



- (12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
1-0051252
(51)^{2022.01} C21D 8/12; H01F 1/147; C22C 38/60; (13) B
C21D 9/46; C22C 38/00
-

- (21) 1-2023-05294 (22) 17/02/2022
(86) PCT/JP2022/006300 17/02/2022 (87) WO 2022/176933 A1 25/08/2022
(30) 2021-023510 17/02/2021 JP
(45) 25/09/2025 450 (43) 25/12/2023 429A
(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, Japan
(72) YASHIKI Hiroyoshi (JP); NATORI Yoshiaki (JP); TAKEDA Kazutoshi (JP);
TANAKA Ichiro (JP); ARITA Yoshihiro (JP); HORI Hiroki (JP); OHASHI Wataru
(JP).
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)
-

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

(21) 1-2023-05294

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm vật liệu cơ sở có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, C: 0 đến 0,0050%, Si: 3,8 đến 4,9%, Mn: 0,05 đến 1,20%, sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%, P: 0 đến 0,030%, S: 0 đến 0,0030%, N: 0 đến 0,0030%, Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%, Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%, Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%, V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%, Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%, Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%, Sn: 0 đến 0,100%, Sb: 0 đến 0,100%, và phần còn lại là Fe và các tạp chất, trong đó tấm thép điện không định hướng thỏa mãn $[4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0]$, $[B_{50}(0^\circ) - B_{50}(45^\circ) \leq 0,16]$, và $[B_{50}(0^\circ) + 2 \times B_{50}(45^\circ) + B_{50}(90^\circ)]/4 \geq 1,57]$, và có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

[0001]

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

[0002]

Trong những năm gần đây, các vấn đề môi trường toàn cầu đã thu hút sự quan tâm, và nhu cầu về các biện pháp tiết kiệm năng lượng ngày càng tăng. Trong số các nhu cầu về biện pháp tiết kiệm năng lượng, có nhu cầu mạnh mẽ về hiệu suất cao hơn của các thiết bị điện. Vì lý do này, đối với các tấm thép điện không định hướng mà được sử dụng rộng rãi làm vật liệu lõi sắt cho động cơ, máy phát điện và thiết bị tương tự, có nhu cầu ngày càng tăng về việc cải thiện các đặc điểm từ tính. Xu hướng này dễ thấy ở động cơ truyền động cho xe điện và xe hybrid và ở động cơ máy nén cho máy điều hòa không khí.

[0003]

Mỗi lõi động cơ của các động cơ khác nhau được mô tả ở trên được cấu tạo từ stato đóng vai trò là bộ phận cố định, và rôto đóng vai trò là bộ phận quay. Các đặc tính cần thiết cho stato và rôto cấu thành lõi động cơ là khác nhau. Stato cần có đặc điểm từ tính vượt trội (tổn hao sắt thấp và mật độ từ thông cao), đặc biệt là tổn hao sắt thấp, và rôto cần có đặc tính cơ học vượt trội (độ bền cao).

[0004]

Vì các đặc tính cần thiết cho stato và rôto là khác nhau, các đặc tính mong muốn có thể đạt được bằng cách sản xuất riêng tấm thép điện không định hướng cho stato và tấm thép điện không định hướng cho rôto. Tuy nhiên, việc chuẩn bị hai loại tấm thép điện không định hướng làm giảm hiệu suất. Do đó, để đạt được độ bền cao cần thiết cho rôto và tổn hao sắt thấp cần thiết cho stato mà không cần ủ giảm ứng suất, các nghiên cứu về tấm thép điện không định hướng mà có độ bền vượt trội và đặc điểm từ tính vượt trội đang được tiến hành.

[0005]

Ví dụ, các tài liệu sáng chế 1 và 2 mô tả những nỗ lực để đạt được độ bền cao và đặc điểm từ tính tốt.

Danh mục trích dẫn

Tài liệu sáng chế

[0006]

Tài liệu sáng chế 1

Công bố quốc tế PCT số WO 2019/017426

Tài liệu sáng chế 2

Công bố quốc tế PCT số WO 2020/091039

Tài liệu sáng chế 3

Đơn sáng chế Nhật Bản chưa được thẩm định, công bố lần thứ nhất số 2013-91837

Tài liệu sáng chế 4

Đơn sáng chế Nhật Bản chưa được thẩm định, công bố lần thứ nhất số 2002-14691

Tài liệu sáng chế 5

Đơn sáng chế Nhật Bản chưa được thẩm định, công bố lần thứ nhất số 2001-295003

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề được giải quyết bởi sáng chế

[0007]

Tuy nhiên, để thu được tấm thép điện không định hướng mà đạt được cả độ bền cao và tổn hao sắt thấp, như được bộc lộ trong các tài liệu sáng chế 1 và 2, cần phải chứa lượng lớn các nguyên tố hợp kim, và do đó có vấn đề là độ bền bị hạ thấp và nứt gãy có khả năng xảy ra trong quá trình cán nguội. Hơn nữa, trong tài liệu sáng chế 1, trong trường hợp yêu cầu tổn hao sắt thấp đối với stato, việc ủ giảm ứng suất là cần thiết.

[0008]

Sáng chế được thực hiện để giải quyết các vấn đề như vậy, và mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và đặc điểm từ tính vượt trội.

Cách thức giải quyết vấn đề

[0009]

Ý chính của sáng chế là tấm thép điện không định hướng và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng này như sau.

[0010]

(1) Tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế bao gồm vật liệu cơ sở có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng,

C: 0 đến 0,0050%,

Si: 3,8 đến 4,9%,

Mn: 0,05 đến 1,20%,

sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%,

P: 0 đến 0,030%,

S: 0 đến 0,0030%,

N: 0 đến 0,0030%,

Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%,

Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%,

Sn: 0 đến 0,100%,

Sb: 0 đến 0,100%, và

còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó tấm thép điện không định hướng thỏa mãn các biểu thức từ (i) đến (iii) sau, và

có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn,

$$4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0 \cdots (i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức trên (i) là lượng (theo % khối lượng) của mỗi nguyên tố,

$$B_{50}(0^\circ) - B_{50}(45^\circ) \leq 0,16 \cdots (ii)$$

$$B_{50}(0^\circ) + 2 \times B_{50}(45^\circ) + B_{50}(90^\circ) / 4 \geq 1,57 \cdots (iii)$$

trong đó, $B_{50}(0^\circ)$ trong các biểu thức (ii) và (iii) trên là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa là 5000 A/m theo hướng cán, $B_{50}(45^\circ)$ là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa là 5000 A/m theo hướng 45° từ hướng cán, và $B_{50}(90^\circ)$ là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa là 5000 A/m theo hướng 90° từ hướng cán.

[0011]

(2) trong tấm thép điện không định hướng được mô tả trong mục (1) ở trên, thành phần hóa học có thể chứa một hoặc hai nguyên tố được chọn từ, theo % khối lượng, Sn: 0,005 đến 0,100%, và Sb: 0,005 đến 0,100%.

[0012]

(3) Tấm thép điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2) ở trên có thể bao gồm lớp phủ cách điện trên bề mặt của vật liệu cơ sở.

[0013]

(4) Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án khác của sáng chế là phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3) ở trên, bao gồm việc thực hiện theo thứ tự sau:

đối với thanh thép có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng,

C: 0 đến 0,0050%,

Si: 3,8 đến 4,9%,

Mn: 0,05 đến 1,20%,

sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%,

P: 0 đến 0,030%,

S: 0 đến 0,0030%,

N: 0 đến 0,0030%,

Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%,

Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%,

Sn: 0 đến 0,100%,

Sb: 0 đến 0,100%, và

phần còn lại là Fe và các tạp chất,

thành phần hóa học thỏa mãn biểu thức (i) sau,

bước cán nóng;

bước cán nguội thứ nhất giảm độ dày tấm thành 1,0mm;

bước ủ trung gian với nhiệt độ ngâm từ 800 đến 1050°C và thời gian ngâm là từ 1 đến 300 giây;

bước cán nguội thứ hai với độ giảm cán là 65% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 85%;
và

bước ủ hoàn thiện với nhiệt độ ủ từ 850 đến 1050°C,

$$4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0 \cdots (i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) ở trên là lượng (theo % khối lượng) của mỗi nguyên tố.

Hiệu quả của sáng chế

[0014]

Theo phương án của sáng chế, có thể thu được tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và đặc điểm từ tính vượt trội.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

[0015]

Để giải quyết các vấn đề trên, các tác giả sáng chế đã thu được những phát hiện sau đây là kết quả của các nghiên cứu chuyên sâu.

[0016]

Si, Mn, và sol. Al là các nguyên tố mà có tác dụng tăng điện trở của thép và giảm tổn hao dòng điện xoáy. Ngoài ra, những nguyên tố này là những nguyên tố mà cũng góp phần tăng độ bền cho thép.

[0017]

Trong số các nguyên tố Si, Mn, và sol. Al, Si là nguyên tố góp phần hiệu quả nhất vào việc tăng điện trở và độ bền. Sau Si, sol. Al có hiệu quả tốt tiếp theo trong việc tăng điện trở và độ bền. Mặt khác, Mn kém hiệu quả hơn một chút trong việc tăng điện trở và độ bền so với Si và sol. Al.

[0018]

Vì những lý do này, trong phương án này, bằng cách điều chỉnh hàm lượng Si, sol. Al, và Mn trong phạm vi thích hợp, sẽ đạt được độ bền cao hơn và cải thiện các đặc điểm từ tính.

[0019]

Tiếp theo, việc cải thiện độ dẻo dai trong quá trình cán nguội của tấm thép chứa lượng lớn Si, sol. Al, và Mn ở trên được nghiên cứu.

Trong các kỹ thuật đã biết, khi một lượng lớn các nguyên tố hợp kim như Si, sol. Al, và Mn được chứa trong thép để tăng độ bền của thép, độ dẻo dai giảm, và kết quả là, có một vấn đề là có thể xảy ra đứt gãy trong quá trình cán nguội. Do đó, các tác giả sáng chế đã thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu về việc cải thiện độ dẻo dai trong quá trình cán nguội của tấm thép chứa lượng lớn các nguyên tố hợp kim (thép hợp kim cao) và đã phát hiện ra rằng, bằng cách bỏ qua quá trình ủ tấm cán nóng, sự đứt gãy trong quá trình cán nguội có thể bị ức chế ngay cả đối với thép hợp kim cao. Cụ thể, các tác giả hiểu rằng, bằng cách thực hiện tẩy trên tấm cán nóng không được ủ, sau đó thực hiện cán nguội lần thứ nhất để thu được độ dày tấm là 1mm hoặc nhỏ hơn, sau đó thực hiện ủ trung gian và sau đó thực hiện cán nguội lần thứ hai, độ dẻo dai trong hai lần cán

nguội có thể được đảm bảo ngay cả đối với thép hợp kim cao.

[0020]

Phương pháp cán nguội đã được nghiên cứu trước đó. Ví dụ, các tài liệu sáng chế từ 3 đến 5 mô tả những nỗ lực để đạt được các đặc điểm từ tính tốt và độ bền cao.

[0021]

Tuy nhiên, với các phương pháp được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 3, định hướng Goss $\{110\}<001>$ được phát triển đáng kể, và mật độ từ thông B_{50} theo hướng cán là tốt, nhưng tính dị hướng của B_{50} trở nên lớn quá mức. Khi tấm thép điện từ với độ dị hướng lớn của B_{50} được sử dụng cho lõi động cơ, có một vấn đề là làm cản trở sự quay trơn tru của động cơ. Phương pháp được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 4 là không thỏa đáng xét về việc tăng độ bền bởi vì hàm lượng Si, Mn, và sol. Al là thấp. Với phương pháp được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 5, tính dị hướng của B_{50} có thể giảm, nhưng do cần tăng độ giảm cán trong quá trình cán nguội cuối cùng đến 85% hoặc lớn hơn, cần phải làm dày độ dày tấm khi bắt đầu quá trình cán nguội cuối cùng, dẫn đến không đủ độ dẻo dai, và khi hàm lượng Si lớn, có nguy cơ nứt gãy trong quá trình cán.

[0022]

Do đó, các tác giả đã phát hiện ra, như là kết quả của các nghiên cứu sâu hơn, để thu được tấm thép điện không định hướng có độ dẻo dai vượt trội trong quá trình cán nguội, độ bền cao, các đặc điểm từ tính tốt, và cũng như tính dị hướng của B_{50} nhỏ, điều quan trọng là phải kiểm soát một cách thích hợp hàm lượng sol. Al, độ dày tấm khi bắt đầu quá trình cán nguội lần thứ hai, và độ giảm cán trong quá trình cán nguội lần thứ hai.

[0023]

Sáng chế đã được thực hiện dựa trên những phát hiện trên. Phương án được ưu tiên của sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dưới đây. Tuy nhiên, sáng chế không bị giới hạn ở cấu hình được bộc lộ trong phương án này, và các cải biến khác nhau có thể được thực hiện mà không rời khỏi ý chính của sáng chế.

[0024]

1. Cấu hình tổng thể

Do tấm thép điện không định hướng theo phương án này có độ bền cao và các

đặc điểm từ tính vượt trội, nó phù hợp cho cả stato và rôto. Trong quá trình sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này, độ dẻo dai trong quá trình cán nguội là vượt trội, và có thể ức chế nứt gãy trong quá trình cán, và do đó có thể sản xuất ổn định. Ngoài ra, tấm thép điện không định hướng theo phương án này tốt hơn là có lớp phủ cách điện trên bề mặt của vật liệu cơ sở (tấm thép silicon) được mô tả dưới đây.

[0025]

2. Thành phần hóa học của vật liệu cơ sở

Trong thành phần hóa học của vật liệu cơ sở của tấm thép điện không định hướng theo phương án này, lý do để hạn chế từng nguyên tố như sau. Ngoài ra, “%” trong các hàm lượng ở phần mô tả sau đây là “% khối lượng”. Phạm vi giới hạn số được mô tả với “đến” bao gồm các giới hạn trên và dưới của nó.

[0026]

C: 0 đến 0,0050%

C (cacbon) là nguyên tố làm giảm tổn hao sắt của tấm thép điện không định hướng. Nếu hàm lượng C vượt quá 0,0050%, tổn hao sắt của tấm thép điện không định hướng giảm, khiến cho có thể thu được các đặc điểm từ tính tốt. Theo đó, hàm lượng C được đặt thành 0,0050% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng C tốt hơn là 0,0040% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0035% hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng C có thể là 0%. Tuy nhiên, vì rất khó để đưa hàm lượng C về 0% trong tấm thép thực tế về mặt sản xuất nên hàm lượng C có thể lớn hơn 0%. Thêm vào đó, C góp phần làm tăng độ bền của tấm thép điện không định hướng, và do đó, để thu được hiệu quả như vậy, hàm lượng C tốt hơn là 0,0005% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,0010% hoặc lớn hơn.

[0027]

Si: 3,8 đến 4,9%

Si (silicon) là nguyên tố làm tăng điện trở của thép để giảm tổn hao dòng điện xoáy và cải thiện tổn hao sắt tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, vì Si có khả năng tăng cường dung dịch rắn lớn, nên nó là nguyên tố hiệu quả để tăng độ bền của tấm thép điện không định hướng. Để thu được những hiệu quả này, hàm lượng Si được đặt thành 3,8% hoặc lớn hơn. Hàm lượng Si tốt hơn là 3,9% hoặc lớn hơn,

tốt hơn nữa là trên 4,0%, và tốt nhất là 4,1% hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu hàm lượng Si quá cao, khả năng gia công bị suy giảm đáng kể, gây khó khăn cho quá trình cán nguội. Theo đó, hàm lượng Si được đặt thành 4,9% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Si tốt hơn là 4,8% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 4,7% hoặc nhỏ hơn.

[0028]

Mn: 0,05 đến 1,20%

Mn (mangan) là nguyên tố hiệu quả để tăng điện trở của thép để giảm tổn hao dòng điện xoáy và cải thiện tổn hao sắt tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, trong trường hợp hàm lượng Mn quá thấp, tác dụng tăng điện trở là nhỏ, và sunfua mangan (MnS) được kết tủa trong thép, điều này có thể dẫn đến sự phát triển không đủ của hạt trong quá trình ủ hoàn thiện. Vì lý do đó, hàm lượng Mn được đặt thành 0,05% hoặc lớn hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn là 0,20% hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là 0,23% hoặc lớn hơn, và tốt nhất là 0,40% hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu hàm lượng Mn quá cao, mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng trở nên giảm đáng kể. Theo đó, hàm lượng Mn được đặt thành 1,20% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn là 1,10% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 1,00% hoặc nhỏ hơn.

[0029]

Sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%

Sol. Al (nhôm) là nguyên tố có tác dụng làm giảm tổn hao dòng điện xoáy bằng cách tăng điện trở của thép và cải thiện tổn hao sắt tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, sol. Al là nguyên tố góp phần làm tăng độ bền của tấm thép điện không định hướng bằng cách tăng cường dung dịch rắn, mặc dù không nhiều như Si. Để thu được những hiệu quả này, hàm lượng sol. Al phải lớn hơn 0,02%. Hàm lượng sol. Al tốt hơn là 0,05% hoặc lớn hơn, 0,10% hoặc lớn hơn, hoặc 0,15% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,20% hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu hàm lượng sol. Al quá cao, tính dị hướng của mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng tăng. Theo đó, hàm lượng sol. Al phải là 0,50% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng sol. Al tốt hơn là 0,45% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,40% hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là 0,35% hoặc nhỏ hơn.

Ngoài ra, trong phương án này, sol. Al là Al tan trong axit và biểu thị dung dịch rắn Al có trong thép ở trạng thái dung dịch rắn.

[0030]

Trong phương án này, điện trở của thép được đảm bảo bằng cách kiểm soát hàm lượng Si, sol. Al và Mn một cách thích hợp. Ngoài ra, xét về đảm bảo độ bền, cần phải kiểm soát hàm lượng Si, sol. Al, và Mn một cách thích hợp. Mặt khác, xét về đảm bảo mật độ từ thông và độ dẻo dai, giới hạn trên của tổng lượng Si, sol. Al, và Mn cũng được yêu cầu. Vì lý do đó, hàm lượng Si, sol. Al, và Mn phải thỏa mãn biểu thức (i) sau ngoài việc nằm trong phạm vi tương ứng được mô tả ở trên. Xét về đảm bảo điện trở và độ bền của thép, giá trị phần giữa của biểu thức (i) sau tốt hơn là 4,4 hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 4,5 hoặc lớn hơn. Mặt khác, xét về đảm bảo mật độ từ thông và độ dẻo dai của thép, giá trị phần giữa của biểu thức (i) sau tốt hơn là 4,9 hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 4,8 hoặc nhỏ hơn.

[0031]

$$4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0 \cdots (i)$$

Ở đây, ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) trên là lượng (theo % khối lượng) của mỗi nguyên tố.

[0032]

P: 0 đến 0,030%

P (photpho) được chứa trong thép như một tạp chất, và nếu hàm lượng vượt quá mức, độ dẻo dai của tấm thép điện không định hướng giảm đáng kể. Theo đó, hàm lượng P được đặt thành 0,030% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng P tốt hơn là 0,025% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,020% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng P có thể là 0%. Ngoài ra, do việc giảm đáng kể hàm lượng P có thể làm tăng chi phí sản xuất, hàm lượng P tốt hơn là 0,003% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,005% hoặc lớn hơn.

[0033]

S: 0 đến 0,0030%

S (lưu huỳnh) là nguyên tố làm tăng tổn hao sắt bằng cách hình thành các kết tủa MnS mịn và làm giảm các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng S được đặt thành 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng S tốt hơn là 0,0020% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0018% hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là 0,0015% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng S có thể là 0%. Ngoài ra, do việc giảm đáng kể hàm lượng S

có thể làm tăng chi phí sản xuất, hàm lượng S tốt hơn là 0,0001% hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là 0,0003% hoặc lớn hơn, và tốt nhất là 0,0005% hoặc lớn hơn.

[0034]

N: 0 đến 0,0030%

N (nitơ) là nguyên tố chắc chắn được trộn lẫn trong thép, và là nguyên tố tạo thành nitrua, làm tăng tổn hao sắt, và làm giảm các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng N được đặt thành 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng N tốt hơn là 0,0025% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng N may be 0%. Ngoài ra, do việc giảm đáng kể hàm lượng N có thể làm tăng chi phí sản xuất, hàm lượng N tốt hơn là 0,0005% hoặc lớn hơn.

[0035]

Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%

Ti (titanium) là nguyên tố chắc chắn được trộn lẫn trong thép, và có thể kết hợp với cacbon hoặc nitơ để tạo thành kết tủa (cacbua và nitrua). Trong trường hợp hình thành cacbua hoặc nitrua, những chất kết tủa này làm xấu đi các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Hơn nữa, cacbua hoặc nitrua ức chế sự phát triển của hạt trong quá trình ủ hoàn thiện, làm xấu đi các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng Ti được đặt thành nhỏ hơn 0,0050%. Hàm lượng Ti tốt hơn là 0,0040% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0030% hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Ti có thể là 0%. Ngoài ra, do việc giảm đáng kể hàm lượng Ti có thể làm tăng chi phí sản xuất, hàm lượng Ti tốt hơn là 0,0005% hoặc lớn hơn.

[0036]

Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%

Nb (niobi) là nguyên tố kết hợp với carbon hoặc nitơ để tạo thành chất kết tủa (cacbua và nitrua), do đó góp phần làm tăng độ bền, nhưng bản thân những chất kết tủa này làm xấu đi các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng Nb được đặt thành nhỏ hơn 0,0050%. Hàm lượng Nb tốt hơn là 0,0040% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0030% hoặc nhỏ hơn, và còn tốt hơn nữa là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Thêm nữa, hàm lượng Nb tốt nhất là nằm dưới giới hạn đo lường, và cụ thể là nhỏ

hơn 0,0001%. Vì mong muốn rằng hàm lượng Nb càng thấp càng tốt, hàm lượng Nb có thể là 0%.

[0037]

Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%

Zr (ziriconi) là nguyên tố kết hợp với carbon hoặc nitơ để tạo thành chất kết tủa (cacbua và nitrua), do đó góp phần làm tăng độ bền, nhưng bản thân những chất kết tủa này lại làm xấu đi các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng Zr được đặt thành nhỏ hơn 0,0050%. Hàm lượng Zr tốt hơn là 0,0040% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0030% hoặc nhỏ hơn, và còn tốt hơn nữa là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, hàm lượng Zr tốt nhất là nằm dưới giới hạn đo lường, và cụ thể là nhỏ hơn 0,0001%. Vì mong muốn rằng hàm lượng Zr càng nhỏ càng tốt, hàm lượng Zr có thể là 0%.

[0038]

V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%

V (vanadi) là nguyên tố kết hợp với carbon hoặc nitơ để tạo thành chất kết tủa (cacbua và nitrua), do đó góp phần làm tăng độ bền, nhưng bản thân những chất kết tủa này lại làm xấu đi các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, hàm lượng V được đặt thành nhỏ hơn 0,0050%. Hàm lượng V tốt hơn là 0,0040% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0030% hoặc nhỏ hơn, và còn tốt hơn nữa là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng V tốt nhất là nằm dưới giới hạn đo lường, và cụ thể là nhỏ hơn 0,0001%. Vì mong muốn rằng hàm lượng V càng nhỏ càng tốt, hàm lượng V có thể là 0%.

[0039]

Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%

Cu (đồng) là nguyên tố mà không thể tránh khỏi việc bị trộn lẫn trong thép. Việc có ý đưa Cu vào làm tăng chi phí sản xuất của tấm thép điện không định hướng. Theo đó, trong phương án này, không nhất thiết phải chủ động chứa Cu và có thể chứa ở mức tạp chất. Hàm lượng Cu được đặt thành nhỏ hơn 0,200%, đây là giá trị tối đa mà có thể bị trộn lẫn một cách khó tránh khỏi trong quy trình sản xuất. Hàm lượng Cu tốt hơn là 0,150% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,100% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Cu có thể là 0%. Ngoài ra, mặc dù giới hạn dưới của hàm lượng Cu không bị giới hạn cụ thể, việc

giảm đáng kể hàm lượng Cu có thể làm tăng chi phí sản xuất. Vì lý do đó, hàm lượng Cu tốt hơn là 0,001% hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là 0,003% hoặc lớn hơn, và tốt nhất là 0,005% hoặc lớn hơn.

[0040]

Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%

Ni (nickel) là nguyên tố mà không thể tránh khỏi việc bị trộn lẫn trong thép. Tuy nhiên, do Ni cũng là nguyên tố nâng cao độ bền của tấm thép điện không định hướng, nó có thể được chứa một cách có chủ ý. Tuy nhiên, vì Ni đắt tiền nên hàm lượng Ni được đặt thành nhỏ hơn 0,500%. Hàm lượng Ni tốt hơn là 0,400% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,300% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Ni có thể là 0%. Ngoài ra, mặc dù giới hạn dưới của hàm lượng Ni không bị giới hạn cụ thể, việc giảm đáng kể hàm lượng Ni có thể làm tăng chi phí sản xuất. Vì lý do đó, hàm lượng Ni tốt hơn là 0,001% hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là 0,003% hoặc lớn hơn, và tốt nhất là 0,005% hoặc lớn hơn.

[0041]

Sn: 0 đến 0,100%

Sb: 0 đến 0,100%

Sn (thiếc) và Sb (antimon) là những nguyên tố hữu ích mà tách biệt trên bề mặt của vật liệu cơ sở để ức chế quá trình oxy hóa và nitro hóa trong quá trình ủ, qua đó góp phần đảm bảo độ tổn hao sắt thấp của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, Sn và Sb cũng có tác dụng cải thiện kết cấu bằng cách phân tách tại ranh giới hạt và tăng mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng. Vì lý do đó, có thể chứa ít nhất một trong số Sn và Sb nếu cần thiết. Tuy nhiên, nếu hàm lượng của những nguyên tố này quá cao, độ dẻo dai của thép có thể giảm, gây khó khăn cho quá trình cán nguội. Theo đó, mỗi hàm lượng Sn và Sb được đặt từ 0,100% hoặc nhỏ hơn. Mỗi hàm lượng Sn và Sb tốt hơn là từ 0,060% hoặc nhỏ hơn. Mỗi hàm lượng Sn và Sb có thể là 0%. Ngoài ra, để có được các hiệu quả trên mà không thất bại, hàm lượng của ít nhất một trong số Sn và Sb tốt hơn là 0,005% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,010% hoặc lớn hơn.

[0042]

Trong thành phần hóa học của vật liệu cơ sở (tấm thép silicon) của tấm thép điện không định hướng theo phương án này, phần còn lại là Fe và các tạp chất. Ở đây,

thuật ngữ “các tạp chất” là các thành phần được trộn lẫn bởi các yếu tố khác nhau trong nguyên liệu thô như quặng, kim loại vụn và quy trình sản xuất khi thép được sản xuất công nghiệp, các tạp chất này được cho phép trong phạm vi không gây ảnh hưởng xấu đến đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

[0043]

Ngoài ra, là nguyên tố tạp chất, hàm lượng Cr và Mo không được xác định cụ thể trong phương án này. Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, ngay cả khi chứa mỗi nguyên tố này trong khoảng từ 0,5% hoặc nhỏ hơn, nó không gây ảnh hưởng cụ thể đến các đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Ngoài ra, ngay cả khi chứa Ca và Mg trong khoảng từ 0,002% hoặc nhỏ hơn, không có ảnh hưởng cụ thể đến các đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Ngay cả khi nguyên tố đất hiếm (REM) được chứa trong khoảng từ 0,004% hoặc nhỏ hơn, không có ảnh hưởng cụ thể đến các đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Thêm nữa, trong phương án này, REM đề cập đến tổng số 17 nguyên tố bao gồm Sc, Y và họ Lanthan, và hàm lượng REM đề cập đến tổng lượng của các nguyên tố này.

[0044]

Mặc dù O cũng là nguyên tố tạp chất, ngay cả khi được chứa trong khoảng từ 0,05% hoặc nhỏ hơn, nó không làm ảnh hưởng đến đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. O có thể bị trộn lẫn vào thép trong bước ủ, và do đó ngay cả khi hàm lượng trong giai đoạn thổi dẹt (tức là giá trị gầu rót - ladle value) nằm trong khoảng từ 0,01% hoặc nhỏ hơn, nó không gây ảnh hưởng cụ thể đến các đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

[0045]

Ngoài ra, bên cạnh những nguyên tố trên, có thể chứa các nguyên tố như Pb, Bi, As, B, và Se như là các nguyên tố tạp chất, nhưng nếu lượng của mỗi nguyên tố nằm trong khoảng từ 0,0050% hoặc nhỏ hơn, chúng không làm ảnh hưởng đến đặc điểm của tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

[0046]

Thành phần hóa học của vật liệu cơ sở của tấm thép điện không định hướng theo

phương án này có thể được đo bằng cách sử dụng phép đo phổ phát xạ ICP hoặc phép đo phổ phát xạ tia lửa điện. Ngoài ra, có thể đo C và S bằng cách sử dụng phương pháp hấp thụ hồng ngoại - đốt cháy, có thể đo N bằng cách sử dụng phương pháp dẫn nhiệt - đốt khí trơ, và có thể đo O bằng cách sử dụng phương pháp hấp thụ hồng ngoại không tán xạ kết hợp khí trơ.

Ngoài ra, trong trường hợp mà tấm thép đóng vai trò là đối tượng đo có lớp phủ cách điện và tương tự, thì thành phần hóa học được đo sau khi loại bỏ chúng.

[0047]

3. Các đặc điểm từ tính

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, các đặc điểm từ tính vượt trội là độ tổn hao sắt $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi thấp, mật độ từ thông B_{50} trung bình toàn chu vi cao, và tính dị hướng của B_{50} nhỏ. Ngoài ra, độ tổn hao sắt $W_{10/400}$ là tổn hao sắt được tạo ra trong điều kiện mật độ từ thông tối đa là 1,0 T và tần số là 400 Hz, và mật độ từ thông B_{50} là mật độ từ thông trong từ trường 5000 A/m.

[0048]

Đặc điểm trung bình toàn chu vi là giá trị trung bình của đặc điểm theo hướng cán, đặc điểm theo hướng 45° từ hướng cán, và đặc điểm theo hướng 90° từ hướng cán và như sau. Ngoài ra, hướng 90° từ hướng cán là hướng vuông góc với hướng cán trong mặt phẳng tấm (tức là hướng vuông góc với hướng cán và hướng độ dày tấm).

$$W_{10/400} \text{ trung bình toàn chu vi} = (W_{10/400}(0^\circ) + 2 \times W_{10/400}(45^\circ) + W_{10/400}(90^\circ)) / 4$$

$$B_{50} \text{ trung bình toàn chu vi} = (B_{50}(0^\circ) + 2 \times B_{50}(45^\circ) + B_{50}(90^\circ)) / 4$$

[0049]

Ngoài ra, tính dị hướng của B_{50} được biểu thị bởi ΔB_{50} trong phần mô tả và như sau.

$$\Delta B_{50} = B_{50}(0^\circ) - B_{50}(45^\circ)$$

[0050]

Cụ thể, thực tế là tổn hao sắt là ngoại lệ cho thấy trường hợp, khi độ dày tấm của tấm thép điện không định hướng lớn hơn 0,30mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,35mm, $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi nhỏ hơn hoặc bằng 16,0 W/kg, trường hợp mà trong đó,

khi độ dày tấm lớn hơn 0,25mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,30mm, $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi là 15,0 W/kg hoặc nhỏ hơn, trường hợp mà trong đó, khi độ dày tấm lớn hơn 0,20mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,25mm, $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi là 13,0 W/kg hoặc nhỏ hơn, và trường hợp mà trong đó, khi độ dày là 0,20mm hoặc nhỏ hơn, $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi là 12,0 W/kg hoặc nhỏ hơn, ΔB_{50} là 0,16 T hoặc nhỏ hơn không phụ thuộc vào độ dày tấm, và B_{50} trung bình toàn chu vi là 1,57 T hoặc lớn hơn. Ở đây, trong phương án này, các đặc điểm từ tính (tổn hao sắt $W_{10/400}$ và mật độ từ thông B_{50}) được đo bằng thử nghiệm Epstein được xác định trong JIS C 2550-1 (2011) sử dụng các mẫu thử đo từ tính theo từng hướng.

[0051]

4. Đặc tính cơ học

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, có độ bền cao cho biết độ bền kéo (tối đa) theo hướng cán là 580 MPa hoặc lớn hơn. Tấm thép điện không định hướng theo phương án này có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn. Độ bền kéo tốt hơn là 590 MPa hoặc lớn hơn. Ở đây, độ bền kéo được đo bằng cách thực hiện kiểm tra độ bền kéo dựa trên JIS Z 2241 (2011).

[0052]

Theo tấm thép điện không định hướng theo phương án này, có thể thu được cả độ bền cao và các đặc điểm từ tính vượt trội (cụ thể là giảm tính dị hướng của B_{50} (ΔB_{50})). Đây là điều không thể đạt được bằng hợp kim cao đơn giản như trong quá khứ. Trong phương án này, bên cạnh việc tối ưu hóa tổng hàm lượng các nguyên tố hợp kim góp phần tạo nên độ bền (biểu thức (i)), bằng cách kiểm soát các điều kiện của phương pháp sản xuất mà sẽ được mô tả sau (cụ thể là bước cán nguội thứ hai và bước ủ hoàn thiện), có thể thu được tấm thép điện không định hướng có cả độ bền cao và các đặc điểm từ tính vượt trội.

[0053]

Vì lý do đó, tấm thép điện không định hướng của phương án này có thể được sử dụng làm vật liệu lõi sắt cho các loại máy quay như động cơ truyền động và máy phát điện cho xe điện và xe hybrid, động cơ máy nén cho máy điều hòa không khí và máy điều hòa không khí cỡ lớn.

[0054]

5. Lớp phủ cách điện

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này tốt hơn là có lớp phủ cách điện trên bề mặt của vật liệu cơ sở. Tấm thép điện không định hướng được sử dụng bằng cách đục lỗ lồi và sau đó xếp chồng lên nhau, và do đó, bằng cách bố trí lớp phủ cách điện trên bề mặt của vật liệu cơ sở, có thể giảm dòng điện xoáy giữa các tấm, và có thể giảm tổn hao dòng điện xoáy làm lồi.

[0055]

Trong phương án này, loại lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể, và có thể sử dụng lớp phủ cách điện đã biết làm lớp phủ cách điện cho tấm thép điện không định hướng. Ví dụ, lớp phủ cách điện composit chứa chất vô cơ là thành phần chính và chất hữu cơ có thể được lấy làm ví dụ cho lớp phủ cách điện như vậy.

[0056]

Ở đây, lớp phủ cách điện composit là, ví dụ, lớp phủ cách điện mà chứa ít nhất muối kim loại như cromat kim loại hoặc photphat kim loại, hoặc một chất vô cơ như silica dạng keo, hợp chất Zr hoặc hợp chất Ti làm thành phần chính, mà các hạt nhựa hữu cơ mịn được phân tán trong đó. Cụ thể, xét về việc giảm tác động đến môi trường trong quá trình sản xuất, mà đang có nhu cầu ngày càng tăng trong những năm gần đây, lớp phủ cách điện sử dụng chất liên kết của photphat kim loại, Zr, hoặc Ti làm nguyên liệu ban đầu, hoặc tốt hơn là sử dụng lớp phủ cách điện sử dụng cacbonat hoặc muối amoni của chất liên kết của photphat kim loại, Zr hoặc Ti làm nguyên liệu ban đầu.

[0057]

Mặc dù lượng bám dính của lớp phủ cách điện không được giới hạn cụ thể, tốt hơn là khoảng 200 đến 1500 mg/m² mỗi mặt, và tốt hơn nữa là 300 đến 1200 mg/m² mỗi mặt. Bằng cách tạo thành lớp phủ cách điện sao cho lượng bám dính nằm trong phạm vi trên, có thể duy trì tính đồng nhất vượt trội. Ngoài ra, trong trường hợp đo lường bám dính của lớp phủ cách điện sau khi thực tế, các phương pháp đo lường đã biết khác nhau có thể được sử dụng, và, ví dụ, có thể sử dụng phương pháp đo chênh lệch khối lượng giữa trước và sau khi ngâm trong dung dịch natri hydroxit, phương pháp tia X huỳnh quang sử dụng phương pháp đường chuẩn hoặc phương pháp tương tự khi thích hợp.

[0058]

Mặc dù tấm thép điện không định hướng theo phương án này đã được mô tả ở trên, kích thước hạt trung bình của tấm thép điện không định hướng theo phương án này không được giới hạn cụ thể. Tuy nhiên, nếu kích thước hạt tinh thể trung bình trở nên quá nhỏ mà không làm thô hạt tinh thể, có lo ngại rằng tổn hao sắt sẽ xấu đi. Mặt khác, nếu các hạt tinh thể quá thô và kích thước hạt tinh thể trung bình quá lớn, không chỉ độ bền giảm mà tổn hao dòng điện xoáy cũng có thể xấu đi. Vì lý do đó, kích thước hạt trung bình của tấm thép điện không định hướng tốt hơn là đặt từ 50 μm đến 120 μm . Kích thước hạt tinh thể trung bình có thể đặt từ 60 μm hoặc lớn hơn hoặc có thể đặt từ 70 μm hoặc lớn hơn. Ngoài ra, kích thước hạt tinh thể trung bình có thể đặt từ 100 μm hoặc nhỏ hơn.

Ví dụ, có thể đo kích thước hạt trung bình bằng phương pháp cắt của JIS G0551 (2020) trong mặt cắt ngang song song với hướng cán và hướng độ dày tấm.

[0059]

Ngoài ra, độ dày của tấm thép điện không định hướng theo phương án này không được giới hạn cụ thể. Thông thường, khi độ dày tấm trở nên nhỏ hơn, tổn hao sắt giảm, nhưng chi phí sản xuất tăng. Khi xem xét điểm này, nếu độ dày tấm là 0,10mm hoặc lớn hơn, tổn hao sắt có thể được giữ ở mức thấp hơn, và có thể hạn chế sự gia tăng chi phí. Ngoài ra, nếu độ dày tấm là 0,35mm hoặc nhỏ hơn, có thể duy trì độ tổn hao sắt thấp. Vì lý do đó, độ dày tấm thích hợp của tấm thép điện không định hướng theo phương án này là từ 0,10 đến 0,35mm, và tốt hơn nữa là từ 0,15 đến 0,30mm.

[0060]

6. Phương pháp sản xuất

Mặc dù phương pháp sản xuất của tấm thép điện không định hướng theo phương án này không được giới hạn cụ thể, nó có thể được sản xuất bằng cách thực hiện theo thứ tự, đối với một thanh thép có thành phần hóa học được mô tả ở trên, ví dụ, bước cán nóng, bước tẩy, bước cán nguội thứ nhất, bước ủ trung gian, bước cán nguội thứ hai và bước ủ hoàn thiện theo các điều kiện dưới đây. Hơn nữa, trong trường hợp mà lớp phủ cách điện được hình thành trên bề mặt của vật liệu cơ sở (tấm thép silicon), bước hình thành lớp phủ cách điện thực hiện sau bước ủ hoàn thiện. Mỗi bước sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

[0061]

<Bước cán nóng>

Thanh thép (phôi dẹt) có thành phần hóa học trên được gia nhiệt, và thực hiện cán nóng trên thanh thép được gia nhiệt này để thu được tấm thép cán nóng. Ở đây, nhiệt độ gia nhiệt của thanh thép để cán nóng không được xác định cụ thể nhưng tốt hơn là từ 1050 đến 1250°C chẳng hạn. Ngoài ra, độ dày của tấm thép cán nóng sau khi cán nóng không được xác định cụ thể, nhưng xét về hiệu quả của bước cán nóng và các bước tiếp theo, ví dụ, độ dày tốt hơn là khoảng từ 1,5 đến 3,0mm.

[0062]

<Bước tẩy sạch>

Sau bước cán nóng, bước tẩy sạch được thực hiện mà không cần ủ tấm cán nóng. Nói chung, sau bước cán nóng, tấm cán nóng được ủ và sau đó được tẩy trong nhiều trường hợp. Tuy nhiên, trong trường hợp của thép chứa lượng lớn các nguyên tố hợp kim như trong phương án này, nếu thực hiện ủ tấm cán nóng, độ dẻo dai có thể xấu đi, và có thể xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội. Vì lý do đó, việc ủ tấm cán nóng được bỏ qua trong phương án này. Cụ thể, việc tẩy được thực hiện trên tấm cán nóng mà không cần ủ, và lớp cặn hình thành trên bề mặt của vật liệu cơ sở được loại bỏ. Ở đây, các điều kiện tẩy, chẳng hạn như nồng độ axit được sử dụng để tẩy, nồng độ của chất gia tốc được sử dụng để tẩy, và nhiệt độ của dung dịch tẩy không bị giới hạn cụ thể và có thể sử dụng các điều kiện tẩy đã biết.

[0063]

<Bước cán nguội thứ nhất>

Sau khi tẩy sạch, độ dày tấm giảm xuống còn 1,0mm hoặc nhỏ hơn. Nếu độ dày tấm sau khi giảm vượt quá 1,0mm, có rủi ro nứt gãy cao trong quá trình cán nguội lần thứ hai. Độ dày tấm sau khi giảm tốt hơn nữa là 0,9mm hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là 0,8mm hoặc nhỏ hơn.

[0064]

<Bước ủ trung gian>

Sau khi cán nguội lần thứ nhất, bước ủ trung gian được thực hiện cho mục đích cải thiện các đặc điểm từ tính của tấm thép điện không định hướng. Về điều kiện xử lý

nhệt trong quá trình ủ trung gian, tấm cán nguội lần thứ nhất được ủ ở 800 đến 1050°C trong từ 1 đến 300 giây. Nếu nhiệt độ ngâm trong bước ủ trung gian quá thấp, mật độ từ thông B_{50} trung bình toàn chu vi có thể giảm. Vì lý do đó, nhiệt độ ngâm trong quá trình ủ trung gian được đặt từ 800°C hoặc lớn hơn, tốt hơn là 850°C hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 900°C hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu nhiệt độ ngâm trong bước ủ trung gian quá cao, có nguy cơ nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai. Vì lý do đó, nhiệt độ ngâm trong bước ủ trung gian được đặt thành 1050°C hoặc nhỏ hơn, tốt hơn là 1040°C hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 1030°C hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, nếu thời gian ngâm trong bước ủ trung gian quá ngắn, mật độ từ thông B_{50} trung bình toàn chu vi có thể giảm. Vì lý do đó, thời gian ngâm trong bước ủ trung gian được đặt thành 1 giây hoặc lớn hơn, tốt hơn là 5 giây hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 10 giây hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu thời gian ngâm trong bước ủ trung gian quá dài, chi phí sản xuất có thể tăng. Theo đó, thời gian ngâm trong bước ủ trung gian là 300 giây hoặc nhỏ hơn, tốt hơn là 200 giây hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 100 giây hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, trước khi ủ trung gian, dầu cán trong quá trình cán nguội lần thứ nhất vẫn còn, và do đó tốt hơn là thực hiện xử lý tẩy nhờn.

[0065]

<Bước cán nguội thứ hai>

Sau bước ủ trung gian, bước cán nguội thứ hai được thực hiện. Trong bước cán nguội lần thứ hai, vật liệu cơ sở được cán tại độ giảm cán 65% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 85% sao cho độ dày tấm cuối cùng của vật liệu cơ sở là từ 0,10 đến 0,35mm. Nếu độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai quá thấp, tính dị hướng (ΔB_{50}) của mật độ từ thông B_{50} có thể tăng. Ngoài ra, nếu độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai bị hạ thấp quá mức, độ tổn hao sắt có thể xấu đi. Vì lý do đó, độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai tốt hơn là 67% hoặc lớn hơn. Mặt khác, nếu độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai quá cao, độ dày tấm khi bắt đầu cán tăng và có nguy cơ nứt gãy. Vì lý do đó, độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai tốt hơn là 83% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, trong trường hợp mà thực hiện bước ủ trung gian trong môi trường oxy hóa, tốt hơn là thực hiện bước cán nguội thứ hai sau khi loại bỏ cặn.

[0066]

<Bước ủ hoàn thiện>

Sau khi cán nguội lần thứ hai, bước ủ hoàn thiện được thực hiện. Trong phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này, tốt nhất là sử dụng lò ủ liên tục để ủ hoàn thiện.

[0067]

Ở đây, về các điều kiện ủ hoàn thiện, nhiệt độ ngâm (nhiệt độ ủ) được đặt từ 850 đến 1050°C. Ngoài ra, như các điều kiện khác cho bước ủ hoàn thiện, tốt hơn là thời gian ngâm được đặt từ 1 đến 300 giây, môi trường không khí được đặt thành môi trường không khí hỗn hợp của H₂ và N₂ trong đó tỷ lệ H₂ là 5 đến 100% theo thể tích (tức là H₂+N₂=100% theo thể tích), và điểm sương của môi trường không khí được đặt từ 30°C hoặc nhỏ hơn.

[0068]

Trong trường hợp nhiệt độ ngâm nhỏ hơn 850°C, kích thước hạt tinh thể trở nên mịn hơn và tổn hao sắt của tấm thép điện không định hướng xấu đi, điều này là không tốt. Trong trường hợp nhiệt độ ngâm vượt quá 1050°C, độ bền của tấm thép điện không định hướng sẽ không đủ, dẫn đến tăng chi phí sản xuất, điều này là không tốt. Nhiệt độ ngâm tốt hơn nữa là từ 875 đến 1025°C, và tốt nhất là từ 900 đến 1000°C. Nếu thời gian ngâm nhỏ hơn 1 giây, các hạt tinh thể không thể đủ thô. Nếu thời gian ngâm vượt quá 300 giây, chi phí sản xuất sẽ tăng. Tỷ lệ H₂ trong môi trường không khí tốt hơn nữa là từ 10 đến 90% theo thể tích. Điểm sương của môi trường không khí tốt hơn là càng thấp càng tốt từ quan điểm tăng mật độ từ thông. Điểm sương của môi trường không khí tốt hơn nữa là 10°C hoặc nhỏ hơn, còn tốt hơn nữa là 0°C hoặc nhỏ hơn, và tốt nhất là -10°C hoặc nhỏ hơn.

[0069]

<Bước hình thành lớp phủ cách điện>

Sau khi ủ hoàn thiện, bước hình thành lớp phủ cách điện được thực hiện nếu cần thiết. Ở đây, phương pháp hình thành lớp phủ cách điện không được giới hạn cụ thể, và phủ và làm khô chất lỏng xử lý có thể được thực hiện bằng phương pháp đã biết sử dụng chất lỏng xử lý đã biết để tạo thành lớp phủ cách điện như được thể hiện dưới đây. Là lớp phủ cách điện đã biết, ví dụ, lớp phủ cách điện composit chứa chất vô cơ làm thành phần chính và còn chứa một chất hữu cơ có thể được lấy làm ví dụ.

[0070]

Lớp phủ cách điện composit là, ví dụ, lớp phủ cách điện chứa ít nhất một muối kim loại như cromat kim loại hoặc photphat kim loại, hoặc chất vô cơ như silica dạng keo, hợp chất Zr hoặc hợp chất Ti làm thành phần chính, trong đó các hạt nhựa hữu cơ mịn được phân tán. Cụ thể, từ quan điểm giảm tác động đến môi trường trong quá trình sản xuất, vốn đang có nhu cầu ngày càng tăng trong những năm gần đây, lớp phủ cách điện sử dụng chất liên kết của photphat kim loại, Zr hoặc Ti làm nguyên liệu ban đầu, hoặc tốt hơn là sử dụng lớp phủ cách điện sử dụng cacbonat hoặc muối amoni của chất liên kết của photphat kim loại, Zr hoặc Ti làm nguyên liệu ban đầu.

[0071]

Bề mặt của vật liệu cơ sở mà lớp phủ cách điện được hình thành trên đó có thể được xử lý sơ bộ tùy ý như xử lý tẩy nhờn bằng chất kiềm, và xử lý tẩy bằng axit clohydric, axit sulfuric, axit phosphoric hoặc tương tự trước khi sử dụng chất lỏng xử lý. Chất lỏng xử lý có thể được áp dụng cho bề mặt của vật liệu cơ sở sau khi kết thúc ủ mà không thực hiện các tiền xử lý này.

[0072]

Sáng chế sẽ được mô tả chi tiết hơn dưới đây với tham chiếu đến các ví dụ, nhưng các điều kiện trong ví dụ chỉ là ví dụ được sử dụng để xác nhận tính khả thi và hiệu quả của sáng chế, và sáng chế không giới hạn ở những điều kiện ví dụ này. Có thể sử dụng các điều kiện khác nhau trong sáng chế miễn là đạt được mục đích của sáng chế mà không rời khỏi ý chính của sáng chế.

[Ví dụ 1]

[0073]

Phôi dẹt có thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 được gia nhiệt đến 1150°C, sau đó được cán nóng ở nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và độ dày tấm hoàn thiện là 2,0mm, và được cuộn tại 650°C để thu được tấm thép cán nóng. Tấm thép cán nóng thu được được đưa vào cán nguội lần thứ nhất để có độ dày là 0,7mm sau khi loại bỏ cặn bề mặt bằng cách tẩy mà không thực hiện ủ tấm cán nóng. Tiếp theo, tấm sau khi cán nguội lần thứ nhất được tẩy nhờn, sau đó được đưa vào ủ trung gian tại 970°C trong 40 giây để thu được tấm ủ trung gian. Tấm ủ trung gian có độ dày là 0,20mm được đưa

vào cán nguội lần thứ hai để thu được tấm thép cán nguội. Thêm nữa, ủ hoàn thiện được thực hiện tại 1000°C trong 20 giây trong môi trường không khí hỗn hợp của H₂: 15%, N₂: 85%, và điểm sương là -30°C. Sau đó, lớp phủ cách điện được phủ để tạo ra tấm thép điện không định hướng, mà được sử dụng làm vật liệu thử nghiệm.

[0074]

Ngoài ra, lớp phủ cách điện ở trên được tạo thành bằng cách phủ lớp phủ cách điện làm bằng nhôm photphat và nhũ tương nhựa copolyme acrylic-styren có kích thước hạt là 0,2µm để có lượng bám dính là 1000mg/m² và thực hiện nung tại 350°C trong môi trường không khí.

[0075]

[Bảng 1]

Thử nghiệm số	Loại thép	Thành phần hóa học (% khối lượng, còn lại là Fe và các tạp chất)												Giá trị của phần ở giữa trong biểu thức (i)			
		C	Si	Mn	P	S	Sol. Al	N	Ti	Nb	Zr	V	Cu	Ni	Sn	Sb	
1	A	0,0025	3,7	1,02	0,014	0,0008	0,31	0,0012	0,0012	0,0008	0,0007	0,0002	0,059	0,033	0,029	0,001	4,5
2	B	0,0026	3,8	1,01	0,015	0,0009	0,32	0,0013	0,0013	0,0008	0,0007	0,0018	0,060	0,035	0,029	0,001	4,6
3	C	0,0020	4,1	0,60	0,013	0,0008	0,20	0,0013	0,0012	0,0009	0,0006	0,0005	0,061	0,050	0,028	-	4,6
4	D	0,0025	4,4	0,44	0,012	0,0006	0,19	0,0015	0,0016	0,0007	0,0004	0,0001	0,058	0,049	0,003	0,001	4,8
5	E	0,0025	4,9	0,43	0,013	0,0007	0,20	0,0015	0,0016	0,0008	0,0004	0,0006	0,052	0,050	0,002	0,003	5,3
6	F	0,0024	4,1	0,62	0,015	0,0010	0,05	0,0014	0,0015	0,0007	0,0011	0,0009	0,007	0,005	0,030	-	4,5
7	G	0,0018	4,7	0,20	0,015	0,0012	0,15	0,0015	0,0015	0,0014	0,0006	0,0009	0,009	0,006	0,028	0,002	5,0
8	H	0,0028	3,8	0,20	0,013	0,0010	0,15	0,0017	0,0012	0,0016	0,0006	0,0001	0,005	0,005	0,030	0,002	4,1
9	I	0,0025	4,0	0,61	0,013	0,0009	0,45	0,0018	0,0012	0,0016	0,0005	0,0001	0,006	0,006	0,030	-	4,8
10	J	0,0021	4,0	0,60	0,013	0,0009	0,60	0,0010	0,0011	0,0014	0,0004	0,0008	0,005	0,006	0,030	0,004	4,9
11	K	0,0024	4,1	0,57	0,014	0,0048	0,30	0,0014	0,0010	0,0015	0,0005	0,0008	0,006	0,006	0,029	0,001	4,7
12	L	0,0027	4,2	0,40	0,012	0,0008	0,22	0,0015	0,0010	0,0004	0,0001	0,0006	0,012	0,080	-	0,030	4,6
13	M	0,0026	4,6	0,23	0,013	0,0007	0,22	0,0012	0,0011	0,0006	0,0005	0,0004	0,013	0,085	0,012	0,013	4,9
14	N	0,0023	4,1	0,58	0,018	0,0009	0,21	0,0014	0,0011	0,0006	0,0005	0,0003	0,013	0,092	0,022	0,001	4,6
15	O	0,0029	4,6	0,24	0,048	0,0008	0,22	0,0013	0,0012	0,0005	0,0005	0,0003	0,012	0,086	0,022	0,001	4,9
16	P	0,0035	3,9	0,10	0,006	0,0004	0,38	0,0020	0,0007	0,0015	0,0010	0,0012	0,150	0,352	0,055	0,002	4,3
17	Q	0,0010	3,9	0,53	0,025	0,0015	0,45	0,0026	0,0038	0,0010	0,0036	0,0008	0,101	0,153	0,015	0,003	4,6
18	R	0,0033	3,8	0,35	0,008	0,0010	0,32	0,0011	0,0010	0,0038	0,0010	0,0041	0,013	0,215	0,001	0,057	4,3
19	S	0,0052	3,9	0,32	0,014	0,0011	0,31	0,0019	0,0035	0,0015	0,0010	0,0012	0,008	0,036	0,010	0,002	4,4
20	T	0,0018	5,0	0,07	0,014	0,0011	0,10	0,0019	0,0035	0,0015	0,0010	0,0012	0,008	0,036	0,010	0,002	5,1
21	U	0,0028	3,9	0,95	0,015	0,0012	0,01	0,0018	0,0015	0,0010	0,0012	0,0008	0,060	0,031	0,018	0,001	4,4
22	V	0,0020	4,1	0,28	0,013	0,0008	0,33	0,0014	0,0010	0,0008	0,0009	0,0017	0,026	0,022	0,110	-	4,6
23	W	0,0020	4,1	0,28	0,013	0,0008	0,33	0,0014	0,0010	0,0008	0,0009	0,0017	0,026	0,022	0,001	0,115	4,6

4,3≤Si+sol. Al+0,5×Mn≤5,0 … (i)

Phân gạch chân cho biết số nằm ngoài phạm vi của sáng chế.

[0076]

[Bảng 2]

[Bảng 2]

Thử nghiệm số	Loại thép	Độ bền kéo (MPa)	W _{10/400} trung bình toàn chu vi (W/Kg)	B ₅₀ trung bình toàn chu vi (T)	ΔB ₅₀ (T)	Chú thích	
1	A	578	10,5	1,59	0,14	Ví dụ so sánh	
2	B	595	10,4	1,59	0,14	Ví dụ sáng chế	
3	C	608	10,3	1,59	0,13		
4	D	644	10,1	1,58	0,12		
5	E	Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.				Ví dụ so sánh	
6	F	619	11,5	1,59	0,11	Ví dụ sáng chế	
7	G	675	10,2	1,57	0,13	Ví dụ so sánh	
8	H	573	11,2	1,60	0,13		
9	I	606	10,2	1,59	0,15		
10	J	610	10,2	1,58	0,17	Ví dụ so sánh	
11	K	617	12,2	1,58	0,14		
12	L	619	10,4	1,59	0,13	Ví dụ sáng chế	
13	M	668	10,1	1,57	0,13		
14	N	610	10,3	1,59	0,13		
15	O	Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.				Ví dụ so sánh	
16	P	596	10,9	1,60	0,14	Ví dụ sáng chế	
17	Q	600	10,4	1,59	0,15		
18	R	583	10,8	1,60	0,14		
19	S	598	12,3	1,60	0,14	Ví dụ so sánh	
20	T	Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.					
21	U	600	12,5	1,60	0,14		
22	V	Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.					
23	W						

Phần gạch chân cho biết số nằm ngoài phạm vi của sáng chế.

[0077]

Từ mỗi vật liệu thử nghiệm thu được, mẫu thử Epstein được lấy theo hướng cán, theo hướng 45° từ hướng cán, và theo hướng 90° từ hướng cán, và các đặc điểm từ tính theo mỗi hướng (tổn hao sắt $W_{10/400}$ và mật độ từ thông B_{50}) được đánh giá bởi thử nghiệm Epstein theo JIS C 2550-1 (2011). Trong trường hợp tổn hao sắt $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi là $12,0\text{W/kg}$ hoặc nhỏ hơn, mật độ từ thông B_{50} trung bình toàn chu vi là $1,57\text{ T}$ hoặc lớn hơn, và ΔB_{50} là $0,16\text{ T}$ hoặc nhỏ hơn, các đặc điểm từ tính được xác định là vượt trội và được chấp nhận. Trong trường hợp không thỏa mãn những điều kiện này, các đặc điểm từ tính được xác định là kém và không được chấp nhận. Ngoài ra, lý do đặt điều kiện chấp nhận như vậy là độ dày tấm cuối cùng của vật liệu cán nguội đối với mỗi vật liệu thử nghiệm là $0,20\text{mm}$ hoặc nhỏ hơn.

[0078]

Thêm nữa, từ mỗi vật liệu thử nghiệm, các mẫu thử độ bền kéo JIS số 5 được lấy theo JIS Z 2241 (2011) sao cho hướng dọc của chúng trùng với hướng cán của tấm thép. Sau đó, sử dụng các mẫu thử trên, thử nghiệm độ bền kéo được thực hiện theo JIS Z 2241 (2011) để đo độ bền kéo của các mẫu thử này. Mẫu thử có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn được xác định là có độ bền cao và được chấp nhận. Mẫu thử có độ bền kéo nhỏ hơn 580 MPa được xác định là có độ bền kém và không được chấp nhận.

[0079]

Bảng 2 cũng thể hiện kết quả của thử nghiệm Epstein và thử nghiệm độ bền kéo. Ngoài ra, phần gạch chân trong bảng 1 và 2 cho biết chế phẩm nằm ngoài phạm vi của sáng chế. Ngoài ra, ký hiệu “-” trong bảng thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 chỉ ra rằng hàm lượng của nguyên tố tương ứng là 0% ở dạng chữ số có nghĩa (giá trị lên đến chữ số có nghĩa nhỏ nhất) được chỉ định trong phương án này.

[0080]

Người ta thấy rằng các thử nghiệm từ số 2 đến 4, 6, 7, 9, 12 đến 14 và 16 đến 18 có thành phần hóa học của các tấm thép thỏa mãn những hạn chế của sáng chế, có tổn hao sắt trung bình toàn chu vi thấp, mật độ từ thông trung bình toàn chu vi cao, tính dị hướng của mật độ từ thông nhỏ, và độ bền kéo cao từ 580 MPa hoặc lớn hơn.

[0081]

Ngược lại, các thử nghiệm số 1, 5, 8, 10, 11, 15, và 19 đến 23 là các ví dụ so sánh, có các đặc điểm từ tính và độ bền kéo đều kém, hoặc độ dẻo dai giảm đáng kể, gây khó khăn cho việc sản xuất.

[0082]

Cụ thể, trong thử nghiệm số 1, hàm lượng Si thấp hơn phạm vi quy định, dẫn đến độ bền kéo kém. Ngoài ra, trong thử nghiệm số 8, do không thỏa mãn biểu thức (i), độ bền kéo là kém.

[0083]

Trong thử nghiệm số 5, biểu thức (i) không được thỏa mãn, và trong thử nghiệm số 15, hàm lượng P vượt ngưỡng quy định, và do đó độ dẻo dai của chúng kém đi và xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội, làm cho không thể đo lường độ bền kéo và các đặc điểm từ tính. Tương tự, trong thử nghiệm số 20, hàm lượng Si không thỏa mãn biểu thức (i), trong thử nghiệm số 22, hàm lượng Sn vượt ngưỡng quy định, và trong thử nghiệm số 23, hàm lượng Sb vượt ngưỡng quy định, và do đó độ dẻo dai kém đi và xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội, làm cho không thể đo lường độ bền kéo và các đặc điểm từ tính.

[0084]

Trong thử nghiệm số 10, hàm lượng sol. Al vượt ngưỡng quy định, dẫn đến tính dị hướng của mật độ từ thông kém. Trong thử nghiệm số 11, hàm lượng S vượt ngưỡng quy định, dẫn đến độ tổn hao sắt kém. Trong thử nghiệm số 19, hàm lượng C vượt ngưỡng quy định, dẫn đến độ tổn hao sắt kém. Trong thử nghiệm số 21, hàm lượng sol. Al thấp hơn ngưỡng quy định, dẫn đến độ tổn hao sắt kém.

[Ví dụ 2]

[0085]

Phôi dẹt của thép loại I trong bảng 1 được gia nhiệt đến 1150°C, sau đó được cán nóng ở nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và độ dày tấm hoàn thiện là 2,0mm và được cuộn tại 650°C để thu được tấm thép cán nóng. Tấm thép cán nóng thu được được tẩy để loại bỏ cặn bề mặt mà không cần ủ tấm cán nóng, và sau đó giảm xuống độ dày tấm được thể hiện trong bảng 3 để thu được tấm cán nguội lần thứ nhất. Tấm cán nguội lần thứ nhất của mỗi độ dày được xử lý tẩy nhòn, sau đó được ủ trung gian tại nhiệt độ ngâm

được thể hiện trong bảng 3 trong 30 giây để thu được tấm ủ trung gian. Tấm ủ trung gian được cán nguội lần thứ hai để có độ dày là 0,20mm để thu được tấm thép cán nguội. Thêm nữa, trong môi trường không khí hỗn hợp của H_2 : 15%, N_2 : 85%, và các điểm sương được thể hiện trong bảng 3, bước ủ hoàn thiện được thực hiện tại nhiệt độ ngâm được thể hiện trong bảng 3 trong 20 giây. Sau đó, lớp phủ cách điện được sử dụng để tạo ra tấm thép điện không định hướng mà được sử dụng làm vật liệu thử nghiệm. Ngoài ra, như được thể hiện trong thử nghiệm số 40, ví dụ so sánh cũng được thực hiện trong đó thực hiện ủ tấm cán nóng trong điều kiện ngâm là $950^{\circ}C \times 60$ giây.

[0086]

[Bảng 3]

Đang tải...

Thử nghiệm số	Độ dày tấm sau khi cán nguội lần thứ nhất (mm)	Nhiệt độ bước ủ trung gian (°C)	Độ giảm cán sau khi cán nguội lần thứ hai (%)	Điều kiện ủ hoàn thiện		Độ bền kéo (MPa)	W _{10/400} trung bình toàn chu vi (W/Kg)	B ₅₀ trung bình toàn chu vi (T)	ΔB ₅₀ (T)	Kích thước hạt tinh thể (μm)	Chú thích
				Nhiệt độ ngâm (°C)	Điểm sương (°C)						
24	1,1	950		Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.							Ví dụ so sánh
25	1,0	950	80	1000	-30	610	10,3	1,60	0,11	79	Ví dụ sáng chế
26	0,8	950	75	1000	-30	608	10,2	1,59	0,13	83	
27	0,6	950	67	1000	-30	603	10,2	1,59	0,16	82	
28	0,5	950	60	1000	-30	600	10,3	1,58	0,18	81	Ví dụ so sánh
29	0,8	780	75	1000	-30	609	10,4	1,56	0,15	75	
30	0,8	900	75	1000	-30	608	10,3	1,58	0,13	80	Ví dụ sáng chế
31	0,8	1000	75	1000	-30	610	10,1	1,60	0,11	87	
32	0,8	1050	75	1000	-30	608	10,1	1,60	0,09	90	
33	0,8	1070		Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.							Ví dụ so sánh
34	0,8	950	75	830	-30	629	13,5	1,58	0,13	31	Ví dụ sáng chế
35	0,8	950	75	1070	-30	572	10,7	1,58	0,13	132	
36	0,8	900	75	950	-50	618	11,0	1,58	0,13	62	
37	0,8	900	75	950	-10	617	11,1	1,58	0,12	63	Ví dụ so sánh
38	0,8	900	75	950	20	615	11,1	1,57	0,13	63	
39	0,22	900	9,1	800	-10	620	12,3	1,58	0,16	45	
40				Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.							
41	1,5	950		Xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai.							

Phân gạch chân cho biết số nằm ngoài phạm vi của sáng chế.

[0087]

Ngoài ra, lớp phủ cách điện trên được tạo thành bằng cách sử dụng lớp phủ cách điện làm bằng nhôm photphat và nhũ tương nhựa copolyme acrylic-styren có kích thước hạt là 0,2 μm sao cho lượng bám dính là 900 mg/m^2 và thực hiện nung tại 350°C trong môi trường không khí.

[0088]

Từ mỗi vật liệu thử nghiệm thu được, các mẫu thử Epstein được lấy theo hướng cán, theo hướng 45° từ hướng cán, và theo hướng 90° từ hướng cán, và các đặc điểm từ tính theo từng hướng (tổn hao sắt $W_{10/400}$ và mật độ từ thông B_{50}) được đánh giá bằng thử nghiệm Epstein theo JIS C 2550-1 (2011). Trong trường hợp các mẫu trong đó tổn hao sắt $W_{10/400}$ trung bình toàn chu vi là 12,0 W/kg hoặc nhỏ hơn, mật độ từ thông B_{50} trung bình toàn chu vi là 1,57 T hoặc lớn hơn, và ΔB_{50} là 0,16 T hoặc nhỏ hơn, các đặc điểm từ tính được xác định là vượt trội và được chấp nhận. Trong trường hợp các mẫu trong đó không đáp ứng những điều kiện này, các đặc điểm từ tính được xác định là kém và không được chấp nhận. Ngoài ra, lý do thiết lập các điều kiện được chấp nhận này là độ dày tấm của mỗi vật liệu thử nghiệm là 0,20mm hoặc nhỏ hơn.

[0089]

Thêm nữa, từ mỗi vật liệu thử nghiệm, mẫu thử nghiệm độ bền kéo JIS số 5 được lấy theo JIS Z 2241 (2011) sao cho các hướng dọc của chúng trùng với hướng cán của tấm thép. Sau đó, sử dụng các mẫu thử trên, thử nghiệm độ bền kéo được thực hiện theo JIS Z 2241 (2011) để đo độ bền kéo. Mẫu thử có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn được xác định là có độ bền cao và được chấp nhận. Mẫu thử có độ bền kéo nhỏ hơn 580 MPa được xác định là có độ bền kém và không được chấp nhận.

[0090]

Bảng 3 cũng thể hiện kết quả của thử nghiệm Epstein và thử nghiệm độ bền kéo.

[0091]

Người ta thấy rằng các thử nghiệm số 25 đến 27, 30 đến 32 và 36 đến 38 có độ dày tấm sau khi cán nguội lần thứ nhất, nhiệt độ ủ trung gian, và độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai thỏa mãn những hạn chế của sáng chế, có tổn hao sắt trung bình toàn chu vi thấp, mật độ từ thông toàn chu vi cao, tính dị hướng của mật độ từ thông nhỏ, và

độ bền kéo cao từ 580 MPa hoặc lớn hơn.

[0092]

Ngược lại, trong các thử nghiệm số 24, 28, 29, 33 đến 35 và 39 đến 41 là các ví dụ so sánh, các đặc điểm từ tính kém, độ bền kéo kém, hoặc độ dẻo dai giảm đáng kể, gây khó khăn cho sản xuất.

[0093]

Cụ thể, trong các thử nghiệm số 24 và 41, độ dày tấm sau khi cán nguội lần thứ nhất dày hơn ngưỡng quy định, và do đó độ dẻo dai giảm và xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai, làm cho không thể đo lường độ bền kéo và các đặc điểm từ tính. Trong thử nghiệm số 33, do nhiệt độ ủ trung gian cao hơn ngưỡng quy định, độ dẻo dai giảm và xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ hai, làm cho không thể đo lường độ bền kéo và các đặc điểm từ tính. Ngoài ra, trong thử nghiệm số 40, do thực hiện ủ tấm cán nóng, độ dẻo dai giảm và xảy ra nứt gãy trong quá trình cán nguội lần thứ nhất, làm cho không thể đo lường độ bền kéo và các đặc điểm từ tính.

[0094]

Thêm nữa, trong thử nghiệm số 28, độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai thấp hơn ngưỡng quy định, dẫn đến tính dị hướng của mật độ từ thông kém. Ngoài ra, trong thử nghiệm số 29, nhiệt độ ủ trung gian thấp hơn ngưỡng quy định, dẫn đến mật độ từ thông trung bình toàn chu vi thấp.

[0095]

Ngoài ra, trong thử nghiệm số 34, nhiệt độ ủ hoàn thiện thấp hơn giá trị quy định, dẫn đến tổn hao sắt trung bình toàn chu vi kém. Mặt khác, trong thử nghiệm số 35, nhiệt độ ủ hoàn thiện cao hơn nhiệt độ quy định, dẫn đến độ bền kéo thấp.

[0096]

Trong thử nghiệm số 39, độ giảm cán trong bước cán nguội thứ hai thấp hơn ngưỡng quy định, và nhiệt độ ủ hoàn thiện cũng thấp hơn ngưỡng quy định, dẫn đến tổn hao sắt kém.

Khả năng áp dụng trong công nghiệp

[0097]

Như đã mô tả ở trên, theo sáng chế, có thể thu được tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và các đặc điểm từ tính vượt trội.

Đơn này yêu cầu hưởng quyền ưu tiên từ đơn sáng chế Nhật Bản số 2021-023510, nộp ngày 17 tháng 2 năm 2021, nội dung của nó được đưa vào đây nhằm viện dẫn.

YÊU CẦU BẢO HỘ

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

C: 0 đến 0,0050%,

Si: 3,8 đến 4,9%,

Mn: 0,05 đến 1,20%,

sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%,

P: 0 đến 0,030%,

S: 0 đến 0,0030%,

N: 0 đến 0,0030%,

Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%,

Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%,

Sn: 0 đến 0,100%,

Sb: 0 đến 0,100%, và

phần còn lại là Fe và các tạp chất,

trong đó tấm thép điện không định hướng thỏa mãn các biểu thức (i) đến (iii) sau, và

có độ bền kéo là 580 MPa hoặc lớn hơn,

$$4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0 \cdots (i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) trên là lượng (theo % khối lượng) của mỗi nguyên tố,

$$B_{50}(0^\circ) - B_{50}(45^\circ) \leq 0,16 \cdots (ii)$$

$$B_{50}(0^\circ) + 2 \times B_{50}(45^\circ) + B_{50}(90^\circ) / 4 \geq 1,57 \dots (iii)$$

trong đó, $B_{50}(0^\circ)$ trong các biểu thức (ii) và (iii) trên là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa 5000 A/m theo hướng cán, $B_{50}(45^\circ)$ là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa 5000 A/m theo hướng 45° từ hướng cán, và $B_{50}(90^\circ)$ là mật độ từ thông (T) tại lực từ hóa 5000 A/m theo hướng 90° từ hướng cán.

2. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 1,

trong đó thành phần hóa học chứa một hoặc hai nguyên tố được chọn từ, theo % khối lượng,

Sn: 0,005 đến 0,100%, và

Sb: 0,005 đến 0,100%.

3. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, còn bao gồm lớp phủ cách điện trên bề mặt của vật liệu cơ sở.

4. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, bao gồm việc thực hiện theo thứ tự:

đối với thanh thép có thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng,

C: 0 đến 0,0050%,

Si: 3,8 đến 4,9%,

Mn: 0,05 đến 1,20%,

sol. Al: lớn hơn 0,02% và nhỏ hơn hoặc bằng 0,50%,

P: 0 đến 0,030%,

S: 0 đến 0,0030%,

N: 0 đến 0,0030%,

Ti: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

V: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,200%,

Ni: lớn hơn hoặc bằng 0% và nhỏ hơn 0,500%,
Sn: 0 đến 0,100%,
Sb: 0 đến 0,100%, và
phần còn lại là Fe và các tạp chất,
thành phần hóa học thỏa mãn biểu thức (i) sau,
bước cán nóng;
bước cán nguội thứ nhất để giảm độ dày tấm thành 1,0mm hoặc nhỏ hơn;
bước ủ trung gian có nhiệt độ ngâm từ 800 đến 1050°C và thời gian ngâm từ 1
đến 300 giây;
bước cán nguội thứ hai có độ giảm cán lớn hơn hoặc bằng 65% và nhỏ hơn 85%;
và
bước ủ hoàn thiện có nhiệt độ ủ từ 850 đến 1050°C,
 $4,3 \leq \text{Si} + \text{sol. Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 5,0 \dots (i)$
trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) trên là lượng (theo % khối
lượng) của mỗi nguyên tố.