Zr, Mg và Ca được chứa trong các hạt oxit chủ yếu gồm O và Si, thu được tác dụng làm cho các sulfua trở nên vô hại một cách có hiệu quả và ổn định hơn. Mặt khác, nếu hàm lượng của các nguyên tố này tăng quá mức, lượng oxy trong thép sẽ giảm xuống, và ngoài ra, các nguyên tố này sẽ tạo ra các hạt oxit thô đơn lẻ và sẽ không thu được hiệu quả đã nêu ở trên. Do đó, tổng hàm lượng của một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca cần phải nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%. Tổng hàm lượng của các nguyên tố này tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,0008%, lớn hơn hoặc bằng 0,0010%, hoặc lớn hơn hoặc bằng 0,0020%, và tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0150%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,0100%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,0080%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,0070%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 0,0060%. Lưu ý rằng, do các tác động và các hiệu quả của La, Ce, Zr, Mg và Ca về cơ bản là như nhau trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, các hàm lượng của chúng được xác định bằng tổng hàm lượng.

[0040]

Sn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%

Theo sáng chế, Sn không phải là nguyên tố cơ bản. Tuy nhiên, Sn có tác động ngăn chặn quá trình nitrua hóa và oxy hóa bề mặt tấm thép trong quá trình ủ giảm ứng suất, và còn là nguyên tố hữu hiệu để cải thiện mật độ từ thông. Vì các lý do này, lượng thích hợp của Sn có thể được chứa. Tuy nhiên, ngay cả khi Sn được chứa với lượng lớn hơn 0,50%, tác dụng này sẽ bị bão hòa, và hơn nữa chi phí sản xuất sẽ bị tăng lên. Do đó, khi được chứa, hàm lượng của Sn cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%. Hàm lượng của Sn tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,45%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%. Lưu ý rằng, khi mong muốn thu được tác dụng đã nêu ở trên, hàm

lượng của Sn tốt hơn là được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,01%, lớn hơn hoặc bằng 0,02%, 0,03%, hoặc 0,05%.

[0041]

Trong thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo phương án của sáng chế, phần còn lại là Fe và các tạp chất. Thuật ngữ “các tạp chất” dùng để chỉ các thành phần mà, khi sản xuất công nghiệp vật liệu thép, được trộn ở dạng vật liệu thô như quặng hoặc phế liệu hoặc do các yếu tố khác trong quá trình sản xuất, và được cho phép trong một khoảng không ảnh hưởng bất lợi đến tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế.

[0042]

2. Các hạt oxit

Các hạt oxit được chứa trong tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo phương án của sáng chế sẽ được mô tả bây giờ. Tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo phương án của sáng chế chứa các hạt oxit thích hợp chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60%, và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm . Mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/ cm^2 . Mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp được đo trong mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng, và do đó mật độ số lượng được xác định là số lượng của các hạt trên mỗi diện tích đơn vị.

[0043]

Như đã đề cập đến ở trên, các sulfua như MnS cản trở sự phát triển hạt trong tấm thép điện không định hướng được làm cho trở nên vô hại bởi các hạt oxit. Phỏng đoán rằng cơ chế mà điều này xảy ra là như sau. Trong quá trình đúc phôi tấm dùng làm vật liệu cho tấm thép điện không định hướng, các hạt oxit được tạo ra trước tiên, tiếp theo là sự kết tủa của MnS. Ở đây, MnS kết tủa trên bề mặt của các hạt oxit. Khi một lượng lớn của các hạt oxit có kích thước hạt đã được xác định trước được tạo ra trong thép nóng chảy, số lượng của các vị trí ở đó MnS kết tủa tăng lên, và bằng cách này MnS được làm cho vô hại.

[0044]

Các hạt oxit có tác dụng làm cho MnS phân tán mịn là các hạt có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60%. Cho rằng có xu hướng khó kết tủa MnS trên các bề mặt của các hạt oxit có thành phần hóa học nằm ngoài khoảng nêu trên. Do đó, trong tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo phương án của sáng chế, trong số các hạt oxit, mật độ số lượng của các hạt oxit có thành phần hóa học đã nêu ở trên được xác định.

[0045]

Hơn nữa, trong số các hạt oxit có thành phần hóa học đã nêu ở trên, các hạt oxit có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm có hiệu quả từ quan điểm thúc đẩy sự phát triển hạt. Các hạt oxit có đường kính nhỏ hơn 1,0 μm không được ưu tiên do bản thân các hạt oxit này ức chế sự phát triển hạt. Hơn nữa, nếu lượng của các hạt oxit thô có đường kính lớn hơn 5,0 μm tăng lên, mật độ số lượng của các hạt oxit sẽ giảm xuống. Do đó, trong tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng theo phương án của sáng chế, mật độ số lượng của các hạt oxit có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm được xác định.

[0046]

Mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp đáp ứng các yêu cầu đã nêu ở trên nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/ cm^2 . Nếu mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp nhỏ hơn $3,0 \times 10^3$ hạt/ cm^2 , số lượng của các vị trí kết tủa của MnS sẽ không đủ, và sẽ không thể làm cho MnS trở nên vô hại. Mặt khác, nếu mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp lớn hơn 10×10^3 hạt/ cm^2 , sẽ khó phân tán đồng nhất các hạt oxit thích hợp. Nói cách khác, nếu mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp quá mức, các hạt oxit thích hợp này sẽ kết tụ và sẽ không thu được hiệu quả phân tán mịn MnS. Mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $3,5 \times 10^3$ hạt/ cm^2 , lớn hơn hoặc bằng $4,0 \times 10^3$ hạt/ cm^2 , hoặc lớn hơn hoặc bằng $5,0 \times 10^3$ hạt/ cm^2 .

[0047]

Lưu ý rằng, mật độ số lượng của các hạt oxit không đáp ứng các yêu cầu đã nêu ở trên liên quan đến thành phần hóa học và kích thước hạt (chẳng hạn, các hạt oxit có đường kính nhỏ hơn $1,0\mu\text{m}$, và các hạt oxit có đường kính lớn hơn $5,0\mu\text{m}$) tốt hơn là được giảm càng nhiều càng tốt. Tuy nhiên, trong tấm thép điện không định hướng và tấm thép cán nóng có thành phần hóa học đã nêu ở trên, trong trường hợp khi mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp được kiểm soát để nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/ cm^2 , các nguyên tố có vai trò là nguồn cung cấp các oxit được tiêu thụ để tạo ra các hạt oxit thích hợp. Trong trường hợp này, sự hình thành của các hạt oxit không đáp ứng các yêu cầu đã nêu ở trên như, chẳng hạn, các hạt oxit có đường kính nhỏ hơn $1,0\mu\text{m}$ và các hạt oxit có đường kính lớn hơn $5,0\mu\text{m}$ cần phải được ngăn chặn. Do đó, không cần thiết phải xác định mật độ số lượng của các hạt oxit không đáp ứng các yêu cầu đã nêu ở trên.

[0048]

Ngoài ra, trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, trong số các hạt oxit thích hợp, mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng, lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng thỏa mãn công thức (i) sau đây.

$$n/N \geq 0,01 \dots (i)$$

[0049]

La, Ce, Zr, Mg và Ca (sau đây, còn được gọi là “La và nguyên tố tương tự”) tạo ra không chỉ oxit mà còn cả sulfua, và các chất lẫn được tạo ra từ một nguyên tố duy nhất trong số chúng sẽ thô, với đường kính lớn hơn hoặc bằng $5\mu\text{m}$. Ngược lại, các hạt oxit chứa O và Si làm các thành phần chính lại tương đối mịn với đường kính nằm trong khoảng từ $1,0$ đến $5,0\mu\text{m}$ và có thể tồn tại ở trạng thái phân tán như đã được đề cập đến ở trên. Ở đây, bằng cách chứa La và nguyên tố tương tự theo kiểu hỗn hợp trong các hạt oxit chủ yếu gồm O và Si, các nguyên tố này có thể được phân tán ở mật độ cao mà không thể thu được bằng các oxit hoặc các sulfua của La và nguyên tố tương tự. Hơn nữa, cho rằng La và nguyên tố tương tự phối hợp với S là nguyên tố tạp chất để tạo ra sulfua trên oxit, và do đó có thể làm cho S trở nên vô hại một cách hiệu quả và ổn định.

[0050]

Tác dụng đã nêu ở trên thu được trong trường hợp khi tổng nồng độ của La và nguyên tố tương tự trong các hạt oxit thích hợp lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng. Hơn nữa, mật độ số lượng n của các hạt oxit thích hợp chứa La và nguyên tố tương tự (sau đây, còn được gọi là “các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự”) lớn hơn hoặc bằng 1% mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp. Nói cách khác, giá trị của n/N là lớn hơn hoặc bằng 0,01. Tổng nồng độ của La và nguyên tố tương tự trong các hạt oxit thích hợp có thể lớn hơn hoặc bằng 5,0% khối lượng, lớn hơn hoặc bằng 10,0% khối lượng, hoặc lớn hơn hoặc bằng 20,0% khối lượng.

[0051]

Lưu ý rằng, mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp được đo bằng quy trình sau đây. Các hạt oxit được bao gồm trong tấm thép điện không định hướng hoặc tấm thép cán nóng được quan sát bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope, SEM). Độ phóng đại quan sát được thiết lập đến $\times 1000$. Diện tích của trường nhìn quan sát được thiết lập đến 25mm^2 , và số lượng của các điểm quan sát được thiết lập thành bốn điểm (nghĩa là, tổng diện tích của các trường nhìn quan sát là 100mm^2). Ở đây, thành phần hóa học của mỗi oxit được đo bằng kính quang phổ tia X phân tán năng lượng (energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS) được gắn vào SEM, và được xác định liệu có hay không việc mỗi oxit chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60%.

[0052]

Tiếp theo, đường kính hình tròn tương đương của diện tích mặt cắt ngang của mỗi oxit được coi là đường kính của oxit, và việc đường kính hình tròn tương đương của mỗi oxit có nằm trong khoảng từ 1,0 đến $5,0\mu\text{m}$ hay không được xác định bằng phép phân tích hình ảnh của vi ảnh điện tử thu được bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử truyền qua (transmission electron microscope, TEM). Dựa trên các kết quả này, các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến $5,0\mu\text{m}$ được coi là các hạt oxit thích hợp, và vị trí các của các hạt oxit thích hợp trong mỗi vi ảnh điện tử được xác định. Sau đó, mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp được tính bằng cách chia số lượng của các hạt oxit thích hợp được bao gồm trong tất cả các vi ảnh điện tử

cho tổng số của các diện tích trường nhìn của tất cả các vi ảnh điện tử. Lưu ý rằng trong một số trường hợp, nhiều hạt oxit có thể được quan sát ở trạng thái kết tụ, và trong trường hợp như vậy, các đường kính hình tròn tương đương được đo riêng lẻ, và mỗi hạt oxit có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm được xác định là hạt oxit thích hợp, và số lượng của các hạt oxit đều được đếm.

[0053]

Hơn nữa, tỷ lệ (n/N) của mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự so với mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp được xác định bằng quy trình sau đây. Kính quang phổ tia X phân tán năng lượng (EDS) được gắn vào TEM được sử dụng để đo thành phần hóa học của mỗi trong số các hạt oxit thích hợp, và sau đó xác định xem việc mỗi oxit thích hợp có là oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng hay không. Mỗi oxit là hạt oxit thích hợp và chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng được coi là oxit chứa La và nguyên tố tương tự, và các vị trí của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được xác định trong mỗi vi ảnh điện tử. Tỷ lệ (n/N) mà các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự chiếm giữ trong số các hạt oxit thích hợp sau đó được tính bằng cách chia số lượng của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được bao gồm trong tất cả các vi ảnh điện tử cho toàn bộ số lượng của các hạt oxit thích hợp.

[0054]

Hơn nữa, để làm cho các hạt oxit thích hợp phân tán đồng nhất mà không kết tụ, tốt hơn là khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp được làm cho nằm trong khoảng từ 30 đến 300 μm . Bằng cách làm cho khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp lớn hơn hoặc bằng 30 μm , sự xuất hiện của sự phân bố kết tụ của các hạt oxit thích hợp được ngăn chặn, và tác dụng làm cho MnS trở nên vô hại có thể được biểu hiện một cách đáng tin cậy hơn. Hơn nữa, sự xuất hiện của sự suy giảm các đặc tính cơ học và các đặc tính điện từ của tấm thép điện không định hướng ở phần tại đó các hạt oxit thích hợp bị kết tụ có thể được ngăn chặn. Do đó, khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 30 μm .

[0055]

Tương tự, khi khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp nhỏ hơn hoặc bằng $300\mu\text{m}$, vì các hạt oxit thích hợp ở trạng thái được phân tán vừa phải, có thể bảo đảm đủ các vị trí kết tủa đối với MnS . Do đó, khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng $300\mu\text{m}$. Khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $35\mu\text{m}$, lớn hơn hoặc bằng $40\mu\text{m}$, hoặc lớn hơn hoặc bằng $50\mu\text{m}$. Hơn nữa, khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng $280\mu\text{m}$, nhỏ hơn hoặc bằng $250\mu\text{m}$, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng $220\mu\text{m}$.

[0056]

Khoảng cách trung bình của các hạt oxit thích hợp được xác định bằng cách đo các khoảng cách giữa các hạt oxit thích hợp dựa trên thông tin về các kích thước hạt và các vị trí của các hạt oxit thích hợp trong mỗi vi ảnh điện tử được xác định bằng các quá trình đã nêu ở trên, và tính giá trị trung bình của các khoảng cách được đo. Lưu ý rằng khi nhiều hạt oxit được quan sát ở trạng thái kết tụ, khoảng cách này có thể bằng 0 vì các hạt oxit thích hợp dính vào với nhau. Tuy nhiên, theo sáng chế, trong trường hợp như vậy, giá trị của khoảng cách bằng 0 không được sử dụng trong khi tính giá trị trung bình. Nghĩa là, ngay cả khi mật độ số lượng của các hạt oxit là giống nhau, trong trường hợp xảy ra sự kết tụ một phần, các khoảng cách trung bình tăng lên.

[0057]

3. Kích thước hạt tinh thể

Kích thước hạt tinh thể trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không được xác định đặc biệt. Như đã nêu ở trên, tấm thép điện không định hướng được sử dụng sau khi trải qua quá trình gia công và ủ giảm ứng suất, và kích thước hạt tinh thể thay đổi theo các điều kiện ủ giảm ứng suất. Khi tính đến các điều kiện sử dụng thực tế được mô tả ở trên, miễn là các đặc tính phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất là tốt, không nhất thiết phải xác định kích thước hạt tinh thể ở giai đoạn của tấm thép điện không định hướng. Tuy nhiên, khi kích thước hạt tinh thể trung bình được làm cho nhỏ hơn hoặc bằng $30\mu\text{m}$, khả năng dập cải thiện. Do đó, kích thước hạt tinh thể trung bình có thể được xác định là nhỏ hơn hoặc bằng $30\mu\text{m}$. Kỹ thuật đã

biết có thể được sử dụng thích hợp làm biện pháp để làm cho kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn hoặc bằng $30\mu\text{m}$.

[0058]

Nói chung, các tấm thép điện không định hướng được gia công và ủ giảm ứng suất sau khi chuyên chở. Khi kích thước hạt tinh thể trung bình sau bước ủ giảm ứng suất này lớn hơn hoặc bằng $50\mu\text{m}$, các đặc tính tổn hao do sắt được cải thiện rất nhiều. Vì thành phần hóa học và trạng thái của các oxit của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế được kiểm soát để nằm trong các khoảng được ưu tiên, kích thước hạt tinh thể trung bình sau khi thực hiện ủ giảm ứng suất trong các điều kiện trong đó tấm thép điện không định hướng được giữ ở 750°C trong hai giờ là lớn hơn hoặc bằng $50\mu\text{m}$. Lưu ý rằng, đối với các sản phẩm thực tế, các điều kiện để thực hiện ủ giảm ứng suất không bị giới hạn ở điều kiện đã nêu ở trên, và nhiệt độ và thời gian ủ có thể được thay đổi thích hợp khi xét đến cả các hạn chế về mặt thiết bị và sự thúc đẩy sự phát triển hạt.

[0059]

Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép điện không định hướng có thể được xác định bằng phương pháp sau đây. Mặt cắt ngang L (mặt cắt ngang song song với hướng cán) của tấm thép điện không định hướng được đánh bóng và khắc ăn mòn, và sau đó được quan sát bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học. Độ phóng đại quan sát được thiết lập đến $\times 100$, diện tích của trường nhìn quan sát được thiết lập đến $0,5\text{mm}^2$, và số lượng của các điểm quan sát được thiết lập đến ba điểm. Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép điện không định hướng sau đó được xác định bằng cách áp dụng phương pháp được mô tả trong “Steels - Micrographic Determination of the Apparent Grain Size” quy định trong JI S G 0551: 2013 cho các vi ảnh quang học này.

[0060]

4. Phương pháp sản xuất

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế bao gồm các quá trình tinh luyện, quá trình đúc liên tục, quá trình cán nóng, quá

trình tẩy gỉ, quá trình cán nguội, và quá trình ủ tinh. Trong số chúng, cụ thể quá trình tinh luyện và quá trình đúc liên tục là quan trọng để kiểm soát các hạt oxit.

[0061]

(a) Quá trình tinh luyện

Trong quá trình tinh luyện, thép nóng chảy được tạo ra. Quá trình này là quá trình điều chỉnh các thành phần của phôi tấm bằng cách bổ sung các nguyên tố hợp kim vào thép nóng chảy. Sau khi quá trình bổ sung hợp kim đã xác định trước vào thép nóng chảy hoàn thành, bằng cách trải qua quá trình đúc liên tục được mô tả sau đây, lượng của các hạt oxit tạo ra tăng dần cho tới khi thép nóng chảy hóa rắn. Ngoài ra, các hạt oxit nổi lên và được đưa vào trong xỉ cũng được tạo ra. Do đó, để làm cho mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/cm², trước tiên lượng oxy của thép nóng chảy trước khi bổ sung hợp kim được điều chỉnh đến, theo % khối lượng, nằm trong khoảng từ 0,010 đến 0,050%. Nếu lượng oxy là không đủ, mật độ số lượng của các hạt oxit được tạo ra sẽ không đủ. Mặt khác, nếu lượng oxy quá mức, mật độ số lượng của các hạt oxit sẽ tăng quá mức, và các hạt oxit sẽ kết tụ.

[0062]

Tiếp theo, Si được bổ sung vào thép nóng chảy. Ở đây, việc bổ sung Si được thực hiện sao cho lượng M1 (% khối lượng) của Si được bổ sung vào thép nóng chảy, và hàm lượng M2 của Si (% khối lượng) trong phôi tấm mà cuối cùng thu được trong quá trình đúc liên tục sau đó thỏa mãn công thức (ii) sau đây. Ở đây, lượng M1 của Si được bổ sung vào thép nóng chảy là giá trị (%) thu được bằng cách chia tổng khối lượng của Si được bổ sung vào thép nóng chảy cho tổng khối lượng của thép nóng chảy. Thuật ngữ “hàm lượng M2 của Si trong phôi tấm” dùng để chỉ hàm lượng của Si trong thành phần hóa học của phôi tấm, và về cơ bản giống như hàm lượng của Si trong tấm thép cán nóng và tấm thép điện không định hướng thu được từ phôi tấm.

$$0,90 \leq M2/M1 \leq 1,10 \dots (ii)$$

[0063]

Trong trường hợp khi hàm lượng M2 của Si trong phôi tấm quá nhỏ so với lượng M1 của Si được bổ sung vào thép nóng chảy và nhỏ hơn 0,90 lần giá trị của M1, một

lượng lớn của Si được hợp nhất vào trong xỉ dưới dạng SiO_2 và được thải ra bên ngoài thép nóng chảy, và do đó quá trình khử oxy bởi Si diễn ra quá nhiều. Do đó, mật độ số lượng của các hạt oxit trong phôi tấm không thể được làm cho nằm trong khoảng được ưu tiên. Mặt khác, trong trường hợp khi hàm lượng M2 của Si trong phôi tấm quá lớn so với lượng M1 của Si được bổ sung vào thép nóng chảy và lớn hơn 1,10 lần giá trị của M1, quá trình khử oxy bởi Si không diễn ra, và số lượng của các hạt oxit tăng quá mức và sự kết tụ của các oxit và tương tự xảy ra.

[0064]

Lưu ý rằng, như đã nêu ở trên, hàm lượng M2 của Si trong thép nóng chảy là giá trị mà về cơ bản giống như hàm lượng của Si trong tấm thép cán nóng và cuối cùng thu được tấm thép điện không định hướng. Do đó, hàm lượng M2 của Si trong thép nóng chảy cần phải nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%.

[0065]

Hơn nữa, khoảng thời gian từ khi kết thúc bổ sung hợp kim cho tới khi quá trình đúc liên tục được bắt đầu tốt hơn là được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 30 phút khi xem xét thời gian cần thiết để làm cho các hạt oxit thô nổi lên từ thép nóng chảy. Hơn nữa, nếu khoảng thời gian từ khi kết thúc bổ sung hợp kim cho tới khi quá trình đúc liên tục được bắt đầu quá dài, các hạt oxit mịn sẽ không còn lại trong thép nóng chảy, và do đó, từ quan điểm bảo đảm các hạt oxit mịn như vậy, khoảng thời gian từ khi kết thúc quá trình bổ sung hợp kim cho tới khi đúc tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 180 phút. Bằng cách điều chỉnh lượng của O trước khi bổ sung hợp kim trong khoảng thời gian này cũng như lượng bổ sung của Si, có thể thu được khoảng cách trung bình thích hợp đã được xác định ở trên.

[0066]

(b) Quá trình đúc liên tục

Thép nóng chảy được tạo ra trong quá trình tinh luyện được đúc liên tục trong quá trình đúc liên tục để tạo ra phôi tấm có thành phần hóa học được mô tả ở trên. Quá trình này là quá trình quan trọng để làm cho La và nguyên tố tương tự được chứa trong một số các hạt oxit thích hợp. Khi La và nguyên tố tương tự được bổ sung nhờ việc đưa

vào hợp kim phức hợp của các nguyên tố đất hiếm, phản ứng mãnh liệt xảy ra giữa các nguyên tố này và thép nóng chảy, và xảy ra sự giảm đáng kể lượng của oxy trong thép cũng như trộn lẫn các nguyên tố tạp chất được chứa trong xỉ vào trong thép nóng chảy. Hơn nữa, các oxit được tạo ra còn rất thô, với đường kính lớn hơn $5\mu\text{m}$.

[0067]

Do đó, theo phương pháp sản xuất theo phương án của sáng chế, vòi phun được sử dụng trong quá trình đúc liên tục, một phần hoặc toàn bộ của thành bên trong của vòi phun tiếp xúc với thép nóng chảy được tạo nên bởi vật liệu trong đó các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được chứa với tổng lượng nằm trong khoảng từ 3 đến 60% theo % khối lượng. La và nguyên tố tương tự được cung cấp vào trong thép do thành bên trong của vòi phun tiếp xúc với thép nóng chảy chịu tổn hao do nóng chảy. Khi La và nguyên tố tương tự được làm cho được chứa trong thép nóng chảy bằng cách sử dụng kỹ thuật này, oxy trong thép và xỉ không bị ảnh hưởng, và sau đó đạt được việc pha trộn các nguyên tố này với các hạt oxit chủ yếu gồm Si được tạo ra, và các sulfua có thể được làm cho trở nên vô hại một cách hiệu quả.

[0068]

(c) Quá trình cán nóng

Trong quá trình cán nóng, phôi tấm thu được bằng quá trình đúc liên tục được gia nhiệt, và sau đó được cán nóng để thu được tấm thép cán nóng. Tấm thép cán nóng theo một phương án của sáng chế được tạo ra bằng quá trình này. Lưu ý rằng, các quá trình sau quá trình cán nóng về cơ bản không ảnh hưởng đến thành phần hóa học và trạng thái của các oxit. Do đó, như đã nêu ở trên, thành phần hóa học và trạng thái của các oxit của tấm thép cán nóng giống như thành phần hóa học và trạng thái của các oxit của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế.

[0069]

Bằng cách làm cho nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm trước khi cán nóng nhỏ hơn 1150°C , có thể phân tán đồng nhất các hạt oxit thích hợp và điều chỉnh khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp để nằm trong khoảng thích hợp. Do đó, nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm tốt hơn là được thiết lập đến nhỏ hơn 1150°C . Hơn nữa, từ quan điểm

bảo đảm khả năng cán, giới hạn dưới của nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm trước khi cán nóng tốt hơn là 1050°C . Ngoài ra, tốt hơn là bước cán nóng phôi tấm được thực hiện ngay sau khi được giữ trong từ 15 đến 240 phút trong khoảng nhiệt độ lớn hơn hoặc bằng 1050°C đến nhỏ hơn 1150°C .

[0070]

Lưu ý rằng, mặc dù hệ số giảm cán trong quá trình cán nóng không bị giới hạn đặc biệt, hệ số giảm cán này tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 90%. Hơn nữa, mặc dù độ dày của tấm thép cán nóng thu được cũng không bị giới hạn đặc biệt, tốt hơn là độ dày này nằm trong khoảng từ 1,0 đến 4,0mm, và tốt hơn nữa là từ 2,0 đến 3,0mm.

[0071]

(d) Quá trình tẩy gỉ

Trong quá trình tẩy gỉ, tấm thép cán nóng thu được bằng cách thực hiện quá trình cán nóng được tẩy gỉ. Các điều kiện tẩy gỉ không bị giới hạn đặc biệt, và đủ để thiết lập các điều kiện tẩy gỉ trong khoảng bình thường đối với các điều kiện để sản xuất tấm thép điện không định hướng.

[0072]

(e) Quá trình cán nguội

Trong quá trình cán nguội, tấm thép cán nóng đã được tẩy gỉ được cán nguội để thu được tấm thép cán nguội. Các điều kiện cán nguội không bị giới hạn đặc biệt, và đủ để thiết lập các điều kiện cán nguội trong khoảng bình thường đối với các điều kiện để sản xuất tấm thép điện không định hướng. Chẳng hạn, đối với hệ số giảm cán trong quá trình cán nguội, hệ số giảm cán tốt hơn là được thiết lập nằm trong khoảng từ 50 đến 95%, và tốt hơn nữa là từ 75 đến 85%.

[0073]

(f) Quá trình ủ tinh

Trong quá trình ủ tinh, tấm thép cán nguội thu được bằng cách thực hiện quá trình cán nguội được ủ tinh. Trong quá trình ủ tinh, nếu nhiệt độ cao nhất đạt đến (nhiệt độ của tấm thép cán nguội) lớn hơn hoặc bằng 850°C , các kích thước hạt tinh thể sẽ quá

lớn, và có khả năng là các khuyết tật sẽ xuất hiện trong quá trình dập mà được thực hiện trước khi ủ giảm ứng suất. Để tránh tình trạng như vậy, nhiệt độ cao nhất đạt được tốt hơn là được làm cho nhỏ hơn 850°C . Hơn nữa, nếu nhiệt độ cao nhất đạt được nhỏ hơn 800°C , có khả năng là sự kết tinh lại sẽ không đủ và các khuyết tật có thể xuất hiện trong quá trình dập. Để tránh tình trạng như vậy, nhiệt độ cao nhất đạt được tốt hơn là được làm cho lớn hơn hoặc bằng 800°C . Hơn nữa, để tránh tình trạng trong đó các kích thước hạt tinh thể trở nên quá lớn và các khuyết tật xuất hiện trong quá trình dập mà được thực hiện trước khi ủ giảm ứng suất, tốt hơn là khoảng thời gian để nhiệt độ của tấm thép cán nguội lớn hơn hoặc bằng 800°C được thiết lập đến nhỏ hơn hoặc bằng 15 giây.

[0074]

Mặc dù độ dày của tấm thép điện không định hướng được sản xuất bằng cách trải qua các quá trình được mô tả ở trên không bị giới hạn đặc biệt, độ dày này tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,0mm, và tốt hơn nữa là từ 0,2 đến 0,7mm.

[0075]

Dưới đây, sáng chế được mô tả cụ thể hơn bằng các ví dụ, mặc dù sáng chế không bị giới hạn ở các ví dụ này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

[0076]

Các phôi tấm được sản xuất bằng cách thực hiện quá trình tinh luyện và quá trình đúc liên tục trong các điều kiện khác nhau, và các tấm thép điện không định hướng được sản xuất bằng cách thực hiện quá trình cán nóng, quá trình tẩy gỉ, quá trình cán nguội, và quá trình ủ tinh theo thứ tự này trên các phôi tấm thu được. Các thành phần hóa học của các tấm thép điện không định hướng được thể hiện trong bảng 1, và các điều kiện sản xuất được sử dụng để tạo ra các tấm thép điện không định hướng được thể hiện trong bảng 2. Lưu ý rằng, mỗi trong số các tấm thép tương ứng được sản xuất năm lần trong cùng các điều kiện. Hơn nữa, đối với tất cả các tấm thép, khoảng thời gian mà nhiệt độ của tấm thép đạt được lớn hơn hoặc bằng 800°C trong quá trình ủ tinh là nhỏ hơn hoặc bằng 15 giây.

[0077]

Ngoại trừ thử nghiệm số 24, hàm lượng của La, Ce, Zr, Mg, và Ca trong thép được điều chỉnh bằng cách chỉ sử dụng tổn hao nóng chảy của vôi phun vật liệu trong quá trình đúc liên tục. Mặt khác, đối với thử nghiệm số 24, việc điều chỉnh các thành phần được thực hiện bằng cách bổ sung các nguyên tố hợp kim vào thép nóng chảy trong quá trình tinh luyện.

[0078]

Bảng 1

Thép	Thành phần hóa học (% khối lượng, phần còn lại: Fe và các tạp chất)								
	C	Si	Mn	sol.Al	N	S	O	Sn	Các nguyên tố khác
A1	0,0031	0,33	0,22	0,0045	0,0023	0,0032	0,0175	0,010	Ca: 0,007
A2	0,0028	0,45	0,34	0,0038	0,0026	0,0029	0,0165	-	Mg: 0,008
A3	0,0035	0,56	0,17	0,0031	0,0024	0,0023	0,0145	0,058	Ce: 0,004
A4	0,0046	0,77	0,44	0,0026	0,0021	0,0021	0,0121	0,006	La: 0,010
A5	0,0033	0,89	0,53	0,0022	0,0019	0,0027	0,0102	0,034	Zr: 0,005, Ca: 0,001
A6	0,0022	1,21	0,67	0,0034	0,0026	0,0024	0,0096	0,319	Ca: 0,001, Mg: 0,013
A7	0,0037	1,33	1,45	0,0032	0,0026	0,0018	0,0085	0,411	Mg: 0,013, Ce: 0,006
A8	0,0043	1,48	1,21	0,0043	0,0021	0,0021	0,0065	0,234	Ce: 0,006, Mg: 0,008
a1	0,0029	<u>0,05</u>	0,13	0,0030	0,0022	0,0019	0,0189	-	Mg: 0,008, Zr: 0,005
a2	0,0036	0,22	0,67	<u>0,0124</u>	0,0017	0,0031	0,0178	0,023	Zr: 0,005, Ca: 0,001
a3	0,0025	0,45	0,55	0,0032	0,0028	0,0025	<u>0,0035</u>	0,045	Ca: 0,001, Mg: 0,008
a4	0,0021	0,67	0,35	0,0021	0,0029	0,0035	<u>0,0267</u>	0,051	Mg: 0,008, Zr: 0,005
a5	0,0041	<u>1,67</u>	1,33	0,0034	0,0020	0,0037	0,0056	0,072	Zr: 0,005, La: 0,010
a6	0,0032	0,55	<u>1,78</u>	0,0042	0,0025	0,0022	0,0157	0,344	La: 0,010, Zr: 0,005
a7	0,0025	0,35	0,21	0,0031	0,0023	<u>0,0056</u>	0,0178	0,452	Zr: 0,005, Ca: 0,001
a8	0,0032	1,02	0,98	0,0025	<u>0,0042</u>	0,0035	0,0135	0,002	Ca: 0,001, Zr: 0,004
a9	0,0036	1,34	1,12	0,0037	0,0027	0,0020	0,0087	0,021	=

[0079]

Bảng 2

Thứ nghiệm số	Thép	Quá trình tinh luyện					Quá trình đúc liên tục	Quá trình cán nóng			Quá trình cán nguội	Quá trình ủ tinh
		Lượng oxy của thép nóng chảy trước khi bổ sung hợp kim (% khối lượng)	Lượng M1 của Si được bổ sung (% khối lượng)	Hàm lượng M2 của Si (% khối lượng)	M2/M1	Thời gian từ khi kết thúc bổ sung hợp kim đến khi bắt đầu quá trình đúc liên tục (phút)		Nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm (°C)	Thời gian giữ phôi tấm (phút)	Hệ số giảm cán nóng (%)		
1	A1	0,0211	0,35	0,33	0,94	157	CaO: 10%	1082	65	99	78	811
2	A2	0,0231	0,48	0,45	0,94	133	MgO: 40%	1112	34	99	80	822
3	A3	0,0245	0,61	0,56	0,92	171	CeO: 30%	1132	67	99	83	835
4	A4	0,0313	0,78	0,77	0,99	105	LaO: 15%	1145	201	99	82	841
5	A5	0,0356	0,94	0,89	0,95	114	ZrO: 20%, CaO: 10%	1064	136	99	80	831
6	A6	0,0389	1,22	1,21	0,99	98	CaO: 8%, MgO: 20%	1083	211	99	78	845
7	A7	0,0432	1,28	1,33	1,04	66	MgO: 30%, CeO: 30%	1099	179	99	83	844
8	A8	0,0489	1,37	1,48	1,08	143	CeO: 5%, MgO: 20%	1076	134	99	82	848
9	a1	0,0194	0,05	0,05	1,00	54	MgO: 20%, ZrO: 5%	1054	152	99	78	804
10	a2	0,0221	0,24	0,22	0,92	65	ZrO: 20%, CaO: 8%	1121	190	99	80	807
11	a3	0,0108	0,48	0,45	0,94	161	CaO: 15%, MgO: 20%	1090	164	99	82	813
12	a4	0,0488	0,62	0,67	1,08	153	MgO: 20%, ZrO: 4%	1093	231	99	83	818
13	a5	0,0421	1,85	1,67	0,90	178	ZrO: 5%, LaO: 10%	1124	194	99	80	834
14	a6	0,0322	0,61	0,55	0,90	140	LaO: 10%, ZrO: 20%	1142	146	99	83	820
15	a7	0,0231	0,36	0,35	0,97	102	ZrO: 4%, CaO: 8%	1129	153	99	82	802
16	a8	0,0177	1,03	1,02	0,99	55	CaO: 40%, ZrO: 20%	1067	114	99	80	833
17	a9	0,0465	1,48	1,34	0,91	177	-	1053	153	99	78	840
18	A1	0,0089	0,33	0,33	1,00	160	CaO: 10%	1080	60	99	78	830
19	A2	0,0550	0,43	0,45	1,05	132	MgO: 40%	1110	31	99	80	833

20	A3	0,0245	0,64	0,56	0,88	170	CeO: 30%	1130	71	99	83	830
21	A4	0,0313	0,68	0,77	1,13	110	LaO: 15%	1140	199	99	82	840
22	A5	0,0354	0,93	0,89	0,96	15	ZrO: 20%, CaO: 10%	1160	140	99	80	824
23	A6	0,0367	1,21	1,21	1,00	200	CaO: 8%, MgO: 20%	1081	209	99	78	840
24	A7	0,0359	1,26	1,33	1,06	66	-	1097	179	99	83	844
25	A8	0,0421	1,35	1,48	1,10	143	CeO: 5%, MgO: 20%	1180	130	99	82	844
26	A1	0,0214	0,34	0,33	0,97	150	CaO: 10%	1082	320	99	78	814
27	A1	0,0233	0,36	0,33	0,92	115	CaO: 10%	1110	35	99	80	870

[0080]

Đối với mỗi tấm thép điện không định hướng thu được, mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp, tỷ lệ (n/N) của mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự với mật độ số lượng N của các hạt oxit thích hợp, khoảng cách trung bình của các hạt oxit thích hợp, và kích thước hạt tinh thể trung bình được đo bằng các phương pháp được mô tả dưới đây. Các giá trị đo thu được từ năm tấm thép sau đó được tính trung bình, và các giá trị tạo ra được chấp nhận để làm các kết quả đo tương ứng của mỗi thử nghiệm số

[0081]

Các hạt oxit được chứa trong tấm thép điện không định hướng được quan sát ở độ phóng đại quan sát $\times 1000$ bằng cách sử dụng SEM. Diện tích của trường nhìn quan sát được đặt đến 25mm^2 , và số lượng của các điểm quan sát được thiết lập đến bốn điểm (nghĩa là, tổng diện tích của các trường nhìn quan sát bằng 100mm^2). Ở đây, thành phần hóa học của mỗi oxit được đo bằng EDS được gắn vào SEM, và việc có hay không các hạt oxit tương ứng được chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% được xác định.

[0082]

Hơn nữa, đường kính hình tròn tương đương của diện tích mặt cắt ngang của oxit được coi là đường kính của oxit, và việc đường kính hình tròn tương đương của mỗi oxit có nằm trong khoảng từ $1,0$ đến $5,0\mu\text{m}$ hay không được xác định bằng phép phân tích hình ảnh của vi ảnh điện tử thu được bằng cách sử dụng TEM. Dựa trên các kết quả này, các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và có đường kính nằm trong khoảng từ $1,0$ đến $5,0\mu\text{m}$ được coi là các hạt oxit thích hợp, và các vị trí của các hạt oxit thích hợp trong mỗi vi ảnh điện tử được xác định. Mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp sau đó được tính bằng cách chia số lượng của các hạt oxit thích hợp được bao gồm trong tất cả các vi ảnh điện tử cho tổng số các diện tích trường nhìn của tất cả các vi ảnh điện tử.

[0083]

Hơn nữa, EDS được gắn vào TEM được sử dụng để đo thành phần hóa học của mỗi trong số các hạt oxit thích hợp, và sau đó xác định việc mỗi oxit thích hợp có là oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng hay không. Oxit là hạt oxit thích hợp và chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng được coi là oxit chứa La và nguyên tố tương tự, và các vị trí của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được xác định trong mỗi vi ảnh điện tử. Tỷ lệ (n/N) mà các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được chiếm giữ trong số các hạt oxit thích hợp sau đó được tính bằng cách chia số lượng của các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự được bao gồm trong tất cả các vi ảnh điện tử cho toàn bộ số lượng của các hạt oxit thích hợp.

[0084]

Khoảng cách các giữa các hạt oxit thích hợp được đo dựa trên thông tin về các kích thước hạt và các vị trí của các hạt oxit thích hợp trong mỗi vi ảnh điện tử mà được xác định bằng các quá trình đã nêu ở trên, và khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp được xác định bằng cách tính giá trị trung bình của khoảng cách đo được.

[0085]

Ngoài ra, mặt cắt ngang L của mỗi tấm thép điện không định hướng được đánh bóng và khắc ăn mòn, và sau đó được quan sát bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học. Độ phóng đại quan sát được thiết lập đến $\times 100$, diện tích của trường nhìn quan sát được đặt đến $0,5\text{mm}^2$, và số lượng của các điểm quan sát được thiết lập đến ba điểm. Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép điện không định hướng sau đó được xác định bằng cách áp dụng phương pháp được mô tả trong “Steels - Micrographic Determination of the Apparent Grain Size” được quy định trong JI S G 0551: 2013 đối với các vi ảnh quang học này.

[0086]

Tiếp theo, tấm thép điện không định hướng thu được được ủ giảm ứng suất trong đó tấm thép điện không định hướng được giữ ở 750°C trong hai giờ. Các đặc tính của tấm thép điện không định hướng sau khi ủ giảm ứng suất sau đó được đánh giá như được mô tả dưới đây.

[0087]

(A) Tổn hao do sắt sau khi ủ giảm ứng suất

Tổn hao do sắt ($W_{15/50}$) của tấm thép sau quá trình ủ giảm ứng suất đã nêu ở trên được đo theo phương pháp được quy định trong JI S C 2552: 2014 “Non-oriented magnetic steel sheet and strip”. Nếu $W_{15/50}$ của tấm thép sau khi ủ giảm ứng suất nhỏ hơn hoặc bằng $5,0W/kg$, tấm thép điện không định hướng được xác định là có các đặc tính tổn hao do sắt vượt trội sau khi ủ giảm ứng suất.

[0088]

(B) Mật độ từ thông sau khi ủ giảm ứng suất

Mật độ từ thông (B_{50}) của tấm thép sau bước ủ giảm ứng suất đã nêu ở trên được đo theo phương pháp được quy định trong JI S C 2552: 2014 “Non-oriented magnetic steel sheet and strip”. Nếu B_{50} của tấm thép sau khi ủ giảm ứng suất lớn hơn hoặc bằng $1,70T$, tấm thép điện không định hướng được xác định là có mật độ từ thông vượt trội sau khi ủ giảm ứng suất.

[0089]

(C) Các đặc tính phát triển hạt trong quá trình ủ giảm ứng suất

Kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép sau bước ủ giảm ứng suất đã nêu ở trên được đo bằng cách sử dụng phương pháp giống như phương pháp đo kích thước hạt tinh thể trung bình của tấm thép điện không định hướng được mô tả ở trên. Các tấm thép điện không định hướng mà kích thước hạt tinh thể trung bình sau khi ủ giảm ứng suất lớn hơn hoặc bằng $50\mu m$ được xác định là có các đặc tính phát triển hạt tốt trong quá trình ủ giảm ứng suất.

[0090]

(D) Khả năng dập

Việc đánh giá khả năng dập được thực hiện bằng cách sử dụng tấm thép điện không định hướng sau khi ủ tinh nhưng trước khi thực hiện ủ giảm ứng suất. Cụ thể, tấm thép này được dập với độ hở nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 7% đến nhỏ hơn hoặc bằng 12% của độ dày tấm. Chiều cao bavia ở phần dập được đo. Đối với các mẫu

mà chiều cao bavia nhỏ hơn hoặc bằng $30\mu\text{m}$, xác định được là khả năng đập “tốt” (ký hiệu A). Đối với các mẫu mà chiều cao bavia lớn hơn $30\mu\text{m}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $100\mu\text{m}$, xác định được là khả năng đập “có thể chấp nhận được” (ký hiệu B). Đối với các mẫu mà chiều cao bavia lớn hơn $100\mu\text{m}$, xác định được là khả năng đập “không thể chấp nhận được” (ký hiệu C).

[0091]

Các kết quả của các đánh giá nêu trên được thể hiện trong bảng 3.

[0092]

Bảng 3

Thử nghiệm số	Thép	Độ dày tấm (mm)	Mật độ số của các hạt oxit thích hợp ($\times 10^3/\text{cm}^2$)	n/N	Khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit thích hợp (μm)	Kích thước hạt tinh thể trung bình		Các đặc tính từ				Khả năng đập	
						Sau khi ủ tinh (μm)	Sau khi ủ giảm ứng suất (μm)	Tổng hao do sắt W15/50 (W/kg)		Mật độ từ thông B ₅₀ (T)			
								Giá trị trung bình	Giá trị lớn nhất	Giá trị trung bình	Giá trị nhỏ nhất		
1	A1	0,50	3,0	0,02	280	20	55	3,7	4,5	1,72	1,71	A	Ví dụ của sáng chế
2	A2	0,35	4,0	0,03	240	10	60	3,5	4,3	1,75	1,74	A	Ví dụ của sáng chế
3	A3	0,50	5,0	0,04	230	23	64	4,2	4,6	1,77	1,75	A	Ví dụ của sáng chế
4	A4	0,35	6,0	0,09	210	21	56	4,1	4,5	1,76	1,74	A	Ví dụ của sáng chế
5	A5	0,50	4,0	0,04	100	22	53	3,8	4,3	1,75	1,73	A	Ví dụ của sáng chế
6	A6	0,35	3,5	0,02	80	24	55	3,7	3,9	1,74	1,72	A	Ví dụ của sáng chế
7	A7	0,50	3,2	0,22	70	22	67	3,3	3,5	1,74	1,72	A	Ví dụ của sáng chế
8	A8	0,35	5,4	0,08	100	21	65	4,3	4,6	1,73	1,71	A	Ví dụ của sáng chế
9	a1	0,50	<u>2,0</u>	0,05	200	29	32	6,8	7,6	1,71	1,70	A	Ví dụ so sánh
10	a2	0,35	<u>1,0</u>	0,03	250	10	23	6,5	7,4	1,75	1,73	A	Ví dụ so sánh
11	a3	0,50	<u>0,5</u>	0,01	300	21	25	6,4	7,3	1,77	1,75	A	Ví dụ so sánh
12	a4	0,35	<u>15</u>	0,03	20	22	32	5,8	6,7	1,76	1,74	A	Ví dụ so sánh
13	a5	0,50	3,0	0,04	120	32	54	4,5	4,8	1,68	1,66	B	Ví dụ so sánh
14	a6	0,35	3,7	0,05	310	31	32	7,1	7,9	1,71	1,70	B	Ví dụ so sánh

15	a7	0,50	5,3	0,02	200	24	31	7,5	8,3	1,71	1,70	A	Ví dụ so sánh
16	a8	0,35	4,2	0,02	160	29	33	7,4	8,8	1,72	1,71	A	Ví dụ so sánh
17	a9	0,50	5,1	=	300	25	54	4,3	7,5	1,73	1,72	A	Ví dụ so sánh
18	A1	0,35	<u>1,5</u>	0,03	350	27	32	6,8	8,9	1,74	1,73	A	Ví dụ so sánh
19	A2	0,50	<u>18</u>	0,02	15	21	33	5,7	7,8	1,73	1,72	A	Ví dụ so sánh
20	A3	0,35	<u>1,0</u>	0,03	200	20	32	5,9	7,5	1,75	1,74	A	Ví dụ so sánh
21	A4	0,50	<u>50</u>	0,02	25	12	32	5,7	6,7	1,74	1,73	A	Ví dụ so sánh
22	A5	0,35	4,0	0,01	350	21	57	4,3	4,9	1,76	1,75	A	Ví dụ của sáng chế
23	A6	0,50	3,2	0,01	400	23	55	4,2	4,8	1,78	1,76	A	Ví dụ của sáng chế
24	A7	0,35	3,0	<u>0,003</u>	110	25	67	4,1	6,5	1,76	1,74	A	Ví dụ so sánh
25	A8	0,50	4,6	0,03	30	26	53	4,3	4,7	1,75	1,73	A	Ví dụ của sáng chế
26	A1	0,35	3,2	0,04	350	21	67	4,4	4,8	1,76	1,74	A	Ví dụ của sáng chế
27	A1	0,50	3,7	0,04	230	50	57	4,8	4,9	1,74	1,72	C	Ví dụ của sáng chế

[0093]

Như được thể hiện trong bảng 3, phát hiện ra rằng trong các thử nghiệm số từ 1 đến 8, 22, 23, và 25 đến 27 thỏa mãn các yêu cầu của sáng chế, các đặc tính từ vượt trội được biểu hiện ổn định. Mặt khác, trong các thử nghiệm số từ 9 đến 16 có các thành phần hóa học không đáp ứng các yêu cầu của sáng chế, các kết quả cho thấy rằng ít nhất một trong số tổn hao do sắt và các đặc tính từ kém đi. Hơn nữa, trong thử nghiệm số 17, vì thành phần hóa học không chứa nguyên tố bất kỳ trong số La, Ce, Zr, Mg, và Ca, các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự không được tạo ra. Do đó, ngay cả mặc dù giá trị trung bình của tổn hao do sắt thấp, giá trị lớn nhất của tổn hao do sắt cao vì MnS có thể không được làm cho trở nên vô hại một cách ổn định.

[0094]

Trong các thử nghiệm số từ 18 đến 21, vì các điều kiện sản xuất là không thích hợp, mật độ số lượng của các hạt oxit thích hợp nằm ngoài khoảng đã được xác định, và kết quả là tổn hao do sắt kém đi. Ngoài ra, trong thử nghiệm số 24, vì việc điều chỉnh các thành phần được thực hiện bằng cách bổ sung Mg và Ce vào thép nóng chảy trong quá trình tinh luyện, và không sử dụng tổn hao do nóng chảy của vôi phun vật liệu, các hạt oxit chứa La và nguyên tố tương tự không được tạo ra đủ. Do đó, ngay cả mặc dù giá trị trung bình của tổn hao do sắt thấp, giá trị lớn nhất của tổn hao do sắt cao vì MnS có thể không được làm cho trở nên vô hại một cách ổn định.

Khả năng áp dụng công nghiệp

[0095]

Theo sáng chế, tấm thép điện không định hướng có các đặc tính phát triển hạt tốt trong quá trình ủ giảm ứng suất và có các đặc tính từ vượt trội có thể được sản xuất một cách ổn định ở chi phí thấp. Do đó, sáng chế có khả năng áp dụng công nghiệp rất cao.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng có thành phần hóa học bao gồm, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%,

O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%, và

một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca: tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%,

với phần còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó:

mật độ số lượng N của các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O: nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si: nằm trong khoảng từ 20 đến 60%, và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μ m nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/cm², và

trong số các hạt oxit, mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng thỏa mãn công thức (i) dưới đây:

$$n/N \geq 0,01...(i).$$

2. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 1, trong đó thành phần hóa học chứa, thay thế cho một phần của Fe, theo % khối lượng,

Sn: nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%.

3. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó:

khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit nằm trong khoảng từ 30 đến 300 μ m.

4. Tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số điểm từ 1 đến 3, trong đó:

kích thước hạt tinh thể trung bình nhỏ hơn hoặc bằng $30\mu\text{m}$, và

kích thước hạt tinh thể trung bình sau khi thực hiện ủ giảm ứng suất trong các điều kiện giữ tấm thép điện không định hướng ở 750°C trong hai giờ là lớn hơn hoặc bằng $50\mu\text{m}$.

5. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số điểm từ 1 đến 4, trong đó phương pháp này bao gồm:

quá trình tinh luyện để tạo ra thép nóng chảy,

quá trình đúc liên tục để đúc liên tục thép nóng chảy để tạo ra phôi tấm có thành phần hóa học theo điểm 1 hoặc điểm 2,

quá trình cán nóng để, sau khi gia nhiệt phôi tấm thu được, thực hiện cán nóng để thu được tấm thép cán nóng,

quá trình tẩy gỉ để thực hiện tẩy gỉ trên tấm thép cán nóng,

quá trình cán nguội để thực hiện cán nguội trên tấm thép cán nóng sau khi tẩy gỉ để thu được tấm thép cán nguội, và

quá trình ủ tinh để ủ tinh tấm thép cán nguội,

trong đó:

trong quá trình tinh luyện,

lượng oxy của thép nóng chảy trước khi bổ sung hợp kim được làm cho, theo % khối lượng, nằm trong khoảng từ 0,010 đến 0,050%, và

tiếp theo, lượng M1 của Si được bổ sung vào thép nóng chảy và hàm lượng M2 của Si trong phôi tấm được điều chỉnh để thỏa mãn công thức (ii) dưới đây; và

vòi phun được sử dụng trong quá trình đúc liên tục, một phần hoặc toàn bộ của thành bên trong của vòi phun tiếp xúc với thép nóng chảy được tạo nên bởi vật liệu chứa, với tổng lượng nằm trong khoảng từ 3 đến 60% khối lượng, các oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca;

$$0,90 \leq M2/M1 \leq 1,10 \dots (ii).$$

6. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo điểm 5, trong đó:

trong quá trình tinh luyện, khoảng thời gian từ khi kết thúc bổ sung hợp kim cho tới khi quá trình đúc liên tục được bắt đầu nằm trong khoảng từ 30 đến 180 phút; và

trong quá trình cán nóng, sau khi giữ nhiệt độ của phôi tấm nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 1050°C đến nhỏ hơn 1150°C trong từ 15 đến 240 phút, quá trình cán nóng phôi tấm được thực hiện ngay.

7. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo điểm 5 hoặc điểm 6, trong đó:

trong quá trình ủ tinh, nhiệt độ của tấm thép cán nguội được làm cho nằm trong khoảng từ lớn hơn hoặc bằng 800°C đến nhỏ hơn 850°C .

8. Tấm thép cán nóng có vai trò là vật liệu ban đầu cho tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số điểm từ 1 đến 4, có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,50%,

sol. Al: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, và

O: nằm trong khoảng từ 0,0050 đến 0,0200%,

và chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La, Ce, Zr, Mg và Ca với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0200%,

với phần còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó:

mật độ số lượng N của các hạt oxit chứa, theo % khối lượng, O nằm trong khoảng từ 20 đến 60% và Si nằm trong khoảng từ 20 đến 60%, và có đường kính nằm trong khoảng từ 1,0 đến 5,0 μm nằm trong khoảng từ $3,0 \times 10^3$ đến 10×10^3 hạt/cm², và

trong số các hạt oxit, mật độ số lượng n của các hạt oxit chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm gồm La , Ce , Zr , Mg và Ca với tổng lượng lớn hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng thỏa mãn công thức (i) dưới đây:

$$n/N \geq 0,01 \dots (i).$$

9. Tấm thép cán nóng theo điểm 8, trong đó thành phần hóa học chứa, thay thế cho một phần của Fe , theo % khối lượng,

Sn : nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%.

10. Tấm thép cán nóng theo điểm 8 hoặc điểm 9, trong đó:

khoảng cách trung bình giữa các hạt oxit nằm trong khoảng từ 30 đến 300 μm .