



(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
1-0048528
(51)^{2006.01} C22C 38/00; H01F 1/147; C22C 38/60; (13) B
C21D 8/12

(21) 1-2022-06023 (22) 02/04/2020
(86) PCT/JP2020/015170 02/04/2020 (87) WO 2021/199400 A1 07/10/2021
(45) 25/07/2025 448 (43) 26/12/2022 417A
(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 VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT
TẤM THÉP NÀY

(21) 1-2022-06023

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm thành phần hóa học của kim loại nền chứa, theo % khối lượng, C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%, Si: nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%, Mn: vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0%, P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%, S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, Al: lớn hơn hoặc bằng 0,005% và nhỏ hơn 0,050%, N: nằm trong khoảng từ 0,0005% đến 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 0,20%, Ni: nhỏ hơn 0,50%, Sn: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%, Sb: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%, phần còn lại: Fe và các tạp chất. $[Si + 0,5 \times Mn \geq 4,3]$ được thỏa mãn và kích thước hạt trung bình của kim loại nền nằm trong khoảng từ 10 đến 80 μ m. Sáng chế còn đề cập đến phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

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

Trong những năm gần đây, việc kiểm soát tần số của nguồn điện truyền động có thể được thực hiện với sự phát triển của hệ thống truyền động cho động cơ. Cùng với đó, có nhu cầu ngày càng tăng đối với các động cơ hoạt động ở tốc độ thay đổi hoặc quay ở tốc độ cao hơn các tần số thương mại. Lực ly tâm tác động lên rôto của động cơ, quay ở tốc độ cao, tăng tỷ lệ với bình phương của tốc độ quay. Vì lý do này, vật liệu thép được sử dụng cho rôto của động cơ tốc độ cao dần dần có yêu cầu tăng bền cao.

Ngoài ra, trong động cơ kiểm soát đổi điện loại nam châm nhúng mà được sử dụng ngày càng tăng cho động cơ truyền động của xe hybrid hoặc xe điện, động cơ máy nén của máy điều hòa không khí, hoặc loại tương tự, một khe được cung cấp ở phần chu vi bên ngoài của rôto và nam châm được nhúng trong khe. Vì lý do này, ứng suất được tập trung trên phần cầu hẹp, như phần giữa chu vi bên ngoài của rôto và khe, do lực ly tâm trong quá trình quay ở tốc độ cao của động cơ. Do đó, vật liệu lõi được sử dụng cho rôto cần phải có độ bền cho phép rôto không bị biến dạng và bị gãy bởi lực ly tâm.

Ngoài ra, dòng xoáy được tạo ra trong động cơ quay ở tốc độ cao bằng từ thông tần số cao, do đó hiệu suất của động cơ giảm xuống và sinh ra nhiệt. Do nam châm được nhúng trong rôto bị khử từ trong trường hợp lượng nhiệt sinh ra tăng lên, cũng đòi hỏi tổn hao do sắt thép trong khoảng tần số cao.

Các phương pháp sử dụng sự tăng bền dung dịch rắn, hóa cứng kết tủa, tăng bền tinh luyện hạt tinh thể, tăng bền cấu trúc composit, và tương tự được biết đến là phương pháp cải thiện độ bền của tấm thép. Tuy nhiên, do các đặc tính từ suy giảm và khả năng gia công trong quá trình cán nguội giảm trong nhiều phương pháp trong số các phương pháp này, thường cực kỳ khó đạt được cả độ bền và các đặc tính từ ở mức cao.

Trong bối cảnh đó, các nỗ lực để đạt được các đặc tính từ vượt trội và độ bền cao được thực hiện, chẳng hạn, trong các tài liệu sáng chế 1 đến 3.

Tài liệu viện dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Đơn yêu cầu cấp Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản chưa xét nghiệm, công bố thứ nhất số 2004-300535

Tài liệu sáng chế 2: Đơn yêu cầu cấp Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản chưa xét nghiệm, công bố thứ nhất số 2007-186791

Tài liệu sáng chế 3: Đơn yêu cầu cấp Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản chưa xét nghiệm, công bố thứ nhất số 2012-140676

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Tuy nhiên, để đạt được các đặc tính tiết kiệm năng lượng cần thiết cho các động cơ đối với các xe điện hoặc xe hybrid trong những năm gần đây, tổn hao do sắt thấp là không đủ và chi phí cao đã được yêu cầu trong các kỹ thuật được bộc lộ trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 3.

Sáng chế đã được thực hiện để giải quyết các vấn đề nêu trên, và mục đích của sáng chế là cung cấp ổn định tấm thép điện không định hướng, có độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội, ở chi phí thấp.

Cách thức giải quyết vấn đề

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

(1) Tấm thép điện không định hướng, trong đó tấm thép này bao gồm, làm thành phần hóa học của kim loại nền, theo % khối lượng:

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%;

Si: nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%;

Mn: vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0%;

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%;

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Al: lớn hơn hoặc bằng 0,005% và nhỏ hơn 0,050%;

N: nằm trong khoảng từ 0,0005% đến 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 0,20%;

Ni: nhỏ hơn 0,50%;

Sn: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%;

Sb: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%; 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 nằm trong khoảng từ 10 đến 80 μ m,

$$\text{Si} + 0,5 \times \text{Mn} \geq 4,3... (i)$$

ở đây, ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) là hàm lượng (% khối lượng) của mỗi nguyên tố.

(2) Tấm thép điện không định hướng theo mục (1),

trong đó độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 650MPa.

(3) Tấm thép điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2),

trong đó thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, một hoặc hai nguyên tố được chọn từ Sn: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,10% và Sb: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,10%.

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

lớp phủ cách điện được bố trí trên bề mặt của kim loại nền.

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

thực hiện cán nóng trên thỏi thép có thành phần hóa học theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3) và sau đó thực hiện bước 1 hoặc 2 sau đây,

(bước 1) thực hiện cán nguội và ủ cuối cùng theo thứ tự mà không ủ tấm cán nóng, và

(bước 2) thực hiện ủ tấm cán nóng ở nhiệt độ thấp hơn hoặc bằng 950°C và sau đó thực hiện quá trình cán nguội và quá trình ủ cuối cùng theo thứ tự,

trong đó quá trình ủ cuối cùng được thực hiện ở trạng thái trong đó nhiệt độ ủ nóng đều nằm trong khoảng từ 750°C đến 1000°C và thời gian ủ nóng đều nằm trong khoảng từ 1 đến 300 giây.

Hiệu quả của sáng chế

Theo sáng chế, có thể thu được ổn định tấm thép điện không định hướng, có độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội, ở chi phí thấp.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án của sáng chế

Nhờ việc nghiên cứu chuyên cần được thực hiện bởi các tác giả sáng chế để giải quyết các vấn đề đã nêu ở trên, các tác giả sáng chế đã thu được các kiến thức sau đây.

Si, Mn, và Al là các nguyên tố có tác dụng gia tăng điện trở của thép để giảm tổn hao do dòng xoáy. Ngoài ra, các nguyên tố này là các nguyên tố cũng góp phần vào sự tăng bền cao của thép.

Trong số các nguyên tố đã nêu ở trên, Si là nguyên tố đóng góp hiệu quả nhất vào việc tăng điện trở và là nguyên tố cũng đóng góp hiệu quả nhất vào việc tăng độ bền. Giống như Si, Al cũng có tác dụng gia tăng hiệu quả điện trở. Tuy nhiên, có vấn đề là độ dai của thép bị giảm xuống và khả năng gia công kém đi trong trường hợp một lượng lớn của Al và một lượng lớn Si được bổ sung. Ngược lại, Mn có tác dụng gia tăng điện

trở thấp hơn so với Si và Al, nhưng có thuận lợi ở chỗ khả năng gia công có thể ít bị kém đi.

Do đó, theo phương án này, hàm lượng Si và hàm lượng Mn được điều chỉnh để nằm trong các khoảng thích hợp, sao cho khả năng gia công được đảm bảo trong lúc đạt được sự tăng bền cao và sự cải thiện các đặc tính từ.

Ngoài ra, cũng quan trọng là kiểm soát các kích thước hạt để đạt được sự tăng bền cao và sự cải thiện các đặc tính từ. Xét về sự tăng bền cao, mong muốn là các tinh thể trong thép là các hạt mịn.

Ngoài ra, tổn hao do sắt, đặc biệt là, tổn hao do sắt trong khoảng tần số cao cần được cải thiện về đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng được sử dụng làm vật liệu lõi của các động cơ truyền động đối với các xe điện và xe hybrid và các động cơ đối với các máy nén của các máy điều hòa không khí. Tổn hao do sắt chủ yếu gồm có tổn hao do từ trễ và tổn hao do dòng xoáy. Ở đây, được ưu tiên là các hạt tinh thể được làm thô để giảm tổn hao do từ trễ và được ưu tiên là các hạt tinh thể được tinh luyện để giảm tổn hao do dòng xoáy. Nghĩa là, có mối quan hệ đánh đổi giữa cả tổn hao do từ trễ và tổn hao do dòng xoáy.

Do đó, nhờ sự nghiên cứu được thực hiện thêm nữa bởi các tác giả sáng chế, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng có một khoảng kích thước hạt được ưu tiên để đạt được sự tăng bền cao và làm giảm tổn hao do sắt ở tần số cao và hàm lượng Al và hàm lượng N cần được điều chỉnh để nằm trong các khoảng thích hợp.

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này được tạo ra dựa trên các kiến thức đã nêu ở trên. Mỗi yêu cầu đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

1. Toàn bộ cấu hình

Do có độ bền đặc biệt cao, tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế là thích hợp cho rôto. Ngoài ra, do cũng vượt trội về các đặc tính từ, tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế cũng thích hợp cho stato. Hơn nữa, được ưu tiên là tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế bao gồm lớp phủ cách điện trên bề mặt của kim loại nên được mô tả dưới đây.

2. Thành phần hóa học của kim loại nền

Lý do vì sao mỗi nguyên tố cần được giới hạn là như sau. Trong phần mô tả sau đây, “%” liên quan tới hàm lượng có nghĩa là “% khối lượng”. Ngoài ra, theo phương án này, khoảng bằng số được biểu thị bằng cách sử dụng từ “đến” có nghĩa là khoảng bao gồm các giá trị bằng số được viết đằng trước và đằng sau từ “đến” làm giới hạn dưới và giới hạn trên.

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%

C (cacbon) là nguyên tố làm cho tổn hao do sắt xuống cấp. Trong trường hợp hàm lượng C vượt quá 0,0050%, sự xuống cấp của tổn hao do sắt xảy ra trong tấm thép điện không định hướng. Vì lý do này, không thể thu được các đặc tính từ tốt. Do đó, hàm lượng C được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%. Được ưu tiên là hàm lượng C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040% và được ưu tiên hơn là hàm lượng C nhỏ hơn hoặc bằng 0,0035%. C góp phần làm tăng bền cao của tấm thép. Do đó, trong trường hợp người dùng muốn thu được tác dụng của nó, được ưu tiên là hàm lượng C lớn hơn hoặc bằng 0,0005% và được ưu tiên hơn là hàm lượng C lớn hơn hoặc bằng 0,0010%.

Si: nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%

Si (silic) là nguyên tố làm tăng điện trở của thép để làm giảm tổn hao do dòng xoáy và để cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao. Ngoài ra, do Si có khả năng tăng bền dung dịch rắn lớn, Si là nguyên tố cũng có hiệu quả đối với sự tăng bền cao của tấm thép. Mặt khác, trong trường hợp hàm lượng Si là quá dư thừa, khả năng gia công giảm đáng kể và khó thực hiện cán nguội. Do đó, hàm lượng Si được đặt đến nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%. Được ưu tiên là hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 3,9% và được ưu tiên hơn là hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 4,0%. Ngoài ra, được ưu tiên là hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 4,8% và được ưu tiên hơn là hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 4,5%.

Mn: vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0%

Mn (mangan) là nguyên tố có hiệu quả làm tăng điện trở của thép để giảm tổn hao do dòng xoáy và để cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao. Tuy nhiên, trong trường hợp hàm lượng Mn là quá dư thừa, mật độ từ thông bị giảm đáng kể. Do đó, hàm lượng

Mn được đặt đến vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0%. Được ưu tiên là hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,3%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,4%, được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn vượt quá 0,5%, và còn được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn lớn hơn hoặc bằng 0,6%. Ngoài ra, được ưu tiên là hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,8%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,7%, được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn nhỏ hơn 1,5%, còn được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,4%, vẫn được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,2%, và phần nhiều được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Mn nhỏ hơn hoặc bằng 1,0%.

Theo sáng chế, hàm lượng Si và hàm lượng Mn được kiểm soát thích hợp để đảm bảo điện trở của thép. Vì lý do này, ngoài mỗi trong số hàm lượng Si và hàm lượng Mn nằm trong các khoảng đã nêu ở trên, biểu thức (i) sau đây cần phải được thỏa mãn. Được ưu tiên là giá trị vế trái của biểu thức (i) lớn hơn hoặc bằng 4,4 và được ưu tiên hơn là giá trị vế trái của biểu thức (i) lớn hơn hoặc bằng 4,5.

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

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

Mục đích của biểu thức (i) là như sau.

Như đã mô tả ở trên, theo phương án này, hàm lượng Si và hàm lượng Mn được điều chỉnh để nằm trong các khoảng thích hợp, sao cho khả năng gia công được đảm bảo trong lúc đạt được sự tăng bền cao và sự cải thiện các đặc tính từ. Trước tiên, tập trung vào Si, Si là nguyên tố làm tăng điện trở của thép để giảm tổn hao do dòng xoáy và để cải thiện tổn hao do sắt ở tần số cao. Ngoài ra, do Si có khả năng làm tăng bền dung dịch rắn lớn, Si là nguyên tố cũng có hiệu quả đối với sự tăng bền cao của tấm thép. Mặt khác, trong trường hợp hàm lượng Si là quá dư thừa, khả năng gia công giảm đáng kể và khó thực hiện cán nguội. Từ quan điểm này, hàm lượng Si được đặt đến nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%.

So sánh khoảng của hàm lượng Si với biểu thức (i), biểu thức (i) được thỏa mãn không chú ý tới hàm lượng Mn trong trường hợp hàm lượng Si nằm trong khoảng từ 4,3% đến 5,0%. Do đó, trong trường hợp này, các đặc tính từ tốt thu được (với tiền đề

là các yêu cầu khác của tấm thép điện không định hướng theo phương án này được thỏa mãn). Ngoài ra, do hàm lượng Si thỏa mãn yêu cầu của phương án này, tấm thép điện không định hướng có độ bền cao. Mặt khác, Si là nguyên tố không có lợi xét về khả năng gia công, nhưng khả năng gia công cũng tốt do hàm lượng Si ít nhất nhỏ hơn hoặc bằng 5,0%.

Mặt khác, trong trường hợp hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 3,8% và nhỏ hơn 4,3%, biểu thức (i) không được thỏa mãn chỉ bởi hàm lượng Si. Nghĩa là, có khả năng là các đặc tính từ mong muốn không thu được chỉ từ Si. Do đó, Mn được sử dụng để bù vào sự thiếu hụt của các đặc tính từ. Nghĩa là, hàm lượng Mn tăng trong khoảng vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0% sao cho biểu thức (i) được thỏa mãn. Do đó, các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng được cải thiện. Mặt khác, do Si lớn hơn hoặc bằng 3,8%, độ bền của tấm thép điện không định hướng cũng tăng lên. Về khả năng gia công, do hàm lượng Si nhỏ hơn 4,3%, khả năng gia công có xu hướng được cải thiện khi so sánh với trường hợp đã nêu ở trên (nghĩa là, trường hợp hàm lượng Si lớn hơn hoặc bằng 4,3%). Ở đây, do Mn khó có thể ảnh hưởng đến khả năng gia công, khả năng gia công có thể ít bị giảm ngay cả khi hàm lượng Mn tăng để biểu thức (i) được thỏa mãn. Ngoài ra, sự tăng hàm lượng Mn có hiệu quả trong việc gia tăng độ bền mặc dù nó không hiệu quả bằng Si.

Như đã mô tả ở trên, theo phương án này, hàm lượng Si và hàm lượng Mn có các giá trị trong các khoảng bằng số đã nêu ở trên và được đặt sao cho biểu thức (i) được thỏa mãn. Do đó, khả năng gia công có thể được đảm bảo trong lúc đạt được sự tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng và sự cải thiện các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng.

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%

P (phospho) được bao gồm trong thép dưới dạng tạp chất, và độ dai của tấm thép bị giảm đáng kể trong trường hợp hàm lượng P là quá dư thừa. Do đó, hàm lượng P được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%. Được ưu tiên là hàm lượng P nhỏ hơn hoặc bằng 0,025% và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng P nhỏ hơn hoặc bằng 0,020%.

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%

S (lưu huỳnh) là nguyên tố tạo ra chất kết tủa mịn MnS làm tăng tổn hao do sắt và làm giảm các đặc tính từ của tấm thép. Do đó, hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Được ưu tiên là hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0025% và được ưu tiên hơn là hàm lượng S nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Do có lo ngại rằng việc giảm hàm lượng S quá mức gây ra tăng chi phí sản xuất, được ưu tiên là hàm lượng S lớn hơn hoặc bằng 0,0001%, được ưu tiên hơn là hàm lượng S lớn hơn hoặc bằng 0,0003%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng S lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Al: lớn hơn hoặc bằng 0,005% và nhỏ hơn 0,050%

Al (nhôm) là nguyên tố có tác dụng tinh luyện ổn định các hạt tinh thể khi được phối hợp với N và hình thành AlN. Cần phải chứa Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,005% để thể hiện tác dụng này. Mặt khác, trong trường hợp Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,050% được chứa, tác dụng tinh luyện các hạt tinh thể giảm xuống. Do đó, hàm lượng Al được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,005% và nhỏ hơn 0,050%. Được ưu tiên là hàm lượng Al lớn hơn hoặc bằng 0,008%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Al lớn hơn hoặc bằng 0,010%, được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Al lớn hơn hoặc bằng 0,015%, và còn được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Al lớn hơn hoặc bằng 0,020%. Ngoài ra, được ưu tiên là hàm lượng Al nhỏ hơn hoặc bằng 0,048% và được ưu tiên hơn là hàm lượng Al nhỏ hơn hoặc bằng 0,045%. Trong bản mô tả này, hàm lượng Al có nghĩa là tổng hàm lượng Al được bao gồm trong kim loại nền.

N: nằm trong khoảng từ 0,0005% đến 0,0030%

N (nitơ) là nguyên tố có tác dụng tinh luyện ổn định các hạt tinh thể khi được phối hợp với Al và hình thành AlN. Mặt khác, trong trường hợp một lượng lớn của N được chứa, AlN dư thừa được tạo ra và làm cho tổn hao do sắt xuống cấp. Do đó, hàm lượng N được đặt đến nằm trong khoảng từ 0,0005% đến 0,0030%. Được ưu tiên là hàm lượng N lớn hơn hoặc bằng 0,0007% và được ưu tiên hơn là hàm lượng N lớn hơn hoặc bằng 0,0010%. Ngoài ra, được ưu tiên là hàm lượng N nhỏ hơn hoặc bằng 0,0027% và được ưu tiên hơn là hàm lượng N nhỏ hơn hoặc bằng 0,0025%.

Ti: nhỏ hơn 0,0050%

Ti (titan) là nguyên tố bị trộn lẫn theo cách không thể tránh khỏi và có thể tạo ra các chất kết tủa (cacbit hoặc nitrit) bằng cách phối hợp với cacbon hoặc nitơ. Trong

trường hợp cacbit hoặc nitrit được tạo ra, bản thân các chất kết tủa này làm giảm các đặc tính từ. Ngoài ra, các chất kết tủa này ức chế sự phát triển của các hạt tinh thể trong quá trình ủ cuối cùng để làm giảm các đặc tính từ. Do đó, hàm lượng Ti được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Được ưu tiên là hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Ti nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Do có lo ngại rằng sự giảm quá mức hàm lượng Ti gây tăng chi phí sản xuất, được ưu tiên là hàm lượng Ti lớn hơn hoặc bằng 0,0005%.

Nb: nhỏ hơn 0,0050%

Nb (niobi) là nguyên tố tạo ra các chất kết tủa (cacbit hoặc nitrit) bằng cách phối hợp với cacbon hoặc nitơ để góp phần làm tăng bền cao, nhưng bản thân các chất kết tủa này làm giảm các đặc tính từ. Do đó, hàm lượng Nb được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Được ưu tiên là hàm lượng Nb nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Nb nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Nb nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Hàm lượng Nb thấp hơn sẽ được ưu tiên hơn và được ưu tiên là hàm lượng Nb thấp hơn hoặc bằng giới hạn đo.

Zr: nhỏ hơn 0,0050%

Zr (ziricon) là nguyên tố tạo ra các chất kết tủa (cacbit hoặc nitrit) bằng cách phối hợp với cacbon hoặc nitơ để góp phần làm tăng bền cao, nhưng bản thân các chất kết tủa này làm giảm các đặc tính từ. Do đó, hàm lượng Zr được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Được ưu tiên là hàm lượng Zr nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Zr nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Zr nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%. Hàm lượng Zr thấp hơn là được ưu tiên hơn và được ưu tiên là hàm lượng Zr thấp hơn hoặc bằng giới hạn đo.

V: nhỏ hơn 0,0050%

V (vanadi) là nguyên tố tạo ra các chất kết tủa (cacbit hoặc nitrit) bằng cách phối hợp với cacbon hoặc nitơ để góp phần làm tăng bền cao, nhưng bản thân các chất kết tủa này làm giảm các đặc tính từ. Do đó, V hàm lượng được đặt đến nhỏ hơn 0,0050%. Được ưu tiên là hàm lượng V nhỏ hơn hoặc bằng 0,0040%, được ưu tiên hơn là hàm lượng V nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng V nhỏ hơn

hoặc bằng 0,0020%. Hàm lượng V thấp hơn là được ưu tiên hơn và được ưu tiên là hàm lượng V thấp hơn hoặc bằng giới hạn đo.

Cu: nhỏ hơn 0,20%

Cu (đồng) là nguyên tố bị trộn lẫn theo cách không thể tránh khỏi. Việc bổ sung Cu có chủ ý gây tăng chi phí sản xuất của tấm thép. Do đó, theo sáng chế, Cu không cần được bổ sung chủ động và có thể được bổ sung ở mức tạp chất. Hàm lượng Cu được đặt đến nhỏ hơn 0,20% là giá trị tối đa của Cu bị trộn lẫn theo cách không thể tránh khỏi trong bước sản xuất. Được ưu tiên là hàm lượng Cu nhỏ hơn hoặc bằng 0,15% và được ưu tiên hơn là hàm lượng Cu nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%. Giới hạn dưới của hàm lượng Cu không bị giới hạn cụ thể, nhưng có lo ngại rằng sự giảm quá mức hàm lượng Cu gây tăng chi phí sản xuất. Vì lý do này, được ưu tiên là hàm lượng Cu lớn hơn hoặc bằng 0,001%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Cu lớn hơn hoặc bằng 0,003%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Cu lớn hơn hoặc bằng 0,005%.

Ni: nhỏ hơn 0,50%

Ni (niken) là nguyên tố bị trộn lẫn theo cách không thể tránh khỏi. Tuy nhiên, do cũng là nguyên tố cải thiện độ bền của tấm thép, Ni có thể cũng được bổ sung có chủ ý. Ở đây, do Ni đắt tiền, hàm lượng Ni được đặt đến nhỏ hơn 0,50% trong trường hợp Ni cần được bổ sung có chủ ý. Được ưu tiên là hàm lượng Ni nhỏ hơn hoặc bằng 0,40% và được ưu tiên hơn là hàm lượng Ni nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%. Giới hạn dưới của hàm lượng Ni không bị giới hạn cụ thể, nhưng có lo ngại rằng sự giảm quá mức hàm lượng Ni gây tăng chi phí sản xuất. Vì lý do này, được ưu tiên là hàm lượng Ni lớn hơn hoặc bằng 0,001%, được ưu tiên hơn là hàm lượng Ni lớn hơn hoặc bằng 0,003%, và được ưu tiên hơn nữa là hàm lượng Ni lớn hơn hoặc bằng 0,005%.

Sn: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%

Sb: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%

Sn (thiếc) và Sb (antimon) là các nguyên tố hữu ích để đảm bảo tồn hao do sắt thấp bằng cách được thiên tích trên bề mặt và ngăn chặn quá trình oxy hóa và nitrit hóa trong quá trình ủ. Ngoài ra, Sn và Sb cũng có tác dụng cải thiện kết cấu bằng cách được thiên tích ở các biên hạt và tác dụng gia tăng mật độ từ thông. Vì lý do này, ít nhất một

trong số Sn và Sb có thể được chứa khi cần thiết. Tuy nhiên, trong trường hợp các hàm lượng các nguyên tố này là quá mức, có khả năng là độ dai của thép bị giảm xuống, điều này làm cho quá trình cán nguội khó được thực hiện. Do đó, mỗi trong số hàm lượng Sn và hàm lượng Sb được đặt đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%. Được ưu tiên là mỗi trong số hàm lượng Sn và hàm lượng Sb nhỏ hơn hoặc bằng 0,06%. Trong trường hợp người dùng muốn thu được các tác dụng đã nêu ở trên, được ưu tiên là ít nhất một trong số hàm lượng Sn và hàm lượng Sb được đặt đến lớn hơn hoặc bằng 0,005% và được ưu tiên hơn là ít nhất một trong số hàm lượng Sn và hàm lượng Sb được đặt đến 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 là Fe và các tạp chất. Ở đây, “các tạp chất” là các nguyên liệu thô, như quặng và phế liệu, và các thành phần được trộn do các yếu tố khác nhau của các bước sản xuất trong trường hợp thép được sản xuất công nghiệp, và có nghĩa là các vật liệu được cho phép trong phạm vi trong đó sáng chế không bị ảnh hưởng bất lợi.

Đặc biệt là, hàm lượng Cr và hàm lượng Mo không được xác định là các nguyên tố tạp chất. Ngay cả khi tấm thép điện không định hướng theo phương án này chứa các nguyên tố với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,5%, các tác dụng của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt. Ngoài ra, ngay cả khi mỗi nguyên tố trong số Ca và Mg được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,002%, các tác dụng của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt. Ngay cả khi các nguyên tố đất hiếm (rare earth metal, REM) được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,004%, các tác dụng của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt.

O cũng là nguyên tố tạp chất, nhưng các tác dụng của sáng chế không bị ảnh hưởng ngay cả khi O được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,05%. Do O có thể được trộn trong bước ủ, các tác dụng của sáng chế không bị ảnh hưởng đặc biệt ngay cả khi O được chứa trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,01% trong hàm lượng của giai đoạn phơi (nghĩa là, giá trị ở nôi rút).

Ngoài ra, các nguyên tố, như Pb, Bi, As, B, và Se, có thể được chứa ngoài các nguyên tố đã nêu ở trên, nhưng các tác dụng của sáng chế không suy giảm trong trường hợp mỗi trong số các hàm lượng của chúng trong khoảng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%.

Thành phần hóa học của kim loại nền đã nêu ở trên có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp phân tích chung. Chẳng hạn, thành phần của thép có thể được đo bằng cách sử dụng phép đo phổ phát xạ plasma-nguyên tử kết hợp cảm ứng (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, ICP-AES). C và S có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp đốt cháy-hấp thụ hồng ngoại, N có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp dẫn nhiệt-nóng chảy bằng khí trơ, và O có thể được đo bằng cách sử dụng phương pháp hấp thụ hồng ngoại không phân tán-nóng chảy bằng khí trơ.

3. Kích thước hạt

Như đã mô tả ở trên, xét về việc tăng bền cao, mong muốn là các tinh thể trong thép là các hạt mịn. Ngoài ra, được ưu tiên là các hạt tinh thể được làm thô để giảm tổn hao do từ trễ, và được ưu tiên là các hạt tinh thể được tinh luyện để giảm tổn hao do dòng xoáy.

Trong trường hợp kích thước hạt trung bình của kim loại nền nhỏ hơn $10\mu\text{m}$, tổn hao do từ trễ giảm đáng kể và khó cải thiện các đặc tính từ. Mặt khác, trong trường hợp kích thước hạt trung bình vượt quá $80\mu\text{m}$, độ bền của thép giảm xuống. Do đó, kích thước hạt trung bình của kim loại nền được đặt đến nằm trong khoảng từ 10 đến $80\mu\text{m}$. Được ưu tiên là kích thước hạt trung bình lớn hơn hoặc bằng $12\mu\text{m}$ và được ưu tiên hơn là kích thước hạt trung bình lớn hơn hoặc bằng $14\mu\text{m}$. Ngoài ra, được ưu tiên là kích thước hạt trung bình nhỏ hơn hoặc bằng $70\mu\text{m}$ và được ưu tiên hơn là kích thước hạt trung bình nhỏ hơn hoặc bằng $60\mu\text{m}$.

Theo sáng chế, kích thước hạt trung bình của kim loại nền thu được theo JIS G 0551 (2013) “phương pháp kiểm tra kích thước hạt của thép bằng kính hiển vi”.

4. Các đặc tính từ:

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

đây, các đặc tính từ đã nêu ở trên được đo trên cơ sở phương pháp Epstein được quy định trong JIS C 2550-1 (2011).

5. Các đặc tính 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 hơn hoặc bằng 650MPa. Được ưu tiên là độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 660MPa. Ở đây, thử nghiệm kéo phù hợp với JIS Z 2241 (2011) được thực hiện để đo độ bền kéo.

6. Lớp phủ cách điện

Được ưu tiên là lớp phủ cách điện được tạo ra trên bề mặt của kim loại nền trong tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế như đã mô tả ở trên. Các tấm thép điện không định hướng được xếp chồng để sử dụng sau khi phôi lõi được đột dập trong mỗi tấm thép điện không định hướng. Do đó, trong trường hợp lớp phủ cách điện được bố trí trên bề mặt của kim loại nền, dòng xoáy giữa các tấm có thể được giảm xuống và tổn hao do dòng xoáy có thể được giảm xuống khi dùng làm lõi.

Loại lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể, và lớp phủ cách điện đã được biết đến công khai để được sử dụng làm lớp phủ cách điện cho tấm thép điện không định hướng có thể được sử dụng. Các ví dụ của lớp phủ cách điện như vậy bao gồm lớp phủ cách điện composit bao gồm chất vô cơ làm thành phần chính và còn bao gồm chất hữu cơ. Ở đây, lớp phủ cách điện composit là, chẳng hạn, lớp phủ cách điện bao gồm ít nhất một trong số chất vô cơ, như kim loại cromat, kim loại phosphat, hoặc silic oxit dạng keo, hợp chất Zr, và hợp chất Ti, làm thành phần chính và trong đó các hạt nhựa hữu cơ mịn được phân tán. Đặc biệt, lớp phủ cách điện sử dụng phosphat kim loại, chất kết hợp Zr hoặc Ti, muối cacbonat hoặc amoni của chúng làm vật liệu ban đầu tốt hơn là được sử dụng xét về việc làm giảm tải cho môi trường trong quá trình sản xuất đã được gia tăng theo nhu cầu trong những năm gần đây.

Ở đây, lượng dính bám của lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể. Chẳng hạn, được ưu tiên là lượng dính bám của lớp phủ cách điện được đặt đến nằm trong khoảng từ khoảng 200 đến 1500mg/m² trên mỗi một bề mặt và được ưu tiên hơn là lượng dính bám của lớp phủ cách điện được đặt đến nằm trong khoảng từ 300 đến 1200mg/m² trên mỗi một bề mặt. Trong trường hợp lớp phủ cách điện được tạo ra sao cho lượng

dính bám của lớp phủ cách điện nằm trong khoảng đã nêu ở trên, sự đồng đều vượt trội có thể được duy trì. Trong trường hợp lượng dính bám của lớp phủ cách điện được đo sau thực tế, các phương pháp đo khác nhau đã được biết đến công khai có thể được sử dụng. Chẳng hạn, phương pháp đo mức chênh lệch khối lượng trước và sau khi nhúng tấm thép điện không định hướng trong dung dịch nước natri hydroxit, phương pháp huỳnh quang tia X bằng cách sử dụng phương pháp đường cong hiệu chỉnh, hoặc phương pháp tương tự có thể được sử dụng 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 cụ thể. Tuy nhiên, quá trình cán nóng có thể được thực hiện trên thỏi thép có thành phần hóa học đã nêu ở trên và bước 1 hoặc 2 sau đây có thể được thực hiện để sản xuất tấm thép điện không định hướng.

(Bước 1) Quá trình cán nguội và ủ cuối cùng được thực hiện theo thứ tự mà không cần ủ tấm cán nóng.

(Bước 2) Quá trình ủ tấm cán nóng được thực hiện ở nhiệt độ thấp hơn hoặc bằng 950°C và quá trình cán nguội và quá trình ủ cuối cùng sau đó được thực hiện theo thứ tự.

Ngoài ra, trong trường hợp lớp phủ cách điện cần được tạo ra trên bề mặt của kim loại nền, lớp phủ cách điện được tạo ra sau khi ủ cuối cùng. Mỗi bước sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Bước cán nóng

Thỏi thép (phôi) có thành phần hóa học đã nêu ở trên được gia nhiệt và quá trình cán nóng được thực hiện trên thỏi thép đã được gia nhiệt, để thu được tấm cán nóng. Ở đây, nhiệt độ gia nhiệt của thỏi thép trong trường hợp thỏi thép được cán nóng không được quy định cụ thể, nhưng được ưu tiên là nhiệt độ gia nhiệt của thỏi thép được đặt đến nằm trong khoảng từ, chẳng hạn, 1050°C đến 1250°C. Ngoài ra, độ dày tấm của tấm cán nóng được cán nóng cũng không được quy định cụ thể, nhưng được ưu tiên là độ dày tấm của tấm cán nóng được cán nóng được đặt đến nằm trong, chẳng hạn, khoảng từ 1,5 đến 3,0mm có xét đến độ dày tấm cuối cùng của kim loại nền.

Bước ủ tấm cán nóng

Sau đó, quá trình ủ tấm cán nóng có thể được thực hiện để tăng mật độ từ thông của tấm thép. Nghĩa là, bước ủ tấm cán nóng được bỏ qua trong bước 1. Bước ủ tấm cán nóng được thực hiện trong bước 2. Trong trường hợp bước ủ tấm cán nóng được thực hiện, có lo ngại rằng sự nứt gãy xảy ra trong quá trình cán nguội trong trường hợp ủ được thực hiện ở nhiệt độ cao vượt quá 950°C. Do đó, nhiệt độ ủ được đặt đến thấp hơn hoặc bằng 950°C. Trong trường hợp ủ liên tục, được ưu tiên là tấm thép cán nóng được ủ bằng cách sử dụng sự ủ nóng đều trong từ 10 đến 150 giây ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 950°C. Được ưu tiên hơn là các điều kiện ủ nóng đều được đặt đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 800°C đến 930°C và từ 10 đến 150 giây.

Ngoài ra, trong trường hợp ủ trong hộp, được ưu tiên là tấm thép cán nóng được ủ bằng cách sử dụng sự ủ nóng đều trong từ 30 phút đến 24 giờ ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 600°C đến 850°C. Tốt hơn nữa là, tấm thép cán nóng được ủ bằng cách sử dụng sự ủ nóng đều trong từ 1 giờ đến 20 giờ ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 650°C đến 800°C. Mặc dù các đặc tính từ kém hơn so với cá đặc tính từ trong trường hợp bước ủ tấm cán nóng được thực hiện, bước ủ tấm cán nóng đã nêu ở trên có thể được bỏ qua để giảm chi phí (Bước 1).

Bước tẩy gỉ

Quá trình tẩy gỉ có thể được thực hiện sau khi ủ tấm cán nóng. Lớp gỉ được tạo ra trên bề mặt của kim loại nền được loại bỏ bằng quá trình tẩy gỉ. Ở đây, các điều kiện tẩy gỉ, như nồng độ của axit được sử dụng để tẩy gỉ, nồng độ của chất tăng tốc được sử dụng để tẩy gỉ, và nhiệt độ của chất lỏng tẩy gỉ, không bị giới hạn đặc biệt, và có thể được đặt đến các điều kiện tẩy gỉ đã được biết đến công khai. Trong trường hợp quá trình ủ tấm cán nóng là ủ trong hộp, dựa vào đặc tính tẩy gỉ được ưu tiên là bước tẩy gỉ được thực hiện trước khi ủ tấm cán nóng. Trong trường hợp này, quá trình tẩy gỉ không cần được thực hiện sau khi ủ tấm cán nóng. Trong trường hợp quá trình ủ tấm cán nóng được bỏ qua, quá trình tẩy gỉ có thể được thực hiện trên tấm cán nóng để loại bỏ lớp gỉ ra khỏi tấm cán nóng được cán nóng.

Bước cán nguội

Trong bước 1, quá trình cán nguội được thực hiện sau bước cán nóng. Trong bước 2, quá trình cán nguội được thực hiện sau khi tẩy gỉ (quá trình cán nguội có thể được thực hiện sau bước ủ tấm cán nóng trong trường hợp quá trình ủ tấm cán nóng được thực hiện bằng quá trình ủ trong hộp.) Trong quá trình cán nguội, tấm đã tẩy gỉ từ đó lớp gỉ được loại bỏ được cán ở, chẳng hạn, mức giảm cán cho phép độ dày tấm cuối cùng của kim loại nền nằm trong khoảng từ 0,10 đến 0,35mm.

Bước ủ cuối cùng

Quá trình ủ cuối cùng được thực hiện sau quá trình cán nguội. Được ưu tiên là lò ủ liên tục được sử dụng cho quá trình ủ cuối cùng trong phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này. 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 ủ cuối cùng, được ưu tiên là nhiệt độ ủ nóng đều được đặt đến nằm trong khoảng từ 750°C đến 1000°C, thời gian ủ nóng đều được đặt đến nằm trong khoảng từ 1 đến 300 giây, môi trường khí được đặt thành môi trường khí hỗn hợp gồm H₂ và N₂ trong đó tỷ lệ của H₂ nằm trong khoảng từ 10% thể tích đến 100% thể tích (mà, H₂ + N₂ = 100% thể tích), và điểm sương của môi trường khí được đặt đến thấp hơn hoặc bằng 30°C.

Trong trường hợp nhiệt độ ủ nóng đều thấp hơn 750°C, các cấu trúc chưa được kết tinh lại tăng lên và tổn hao do sắt kém đi và điều này là không được ưu tiên. Trong trường hợp nhiệt độ ủ nóng đều vượt quá 1000°C, độ bền là không đủ và tổn hao do sắt cũng kém đi, và điều này là không được ưu tiên. Nhiệt độ ủ nóng đều tốt hơn nữa là trong khoảng từ 760°C đến 980°C và còn tốt hơn nữa là trong khoảng từ 770°C đến 960°C. Tỷ lệ của H₂ trong môi trường khí tốt hơn nữa là trong khoảng từ 15% thể tích đến 90% thể tích. Điểm sương của môi trường khí tốt hơn nữa là thấp hơn hoặc bằng 20°C và còn tốt hơn nữa là thấp hơn hoặc bằng 10°C.

Bước hình thành lớp phủ cách điện

Bước hình thành lớp phủ cách điện có thể được thực hiện sau quá trình ủ cuối cùng. Ở đây, bước hình thành lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể, và chất lỏng xử lý có thể được phủ và được làm khô bằng phương pháp đã được biết đến công khai

bằng cách sử dụng chất lỏng xử lý lớp phủ cách điện đã được biết đến công khai đã mô tả ở trên.

Bề mặt của kim loại nền trên đó lớp phủ cách điện cần được tạo ra có thể được trải qua quá trình xử lý sơ bộ bất kỳ, như tẩy nhờn bằng cách sử dụng kiềm hoặc tẩy gỉ bằng cách sử dụng axit clohydric, axit sulfuric, hoặc axit phosphoric, trước khi chất lỏng xử lý được áp dụng; hoặc có thể là bề mặt được ủ cuối cùng như nó vốn có mà không cần xử lý sơ bộ.

Như đã mô tả ở trên, theo phương án này, hàm lượng Si và hàm lượng Mn được điều chỉnh để nằm trong các khoảng thích hợp (nghĩa là, các khoảng được đại diện bởi biểu thức (i)), sao cho khả năng gia công có thể được đảm bảo trong lúc đạt được sự tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng và sự cải thiện các đặc tính từ. Ngoài ra, do kích thước hạt trung bình của kim loại nền nằm trong khoảng từ 10µm đến 80µm, các đặc tính từ có thể được cải thiện trong lúc độ bền của tấm thép điện không định hướng tăng lên ngay cả về mặt này. Như đã mô tả ở trên, theo phương án này, có thể đảm bảo khả năng gia công trong lúc đạt được sự tăng bền cao của tấm thép điện không định hướng và sự cải thiện các đặc tính từ mà không cần bổ sung một lượng lớn các nguyên tố đặc biệt đắt tiền, như Ni và Cu được mô tả trong tài liệu sáng chế 1, Ti và V được mô tả trong tài liệu sáng chế 2, và Ca được mô tả trong tài liệu sáng chế 3. Ngoài ra, lượng thích hợp của Al có chi phí thấp được bổ sung theo phương án này, sao cho khả năng gia công trong quá trình cán nguội được đảm bảo và kích thước hạt trong quá trình ủ cuối cùng dễ dàng được kiểm soát. Kết quả là, hiệu suất sản phẩm được cải thiện. Do đó, có thể cung cấp ổn định tấm thép điện không định hướng, có độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội, ở chi phí thấp.

Sáng chế sẽ được mô tả cụ thể hơn dưới đây bằng cách sử dụng các ví dụ nhưng không bị giới hạn ở các ví dụ này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phôi có các thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 được gia nhiệt đến 1150°C, quá trình cán nóng sau đó được thực hiện ở nhiệt độ hoàn thiện 850°C và độ dày tấm hoàn thiện bằng 2,0mm, và các phôi được ủ ở 650°C, để thu được các tấm thép cán nóng. Ở một số thử nghiệm số, các tấm thép cán nóng thu được được ủ ở

các nhiệt độ ủ được thể hiện trong bảng 2 và gĩ tạo ra trên các bề mặt của các tấm cán nóng được loại bỏ bằng cách tẩy gĩ. Tất cả các thời gian ủ nóng đều trong bước ủ của các tấm cán nóng được đặt đến 30 giây. Các tấm đã tẩy gĩ thu được theo cách này (các tấm đã tẩy gĩ từ đó gĩ của các tấm thép cán nóng được loại bỏ trong trường hợp quá trình ủ của các tấm cán nóng được bỏ qua) được tạo thành các tấm thép cán nguội có độ dày tấm bằng 0,25mm bằng cách cán nguội.

Ngoài ra, quá trình ủ được thực hiện trong môi trường khí hỗn hợp trong đó H_2 chiếm 25%, N_2 chiếm 75%, và điểm sương bằng $0^\circ C$ để có các kích thước hạt trung bình được thể hiện trong bảng 2 được mô tả dưới đây trong lúc các điều kiện ủ cuối cùng (nhiệt độ ủ nóng đều (nhiệt độ ủ) và thời gian ủ nóng đều) được thay đổi. Cụ thể, trong trường hợp kích thước hạt trung bình tăng lên, nhiệt độ ủ nóng đều được đặt để cao hơn và/hoặc thời gian ủ nóng đều được đặt để dài hơn. Ngoài ra, trong trường hợp kích thước hạt trung bình giảm xuống, nhiệt độ ủ nóng đều được đặt để thấp hơn và/hoặc thời gian ủ nóng đều được đặt để ngắn hơn. Các nhiệt độ ủ nóng đều cụ thể (các nhiệt độ ủ) và các thời gian ủ nóng đều được thể hiện trong bảng 2. Sau đó, lớp phủ cách điện được phủ để sản xuất các tấm thép điện không định hướng và các tấm thép điện không định hướng này được sử dụng làm các vật liệu thử nghiệm.

Ngoài ra, lớp phủ cách điện gồm có axit phosphoric nhôm và nhũ tương nhựa copolyme acrylic-styren có kích thước hạt $0,2\mu m$ được phủ với lượng dính bám đã được xác định trước và được nung trong không khí ở $350^\circ C$, để tạo ra lớp phủ cách điện.

Bảng 1

Loại thép	Thành phần hóa học (% khối lượng, phần còn lại: Fe và các tạp chất)															Giá trị về trái của biểu thức (i)
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	Zr	V	Cu	Ni	Sn	Sb	
A	0,0025	<u>3,7</u>	1,4	0,012	0,0008	0,040	0,0012	0,0012	0,0008	0,0007	0,0002	0,062	0,033	0,030	0,001	4,4
B	0,0025	4,2	1,0	0,012	0,0008	0,040	0,0013	0,0013	0,0008	0,0007	0,0018	0,053	0,035	0,028	0,001	4,7
C	0,0020	4,3	1,0	0,013	0,0007	0,040	0,0013	0,0012	0,0009	0,0006	0,0005	0,061	0,050	0,031	0,001	4,8
D	0,0025	4,5	1,0	0,012	0,0009	0,040	0,0012	0,0013	0,0007	0,0004	0,0001	0,058	0,049	0,030	0,001	5,0
E	0,0025	<u>5,1</u>	1,0	0,013	0,0008	0,040	0,0013	0,0012	0,0008	0,0004	0,0006	0,052	0,050	0,030	0,001	5,6
F	0,0018	4,2	0,6	0,015	0,0010	0,031	0,0015	0,0015	0,0014	0,0006	0,0009	0,009	0,006	0,001	0,001	4,5
G	0,0022	4,2	0,6	0,014	0,0009	0,029	0,0015	0,0013	0,0016	0,0006	0,0001	0,005	0,005	0,001	0,025	4,5
H	0,0025	4,2	<u>2,4</u>	0,014	0,0009	0,025	0,0016	0,0012	0,0016	0,0005	0,0001	0,006	0,006	0,001	0,001	5,4
I	0,0021	4,2	0,6	<u>0,045</u>	0,0008	0,028	0,0013	0,0011	0,0014	0,0004	0,0008	0,005	0,006	0,030	0,001	4,5
J	0,0027	4,1	0,8	0,018	0,0010	0,025	0,0015	0,0010	0,0004	0,0001	0,0006	0,012	0,080	0,012	0,015	4,5
K	0,0026	4,3	0,5	0,018	0,0011	0,023	0,0012	0,0011	0,0006	0,0005	0,0004	0,013	0,085	0,026	0,001	4,6
L	0,0023	4,2	0,8	0,012	0,0007	0,031	0,0014	0,0011	0,0006	0,0005	0,0003	0,013	0,092	0,028	0,001	4,6
M	0,0020	4,2	0,4	0,015	0,0010	<u>0,003</u>	0,0012	0,0011	0,0005	0,0005	0,0003	0,012	0,086	0,020	0,001	4,4
N	0,0022	4,2	0,4	0,014	0,0010	0,015	0,0012	0,0012	0,0009	0,0007	0,0005	0,040	0,088	0,022	0,001	4,4
O	0,0029	4,2	0,4	0,014	0,0009	<u>0,100</u>	0,0013	0,0012	0,0009	0,0007	0,0003	0,040	0,085	0,021	0,001	4,4
P	0,0026	4,0	1,0	0,010	0,0010	0,035	0,0014	0,0013	0,0008	0,0008	0,0004	0,051	0,036	0,029	0,001	4,5
Q	0,0022	4,2	0,3	0,011	0,0011	0,015	0,0014	0,0011	0,0010	0,0007	0,0003	0,035	0,020	0,023	0,001	4,4
R	0,0024	4,4	1,4	0,012	0,0007	0,041	0,0012	0,0014	0,0008	0,0006	0,0018	0,050	0,030	0,027	0,001	5,1
S	0,0028	4,2	0,6	0,015	0,0009	0,011	0,0013	0,0010	0,0006	0,0005	0,0004	0,011	0,086	0,011	0,001	4,5
T	0,0027	4,2	0,6	0,010	0,0010	0,015	0,0013	0,0012	0,0008	0,0005	0,0005	0,010	0,080	0,011	0,001	4,5
U	0,0028	4,2	0,6	0,012	0,0010	0,048	0,0014	0,0012	0,0007	0,0005	0,0007	0,012	0,085	0,011	0,001	4,5
V	0,0027	4,2	0,6	0,010	0,0012	0,045	0,0015	0,0013	0,0008	0,0006	0,0007	0,014	0,086	0,011	0,001	4,5
W	0,0026	3,8	0,8	0,013	0,0010	0,020	0,0015	0,0013	0,0009	0,0006	0,0008	0,045	0,033	0,020	0,001	<u>4,2</u>
X	0,0025	4,2	<u>0,2</u>	0,013	0,0010	0,015	0,0012	0,0012	0,0009	0,0007	0,0008	0,052	0,030	0,022	0,001	4,3
Y	0,0025	4,2	0,4	0,012	0,0009	<u>0,060</u>	0,0014	0,0012	0,0006	0,0006	0,0007	0,010	0,085	0,010	0,001	4,4
Z	0,0024	4,4	<u>2,1</u>	0,001	0,0007	0,040	0,0013	0,0013	0,0008	0,0007	0,0016	0,050	0,031	0,028	0,001	5,5

Bảng 2

Thử nghiệm Số	Loại thép	Nhiệt độ ủ tấm cán nóng (°C)	Ủ cuối cùng		Kích thước hạt trung bình (μm)	Kết quả thử nghiệm			
			Nhiệt độ ủ nóng đều (°C)	Thời gian ủ nóng đều (giờ)		Độ bền kéo (MPa)	W _{10/400} (W/kg)	B ₅₀ (T)	
1	<u>A</u>	900	950	30	40	<u>613</u>	13,0	1,64	Ví dụ so sánh
2	B	900	<u>720</u>	30	8	856	<u>32,3</u>	1,62	Ví dụ so sánh
3	B	900	850	30	22	725	16,1	1,63	Ví dụ theo sáng chế
4	B	900	960	30	52	655	11,9	1,63	Ví dụ theo sáng chế
5	B	900	<u>1020</u>	30	<u>90</u>	<u>624</u>	11,6	1,62	Ví dụ so sánh
6	C	900	980	15	51	669	11,7	1,62	Ví dụ theo sáng chế
7	D	900	980	15	50	694	11,6	1,61	Ví dụ theo sáng chế
8	<u>E</u>	900			Bị gãy trong quá trình cán nguội				Ví dụ so sánh
9	F	940	960	15	45	658	12,5	1,63	Ví dụ theo sáng chế
10	G	940	960	15	45	658	12,6	1,64	Ví dụ theo sáng chế
11	<u>H</u>	940	960	15	45	684	13,6	<u>1,59</u>	Ví dụ so sánh
12	<u>I</u>	940			Bị gãy trong quá trình cán nguội				Ví dụ so sánh
13	J	920	900	15	25	696	15,0	1,64	Ví dụ theo sáng chế
14	K	920	900	15	25	716	14,8	1,64	Ví dụ theo sáng chế
15	L	Bỏ qua	960	15	35	680	13,5	1,61	Ví dụ theo sáng chế
16	L	870	950	15	35	680	13,3	1,63	Ví dụ theo sáng chế
17	L	930	960	15	35	680	13,2	1,64	Ví dụ theo sáng chế
18	L	<u>990</u>			Bị gãy trong quá trình cán nguội				Ví dụ so sánh
19	<u>M</u>	930	1000	15	55	<u>640</u>	12,4	1,63	Ví dụ so sánh
20	N	930	970	15	40	663	12,8	1,63	Ví dụ theo sáng chế
21	<u>O</u>	930	970	15	60	<u>641</u>	12,0	1,64	Ví dụ so sánh
22	P	930	900	15	27	681	15,0	1,64	Ví dụ theo sáng chế
23	Q	930	900	20	28	651	15,2	1,63	Ví dụ theo sáng chế
24	R	900	980	20	48	693	12,5	1,60	Ví dụ theo sáng chế
25	S	930	970	15	50	650	12,4	1,63	Ví dụ theo sáng chế
26	T	930	970	15	45	655	12,5	1,63	Ví dụ theo sáng chế
27	U	930	970	15	46	654	12,4	1,63	Ví dụ theo sáng chế
28	V	930	970	15	40	664	12,8	1,63	Ví dụ theo sáng chế
29	D	930	750	10	10	782	22,0	1,63	Ví dụ theo sáng chế
30	D	900	1000	40	80	665	11,4	1,62	Ví dụ theo sáng chế
31	W	900	750	15	13	662	<u>23,5</u>	1,64	Ví dụ so sánh
32	X	900	800	15	20	672	<u>22,5</u>	1,64	Ví dụ so sánh
33	Y	930	920	15	38	<u>645</u>	14,4	1,63	Ví dụ so sánh
34	Z	Bỏ qua	980	20	47	707	12,5	<u>1,58</u>	Ví dụ so sánh
35	J	Bỏ qua	<u>1010</u>	20	<u>85</u>	<u>635</u>	12,0	1,61	Ví dụ so sánh
36	C	930	970	<u>350</u>	<u>86</u>	<u>645</u>	11,5	1,62	Ví dụ so sánh
37	C	930	970	300	72	651	11,6	1,62	Ví dụ theo sáng chế

Thành phần hóa học của mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm thu được được xác nhận bằng cách sử dụng phương pháp đo đã nêu ở trên. Kết quả là, có thể xác nhận rằng thành phần hóa học của mỗi trong số các vật liệu thử nghiệm thu được gần như giống với thành phần hóa học của phôi. Ngoài ra, kích thước hạt trung bình của kim loại nền

được đo theo JIS G 0551 (2013) “phương pháp kiểm tra kích thước hạt của thép bằng kính hiển vi”. Ngoài ra, các mẫu thử nghiệm Epstein được lấy theo hướng cán và hướng rộng của mỗi 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 cách sử dụng thử nghiệm Epstein dựa trên JIS C 2550-1 (2011). Mật độ từ thông B_{50} lớn hơn hoặc bằng 1,60T được đánh giá là mức có thể chấp nhận và tổn hao do sắt $W_{10/400}$ nhỏ hơn hoặc bằng 22,0W/kg được đánh giá là mức có thể chấp nhận. Hơn nữa, mẫu thử nghiệm kéo JIS số 5 được lấy từ mỗi vật liệu thử nghiệm theo JIS Z 2241 (2011) sao cho hướng dọc trùng với hướng cán của tấm thép. Sau đó, thử nghiệm kéo được thực hiện theo JIS Z 2241 (2011) bằng cách sử dụng mẫu thử nghiệm đã nêu ở trên để đo độ bền kéo. Độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 650MPa được đánh giá là mức có thể chấp nhận. Các kết quả ở trên cũng được thể hiện trong bảng 2.

Trong các thử nghiệm số 3, 4, 6, 7, 9, 10, 13 đến 17, 20, 22 đến 30, và 37 trong đó thành phần hóa học của tấm thép và kích thước hạt trung bình của nó sau quá trình ủ cuối cùng thỏa mãn các quy định của sáng chế, đã phát hiện ra rằng các mẫu thử nghiệm vượt trội về tổn hao do sắt và mật độ từ thông và đặc biệt có tổn hao do sắt thấp và độ bền kéo cao là lớn hơn hoặc bằng 650MPa. Đặc biệt là, trong trường hợp hàm lượng của mỗi thành phần hóa học có giá trị trong khoảng được ưu tiên, đặc tính bất kỳ trong số các đặc tính này có xu hướng được cải thiện thêm.

Ngược lại, trong các thử nghiệm số từ 1, 2, 5, 8, 11 đến 12, 18, 19, 21, và 31 đến 36 là các ví dụ so sánh, ít nhất một trong số các đặc tính từ và độ bền là kém hơn hoặc độ dai giảm đáng kể. Vì lý do này, khó sản xuất các tấm thép.

Cụ thể, thu được kết quả trong đó độ bền kéo là kém hơn do hàm lượng Si thấp hơn khoảng quy định trong thử nghiệm số 1. Ngoài ra, trong trường hợp các số thử nghiệm từ 2 đến 5 trong đó thành phần hóa học thỏa mãn các quy định được so sánh với nhau, thu được các kết quả trong đó tổn hao do sắt là kém hơn do kích thước hạt trung bình nhỏ hơn quy định trong thử nghiệm số 2 và độ bền kéo là kém hơn do kích thước hạt trung bình lớn hơn quy định trong các thử nghiệm số từ 5, 35, và 36.

Ngoài ra, do hàm lượng Si vượt quá khoảng quy định trong thử nghiệm số 8, hàm lượng P vượt quá khoảng quy định trong thử nghiệm số 12, và nhiệt độ ủ tấm cán nóng

vượt quá khoảng quy định trong thử nghiệm số 18, các tấm thép bị gãy trong quá trình cán nguội do sự giảm độ dai và kích thước hạt trung bình, độ bền kéo, và các đặc tính từ có thể không đo được. Hơn nữa, do hàm lượng Mn vượt quá khoảng quy định trong các thử nghiệm số từ 11 và 34, thu được các kết quả trong đó mật độ từ thông kém hơn. Do hàm lượng Mn thấp hơn khoảng quy định trong thử nghiệm số 32, thu được kết quả trong đó tổn hao do sắt là kém hơn.

Do hàm lượng Al thấp hơn khoảng quy định trong thử nghiệm số 19 và hàm lượng Al vượt quá khoảng quy định trong các thử nghiệm số từ 21 và 33, khó điều chỉnh kích thước hạt trung bình. Do đó, thu được các kết quả trong đó độ bền kéo kém hơn. Do biểu thức (i) không được thỏa mãn trong thử nghiệm số 31, thu được kết quả trong đó tổn hao do sắt kém hơn.

Khả năng áp dụng công nghiệp

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

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng, trong đó tấm thép này bao gồm, thành phần hóa học của kim loại nền, theo % khối lượng:

C: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0050%;

Si: nằm trong khoảng từ 3,8% đến 5,0%;

Mn: vượt quá 0,2% và nhỏ hơn 2,0%;

P: nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%;

S: nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%;

Al: lớn hơn hoặc bằng 0,005% và nhỏ hơn 0,050%;

N: nằm trong khoảng từ 0,0005% đến 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 0,20%;

Ni: nhỏ hơn 0,50%;

Sn: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%;

Sb: nằm trong khoảng từ 0% đến 0,10%; và

phần còn lại: Fe và các tạp chất,

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

kích thước hạt trung bình của kim loại nền nằm trong khoảng từ 10 đến 70 μ m, và độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 650MPa,

$$\text{Si} + 0,5 \times \text{Mn} \geq 4,3... \text{ (i)}$$

ở đây, ký hiệu nguyên tố trong biểu thức (i) là hàm lượng (% khối lượng) của mỗi nguyên tố.

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

trong đó, độ bền kéo lớn hơn hoặc bằng 660MPa.

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

trong đó, thành phần hóa học chứa, theo % khối lượng, một hoặc hai nguyên tố được chọn từ Sn: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,10% và Sb: nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,10%.

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

lớp phủ cách điện được bố trí trên bề mặt của kim loại nền.

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

thực hiện cán nóng trên thỏi thép có thành phần hóa học theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3 và sau đó thực hiện bước 1 hoặc 2 sau đây,

(bước 1) thực hiện cán nguội và ủ cuối cùng theo thứ tự mà không ủ tấm cán nóng, và

(bước 2) thực hiện ủ tấm cán nóng ở nhiệt độ thấp hơn hoặc bằng 950°C và sau đó thực hiện quá trình cán nguội và quá trình ủ cuối cùng theo thứ tự,

trong đó quá trình ủ cuối cùng được thực hiện ở trạng thái trong đó nhiệt độ ủ nóng đều nằm trong khoảng từ 750°C đến 1000°C và thời gian ủ nóng đều nằm trong khoảng từ 1 đến 300 giây.