



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
1-0041945
(51)^{2020.01} C21D 8/12; C22C 38/60; H01F 1/147; (13) B
C22C 38/00

(21) 1-2021-01003 (22) 01/11/2019
(86) PCT/JP2019/043021 01/11/2019 (87) WO 2020/091039 A1 07/05/2020
(30) 2018-206970 02/11/2018 JP
(45) 25/12/2024 441 (43) 27/09/2021 402
(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan
(72) Hiroyoshi YASHIKI (JP); Yoshiaki NATORI (JP); Miho TOMITA (JP); Kazutoshi
TAKEDA (JP); Takuya MATSUMOTO (JP).
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) TẤM THÉP ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm kim loại nền có thành phần hóa học đã xác định trước thỏa mãn biểu thức: $Si + Al \text{ hòa tan} + 0,5 \times Mn \geq 4,3$, và kích thước hạt trung bình của kim loại nền là lớn hơn 40 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 120 μ m.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, các vấn đề về môi trường toàn cầu đã thu hút sự chú ý, có nhu cầu ngày càng tăng về các nỗ lực tiết kiệm năng lượng. Trong số các nhu cầu về các nỗ lực tiết kiệm năng lượng này, có nhu cầu mạnh mẽ về hiệu suất cao hơn của các thiết bị điện. Vì lý do này, ngay cả trong các tấm thép điện không định hướng được sử dụng rộng rãi làm các vật liệu lõi cho các động cơ, các máy phát điện, và thiết bị tương tự, có nhu cầu ngày càng tăng về việc cải thiện các đặc tính từ. Xu hướng này là đáng kể trong các động cơ truyền động cho các xe điện và các xe lai và các động cơ máy nén khí cho các máy điều hòa không khí.

Lỗi động cơ của các động cơ khác nhau như đã mô tả ở trên được tạo nên bởi phần tĩnh là stato và phần quay là rôto. Các đặc tính cần thiết cho stato và rôto mà tạo nên lõi động cơ là khác với nhau. Stato cần phải có các đặc tính từ vượt trội (tổn hao do sắt thấp và mật độ từ thông cao), đặc biệt là tổn hao do sắt thấp, trong lúc rôto cần phải có các tính chất cơ học vượt trội (độ bền cao).

Do các đặc tính cần thiết cho stato và rôto khác nhau, có thể đạt được các đặc tính mong muốn bằng cách sản xuất riêng rẽ tấm thép điện không định hướng cho stato và tấm thép điện không định hướng cho rôto. Tuy nhiên, việc sản xuất hai loại tấm thép điện không định hướng làm giảm hiệu suất. Vì vậy, để đạt được tổn hao do sắt thấp cần thiết cho stato mà không cần thực hiện bước ủ làm giảm ứng suất trong lúc đạt được độ bền cao cần thiết cho rôto, tấm thép điện không định hướng có độ bền vượt trội và các đặc tính từ vượt trội đã được nghiên cứu cho đến nay.

Chẳng hạn, trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 3, các nỗ lực đã được thực hiện để đạt được các đặc tính từ vượt trội và độ bền cao. Ngoài ra, theo tài liệu sáng chế 4, nỗ lực đã được thực hiện để đạt được các đặc tính từ vượt trội và độ bền cao, và để làm giảm hơn nữa sự thay đổi các đặc tính.

Tài liệu trích dẫn:

Tài liệu sáng chế:

Tài liệu sáng chế 1: Đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2004-300535

Tài liệu sáng chế 2: Đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2007-186791

Tài liệu sáng chế 3: Đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2012-140676

Tài liệu sáng chế 4: Đơn yêu cầu cấp bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản, công bố lần thứ nhất số 2010-90474

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế:

Tuy nhiên, trong những năm gần đây, để đạt được các đặc tính tiết kiệm năng lượng cần thiết cho các động cơ của các xe điện hoặc các xe lai, các công nghệ đã bộc lộ trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 3 là không đủ để đạt được tổn hao do sắt thấp khi làm vật liệu của stato. Ngoài ra, theo tài liệu sáng chế 4, do các hạt kết tinh lại được làm mịn hơn bằng cách thực hiện bước ủ cuối cùng trong vùng nhiệt độ thấp, tổn hao do trễ trở nên lớn và như trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 3, có một vấn đề là mức độ giảm tổn hao do sắt không đủ để làm vật liệu của stato.

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

Phương tiện để giải quyết vấn đề

Ý chính của sáng chế là tấm thép điện không định hướng sau đây.

(1) Tấm thép điện không định hướng theo một khía cạnh của sáng chế bao gồm: kim loại nền chứa, làm thành phần hóa học, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: lớn hơn 3,7% và nhỏ hơn hoặc bằng 5,0%,

Mn: lớn hơn 0,2% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%,

Al hòa tan: nằm trong khoảng từ 0,05% đến 0,45%,

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

Ti: nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: nhỏ hơn 0,0050%,

V: nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: nhỏ hơn 0,200%,

Ni: nhỏ hơn 0,500%,

Sn: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,100%,

Sb: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,100%, và

phần còn lại: Fe và các tạp chất,

trong đó biểu thức (i) được thỏa mãn, và

kích thước hạt trung bình của kim loại nền là lớn hơn 40 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 120 μ m,

$$\text{Si} + \text{Al hòa tan} + 0,5 \times \text{Mn} \geq 4,3 \dots(i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức này thể hiện các lượng của các nguyên tố tương ứng theo % khối lượng.

(2) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục (1), độ bền kéo của tấm thép điện không định hướng có thể lớn hơn hoặc bằng 600MPa.

(3) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2), thành phần hóa học có thể bao gồm, theo % khối lượng, một hoặc hai nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm:

Sn: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,100%, và

Sb: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,100%.

(4) Tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3) có thể còn bao gồm: lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền.

Hiệu quả của sáng chế

Theo khía cạnh nêu trên theo sáng chế, có thể thu được tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án của sáng chế:

Các tác giả sáng chế đã thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu để giải quyết các vấn đề nêu trên, và kết quả là, thu được các phát hiện sau đây.

Si, Mn, và Al là các nguyên tố có tác dụng tăng điện trở của thép và giảm tổn hao do dòng xoáy. Các nguyên tố này là các nguyên tố cũng góp phần làm tăng bền cao của thép.

Trong số Si, Mn, và Al, Si là nguyên tố góp phần hiệu quả nhất vào sự tăng điện trở. Giống Si, Al cũng có tác dụng tăng điện trở một cách hiệu quả. Mặt khác, Mn có tác dụng hơi thấp hơn trong việc tăng điện trở so với Si và Al.

Từ các sự thật này, theo phương án của sáng chế, bằng cách điều chỉnh các lượng Si, Al, và Mn trong các khoảng thích hợp, có thể đạt được sự tăng bền cao và sự cải thiện các đặc tính từ.

Hơn nữa, theo phương án của sáng chế, cũng quan trọng là kiểm soát kích thước hạt để đạt được sự tăng bền cao và sự cải thiện các đặc tính từ. Từ quan điểm của sự tăng bền cao, mong muốn rằng các hạt trong thép là các hạt mịn.

Hơn nữa, để cải thiện các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng, cần thiết cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao. Tổn hao do sắt chủ yếu gồm có tổn hao do trễ và tổn hao do dòng xoáy. Ở đây, để giảm tổn hao do trễ, tốt hơn là làm cho các hạt thô hơn, và để giảm tổn hao do dòng xoáy, tốt hơn là làm cho các hạt mịn hơn. Nghĩa là, có mối quan hệ đánh đổi giữa hai đặc tính này.

Vì vậy, nhờ các nghiên cứu khác, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng có khoảng kích thước hạt thích hợp để đạt được sự tăng bền cao và cải thiện các đặc tính

từ.

Sáng chế đã được thực hiện dựa trên các phát hiện nêu trên. Sau đây, phương án được ưu tiên của sáng chế sẽ được mô tả chi tiết. Tuy nhiên, sáng chế không bị giới hạn ở cấu tạo đã bộc lộ theo phương án của sáng chế, và các biến thể khác có thể được thực hiện mà không đi trệch khỏi tinh thần của sáng chế.

1. Cấu tạo tổng thể

Tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế có độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội, và vì vậy thích hợp cho cả stato và rôto. Ngoài ra, tốt hơn là tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế bao gồm lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền được mô tả dưới đây.

2. Thành phần hóa học của kim loại nền

Các lý do hạn chế mỗi nguyên tố trong thành phần hóa học của kim loại nền của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế là như sau. Trong phần mô tả sau đây, “%” đối với hàm lượng có nghĩa là “% khối lượng”. Khoảng giới hạn bằng số được mô tả bởi “đến” bao gồm giới hạn dưới và giới hạn trên trong khoảng này.

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%

C (cacbon) là nguyên tố gây ra sự kém đi của tổn hao do sắt của tấm thép điện không định hướng. Khi hàm lượng C vượt quá 0,0050%, tổn hao do sắt của tấm thép điện không định hướng kém đi, và không thể thu được các đặc tính từ tốt. Vì vậy, hàm lượng C được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0035%, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Do C góp phần làm tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng, trong trường hợp trong đó cần thu được tác dụng này, tốt hơn là hàm lượng C lớn hơn hoặc bằng 0,0005%, và tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,0010%.

Si: lớn hơn 3,7% và nhỏ hơn hoặc bằng 5,0%

Si (silic) là nguyên tố làm tăng điện trở của thép, làm giảm tổn hao do dòng xoáy, và cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, Si có khả năng tăng bền dung dịch rắn lớn và do đó là nguyên tố có ích cho

sự tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng. Để thu được các tác dụng này, hàm lượng Si được đặt đến lớn hơn 3,7%. Tốt hơn là, hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 3,8%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 3,9%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn 4,0%. Mặt khác, khi hàm lượng Si quá cao, khả năng gia công bị kém đi đáng kể, và trở nên khó thực hiện bước cán nguội. Vì vậy, hàm lượng Si được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 5,0%. Tốt hơn là, hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 4,8%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 4,5%.

Mn: lớn hơn 0,2% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%

Mn (mangan) là nguyên tố có ích làm tăng điện trở của thép, làm giảm tổn hao do dòng xoáy, và cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Trong trường hợp trong đó hàm lượng Mn là quá thấp, tác dụng gia tăng điện trở là nhỏ, và các sulfua (MnS) mịn kết tủa trong thép, nên có các trường hợp trong đó các hạt không phát triển đủ ở bước ủ cuối cùng. Vì vậy, hàm lượng Mn được đặt đến lớn hơn 0,2%. Tốt hơn là, hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,3%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,4%. Mặt khác, khi hàm lượng Mn quá cao, sự giảm mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng trở nên đáng kể. Vì vậy, hàm lượng Mn được đặt đến nhỏ hơn 1,5%. Tốt hơn là, hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,4%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,2%.

Al hòa tan: nằm trong khoảng từ 0,05% đến 0,45%

Al (nhôm) là nguyên tố có tác dụng tăng điện trở của thép, giảm tổn hao do dòng xoáy, và cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao của tấm thép điện không định hướng. Ngoài ra, Al là nguyên tố góp phần làm tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng bằng cách tăng bền dung dịch rắn, mặc dù không nhiều như Si. Để đạt được các tác dụng này, hàm lượng Al hòa tan được đặt lớn hơn hoặc bằng 0,05%. Tốt hơn là, hàm lượng Al hòa tan nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,15%. Mặt khác, khi hàm lượng Al hòa tan dư, sự giảm mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng trở nên đáng kể. Vì vậy, hàm lượng Al hòa tan được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,45%. Tốt hơn là, hàm lượng Al hòa tan nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,35%, và thậm chí tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%. Theo phương án của sáng chế, hàm lượng Al hòa tan nghĩa

là lượng của Al hòa tan (Al có thể tan được trong axit).

Theo phương án của sáng chế, điện trở của thép được bảo đảm bằng cách điều chỉnh thích hợp các hàm lượng Si, Al, và Mn. Ngoài ra, từ quan điểm bảo đảm độ bền, cần thiết điều chỉnh thích hợp các hàm lượng Si, Al, và Mn. Vì vậy, việc bổ sung các hàm lượng Si, Al, và Mn trong các khoảng nêu trên, cần phải thỏa mãn biểu thức (i). Tốt hơn là, giá trị ở vế trái của biểu thức (i) lớn hơn hoặc bằng 4,4, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 4,5.

$$\text{Si} + \text{Al hòa tan} + 0,5 \times \text{Mn} \geq 4,3 \dots (i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức này thể hiện các lượng của các nguyên tố tương ứng theo % khối lượng.

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%

P (phospho) được chứa trong thép dưới dạng tạp chất. Khi hàm lượng P quá cao, tính dẻo của tấm thép điện không định hướng bị kém đi đáng kể. Vì vậy, hàm lượng P được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%. Tốt hơn là, hàm lượng P nhỏ hơn hoặc bằng 0,025%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,020%. Tốt hơn là, hàm lượng P bằng 0%, nhưng hàm lượng P có thể được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,003% vì sự giảm quá mức hàm lượng P có thể làm tăng chi phí sản xuất.

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%

S (lưu huỳnh) là nguyên tố làm tăng tổn hao do sắt bằng cách tạo ra các chất kết tủa mịn của MnS và làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng S được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Tốt hơn là, hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0015%. Do sự giảm quá mức hàm lượng S có thể làm tăng chi phí sản xuất, tốt hơn là hàm lượng S lớn hơn hoặc bằng 0,0001%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0003%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%

N (nito) là nguyên tố được đưa vào trong thép theo cách không thể tránh được, và là nguyên tố tạo ra nitrua, làm tăng tổn hao do sắt, và làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng N được đặt đến nhỏ hơn hoặc

bằng 0,0030%. Tốt hơn là, hàm lượng N nhỏ hơn hoặc bằng 0,0025%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Có các trường hợp trong đó sự giảm quá mức hàm lượng N dẫn đến sự tăng chi phí sản xuất. Vì vậy, tốt hơn là hàm lượng N được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Ti: nhỏ hơn 0,0050%

Ti (titan) là nguyên tố được đưa vào trong thép theo cách không thể tránh được và có thể được liên kết với cacbon hoặc nitơ để tạo ra các chất kết tủa (các cacbua hoặc các nitrua). Trong trường hợp trong đó các cacbua hoặc các nitrua được tạo ra, bản thân các chất kết tủa này làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Hơn nữa, sự hình thành của các cacbua hoặc các nitrua ức chế sự phát triển của các hạt trong bước ủ cuối cùng và làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng Ti được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Có các trường hợp trong đó sự giảm quá mức hàm lượng Ti dẫn đến sự tăng chi phí sản xuất. Vì vậy, tốt hơn là hàm lượng Ti lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Nb: nhỏ hơn 0,0050%

Nb (niobi) là nguyên tố góp phần làm tăng bền cao bằng cách được liên kết với cacbon hoặc nitơ và tạo ra các chất kết tủa (các cacbua). Tuy nhiên, bản thân các chất kết tủa này làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng Nb được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng Nb nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Ngoài ra, tốt hơn nữa là hàm lượng Nb không lớn hơn giới hạn đo, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn 0,0001%. Do hàm lượng Nb càng thấp thì càng được ưu tiên hơn, nên hàm lượng Nb có thể bằng 0%.

Zr: nhỏ hơn 0,0050%

Zr (ziricon) là nguyên tố góp phần làm tăng bền cao bằng cách được liên kết với cacbon hoặc nitơ và tạo ra các chất kết tủa (các cacbua hoặc các nitrua). Tuy nhiên, bản thân các chất kết tủa này làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng Zr được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng

Zr nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Ngoài ra, tốt hơn nữa là hàm lượng Zr không lớn hơn giới hạn đo, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0001%. Do hàm lượng Zr càng thấp thì càng được ưu tiên hơn, nên hàm lượng Zr có thể bằng 0%.

V: nhỏ hơn 0,0050%

V (vanadi) là nguyên tố góp phần làm tăng bền cao bằng cách được liên kết với cacbon hoặc nitơ và tạo ra các chất kết tủa (các cacbua hoặc các nitrua). Tuy nhiên, bản thân các chất kết tủa này làm kém đi các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, hàm lượng V được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Tốt hơn là, hàm lượng V nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Tốt hơn nữa là, hàm lượng V không lớn hơn giới hạn đo, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0001%. Do hàm lượng V càng thấp thì càng được ưu tiên hơn, nên hàm lượng V có thể bằng 0%.

Cu: nhỏ hơn 0,200%

Cu (đồng) là nguyên tố được đưa vào trong thép theo cách không thể tránh được. Khi Cu được chứa một cách có chủ tâm, chi phí sản xuất của tấm thép điện không định hướng tăng lên. Vì vậy, theo phương án của sáng chế, Cu không cần được chứa theo cách chủ động, và có thể ở mức tạp chất. Hàm lượng Cu được đặt đến nhỏ hơn 0,200%, là giá trị lớn nhất mà có thể được đưa vào trong quá trình sản xuất theo cách không thể tránh được. Tốt hơn là, hàm lượng Cu nhỏ hơn hoặc bằng 0,150%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,100%. Giới hạn dưới của hàm lượng Cu không bị giới hạn đặc biệt, nhưng sự giảm quá mức hàm lượng Cu có thể làm tăng chi phí sản xuất. Vì vậy, tốt hơn là hàm lượng Cu lớn hơn hoặc bằng 0,001%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,003%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,005%.

Ni: nhỏ hơn 0,500%

Ni (niken) là nguyên tố được đưa vào trong thép theo cách không thể tránh được. Tuy nhiên, do Ni cũng là nguyên tố cải thiện độ bền của tấm thép điện không định hướng, nó có thể được chứa một cách có chủ tâm. Tuy nhiên, do Ni quá đắt, hàm lượng Ni được đặt đến nhỏ hơn 0,500%. Tốt hơn là, hàm lượng Ni nhỏ hơn hoặc bằng 0,400%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,300%. Giới hạn dưới của hàm lượng

Ni không bị giới hạn đặc biệt, nhưng sự giảm quá mức hàm lượng Ni có thể làm tăng chi phí sản xuất. Vì vậy, tốt hơn là hàm lượng Ni lớn hơn hoặc bằng 0,001%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,003%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,005%.

Sn: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,100%

Sb: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,100%

Sn (thiếc) và Sb (antimon) là các nguyên tố có thể được sử dụng để bảo đảm tổn hao do sắt thấp ở các tấm thép điện không định hướng bằng cách phân ly trên bề mặt của kim loại nền và ức chế sự oxy hóa và nitrat hóa trong bước ủ. Ngoài ra, Sn và Sb cũng có tác dụng tăng mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng bằng cách phân ly ở các biên hạt và cải thiện kết cấu. Vì vậy, Sn hoặc Sb hoặc phối hợp của chúng có thể được chứa nếu cần. Tuy nhiên, khi các lượng của các nguyên tố này quá mức, có các trường hợp trong đó tính dai của thép giảm xuống, và khó thực hiện bước cán nguội. Vì vậy, lượng của mỗi nguyên tố trong số Sn và Sb được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,100%. Tốt hơn là, lượng của mỗi nguyên tố trong số Sn và Sb nhỏ hơn hoặc bằng 0,060%. Trong trường hợp trong đó chắc chắn cần thu được tác dụng nêu trên, tốt hơn là lượng Sn hoặc Sb hoặc phối hợp của chúng được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,005%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,010%.

Trong thành phần hóa học của kim loại nền của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất. Ở đây, “các tạp chất” là các nguyên tố được đưa vào do các yếu tố khác trong quá trình sản xuất, bao gồm các nguyên liệu thô như quặng và phế liệu, khi thép được sản xuất công nghiệp, và được phép trong khoảng trong đó các tạp chất không có tác dụng có hại cho các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế.

Các lượng của Cr và Mo dưới dạng các nguyên tố tạp chất không được quy định cụ thể. Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, ngay cả nếu mỗi nguyên tố trong số các nguyên tố này được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,5%, các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt. Hơn nữa, ngay cả nếu mỗi nguyên tố trong số Ca và Mg được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,002%, các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc

biệt. Ngay cả khi các nguyên tố đất hiếm (rare earth element, REM) được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,004%, các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt. Theo phương án của sáng chế, REM dùng để chỉ tổng của 17 nguyên tố bao gồm Sc, Y, và họ lantan, và hàm lượng REM dùng để chỉ tổng lượng của các nguyên tố này.

O cũng là nguyên tố tạp chất, nhưng ngay cả nếu O được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,05%, các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị ảnh hưởng. Do O có thể được đưa vào trong thép ở bước ủ, ngay cả nếu O được chứa với lượng trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,01% ở giai đoạn tấm (nghĩa là, giá trị mẫu thử), các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt.

Hơn nữa, ngoài các nguyên tố nêu trên, các nguyên tố như Pb, Bi, As, B, và Se có thể được bao gồm dưới dạng các nguyên tố tạp chất. Tuy nhiên, các đặc tính của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị suy giảm miễn là lượng của mỗi nguyên tố trong số các nguyên tố này nằm trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%.

Thành phần hóa học của kim loại nền của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế có thể được đo bằng cách sử dụng phép đo phổ phát xạ nguyên tử-plasma kết hợp cảm ứng (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES). Ngoài ra, Al hòa tan có thể được đo bằng ICP-AES bằng cách sử dụng phân lọc thu được bằng cách gia nhiệt và phân hủy mẫu bằng axit. Hơn nữa, C và S có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp đốt cháy-hấp thụ hồng ngoại, và N có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp nóng chảy khí tro-dẫn nhiệt.

3. Kích thước hạt

Từ quan điểm làm tăng bền cao tấm thép điện không định hướng, mong muốn rằng các hạt trong thép mịn. Ngoài ra, được ưu tiên là làm cho các hạt thô hơn để giảm tổn hao do trễ, và được ưu tiên là làm cho các hạt mịn hơn để giảm tổn hao do dòng xoáy.

Khi kích thước hạt trung bình của kim loại nền nhỏ hơn hoặc bằng 40 μ m, tổn

hao do trở bị kém đi đáng kể, và trở nên khó cải thiện các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Mặt khác, khi kích thước hạt trung bình của kim loại nền vượt quá $120\mu\text{m}$, không chỉ độ bền của thép giảm xuống, mà tổn hao do dòng xoáy cũng bị kém đi đáng kể, và trở nên khó cải thiện các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng. Vì vậy, kích thước hạt trung bình của kim loại nền được đặt đến lớn hơn $40\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $120\mu\text{m}$. Tốt hơn là, kích thước hạt trung bình của kim loại nền lớn hơn hoặc bằng $45\mu\text{m}$, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $50\mu\text{m}$, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $55\mu\text{m}$. Tốt hơn là, kích thước hạt trung bình của kim loại nền nhỏ hơn hoặc bằng $110\mu\text{m}$, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng $100\mu\text{m}$.

Theo phương án của sáng chế, kích thước hạt trung bình của kim loại nền thu được theo JIS G 0551 (2013) “Steels - Micrographic determination of apparent grain size”. Cụ thể là, trước tiên, mẫu thử nghiệm được lấy ra từ vị trí cách phần cuối của tấm thép điện không định hướng 10mm trở lên sao cho mặt cắt ngang chiều dày tấm song song với hướng cán trở thành mặt cắt được quan sát. Bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học có chức năng chụp ảnh, mặt cắt được quan sát trong đó các biên hạt có thể được quan sát rõ ràng bằng cách khắc ăn mòn bằng chất lỏng ăn mòn được chụp ảnh ở độ phóng đại bằng 100 lần. Bằng cách sử dụng hình ảnh quan sát thu được, kích thước hạt trung bình của các hạt được quan sát được đo bằng phương pháp chặn được mô tả trong JIS G 0551 (2013). Theo phương pháp chặn, việc đánh giá được thực hiện bằng cách sử dụng hai loại hạt đã giữ được bao gồm số lượng của các hạt đã giữ được nhận được bằng cách vẽ 5 hoặc nhiều đoạn thẳng có chiều dài bằng 2mm theo hướng cán ở các khoảng cách bằng nhau theo hướng chiều dày tấm và giữ các hạt bởi đoạn thẳng có tổng chiều dài lớn hơn hoặc bằng 10mm , và số lượng của các hạt đã giữ được nhận được bằng cách vẽ 5 hoặc nhiều đoạn thẳng song song với hướng chiều dày tấm vuông góc với các đoạn thẳng theo hướng cán ở các khoảng cách bằng nhau theo hướng cán và giữ các hạt bằng đoạn thẳng có tổng chiều dài lớn hơn hoặc bằng (chiều dày tấm $\times 5$)mm.

4. Các đặc tính từ

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, các đặc tính từ vượt trội có nghĩa là tổn hao do sắt $W_{10/400}$ thấp và mật độ từ thông B_{50} cao. Cụ

thể là, các đặc tính từ vượt trội dùng để chỉ trường hợp trong đó tổn hao do sắt $W_{10/400}$ lớn hơn hoặc bằng 16,0W/kg và mật độ từ thông B_{50} nhỏ hơn hoặc bằng 1,60T khi chiều dày tấm của tấm thép điện không định hướng lớn hơn 0,30mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,35mm, trường hợp trong đó tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 15,0W/kg và mật độ từ thông B_{50} lớn hơn hoặc bằng 1,60T khi chiều dày tấm lớn hơn 0,25mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,30mm, trường hợp trong đó tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 13,0W/kg và mật độ từ thông B_{50} lớn hơn hoặc bằng 1,60T khi chiều dày tấm lớn hơn 0,20mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,25mm, và trường hợp trong đó tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 12,0W/kg và mật độ từ thông B_{50} lớn hơn hoặc bằng 1,59T khi chiều dày tấm nhỏ hơn hoặc bằng 0,20mm. Ở đây, theo phương án của sáng chế, các đặc tính từ nêu trên (tổn hao do sắt $W_{10/400}$ và mật độ từ thông B_{50}) được đo bởi thử nghiệm Epstein được ghi rõ trong JIS C 2550-1 (2011). Tổn hao do sắt $W_{10/400}$ có nghĩa là tổn hao do sắt được sinh ra trong điều kiện mà mật độ từ thông lớn nhất bằng 1,0T và tần số bằng 400Hz, và mật độ từ thông B_{50} có nghĩa là mật độ từ thông trong từ trường bằng 5000A/m.

5. Các tính chất cơ học

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, có độ bền cao có nghĩa là độ bền kéo (lớn nhất) lớn hơn hoặc bằng 600MPa. Tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế có độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 600MPa. Tốt hơn là, độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 610MPa. Giới hạn trên của độ bền kéo không bị giới hạn đặc biệt, nhưng có thể nhỏ hơn 720MPa. Ở đây, độ bền kéo được đo bằng cách thực hiện thử nghiệm kéo theo JIS Z 2241 (2011).

6. Lớp bao cách điện

Tốt hơn là, tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế có lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền. Do các tấm thép điện không định hướng được sử dụng sau khi được xếp lớp sau khi phôi lõi được đột dập, bằng cách cung cấp lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền, dòng điện xoáy giữa các tấm có thể được giảm xuống, và có thể giảm tổn hao do dòng xoáy khi làm lõi.

Theo phương án của sáng chế, loại lớp bao cách điện không bị giới hạn đặc biệt, và lớp bao cách điện đã biết được sử dụng làm lớp bao cách điện của tấm thép

điện không định hướng có thể được sử dụng. Ví dụ về lớp bao cách điện như vậy bao gồm lớp bao cách điện composit chủ yếu chứa chất vô cơ và còn chứa chất hữu cơ. Ở đây, lớp bao cách điện composit, chẳng hạn, là lớp bao cách điện trong đó ít nhất một chất bất kỳ trong số các chất vô cơ như muối kim loại như muối kim loại của axit cromic hoặc muối kim loại của axit phosphoric, silic oxit dạng keo, hợp chất Zr, và hợp chất Ti chủ yếu được chứa và các hạt mịn của nhựa hữu cơ được phân tán. Cụ thể là, từ quan điểm làm giảm gánh nặng cho môi trường trong quá trình sản xuất, mà có nhu cầu ngày càng tăng trong những năm gần đây, lớp bao cách điện bằng cách sử dụng chất kết hợp trên cơ sở muối kim loại của axit phosphoric, Zr, hoặc Ti để làm chất ban đầu, hoặc tốt hơn là lớp bao cách điện bằng cách sử dụng cacbonat hoặc muối amoni của chất kết hợp trên cơ sở muối kim loại của axit phosphoric, Zr, hoặc Ti để làm chất ban đầu được sử dụng.

Lượng bám dính của lớp bao cách điện không bị giới hạn đặc biệt, nhưng tốt hơn là nằm trong khoảng từ 200 đến 1500mg/m² cho mỗi bề mặt, và tốt hơn nữa là từ 300 đến 1200mg/m² cho mỗi mặt. Bằng cách tạo ra lớp bao cách điện sao cho lượng bám dính nằm trong khoảng nêu trên, có thể giữ được độ đồng nhất vượt trội. Trong trường hợp trong đó lượng bám dính của lớp bao cách điện được đo sau đó, các phương pháp đo đã biết khác có thể được sử dụng. Chẳng hạn, phương pháp đo mức chênh lệch khối lượng trước và sau khi nhúng trong dung dịch nước natri hydroxit, hoặc phương pháp huỳnh quang tia X bằng cách sử dụng phương pháp đường cong cân bằng có thể được sử dụng một cách thích hợp.

7. Phương pháp sản xuất

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế không bị giới hạn đặc biệt, nhưng chẳng hạn, tấm thép điện không định hướng có thể được sản xuất bằng cách thực hiện liên tiếp bước cán nóng, bước ủ tấm cán nóng, và bước tẩy gỉ, bước cán nguội, và bước ủ cuối cùng trên thép có thành phần hóa học nêu trên. Trong trường hợp tạo ra lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền, bước tạo ra lớp bao cách điện được thực hiện sau bước ủ cuối cùng. Sau đây, mỗi bước sẽ được mô tả chi tiết.

Bước cán nóng

Thỏi (thanh) thép có thành phần hóa học nêu trên được gia nhiệt, và thỏi thép đã gia nhiệt này được cán nóng để thu được tấm thép cán nóng. Ở đây, nhiệt độ gia nhiệt của thỏi thép khi được cán nóng không được quy định cụ thể, nhưng tốt hơn là được đặt đến, chẳng hạn, nằm trong khoảng từ 1050 đến 1250°C. Chiều dày tấm của tấm thép cán nóng sau khi cán nóng không được quy định cụ thể, nhưng tốt hơn là được đặt đến, chẳng hạn, khoảng 1,5 đến 3,0mm xem xét đến chiều dày tấm cuối cùng của kim loại nền.

Bước ủ tấm cán nóng

Sau khi cán nóng, bước ủ tấm cán nóng được thực hiện, nếu cần, cho mục đích tăng mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng. Về các điều kiện xử lý nhiệt đối với bước ủ tấm cán nóng, chẳng hạn, trong trường hợp của bước ủ liên tục, tấm thép cán nóng được ủ bằng cách giữ tấm thép cán nóng ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 1000°C trong từ 10 đến 150 giây. Tốt hơn nữa là các điều kiện xử lý nhiệt là thời gian nằm trong khoảng từ 10 đến 150 giây ở nhiệt độ từ 800°C đến 980°C, và còn tốt hơn nữa là từ 10 đến 150 giây ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 800°C đến 950°C.

Trong trường hợp ủ trong thùng, tốt hơn là giữ tấm thép cán nóng ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 600°C đến 900°C trong 30 phút đến 24 giờ. Tốt hơn nữa là, bước nung được thực hiện ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 650°C đến 850°C trong từ 1 đến 20 giờ. Mặc dù các đặc tính từ kém hơn các đặc tính từ trong trường hợp trong đó bước ủ tấm cán nóng được thực hiện, bước ủ tấm cán nóng nêu trên có thể được bỏ qua để giảm chi phí.

Bước tẩy gỉ

Sau bước ủ tấm cán nóng, bước tẩy gỉ được thực hiện để loại bỏ lớp gỉ được tạo ra trên bề mặt của kim loại nền. Ở đây, các điều kiện tẩy gỉ như nồng độ của axit được sử dụng cho bước tẩy gỉ, nồng độ của chất tăng tốc được sử dụng cho bước tẩy gỉ, và nhiệt độ của dung dịch tẩy gỉ không bị giới hạn đặc biệt, và các điều kiện tẩy gỉ đã biết có thể được sử dụng. Trong trường hợp trong đó bước ủ tấm cán nóng là ủ trong thùng, tốt hơn là bước tẩy gỉ được thực hiện trước bước ủ tấm cán nóng từ quan điểm khả năng tẩy gỉ. Trong trường hợp này, không cần thiết thực hiện bước tẩy gỉ sau bước

ủ tấm cán nóng.

Bước cán nguội

Sau bước tẩy gỉ (trong trường hợp trong đó bước ủ trong thùng được thực hiện làm bước ủ tấm cán nóng, sau bước ủ tấm cán nóng), bước cán nguội được thực hiện. Ở bước cán nguội, tấm đã được tẩy gỉ từ đó lớp gỉ đã được loại bỏ được cán ở mức giảm chiều dày khi cán sao cho chiều dày tấm cuối cùng của kim loại nền nằm trong khoảng từ 0,10 đến 0,35mm.

Bước ủ cuối cùng

Sau bước cán nguội, bước ủ cuối cùng được thực hiện. Trong phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế, ở bước ủ cuối cùng, lò ủ liên tục được sử dụng. Bước ủ cuối cùng là bước quan trọng để kiểm soát kích thước hạt trung bình của kim loại nền.

Ở đây, về các điều kiện của bước ủ cuối cùng, tốt hơn là nhiệt độ nung được đặt đến nằm trong khoảng từ 850°C đến 1050°C, thời gian nung được đặt đến nằm trong khoảng từ 1 đến 300 giây, tỷ lệ của H₂ được đặt đến nằm trong khoảng từ 10 đến 100% thể tích, môi trường khí hỗn hợp gồm H₂ và N₂ (nghĩa là, H₂ + N₂ = 100% thể tích) được chấp nhận, và điểm sương của môi trường khí được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 30°C.

Trong trường hợp trong đó nhiệt độ nung thấp hơn 850°C, kích thước hạt trở nên mịn và tổn hao do sắt của tấm thép điện không định hướng kém đi, là điều không được ưu tiên. Trong trường hợp trong đó nhiệt độ nung vượt quá 1050°C, độ bền của tấm thép điện không định hướng trở nên không đủ, và tổn hao do sắt kém đi, là điều không được ưu tiên. Tốt hơn nữa là, nhiệt độ nung nằm trong khoảng từ 875°C đến 1025°C, và còn tốt hơn nữa là từ 900°C đến 1000°C. Khi thời gian nung ngắn hơn 1 giây, các hạt không thể được làm thô một cách thích đáng. Khi thời gian nung vượt quá 300 giây, chi phí sản xuất có thể tăng. Tốt hơn nữa là, tỷ lệ của H₂ trong môi trường khí nằm trong khoảng từ 15 đến 90% thể tích. Tốt hơn nữa là, điểm sương của môi trường khí nhỏ hơn hoặc bằng 10°C, và còn tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0°C.

Bước tạo ra lớp bao cách điện

Sau bước ủ cuối cùng, nếu cần, bước tạo ra lớp bao cách điện được thực hiện. Ở đây, phương pháp tạo ra lớp bao cách điện không bị giới hạn đặc biệt, và bằng cách sử dụng chất lỏng xử lý để tạo ra lớp bao cách điện đã biết như được mô tả dưới đây, chất lỏng xử lý có thể được phủ và làm khô bằng phương pháp đã biết. Các ví dụ về lớp bao cách điện đã biết bao gồm lớp bao cách điện composit chủ yếu chứa chất vô cơ và còn chứa chất hữu cơ. Lớp bao cách điện composit là, chẳng hạn, lớp bao cách điện trong đó ít nhất một chất bất kỳ trong số các chất vô cơ như muối kim loại như muối kim loại của axit cromic hoặc muối kim loại của axit phosphoric, silic oxit dạng keo, hợp chất Zr, và hợp chất Ti chủ yếu được chứa và các hạt mịn của nhựa hữu cơ được phân tán. Cụ thể là, từ quan điểm của việc giảm gánh nặng cho môi trường trong quá trình sản xuất, mà có nhu cầu ngày càng tăng trong những năm gần đây, lớp bao cách điện sử dụng chất kết hợp dựa trên muối kim loại của axit phosphoric, Zr, hoặc Ti dưới dạng chất ban đầu, hoặc lớp bao cách điện sử dụng cacbonat hoặc muối amoni của chất kết hợp dựa trên muối kim loại của axit phosphoric, Zr, hoặc Ti dưới dạng chất ban đầu, tốt hơn là được sử dụng.

Bề mặt của kim loại nền trên đó lớp bao cách điện cần được tạo ra có thể được xử lý trước tùy ý như xử lý tẩy nhờn bằng kiềm hoặc chất tương tự, hoặc xử lý tẩy gỉ bằng axit clohydric, axit sulfuric, axit phosphoric, hoặc axit tương tự trước khi phủ chất lỏng xử lý. Chất lỏng xử lý có thể được phủ lên trên bề mặt của kim loại nền trong lúc được tham gia bước ủ cuối cùng như nó vốn có mà không cần các quá trình xử lý trước này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết hơn dựa vào các ví dụ, nhưng các điều kiện trong các ví dụ này chỉ là các ví dụ được chấp nhận để xác nhận tính khả thi và hiệu quả của sáng chế, và sáng chế bị giới hạn ở các ví dụ về các điều kiện. Trong sáng chế, các điều kiện khác nhau có thể được chấp nhận miễn là đạt được mục đích của sáng chế mà không đi trệch khỏi ý chính của sáng chế.

Ví dụ 1

Thanh thép có thành phần được thể hiện trong bảng 1 được gia nhiệt đến 1150°C, cán nóng đến chiều dày tấm hoàn thiện bằng 2,0mm ở nhiệt độ hoàn thiện

bằng 850°C, và cuộn ở 650°C để thu được tấm thép cán nóng. Theo các thử nghiệm số từ 1 đến 16, 22, 23, 25 và 26 thể hiện trong bảng 2, tấm thép cán nóng thu được được xử lý ở bước ủ tấm cán nóng ở 900°C trong 50 giây và tẩy gỉ để loại bỏ lớp gỉ trên bề mặt. Trong các thử nghiệm số từ 17 đến 21 thể hiện trong bảng 2, tấm thép cán nóng thu được được tẩy gỉ để loại bỏ gỉ trên bề mặt, và được đưa vào bước ủ tấm cán nóng trong lò ủ hộp ở 750°C trong 10 giờ. Hơn nữa, trong thử nghiệm số 24 thể hiện trong bảng 2, bước ủ tấm cán nóng được thực hiện trong lò ủ liên tục ở 1000°C trong 50 giây và bước tẩy gỉ được thực hiện để loại bỏ gỉ trên bề mặt. Tấm thép thu được được cán nguội để thu được tấm thép cán nguội có chiều dày tấm bằng 0,25mm.

Hơn nữa, bước ủ được thực hiện để đạt được kích thước hạt trung bình như được thể hiện trong bảng 2 dưới đây trong lúc thay đổi các điều kiện của bước ủ cuối cùng trong môi trường khí hỗn hợp gồm H₂: 30% và N₂: 70% với điểm sương 0°C ở nhiệt độ ủ nằm trong khoảng từ 850°C đến 1050°C trong thời gian nung nằm trong khoảng từ 1 đến 300 giây. Cụ thể là, trong trường hợp trong đó kích thước hạt trung bình được kiểm soát để lớn, nhiệt độ của bước ủ cuối cùng được tăng thêm và/hoặc thời gian nung được kéo dài thêm. Trong trường hợp trong đó kích thước hạt trung bình được kiểm soát để nhỏ, điều ngược lại được áp dụng. Sau đó, lớp bao cách điện được phủ lên để sản xuất tấm thép điện không định hướng, mà được sử dụng làm vật liệu thử nghiệm.

Lớp bao cách điện nêu trên được tạo ra bằng cách phủ lớp bao cách điện chứa nhôm phosphat và nhũ tương nhựa copolyme acrylic-styren có kích thước hạt bằng 0,2µm để có lượng bám dính đã xác định trước và nung tấm tạo ra trong không khí ở 350°C.

Bảng 1

Loại thép	Thành phần hóa học (% khối lượng, phần còn lại: Fe và các tạp chất)														Giá trị về trái của công thức (i)*	
	C	Si	Mn	P	S	Al hòa tan	N	Ti	Nb	Zr	V	Cu	Ni	Sn	Sb	
A	0,0025	3,4	1,4	0,014	0,0008	0,21	0,0012	0,0012	0,0008	0,0007	0,0002	0,059	0,033	0,029	(0,001)	4,3
B	0,0026	3,8	1,0	0,015	0,0009	0,20	0,0013	0,0013	0,0008	0,0007	0,0018	0,060	0,035	0,029	(0,001)	4,5
C	0,0020	4,0	1,0	0,013	0,0008	0,22	0,0013	0,0012	0,0009	0,0006	0,0005	0,061	0,050	0,028	(0,001)	4,7
D	0,0025	4,4	1,0	0,012	0,0006	0,15	0,0015	0,0016	0,0007	0,0004	0,0001	0,058	0,049	(0,001)	(0,001)	5,1
E	0,0025	5,1	1,0	0,013	0,0007	0,15	0,0015	0,0016	0,0008	0,0004	0,0006	0,052	0,050	(0,001)	(0,001)	5,8
F	0,0024	4,0	0,6	0,015	0,0010	0,03	0,0014	0,0015	0,0007	0,0011	0,0009	0,007	0,005	0,030	(0,001)	4,3
G	0,0018	4,0	0,6	0,015	0,0012	0,21	0,0015	0,0015	0,0014	0,0006	0,0009	0,009	0,006	0,028	(0,001)	4,5
H	0,0028	3,7	0,4	0,013	0,0010	0,15	0,0017	0,0012	0,0016	0,0006	0,0001	0,005	0,005	0,030	(0,001)	4,1
I	0,0025	4,0	0,6	0,013	0,0009	0,30	0,0018	0,0012	0,0016	0,0005	0,0001	0,006	0,006	0,030	(0,001)	4,6
J	0,0021	4,0	0,6	0,013	0,0009	0,60	0,0010	0,0011	0,0014	0,0004	0,0008	0,005	0,006	0,030	(0,001)	4,9
K	0,0024	4,0	0,6	0,014	0,0048	0,30	0,0014	0,0010	0,0015	0,0005	0,0008	0,006	0,006	0,029	(0,001)	4,6
L	0,0027	4,2	0,4	0,012	0,0008	0,22	0,0015	0,0010	0,0004	0,0001	0,0006	0,012	0,080	(0,001)	0,030	4,6
M	0,0026	4,2	0,4	0,013	0,0007	0,22	0,0012	0,0011	0,0006	0,0005	0,0004	0,013	0,085	0,012	0,013	4,6
N	0,0023	4,1	0,6	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
O	0,0029	4,1	0,6	0,048	0,0008	0,22	0,0013	0,0012	0,0005	0,0005	0,0003	0,012	0,086	0,022	(0,001)	4,6
P	0,0022	3,5	1,1	0,020	0,0015	0,40	0,0022	0,0026	0,0008	0,0007	0,0008	0,015	0,050	(0,001)	(0,001)	4,5
Q	0,0040	4,0	0,6	0,016	0,0010	0,21	0,0014	0,0015	0,0014	0,0007	0,0010	0,009	0,006	0,028	(0,001)	4,5
R	0,0029	4,1	0,6	0,014	0,0010	0,08	0,0012	0,0013	0,0010	0,0006	0,0009	0,013	0,092	0,022	(0,001)	4,5

* Si + Al + 0,5 × Mn ≥ 4,3 ... (i)

Các giá trị trong dấu ngoặc đơn cho biết rằng các nguyên tố có giá trị đó không được bổ sung một cách có chủ tâm và chúng thấp hơn giá trị phát hiện.

Bảng 2

Thử nghiệm số	Loại thép	Kích thước hạt trung bình (µm)	Kết quả thử nghiệm			Ghi chú
			Độ bền kéo (MPa)	W _{10/400} (W/kg)	B ₅₀ (T)	
1	A	51	568	12,5	1,65	Ví dụ so sánh
2	B	53	610	11,6	1,64	Ví dụ theo sáng chế
3	C	18	721	18,2	1,62	Ví dụ so sánh
4		49	638	11,6	1,62	Ví dụ theo sáng chế
5		89	610	11,0	1,62	
6		133	589	13,1	1,62	Ví dụ so sánh
7	D	71	661	10,8	1,61	Ví dụ theo sáng chế
8	E	Bị gãy trong lúc cán nguội				Ví dụ so sánh
9	F	27	665	15,3	1,66	
10	G	62	618	11,4	1,66	Ví dụ theo sáng chế
11	H	59	578	13,0	1,65	Ví dụ so sánh
12	I	66	619	11,3	1,64	Ví dụ theo sáng chế
13	J	Bị gãy trong lúc cán nguội				Ví dụ so sánh
14	K	62	623	13,5	1,64	
15	L	58	644	11,7	1,65	Ví dụ theo sáng chế
16	M	59	642	11,5	1,65	
17	N	16	738	18,8	1,66	Ví dụ so sánh
18		46	648	11,9	1,66	Ví dụ theo sáng chế
19		58	634	11,5	1,65	
20		93	611	11,0	1,64	
21		151	590	11,5	1,62	Ví dụ so sánh
22	O	Bị gãy trong lúc cán nguội				
23	P	35	619	14,0	1,62	
24		39	610	13,8	1,63	
25	Q	61	620	12,2	1,66	Ví dụ theo sáng chế
26	R	58	627	12,1	1,65	

Giá trị được gạch chân cho biết giá trị đó nằm ngoài phạm vi của của sáng chế.

Đối với mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm thu được, kích thước hạt trung bình của kim loại nền được đo theo JIS G 0551 (2013) “Steel-Particle Size Microscopic Test Method”. Ngoài ra, mẫu thử nghiệm Epstein được lấy từ hướng cán và hướng chiều rộng của mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm, và các đặc tính từ (tổn hao do sắt $W_{10/400}$ và mật độ từ thông B_{50}) được đánh giá bằng thử nghiệm Epstein theo JIS C 2550-1 (2011). Trường hợp trong đó tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 13,0W/kg và mật độ từ thông B_{50} lớn hơn hoặc bằng 1,60T được cho là có các đặc tính từ vượt trội và được xác định là có thể chấp nhận. Trường hợp trong đó điều kiện này không được thỏa mãn được cho là có các đặc tính từ kém và được xác định là không thể chấp nhận. Điều kiện chấp nhận được đặt ra vì chiều dày tấm của mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm lớn hơn 0,20mm và nhỏ hơn hoặc bằng 0,25mm.

Hơn nữa, từ mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm, mẫu thử nghiệm kéo JIS số 5 được lấy theo JIS Z 2241 (2011) sao cho hướng chiều dọc của chúng trùng với hướng cán của tấm thép. Sau đó, thử nghiệm kéo được thực hiện bằng cách sử dụng mẫu thử nghiệm nêu trên theo JIS Z 2241 (2011), và độ bền kéo được đo. Mẫu thử nghiệm trong đó độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 600MPa được cho là có độ bền cao và được xác định là có thể chấp nhận. Mẫu thử nghiệm trong đó độ bền kéo nhỏ hơn 600MPa được cho là có độ bền kém và được xác định là không thể chấp nhận.

Các kết quả của thử nghiệm Epstein và thử nghiệm kéo cũng được thể hiện trong bảng 2.

Có thể nhận thấy rằng trong các thử nghiệm số 2, 4, 5, 7, 10, 12, 15, 16, 18 đến 20, 25, và 26 trong đó thành phần hóa học của tấm thép và kích thước hạt trung bình sau bước ủ cuối cùng thỏa mãn các yêu cầu của sáng chế, tổn hao do sắt thấp, mật độ từ thông cao, và độ bền kéo cao như lớn hơn hoặc bằng 600MPa.

Mặt khác, trong các thử nghiệm số 1, 3, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 17, và 21 đến 24 là các ví dụ so sánh, ít nhất một trong số các đặc tính từ và độ bền kéo kém, hoặc tính dai bị kém đi một cách đáng kể, làm cho việc sản xuất trở nên khó khăn.

Cụ thể là, trong thử nghiệm số 1, hàm lượng Si thấp hơn khoảng đã định, và kết quả là độ bền kéo kém. Ngoài ra, khi các thử nghiệm số 3 đến 6 trong đó thành phần hóa học thỏa mãn các yêu cầu được so sánh với nhau, kết quả là trong thử

thử nghiệm số 3, kích thước hạt trung bình nhỏ hơn khoảng đã định, và do vậy tổn hao do sắt kém, trong lúc trong thử nghiệm số 6, kích thước hạt trung bình lớn hơn khoảng đã định, và độ bền kéo kém.

Ngoài ra, trong thử nghiệm số 8, hàm lượng Si vượt quá khoảng đã định, trong thử nghiệm số 13, hàm lượng Al hòa tan vượt quá khoảng đã định, và trong thử nghiệm số 22, hàm lượng P vượt quá khoảng đã định. Vì vậy, tính dai bị kém đi, hiện tượng gãy xuất hiện trong quá trình cán nguội, và do vậy không thể đo được kích thước hạt trung bình, độ bền kéo, và các đặc tính từ.

Trong thử nghiệm số 11, biểu thức (i) không được thỏa mãn, và kết quả là tổn hao do sắt và độ bền kéo kém.

Kết quả là trong thử nghiệm số 9, hàm lượng Al hòa tan thấp hơn khoảng đã định, trong lúc trong thử nghiệm số 14, hàm lượng S vượt quá khoảng đã định, và do đó tổn hao do sắt kém. Khi các thử nghiệm số 17 đến 21 trong đó thành phần hóa học thỏa mãn các yêu cầu được so sánh với nhau, kết quả là trong thử nghiệm số 17, kích thước hạt trung bình nhỏ hơn khoảng đã định, và do vậy tổn hao do sắt kém, trong lúc trong thử nghiệm số 21, kích thước hạt trung bình lớn hơn khoảng đã định, và do vậy độ bền kéo kém.

Trong các thử nghiệm số 23 và 24, hàm lượng Si thấp hơn khoảng đã định, nên nhận được kích thước hạt trung bình thấp hơn khoảng đã định. Do đó, mặc dù có thể đạt được độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 600MPa, nhưng kết quả là tổn hao do sắt kém.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

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 tính từ vượt trội.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng, tấm thép này bao gồm:

kim loại nền chứa, làm thành phần hóa học, theo % khối lượng,

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%,

Si: lớn hơn 3,7% và nhỏ hơn hoặc bằng 4,4%,

Mn: lớn hơn 0,2% và nhỏ hơn hoặc bằng 1,5%,

Al hòa tan: nằm trong khoảng từ 0,05% đến 0,45%,

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%,

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

N: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

Ti: nhỏ hơn 0,0050%,

Nb: nhỏ hơn 0,0050%,

Zr: nhỏ hơn 0,0050%,

V: nhỏ hơn 0,0050%,

Cu: nhỏ hơn 0,200%,

Ni: nhỏ hơn 0,500%,

Sn: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,100%,

Sb: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,100%, và

phần còn lại: Fe và các tạp chất,

trong đó biểu thức (i) được thỏa mãn, và

kích thước hạt trung bình của kim loại nền là lớn hơn 40 μ m và nhỏ hơn hoặc bằng 120 μ m,

$$\text{Si} + \text{Al hòa tan} + 0,5 \times \text{Mn} \geq 4,3 \dots(i)$$

trong đó các ký hiệu nguyên tố trong biểu thức này thể hiện các lượng của các nguyên tố tương ứng theo % khối lượng.

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

trong đó độ bền kéo của tấm thép điện không định hướng lớn hơn hoặc bằng 600MPa.

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

trong đó thành phần hóa học bao gồm, theo % khối lượng, một hoặc hai nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm:

Sn: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,100%, và

Sb: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,100%.

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

lớp bao cách điện trên bề mặt của kim loại nền.