



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

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

(11)



1-0052665

C22C 38/00; C21D 6/00; C21D 8/00; (13) B

C21D 8/12; C21D 9/46; H01F 1/16;

(51)^{2020.01} C22C 38/04; C22C 38/06; C22C 38/16;
C22C 38/60; H01F 1/147; C21D 1/26;
C22C 38/02

(21) 1-2020-05024

(22) 20/03/2019

(86) PCT/JP2019/011749 20/03/2019

(87) WO2019/182022 A1 26/09/2019

(30) 2018-056310 23/03/2018 JP

(45) 27/10/2025 451

(43) 25/12/2020 393A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan

(72) Takeru ICHIE (JP); Masaru TAKAHASHI (JP); Fuminobu MURAKAMI (JP);
Shinichi MATSUI (JP); Masahiro YAMAMOTO (JP).

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

(54) TẤM THÉP ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG

(21) 1-2020-05024

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện. Khi t là độ dày của tấm thép silic và PDR được xác định là $(PDR = (\text{giá trị lớn nhất} - \text{giá trị nhỏ nhất}) / \text{giá trị nhỏ nhất} \times 100)$ mà cho biết tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vùng $1/10t$, vùng $1/5t$, và vùng $1/2t$ từ bề mặt của tấm thép silic dọc theo hướng độ dày, PDR này là 50% hoặc nhỏ hơn.

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, đặc biệt là trong lĩnh vực thiết bị điện như là các máy quay, các máy biến áp cỡ nhỏ và trung bình và các linh kiện điện, nhu cầu về động cơ mà nâng cao được hiệu suất và giảm được kích cỡ trở nên cấp thiết do phong trào gìn giữ môi trường toàn cầu được thể hiện bằng cách cắt giảm điện toàn cầu, tiết kiệm năng lượng và giảm khí thải CO₂. Trong tình hình xã hội như này, cần phải cải thiện hiệu năng của tấm thép điện không định hướng mà được dùng làm các vật liệu lõi động cơ.

Ví dụ như, trong lĩnh vực tự động, tấm thép điện không định hướng được dùng làm lõi của động cơ truyền động cho các xe ô tô lai (HEV: Hybrid Electric Vehicle - Xe điện lai) và tương tự. Ngoài ra, cần phải giảm kích cỡ của động cơ truyền động được dùng cho HEV để tiết kiệm không gian lắp đặt và giảm sự tiêu thụ nhiên liệu bằng cách giảm trọng lượng xe.

Để giảm kích cỡ của động cơ truyền động, cần phải tăng mômen của động cơ. Do đó, còn phải cải thiện mật độ từ thông của tấm thép điện không định hướng.

Hơn nữa, do dung tích ắc-quy mà có thể được gắn trên xe ô tô bị giới hạn, nên cần phải giảm độ hao năng lượng trong động cơ. Do đó, còn phải giảm tổn hao sắt của tấm thép điện không định hướng.

Hơn nữa, tấm thép điện thường được sử dụng sau khi đã được tạo thành hình dạng mong muốn và xử lý nhiệt. Tiêu biểu là “ủ khử ứng suất (SRA)” đã biết. Ví dụ như, khi tấm thép phải trải qua công đoạn đột dập để tạo thành các vật liệu điện, thì ứng suất chắc chắn được đưa vào tấm thép và do đó tổn hao sắt xấu đi. SRA là xử lý nhiệt để loại bỏ sau cùng ứng suất không cần thiết ra khỏi tấm thép. Xử lý nhiệt này được thực hiện cho các mẫu thử được cắt ra từ tấm thép (tấm thép có độ chính xác

kích thước cao) hoặc lõi động cơ (ví dụ như, lõi stato) trong đó các mẫu thử này được cán mỏng.

Tuy nhiên, bước ủ khử ứng suất (SRA) có tác dụng cải thiện tổn hao sắt bằng cách giải phóng ứng suất, nhưng đồng thời gây ra sự giảm mật độ từ thông do phát triển sự định hướng tinh thể bất lợi đối với các đặc tính từ. Do đó, trong trường hợp các đặc tính từ vượt trội là cần thiết, thì cần phải ngăn ngừa sự giảm mật độ từ thông mà bị gây ra do công đoạn ủ khử ứng suất (SRA).

Trên quan điểm các tình huống nêu trên, để cải thiện các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng, thì các hiệu quả khác nhau được tạo ra, ví dụ như kiểm soát cấu trúc kim loại như là cỡ hạt và định hướng tinh thể trong tấm thép, kiểm soát các kết tủa, và tương tự (ví dụ như các tài liệu sáng chế 1 đến 13).

Tài liệu kỹ thuật đã biết

Các tài liệu sáng chế

[Tài liệu sáng chế 1] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số H05-279740

[Tài liệu sáng chế 2] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số H06-306467

[Tài liệu sáng chế 3] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số 2002-348644

[Tài liệu sáng chế 4] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số 2011-111658

[Tài liệu sáng chế 5] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số 2006-045613

[Tài liệu sáng chế 6] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số 2006-045641

[Tài liệu sáng chế 7] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số 2006-219692

[Tài liệu sáng chế 8] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số S58-23410

[Tài liệu sáng chế 9] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số H11-124626

[Tài liệu sáng chế 10] Công bố đơn quốc tế PCT số WO2012/029621

[Tài liệu sáng chế 11] Công bố đơn quốc tế PCT số WO2016/136095

[Tài liệu sáng chế 12] Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố thứ nhất số H03-223424

[Tài liệu sáng chế 13] Công bố đơn quốc tế PCT số WO2014/129034

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật cần được giải quyết

Tài liệu sáng chế 1 bộc lộ tấm thép điện không định hướng thu được thông qua các công đoạn sao cho dải thép với thành phần hóa học đặc biệt bao gồm $4,0\% < \text{Si} \leq 8,0\%$ và $\text{Al} \leq 2,0\%$ theo % khối lượng được cán nguội với độ giảm cán là 5% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 40%.

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ tấm thép điện không định hướng thu được thông qua các công đoạn sao cho dải thép với thành phần hóa học đặc biệt bao gồm $\text{Si} \leq 4,0\%$ và $\text{Al} \leq 2,0\%$ theo % khối lượng được cán nguội với độ giảm cán là 5% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 40%.

Tuy nhiên, các tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở các tài liệu sáng chế 1 và 2 không thỏa mãn mức độ yêu cầu đối với lõi của động cơ truyền động dùng cho xe điện lai - HEV trong đó yêu cầu các đặc tính từ vượt trội.

Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ tấm thép điện không định hướng trong đó thành

phân hóa học bao gồm $\text{Si} \leq 4,0\%$ và tương tự, mật độ từ thông B_{25} trong cường độ từ trường 2500A/m là 1,70T hoặc lớn hơn, và mật độ từ thông B_{50} trong cường độ từ trường 5000A/m là 1,80T hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở tài liệu sáng chế 3 giới hạn hàm lượng Al là 0,5% khối lượng hoặc nhỏ hơn để không ảnh hưởng xấu đến việc cải thiện mật độ từ thông (B_{25}) trong từ trường thấp, và do đó tấm thép điện không thỏa mãn mức độ yêu cầu là các đặc tính từ vượt trội.

Tài liệu sáng chế 4 bộc lộ tấm thép điện không định hướng mà được sản xuất trong các điều kiện cụ thể sao cho thành phần hóa học bao gồm $0,1\% < \text{Si} \leq 2,0\%$, $\text{Al} \leq 1,0\%$, và tương tự và nhiệt độ kết thúc của bước cán nóng cuối cùng là 550 đến 800°C. Tuy nhiên, tấm thép điện giới hạn hàm lượng Al là 1,0% khối lượng hoặc nhỏ hơn, và do đó không thỏa mãn mức độ yêu cầu là các đặc tính từ vượt trội. Ngoài ra, ngay cả khi bước cán nóng được thực hiện ở nhiệt độ thấp như là 500 đến 850°C cũng không thu được hiệu quả như mong đợi.

Các tài liệu sáng chế 5 đến 7 bộc lộ tấm thép điện không định hướng trong đó thành phần hóa học bao gồm 0,05 đến 4,0% khối lượng (hoặc 4,5% khối lượng) Si, 3,5% khối lượng hoặc nhỏ hơn Al, và tương tự, các đặc tính từ dọc theo hướng tạo với hướng cán góc 45° là vượt trội, và tính dị hướng trong mặt phẳng là nhỏ.

Tuy nhiên, các kỹ thuật được bộc lộ ở các tài liệu sáng chế 5 đến 7 tương tự như các kỹ thuật được bộc lộ ở tài liệu sáng chế 4 trong đó bước cán nóng được thực hiện ở nhiệt độ thấp như là 500 đến 850°C. Ngay cả khi bước cán nóng được thực hiện ở nhiệt độ thấp, cũng không thu được hiệu quả như mong đợi, và các tấm thép điện không thỏa mãn mức độ yêu cầu là các đặc tính từ vượt trội. Hơn nữa, các kỹ thuật được bộc lộ ở các tài liệu sáng chế 5 đến 7 không thỏa mãn mức độ yêu cầu về tổn hao sắt tần số cao.

Tài liệu sáng chế 8 bộc lộ kỹ thuật để cải thiện các đặc tính từ bằng cách kiểm soát tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện là 10°C/giây hoặc lớn hơn đối với tấm thép có thành phần hóa học bao gồm 2,5% hoặc lớn hơn Si và 1,0% hoặc lớn hơn Al theo % khối lượng. Tuy nhiên, ở công đoạn này dựa trên quá trình ủ liên tục, thì tốc độ

gia nhiệt như nêu trên có thể nằm trong phạm vi kỹ thuật chung.

Tài liệu sáng chế 9 bộc lộ kỹ thuật để ngăn ngừa tổn hao sắt xấu đi bằng cách giảm tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện xuống $40^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, bởi vì tổn hao sắt xấu đi khi tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện quá nhanh.

Tài liệu sáng chế 10 bộc lộ kỹ thuật nâng cao mật độ từ thông bằng cách kiểm soát kết cấu bằng cách tăng mạnh tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện lên $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Tuy nhiên, khi tốc độ gia nhiệt được tăng đơn giản thì các đặc tính từ có thể trở nên không ổn định.

Tài liệu sáng chế 11 bộc lộ kỹ thuật để ngăn ngừa mật độ từ thông từ bị mất ổn định bằng cách tối ưu hóa tốc độ gia nhiệt trong các khoảng nhiệt độ tương ứng là 600 đến 700°C và 700 đến 760°C , do mật độ từ thông trở nên không ổn định khi tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện nhanh.

Các tài liệu sáng chế 12 và 13 bộc lộ các kỹ thuật liên quan đến các tấm thép điện không định hướng bán xử lý. Các tấm thép điện không định hướng bán xử lý được vận chuyển trong điều kiện sao cho ứng suất được đưa vào tấm thép tái kết tinh sau khi ủ hoàn thiện, và sau đó cho qua xử lý nhiệt bởi người sử dụng tấm thép để giải phóng ứng suất và kiểm soát các đặc tính từ.

Cụ thể là, tài liệu sáng chế 12 đã thể hiện là có hiệu quả khi kiểm soát tốc độ gia nhiệt của bước ủ hoàn thiện từ 5 đến $40^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ khi xem xét về các Al nitrua. Hơn nữa, tài liệu sáng chế 13 bộc lộ kỹ thuật để cải thiện các đặc tính từ cho các tấm thép điện bán xử lý bằng cách tăng tốc độ gia nhiệt lên 740°C đến $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc lớn hơn đối với thép Al thấp.

Tuy nhiên, các kỹ thuật thông thường đã không thể thỏa mãn đủ các nhu cầu nêu trên như là các đặc tính tần số cao và các đặc tính từ sau khi ủ khử ứng suất (SRA) trên thị trường hiện nay.

Như đã mô tả ở trên, các tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở các tài liệu sáng chế 1 đến 13 không thể thỏa mãn đủ các đặc tính từ được yêu cầu.

Do các tấm thép điện không định hướng thông thường không thỏa mãn đủ mức độ yêu cầu là các đặc tính từ vượt trội, nên cần phải cải thiện thêm các đặc tính từ.

Sáng chế được hoàn thành khi xem xét về các tình huống nêu trên. Mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép điện không định hướng có sự thay đổi nhỏ về các mật độ từ thông B_{50} trước và sau khi ủ khử ứng suất (SRA).

Giải quyết vấn đề

Các tác giả sáng chế đã tiến hành nghiên cứu kỹ lưỡng để giải quyết các tình huống nêu trên. Kết quả là, phát hiện thấy rằng khi AlN kết tủa đồng đều trong tấm thép nền (tấm thép silic) dọc theo hướng độ dày, thì các đặc tính từ có xu hướng không bị suy giảm ngay cả khi công đoạn ủ khử ứng suất được thực hiện. Cụ thể là, phát hiện thấy rằng sự thay đổi về các đặc tính từ trước và sau khi ủ khử ứng suất là nhỏ xét theo ba hướng là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° (hướng tạo với hướng cán góc 45°) đối với lõi động cơ.

Sau đây, trong bề mặt tấm, “ 0° ” cho biết hướng dọc theo hướng cán, “ 90° ” cho biết hướng vuông góc với hướng cán, và “ 45° ” cho biết hướng tạo với hướng cán góc 45° .

Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã nghiên cứu các điều kiện sản xuất để thu được tấm thép silic mà trong đó AlN kết tủa đồng đều dọc theo hướng độ dày. Kết quả là, phát hiện thấy rằng thu được tấm thép silic với đặc tính nêu trên bằng cách thực hiện xử lý ủ mầm và kiểm soát tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện. Ở đây, xử lý ủ mầm là để kiểm soát nhiệt độ và thời gian nằm trong khoảng định trước trong khi làm nguội sau bước cán nóng cuối cùng, thay vì ủ bằng chuyển nóng sau bước cán nóng cuối cùng mà được thực hiện để sản xuất tấm thép điện không định hướng thông thường.

Khía cạnh của sáng chế sử dụng như sau.

(1) Tấm thép điện không định hướng theo khía cạnh của sáng chế bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện, trong đó:

tấm thép silic này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng,

0,01 đến 3,50% Si,

0,0010 đến 2,500% Al,

0,01 đến 3,00% Mn,

0,0030% C hoặc nhỏ hơn,

0,180% P hoặc nhỏ hơn,

0,0030% S hoặc nhỏ hơn,

0,0030% N hoặc nhỏ hơn,

0,0020% B hoặc nhỏ hơn, và

phần còn lại chứa Fe và tạp chất, và

khi t là độ dày của tấm thép silic và PDR được xác định như sau (biểu thức 1) mà cho biết tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vùng $1/10t$, vùng $1/5t$ và vùng $1/2t$ từ bề mặt của tấm thép silic dọc theo hướng độ dày,

PDR là 50% hoặc nhỏ hơn.

trong đó $PDR = (\text{giá trị lớn nhất} - \text{giá trị nhỏ nhất}) \div \text{giá trị nhỏ nhất} \times 100$ (biểu thức 1).

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

tấm thép silic này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng, ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm bao gồm:

0,0500% Sb hoặc nhỏ hơn, và

0,0100 đến 0,2000% Sn.

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

tấm thép silic này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng, ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm bao gồm:

0 đến 1,00% Cu,

0 đến 0,0400% REM,

0 đến 0,0400% Ca, và

0 đến 0,0400% Mg.

Hiệu quả của sáng chế

Theo các khía cạnh nêu trên của sáng chế, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng với sự thay đổi nhỏ về các mật độ từ thông trước và sau khi công đoạn ủ khử ứng suất (SRA). Cụ thể là, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng trong đó độ chênh lệch giữa mật độ từ thông B_{50} trước công đoạn ủ khử ứng suất và mật độ từ thông B_{50} sau khi ủ khử ứng suất là 0,010T hoặc nhỏ hơn, theo trung bình của ba hướng là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° .

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là hình minh họa mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế.

Fig.2 là lưu đồ minh họa phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

Fig.3 là hình minh họa phối cảnh thể hiện ví dụ về lõi động cơ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, các phương án thích hợp theo sáng chế sẽ được mô tả một cách chi tiết. Tuy nhiên, sáng chế không chỉ giới hạn ở cấu hình được bộc lộ trong phương án này, và có thể có các biến thể khác nhau mà không thể chệch khỏi khía cạnh của sáng

chế. Ngoài ra, khoảng giới hạn được mô tả dưới đây bao gồm giới hạn dưới và giới hạn trên của nó. Tuy nhiên, giá trị được thể hiện bằng "lớn hơn" hoặc "nhỏ hơn" không bao gồm trong khoảng giới hạn. "%" của lượng của các nguyên tố tương ứng thể hiện là "% khối lượng".

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này bao gồm tấm thép silic là tấm thép nền và lớp phủ cách điện được bố trí trên tấm thép silic. Fig.1 là hình minh họa mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Tấm thép điện không định hướng 1 theo phương án này bao gồm tấm thép silic 3 và lớp phủ cách điện 5 khi quan sát mặt cắt ngang mà hướng cắt của nó song song với hướng độ dày.

Tấm thép điện không định hướng

Tấm thép silic của tấm thép điện không định hướng theo phương án này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng, 0,0030% C hoặc nhỏ hơn, 0,01 đến 3,50% Si, 0,0010 đến 2,500% Al, 0,01 đến 3,00% Mn, 0,180% P hoặc nhỏ hơn, 0,0030% S hoặc nhỏ hơn, 0,0030% N hoặc nhỏ hơn, 0,0020% B hoặc nhỏ hơn, và phần còn lại chứa Fe và tạp chất.

Ngoài ra, ở tấm thép điện không định hướng theo phương án này, độ chênh lệch của các mật độ từ thông B_{50} trước và sau khi ủ khử ứng suất có thể là 0,010T hoặc nhỏ hơn xét theo trung bình của ba hướng là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° , khi tấm thép được kích thích ở cường độ từ trường là 5000A/m. Chi tiết được giải thích dưới đây.

Trạng thái phân bố của các chất kết tủa trong tấm thép silic

Khi t là độ dày của tấm thép silic tính theo đơn vị mm và khi PDR là tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vị trí 1/10t từ bề mặt của tấm thép silic dọc theo hướng độ dày (vùng 1/10t), vị trí 1/5t từ bề mặt (vùng 1/5t), và vị trí 1/2t từ bề mặt (vùng 1/2t), PDR là 50% hoặc nhỏ hơn.

PDR = (giá trị lớn nhất của các mật độ số trong ba vùng - giá trị nhỏ nhất của

các mật độ số trong ba vùng) ÷ giá trị nhỏ nhất của các mật độ số trong ba vùng × 100

Cụ thể là, khi t là độ dày của tấm thép silic tính theo đơn vị mm, ND_{max} là giá trị lớn nhất của các mật độ số AlN tính theo đơn vị của mẫu/ μm^2 trong ba vùng mà là vùng $1/10t$, vùng $1/5t$, và vùng $1/2t$ từ bề mặt của tấm thép silic dọc theo hướng độ dày, ND_{min} là giá trị nhỏ nhất của các mật độ số AlN tính theo đơn vị của mẫu/ μm^2 trong ba vùng, và PDR là trạng thái phân bố AlN tính theo đơn vị % (ở đây, $PDR = (ND_{max} - ND_{min}) \div ND_{min} \times 100$),

PDR là 50% hoặc nhỏ hơn.

Giới hạn trên của PDR tốt hơn là 40% và tốt hơn nữa là 30% để kiểm soát trạng thái phân bố AlN được đồng đều. Mặt khác, giới hạn dưới của PDR không bị giới hạn cụ thể và có thể là 0%. Tuy nhiên, không dễ kiểm soát PDR xuống 0%, giới hạn dưới của PDR có thể là 2% và có thể là 5%.

Các hạt tái kết tinh $\{111\}$ mà làm giảm mật độ từ thông có xu hướng phát triển chủ yếu ở vùng $1/2t$, và các hạt tái kết tinh $\{100\}$ mà cải thiện mật độ từ thông có xu hướng phát triển chủ yếu ở vùng $1/10t$. Ở các tấm thép điện không định hướng thông thường, do lượng AlN không đủ ở vùng $1/2t$, nên các hạt tái kết tinh $\{111\}$ hình thành ở công đoạn ủ khử ứng suất, và do vậy mật độ từ thông giảm đi. Theo phương án này, dường như AlN được kết tủa ở vùng $1/2t$, sự hình thành của các hạt tái kết tinh $\{111\}$ được ngăn ngừa, và do vậy sự giảm mật độ từ thông do công đoạn ủ khử ứng suất được ngăn ngừa nằm trong 0,010T. Do đó, sự phân bố của các mật độ số của các chất kết tủa AlN theo hướng độ dày được xác định là PDR.

AlN trong tấm thép silic có thể đo được theo phương pháp sau đây. Mẫu thép xấp xỉ $30mm \times 30mm \times 0,3$ đến $0,5mm$ được cắt ra từ tấm thép, và mặt cắt ngang của nó được đánh bóng cơ học và đánh bóng vật lý. Chiếu xạ chùm điện tử vào mẫu thử mặt cắt ngang, tia X đặc trưng được phát hiện bởi máy phân tích vi mô, và nhờ đó đo được mật độ số của AlN.

Cụ thể là, mẫu xấp xỉ $30mm \times 30mm$ được cắt ra từ tấm thép, độ dày của mẫu được thu nhỏ bằng cách đánh bóng cơ học bề mặt tấm, và nhờ đó vùng $1/10t$, vùng

1/5t, và vùng 1/2t lộ ra tương ứng với t là độ dày của tấm thép silic. Các bề mặt lộ ra được đánh bóng hóa học hoặc đánh bóng điện phân, và nhờ đó thu được các mẫu quan sát không có ứng suất. Sự tồn tại và số lượng AlN được xác nhận qua quan sát các mẫu. Các mật độ số có thể thu được tính theo đơn vị của mẫu/ μm^2 từ số lượng AlN tồn tại trong trường nhìn được quan sát (diện tích được quan sát).

Để nhận biết AlN tồn tại trong trường nhìn được quan sát, thì chất kết tủa mà tỷ lệ nguyên tử của Al và N xấp xỉ là 1: 1 có thể nhận biết được trong trường nhìn được quan sát, dựa trên kết quả phân tích định lượng của thiết bị vi phân tích đầu dò điện tử - EPMA (Electron Probe Micro-Analyzer). Mật độ số và PDR có thể thu được bằng cách nhận biết AlN tồn tại trong trường nhìn được quan sát (vùng quan sát).

AlN mịn mà khó nhận biết được bằng EPMA, ví dụ như AlN với đường kính 300nm hoặc nhỏ hơn, có thể nhận biết được bằng kính hiển vi điện tử truyền qua - phổ tán sắc năng lượng tia X TEM-EDS (Transmission Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy). Các mẫu để quan sát bằng kính hiển vi điện tử truyền qua - TEM (ví dụ như xấp xỉ 15mm $\times$ 15mm) được lấy từ vùng 1/10t, vùng 1/5t và vùng 1/2t. Chất kết tủa mà tỷ lệ nguyên tử của Al và N xấp xỉ là 1: 1 có thể nhận biết được trong trường nhìn được quan sát, dựa trên kết quả phân tích định lượng của TEM-EDS. Mật độ số và PDR có thể thu được bằng cách nhận biết AlN tồn tại trong trường nhìn được quan sát (vùng quan sát).

Thành phần hóa học của tấm thép silic

Tiếp theo, các lý do giới hạn về thành phần hóa học của tấm thép silic của tấm thép điện không định hướng theo phương án này được mô tả. "%" đề cập đến các thành phần của tấm thép thể hiện là "% khối lượng".

Theo phương án này, tấm thép silic bao gồm, về thành phần hóa học, các nguyên tố cơ bản, các nguyên tố tùy ý khi cần, và phần còn lại chứa Fe và tạp chất.

Các nguyên tố cơ bản tương ứng với các nguyên tố hợp kim chính của tấm thép silic. Theo phương án này, các nguyên tố cơ bản là Si, Al, và Mn.

Ngoài ra, tạp chất tương ứng với các nguyên tố mà bị nhiễm bẩn trong quá

trình sản xuất công nghiệp của thép từ quặng và sắt vụn được sử dụng là vật liệu thô của thép, hoặc từ môi trường của quá trình sản xuất. Ví dụ như, tạp chất là các nguyên tố như C, P, S, N và B. Tốt hơn là lượng tạp chất được giới hạn để thu được đủ các hiệu quả của phương án. Ngoài ra, do tốt hơn là lượng tạp chất tương ứng thấp, nên giới hạn dưới của tạp chất tương ứng không cần phải giới hạn, và giới hạn dưới có thể là 0%.

Ngoài ra, các nguyên tố tùy ý tương ứng với các nguyên tố mà có thể được bao gồm là sự thay thế cho một phần của Fe là phần còn lại. Ví dụ như, các nguyên tố tùy ý là các nguyên tố như Sn, Sb, Cu, REM, Ca, và Mg. Các nguyên tố tùy ý có thể được bao gồm khi cần. Do đó, giới hạn dưới của các nguyên tố tùy ý tương ứng không cần phải giới hạn và giới hạn dưới có thể là 0%. Ngoài ra, ngay cả nếu các nguyên tố tùy ý có thể được bao gồm là tạp chất, thì các hiệu quả nêu trên vẫn không bị ảnh hưởng.

Cụ thể là, tốt hơn là tấm thép silic của tấm thép điện không định hướng theo phương án này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng, 0,0030% C hoặc nhỏ hơn, 0,01 đến 3,50% Si, 0,0010 đến 2,500% Al, 0,01 đến 3,00% Mn, 0,180% P hoặc nhỏ hơn, 0,0030% S hoặc nhỏ hơn, 0,0030% N hoặc nhỏ hơn, 0,0020% B hoặc nhỏ hơn, 0 đến 0,0500% Sb, 0 đến 0,2000% Sn, 0 đến 1,00% Cu, 0 đến 0,0400% REM, 0 đến 0,0400% Ca, 0 đến 0,0400% Mg, và phần còn lại chứa Fe và tạp chất.

0,0030% C hoặc nhỏ hơn

C (cacbon) là nguyên tố làm xấu đi tổn hao sắt và là tạp chất gây ra già hóa từ. Hàm lượng C tốt hơn là càng nhỏ càng tốt. Do đó, hàm lượng C là 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn trên của hàm lượng C tốt hơn là 0,0025%, và tốt hơn nữa là 0,0020%. Giới hạn dưới của hàm lượng C không bị giới hạn cụ thể. Hàm lượng C có thể là 0,0001% hoặc lớn hơn khi xem xét về lọc công nghiệp trong thực tế, và có thể là 0,0005% hoặc lớn hơn khi xem xét về chi phí sản xuất.

0,01 đến 3,50% Si

Khi hàm lượng Si (silic) vượt quá mức, thì mật độ từ thông giảm xuống, độ cứng tăng lên, và khả năng gia công đột dập suy giảm. Hơn nữa, trong quá trình sản

xuất tấm thép điện không định hướng, khả năng thao tác như cán nguội giảm đi, chi phí sản xuất tăng lên và khả năng bị gãy tăng lên. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng Si là 3,50%. Giới hạn trên của hàm lượng Si tốt hơn là 3,20%, và tốt hơn nữa là 3,00%. Mặt khác, Si có tác dụng làm giảm tổn hao dòng điện xoáy bằng cách tăng điện trở của tấm thép và nhờ đó giảm tổn hao sắt. Do đó, giới hạn dưới của hàm lượng Si là 0,01%. Giới hạn dưới của hàm lượng Si tốt hơn là 0,10%, tốt hơn nữa là 0,50%, còn tốt hơn nữa là 1,00%, còn tốt hơn nữa là lớn hơn 2,00%, còn tốt hơn nữa là 2,10%, và còn tốt hơn nữa là 2,30%.

0,0010 đến 2,500% Al

Al (nhôm) chắc chắn được chứa trong quặng và các vật liệu chịu lửa, và cũng được dùng để khử oxy. Xem xét vấn đề trên, giới hạn dưới của hàm lượng Al là 0,0010%. Ngoài ra, giống với Si, Al là nguyên tố có tác dụng làm giảm tổn hao dòng điện xoáy bằng cách tăng điện trở, và nhờ đó giảm tổn hao sắt. Do đó, Al có thể được chứa với lượng 0,200% hoặc lớn hơn. Hàm lượng Al tốt hơn là có thể là lớn hơn 0,50% và tốt hơn nữa là 0,60% hoặc lớn hơn. Mặt khác, khi hàm lượng Al vượt quá mức, thì mật độ từ thông bão hòa giảm xuống và nhờ đó mật độ từ thông giảm xuống. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng Al là 2,500%. Hàm lượng Al tốt hơn là 2,000% hoặc nhỏ hơn.

0,01 đến 3,00% Mn

Mn (mangan) làm giảm tổn hao dòng điện xoáy bằng cách tăng điện trở, và ngăn cản sự hình thành kết cấu {111} <112> mà là kết cấu không mong muốn đối với các đặc tính từ. Vì các mục đích này, Mn được chứa với lượng là 0,01% hoặc lớn hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng Mn tốt hơn là 0,15%, tốt hơn nữa là 0,40%, còn tốt hơn nữa là lớn hơn 0,60%, và còn tốt hơn nữa là 0,70%. Tuy nhiên, khi hàm lượng Mn vượt quá mức, thì kết cấu thay đổi, và tổn hao từ trễ giảm đi. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng Mn là 3,00%. Giới hạn trên của hàm lượng Mn tốt hơn là 2,50% và tốt hơn nữa là 2,00%.

0,180% P hoặc nhỏ hơn

P (photpho) là tạp chất mà có thể làm tăng độ bền kéo mà không làm giảm mật độ từ thông, nhưng làm giảm độ dai của thép và có xu hướng gây ra sự gãy nứt ở tấm thép. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng P là 0,180%. Hàm lượng P tốt hơn là càng nhỏ càng tốt để ngăn ngừa sự gãy nứt của tấm thép. Giới hạn trên của hàm lượng P tốt hơn là 0,150%, tốt hơn nữa là 0,120%, và còn tốt hơn nữa là 0,080%. Giới hạn dưới của hàm lượng P không bị giới hạn cụ thể, và có thể là 0,001% khi xem xét về chi phí sản xuất.

0,0030% S hoặc nhỏ hơn

S (sulfua) là tạp chất mà ngăn cản sự tái kết tinh và hình thành hạt trong công đoạn ủ hoàn thiện bằng cách tạo kết tủa các sulfua mịn như là MnS. Do đó, hàm lượng S là 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn trên của hàm lượng S tốt hơn là 0,0020% và tốt hơn nữa là 0,0015%. Giới hạn dưới của hàm lượng S không bị giới hạn cụ thể. Giới hạn dưới của hàm lượng S có thể là 0,0001% khi xem xét về lọc công nghiệp trong thực tế và có thể là 0,0005% khi xem xét về chi phí sản xuất.

0,0030% N hoặc nhỏ hơn

N (nitơ) là tạp chất mà làm xấu đi tổn hao sắt bằng cách tạo thành các kết tủa. Do đó, hàm lượng N là 0,0030% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng N tốt hơn là 0,002% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,001% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng N không bị giới hạn cụ thể. Giới hạn dưới của hàm lượng N có thể là 0,0001% khi xem xét về lọc công nghiệp trong thực tế và có thể là 0,0005% khi xem xét về chi phí sản xuất.

0,0020% B hoặc nhỏ hơn

B (bo) là tạp chất mà làm xấu đi tổn hao sắt bằng cách tạo thành các kết tủa. Do đó, hàm lượng B là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng B tốt hơn là 0,001% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,0005% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng B không bị giới hạn cụ thể. Giới hạn dưới của hàm lượng B có thể là 0,0001% khi xem xét về lọc công nghiệp trong thực tế và có thể là 0,0005% khi xem xét về chi phí sản xuất.

0 đến 0,0500% Sb

Sự bổ sung Sb (antimon) góp phần ngăn ngừa nitro hóa bề mặt và cải thiện tổn hao sắt. Mặt khác, khi hàm lượng Sb vượt quá mức, thì độ dai của thép có thể giảm xuống. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng Sb là 0,0500%. Hàm lượng Sb tốt hơn là 0,03% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,01% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng Sb không bị giới hạn cụ thể, và có thể là 0%. Tốt hơn là hàm lượng Sb có thể là 0,001% hoặc lớn hơn để thu được các hiệu quả trên.

0 đến 0,2000% Sn

Sự bổ sung Sn (thiếc) góp phần ngăn ngừa nitro hóa bề mặt và cải thiện tổn hao sắt. Mặt khác, khi hàm lượng Sn vượt quá mức, thì độ dai của thép có thể giảm xuống và lớp phủ cách điện có thể phân lớp dễ dàng. Do đó, giới hạn trên của hàm lượng Sn là 0,2000%. Hàm lượng Sn tốt hơn là 0,08% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,06% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng Sn không bị giới hạn cụ thể, và có thể là 0%. Tốt hơn là hàm lượng Sn có thể là 0,01% hoặc lớn hơn để thu được các hiệu quả trên. Hàm lượng Sn tốt hơn là 0,04% hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là 0,08% hoặc lớn hơn.

0 đến 1,00% Cu

Cu (đồng) là nguyên tố có các tác dụng ngăn ngừa sự tạo thành kết cấu {111} <112> mà là kết cấu không mong muốn đối với các đặc tính từ, ngăn ngừa sự oxy hóa bề mặt của tấm thép và kiểm soát sự hình thành hạt được đồng đều. Khi hàm lượng Cu vượt quá 1,00%, các hiệu quả của việc bổ sung bị bão hòa, sự hình thành hạt trong công đoạn ủ hoàn thiện bị ngăn cản, khả năng gia công của tấm thép giảm xuống, và tấm thép trở nên giòn trong quá trình cán nguội. Do đó, hàm lượng Cu là 1,00% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Cu tốt hơn là 0,60% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,40% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng Cu không bị giới hạn cụ thể, và có thể là 0%. Tốt hơn là hàm lượng Cu có thể là 0,10% hoặc lớn hơn để thu được các hiệu quả trên. Hàm lượng Cu tốt hơn là 0,20% hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là 0,30% hoặc lớn hơn.

0 đến 0,0400% REM

0 đến 0,0400% Ca

0 đến 0,0400% Mg

REM (kim loại đất hiếm), Ca (canxi), và Mg (magiê) là các nguyên tố có các tác dụng là cố định S là các sulfua hoặc các oxy sulfua, ngăn ngừa sự kết tủa mịn của MnS và tương tự, và thúc đẩy sự tái kết tinh và sự hình thành hạt trong công đoạn ủ hoàn thiện.

Khi REM, Ca, và Mg vượt quá 0,0400%, các sulfua hoặc các oxy sulfua được tạo thành quá mức, và sự tái kết tinh và sự hình thành hạt trong công đoạn ủ hoàn thiện bị ngăn ngừa. Do đó, hàm lượng REM, hàm lượng Ca và hàm lượng Mg tương ứng là 0,0400% hoặc nhỏ hơn. Các hàm lượng tương ứng tốt hơn là 0,0300% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,0200% hoặc nhỏ hơn.

Các giới hạn dưới của hàm lượng REM, hàm lượng Ca và hàm lượng Mg không bị giới hạn cụ thể và có thể là 0%. Tốt hơn là hàm lượng REM, hàm lượng Ca và hàm lượng Mg có thể là 0,0005% hoặc lớn hơn để thu được các hiệu quả trên. Các hàm lượng tương ứng tốt hơn là 0,0010% hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là 0,0050% hoặc lớn hơn.

Ở đây, REM cho biết tổng số 17 nguyên tố là Sc, Y và lantanit, và là ít nhất một trong số chúng. Hàm lượng REM nêu trên tương ứng với tổng hàm lượng của ít nhất một trong các nguyên tố này. Xét về mặt công nghiệp, hợp kim của các nguyên tố đất hiếm (misch metal) được bổ sung là lantanit.

Theo phương án này, tốt hơn là tấm thép silic bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng, ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm bao gồm 0,001 đến 0,0500% Sb hoặc nhỏ hơn, 0,01 đến 0,2000% Sn, 0,10 đến 1,00% Cu, 0,0005 đến 0,0400% REM, 0,0005 đến 0,0400% Ca, hoặc 0,0005 đến 0,0400% Mg.

Thành phần hóa học nêu trên là thành phần hóa học của tấm thép silic. Khi tấm thép điện không định hướng là mẫu đo có lớp phủ cách điện và tương tự trên bề mặt, thì phép đo được thực hiện sau khi loại bỏ lớp phủ này.

Về phương pháp loại bỏ lớp phủ cách điện và tương tự của tấm thép điện không định hướng, ví dụ như, phương pháp sau đây được lấy làm ví dụ.

Đầu tiên, tấm thép điện không định hướng có lớp phủ cách điện và tương tự được ngâm theo thứ tự trong dung dịch natri hydroxit có nước, dung dịch axit sulfuric có nước và dung dịch axit nitric có nước. Rửa sạch tấm thép sau khi ngâm. Cuối cùng, làm khô tấm thép bằng không khí ẩm. Nhờ đó, có thể thu được tấm thép silic mà đã loại bỏ lớp phủ cách điện như được mô tả dưới đây.

Thành phần thép như được mô tả ở trên có thể được đo theo các phương pháp phân tích điển hình dành cho thép. Ví dụ như, thành phần thép có thể được đo bằng cách sử dụng ICP-AES (Máy đo phổ phát xạ nguyên tử plasma ghép cặp cảm ứng: phép đo phổ quang phổ học phát xạ plasma ghép cặp cảm ứng). Hơn nữa, C và S có thể được đo bằng phương pháp hấp phụ hồng ngoại sau khi đốt cháy, N có thể được đo bằng phương pháp đo độ dẫn nhiệt sau khi nóng chảy trong dòng khí trơ, và O có thể được đo bằng ví dụ như phương pháp hấp phụ hồng ngoại không phân tán sau khi nóng chảy trong dòng khí trơ.

Các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này thể hiện các đặc tính từ vượt trội xét theo ba hướng là hướng cán, hướng ngang và hướng cán 45° dùng cho lõi động cơ.

Xét theo mật độ từ thông B_{50} trung bình của ba hướng như được mô tả ở trên trong trường hợp tấm thép được kích thích trong cường độ từ trường 5000A/m., sự suy giảm mật độ từ thông B_{50} do công đoạn ủ khử ứng suất có thể là 0,010T hoặc nhỏ hơn.

Cụ thể là, khi mật độ từ thông B_{50} được xác định là trung bình của mật độ từ thông của hướng cán, mật độ từ thông của hướng ngang và mật độ từ thông của hướng cán 45° trong trường hợp tấm thép được kích thích trong từ trường 5000A/m, tốt hơn là giá trị tuyệt đối của chênh lệch giữa mật độ từ thông B_{50} trước công đoạn ủ khử ứng suất và mật độ từ thông B_{50} sau khi ủ khử ứng suất là 0,010T hoặc nhỏ hơn.

Độ chênh lệch giữa các mật độ từ thông B_{50} trước và sau khi ủ khử ứng suất

tốt hơn là 0,008T hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,005T hoặc nhỏ hơn, và còn tốt hơn nữa là 0,002T hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của độ chênh lệch giữa các mật độ từ thông B_{50} trước và sau khi ủ khử ứng suất không bị giới hạn cụ thể và giới hạn dưới có thể là 0. Giới hạn dưới tốt hơn là càng gần 0 càng tốt. Ví dụ như, giới hạn dưới có thể là 0,001T.

Các hạt tái kết tinh $\{111\}$ mà làm giảm mật độ từ thông có xu hướng phát triển chủ yếu ở vùng $1/2t$, và các hạt tái kết tinh $\{100\}$ mà cải thiện mật độ từ thông có xu hướng phát triển chủ yếu ở vùng $1/10t$. Ở các tấm thép điện không định hướng thông thường, do lượng AlN không đủ ở vùng $1/2t$, nên các hạt tái kết tinh $\{111\}$ ưu tiên hình thành trong công đoạn ủ khử ứng suất, và do vậy mật độ từ thông giảm đi. Theo phương án này, dường như AlN được kết tủa ở vùng $1/2t$, các động học hình thành hạt của các hạt $\{100\}$ và các hạt $\{111\}$ trở nên tương đối gần như nhau, mức độ định hướng của các hạt $\{100\}$ tăng lên sau khi ủ khử ứng suất, và nhờ đó sự suy giảm mật độ từ thông do công đoạn ủ khử ứng suất được ngăn ngừa nằm trong 0,010T hoặc nhỏ hơn.

Các đặc tính từ của các tấm thép điện có thể được đo dựa trên phương pháp thử nghiệm tấm đơn (SST) được quy định bởi JIS C 2556:2015. Trong trường hợp các hướng 0° và 90° , ví dụ như có thể cắt và lấy mẫu 55mm vuông theo hướng cán, mẫu thép có thể được kích thích trong từ trường 5000A/m, và sau đó các mật độ từ thông dọc theo hướng cán và hướng ngang có thể được đo theo đơn vị T (tesla). Trong trường hợp hướng 45° , có thể cắt và lấy mẫu 55mm vuông theo hướng tạo với hướng cán góc 45° , các mật độ từ thông dọc theo các hướng độ dài và độ rộng của mẫu thử có thể đo được, và trung bình của nó có thể được tính toán. Ngoài ra, tấm thép có thể được kích thích trong các điều kiện 50Hz và mật độ từ thông là 1,5T, và sau đó tổn hao sắt $W_{15/50}$ có thể đo được.

Các đặc tính khác của tấm thép điện không định hướng

Độ dày của tấm thép silic của tấm thép điện không định hướng theo phương án này có thể được điều chỉnh thích hợp dựa trên mục đích sử dụng và tương tự và không bị giới hạn cụ thể. Độ dày trung bình của tấm thép silic có thể là 0,10 đến 0,50mm trên

quan điểm sản xuất. Độ dày trung bình tốt hơn là 0,15 đến 0,50mm. Cụ thể là, độ dày trung bình tốt hơn là 0,15 đến 0,35mm trên quan điểm cân bằng giữa các đặc tính từ và năng suất.

Hơn nữa, tấm thép điện không định hướng theo phương án này có thể có lớp phủ cách điện trên bề mặt của tấm thép silic. Lớp phủ cách điện được tạo thành trên bề mặt của tấm thép điện không định hướng theo phương án này không bị giới hạn cụ thể và có thể được lựa chọn dựa trên mục đích sử dụng và tương tự từ lớp phủ đã biết.

Ví dụ như, lớp phủ cách điện có thể là lớp phủ hữu cơ hoặc lớp phủ vô cơ. Các ví dụ về lớp phủ hữu cơ bao gồm: các nhựa polyamin; các nhựa acrylic; các nhựa styren acrylic; các nhựa alkit; các nhựa polyeste; các nhựa silicon; các nhựa florua cacbon; các nhựa polyolefin; các nhựa styren; các nhựa vinyl axetat; các nhựa epoxy; các nhựa phenolic; các nhựa uretan; các nhựa melamin và tương tự.

Các ví dụ về lớp phủ vô cơ bao gồm: các lớp phủ gốc photphat; các lớp phủ gốc nhôm photphat và tương tự. Hơn nữa, lớp phủ hợp phần hữu cơ - vô cơ chứa nhựa nêu trên được bao gồm.

Độ dày trung bình của lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể. Độ dày trung bình tốt hơn là 0,05 đến 2 μ m là độ dày trung bình trên một mặt.

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này thu được như nêu trên bằng cách thực hiện xử lý ủ mềm và kiểm soát tốc độ gia nhiệt của công đoạn ủ hoàn thiện. Ở đây, xử lý ủ mềm là để kiểm soát nhiệt độ và thời gian nằm trong các điều kiện định trước trong khi làm nguội sau bước cán nóng cuối cùng, thay vì ủ bằng chuyển nóng sau bước cán nóng cuối cùng mà được thực hiện để sản xuất tấm thép điện không định hướng thông thường.

Fig.2 là lưu đồ minh họa phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Theo phương án này, tấm thép silic thu được bằng cách đúc thép nóng chảy với thành phần được điều chỉnh, cán nóng, ủ mềm trong khi làm nguội sau khi cán nóng, tẩy gỉ, cán nguội và sau đó ủ hoàn thiện. Hơn nữa, tấm thép

điện không định hướng thu được bằng cách tạo thành lớp phủ cách điện trên tấm thép silic.

Sau đây, ví dụ về phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng ưa thích theo phương án này được mô tả.

Ví dụ về phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng ưa thích theo phương án này bao gồm:

công đoạn đúc là đúc phôi thép bao gồm, tính theo đơn vị % khối lượng, 0,0030% C hoặc nhỏ hơn, 0,01 đến 3,50% Si, 0,0010 đến 2,500% Al, 0,01 đến 3,00% Mn, 0,180% P hoặc nhỏ hơn, 0,0030% S hoặc nhỏ hơn, 0,0030% N hoặc nhỏ hơn, 0,0020% B hoặc nhỏ hơn, 0 đến 0,0500% Sb, 0 đến 0,2000% Sn, 0 đến 1,00% Cu, 0 đến 0,0400% REM, 0 đến 0,0400% Ca, 0 đến 0,0400% Mg, và phần còn lại chứa Fe và tạp chất;

công đoạn cán nóng là cán nóng phôi thép;

công đoạn ủ mềm là ủ mềm tấm thép trong khi làm nguội sau khi cán nóng;

công đoạn tẩy gỉ là tẩy gỉ tấm thép;

công đoạn cán nguội là cán nguội tấm thép; và

công đoạn ủ hoàn thiện là ủ hoàn thiện tấm thép sau khi cán nguội.

Trong công đoạn ủ mềm, nhiệt độ ủ mềm được kiểm soát là 700 đến 950°C, và thời gian ủ mềm được kiểm soát là 10 phút đến 3 giờ. Hơn nữa, trong công đoạn ủ hoàn thiện, tốc độ gia nhiệt trung bình được kiểm soát là 30 đến 200°C/giây.

Khi thỏa mãn các điều kiện của cả hai công đoạn là công đoạn ủ mềm và công đoạn ủ hoàn thiện, thì sau công đoạn ủ hoàn thiện, có thể thu được tấm thép silic với 50% hoặc nhỏ hơn PDR nêu trên cho biết trạng thái phân bố các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vùng 1/10t, vùng 1/5t, và vùng 1/2t. Kết quả là, với tấm thép điện không định hướng, độ chênh lệch các mật độ từ thông trước và sau khi ủ khử ứng suất được ngăn ngừa đến 0,010T hoặc nhỏ hơn.

Sau đây, các công đoạn chính được giải thích.

Công đoạn cán nóng

Phôi thép với thành phần hóa học được điều chỉnh được nung nóng và cán nóng. Nhiệt độ nung nóng phôi thép trước khi cán nóng không bị giới hạn cụ thể. Nhiệt độ nung nóng có thể là 1000 đến 1300°C khi xem xét về chi phí sản xuất và tương tự.

Phôi thép sau khi nung nóng được cán thô và sau đó được cán hoàn thiện. Tại thời điểm sau khi cán thô và trước khi cán hoàn thiện, độ dày của tấm thép tốt hơn là 20 đến 100mm. Ngoài ra, nhiệt độ kết thúc FT của bước cán hoàn thiện tốt hơn là 900°C hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 950°C hoặc lớn hơn. Bằng cách kiểm soát nhiệt độ kết thúc FT là 950°C hoặc lớn hơn, ứng suất trượt có xu hướng được đưa vào, và vì vậy các hạt tái kết tinh {100} có thể tăng lên sau khi ủ hoàn thiện.

Công đoạn ủ mềm

Tấm thép cán nóng này được ủ mềm trong khi làm nguội sau khi cán nóng. Ở bước xử lý ủ mềm, nhiệt độ ủ mềm được kiểm soát là 700 đến 950°C, và thời gian ủ mềm (thời gian duy trì) được kiểm soát là 10 phút đến 3 giờ. Bằng cách kiểm soát cả bước xử lý ủ mềm và bước ủ hoàn thiện như mô tả sau đây, PDR được kiểm soát là 50% hoặc nhỏ hơn, PDR ở đây là tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng mà là vùng 1/10t, vùng 1/5t, và vùng 1/2t dọc theo hướng độ dày. Lý do tại sao các điều kiện ủ mềm ảnh hưởng đến các chất kết tủa AlN là không rõ ràng, nhưng được xem là như sau.

Ở phương pháp sản xuất thông thường, tấm thép cán nóng này sau khi cán nóng được cuộn, cuộn này được làm nguội đến nhiệt độ phòng mà không ủ mềm, và sau đó bước ủ bằng chuyền nóng được thực hiện ở nhiệt độ duy trì là 950 đến 1050°C trong thời gian duy trì là 5 phút hoặc nhỏ hơn trong không khí có khí nitơ và khí hydro được trộn lẫn. Ở tấm được ủ bằng chuyền nóng mà được ủ trong các điều kiện nêu trên, thì AlN hầu như không kết tủa ở vùng trung tâm dọc theo hướng độ dày của tấm thép.

Mặt khác, theo phương án này, tấm thép cán nóng này trong khi làm nguội sau khi cán nóng được ủ mềm trong khoảng nhiệt là 700 đến 950°C trong 10 phút đến 3 giờ trong không khí chứa lượng lớn khí nitơ. Do đó, dường như là khí nitơ thâm nhập vào trong vùng trung tâm dọc theo hướng độ dày của tấm thép, và AlN dễ dàng kết tủa ở vùng trung tâm. Cụ thể là, bằng cách thực hiện xử lý trong các điều kiện sao cho thời gian duy trì của bước ủ mềm là 10 phút đến 3 giờ mà là thời gian dài so với ủ băng chuyền nóng thông thường, thì AlN có thể kết tủa đồng đều từ bề mặt của tấm thép đi qua vùng trung tâm theo hướng độ dày.

Ví dụ như, ủ mềm ở bước xử lý ủ mềm có thể được thực hiện bằng cách cuộn tấm thép cán nóng này sau khi cán nóng và duy trì cuộn này trong vỏ cuộn hoặc hộp cuộn. Lúc này, cuộn có thể được duy trì ở nhiệt độ ủ mềm. Sau khi hết thời gian ủ mềm định trước, thì cuộn có thể được lấy ra từ vỏ cuộn hoặc hộp cuộn để kết thúc bước ủ mềm.

Công đoạn cán nguội

Tấm thép sau khi xử lý ủ mềm được làm nguội đến nhiệt độ phòng, được tẩy gỉ theo yêu cầu và sau đó được cán nguội. Sự giảm cán của bước cán nguội không bị giới hạn cụ thể. Về các điều kiện chung, tổng giảm cán ở công đoạn cán nguội (giảm cán tích lũy của bước cán nguội) có thể là 75% hoặc lớn hơn (tốt hơn là 80% hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là 85% hoặc lớn hơn). Tổng giảm cán có thể là 90% hoặc lớn hơn để thu được tấm thép điện mỏng nói riêng. Tổng giảm cán ở bước cán nguội tốt hơn là 95% hoặc nhỏ hơn khi xem xét về kiểm soát sản xuất như là khả năng máy cán và độ chính xác về độ dày.

Công đoạn ủ hoàn thiện

Tấm thép sau khi xử lý ủ mềm phải trải qua công đoạn ủ hoàn thiện.

Tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện là 30 đến 200°C/giây. Bằng cách kiểm soát tốc độ gia nhiệt trung bình, PDR được kiểm soát là 50% hoặc nhỏ hơn, PDR ở đây là tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vùng 1/10t, vùng 1/5t, và vùng

1/2t dọc theo hướng độ dày. Lý do tại sao các điều kiện nung nóng ảnh hưởng đến các chất kết tủa AlN là không rõ ràng, nhưng được xem là như sau.

Ở phương pháp sản xuất thông thường, đặc biệt là ở phương pháp sản xuất mà bước xử lý duy trì được thực hiện trong khi làm nguội sau khi cán nóng mà không thực hiện ủ bằng chuyển nóng, tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện được giới hạn nhỏ hơn $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ để kiểm soát cấu trúc tái kết tinh và cỡ hạt của tấm thép và tốt hơn là giảm mật độ số của AlN trong thép.

Mặt khác, theo phương án này, tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện được kiểm soát là $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc lớn hơn. Đường như AlN trong thép dễ bị hòa tan trong khi ủ hoàn thiện, và cụ thể là dễ bị ảnh hưởng bởi tốc độ gia nhiệt trong khi nung nóng. Khi tốc độ gia nhiệt nhỏ hơn $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, tính đồng đều của sự phân bố AlN theo hướng độ dày của tấm thép giảm xuống do AlN trong thép dễ bị hòa tan và đặc biệt là AlN hòa tan không đều phụ thuộc vào độ dày của tấm thép. Bằng cách kiểm soát tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện là $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc lớn hơn, có thể kiểm soát tốt hơn PDR mà cho biết trạng thái phân bố của AlN.

Tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện tốt hơn là $40^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc lớn hơn. Giới hạn trên của tốc độ gia nhiệt trung bình không bị giới hạn cụ thể. Giới hạn trên có thể là $200^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ đối với sự hoạt động ổn định. Giới hạn trên của tốc độ gia nhiệt trung bình tốt hơn là $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Tốc độ gia nhiệt trung bình có thể thu được dựa trên thời gian yêu cầu để nung nóng từ nhiệt độ bắt đầu nung nóng (nhiệt độ phòng) đến nhiệt độ duy trì như mô tả dưới đây.

Hơn nữa, bằng cách kiểm soát tốc độ gia nhiệt trung bình trong khi nung nóng ở công đoạn ủ hoàn thiện từ 30 đến $200^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, mức độ định hướng của các hạt {100} tăng lên, và mức độ định hướng của các hạt {111} giảm xuống, trước khi ủ khử ứng suất. Do đó, sự suy giảm mật độ từ thông do SRA được ngăn ngừa.

Nhiệt độ duy trì ở công đoạn ủ hoàn thiện có thể là 800 đến 1200°C để kiểm soát tổn hao sắt đủ thấp khi ủ hoàn thiện. Nhiệt độ duy trì có thể là nhiệt độ tái kết tinh

hoặc cao hơn. Khi nhiệt độ duy trì là 800°C hoặc lớn hơn, các hạt hình thành đủ, và nhờ đó tổn hao sắt có thể giảm xuống. Theo lý do này, nhiệt độ duy trì tốt hơn là 850°C hoặc lớn hơn.

Mặt khác, giới hạn trên của nhiệt độ duy trì có thể là 1200°C khi xem xét về khi tải tác dụng lên lò ủ. Giới hạn trên tốt hơn là 1050°C .

Hơn nữa, thời gian duy trì ở công đoạn ủ hoàn thiện có thể được xác định khi xem xét về cỡ hạt, tổn hao sắt, mật độ từ thông, độ bền, và tương tự. Ví dụ như, thời gian duy trì có thể là 5 giây hoặc lớn hơn. Mặt khác, khi thời gian duy trì là 120 giây hoặc nhỏ hơn thì các hạt hình thành thích hợp. Do đó, thời gian duy trì có thể là 5 đến 120 giây. Khi thời gian duy trì nằm trong khoảng này, thì định hướng tinh thể mà có tác dụng ngăn ngừa sự suy giảm các đặc tính từ có xu hướng duy trì ngay cả khi xử lý nhiệt bổ sung của bước nung nóng chậm được thực hiện cho sự hình thành hạt.

Hơn nữa, trong trường hợp xử lý nhiệt bổ sung của bước nung nóng chậm như là công đoạn ủ khử ứng suất (SRA) được thực hiện cuối cùng, do các hạt hình thành và tổn hao sắt giảm xuống, nên nhiệt độ duy trì ở công đoạn ủ hoàn thiện có thể nhỏ hơn 800°C . Trong trường hợp này, xử lý nhiệt bổ sung dẫn đến việc ngăn ngừa đáng kể sự suy giảm mật độ từ thông. Trong trường hợp này, ngay cả khi cấu trúc không kết tinh lại còn lại một phần, thì có thể thu được định hướng tinh thể cụ thể đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Ví dụ như, giới hạn dưới của nhiệt độ duy trì ở công đoạn ủ hoàn thiện có thể là 640°C . Do tấm thép có cấu trúc mịn hoặc cấu trúc không kết tinh lại một phần bằng cách giảm nhiệt độ duy trì ở công đoạn ủ hoàn thiện thể hiện độ bền cao, nên tấm thép này là hữu dụng để làm tấm thép điện không định hướng độ bền cao.

Để thu được tấm thép điện không định hướng theo phương án này, bổ sung thêm vào các công đoạn nêu trên, công đoạn tạo thành lớp phủ cách điện tương tự với công đoạn sản xuất của tấm thép điện không định hướng thông thường có thể được thực hiện để tạo thành lớp phủ cách điện trên bề mặt của tấm thép silic sau công đoạn ủ hoàn thiện. Từng điều kiện của công đoạn tạo thành lớp phủ cách điện có thể sử dụng điều kiện tương tự như của công đoạn sản xuất tấm thép điện không định hướng

thông thường.

Phương pháp tạo thành lớp phủ cách điện không bị giới hạn cụ thể. Ví dụ như, lớp phủ cách điện có thể được tạo thành bằng cách điều chế dung dịch để tạo thành lớp phủ cách điện mà trong đó các nhựa hoặc các chất vô cơ như đã đề cập ở trên được hòa tan và bằng cách sử dụng đồng nhất dung dịch để tạo thành lớp phủ cách điện lên bề mặt của tấm thép silic bằng cách sử dụng các phương pháp đã biết.

Có thể thu được tấm thép điện không định hướng theo phương án này bằng phương pháp sản xuất bao gồm các công đoạn nêu trên.

Theo phương án này, có thể thu được tấm thép điện không định hướng mà vượt trội về các đặc tính từ. Nhờ đó, tấm thép điện không định hướng theo phương án này được ứng dụng thích hợp làm các vật liệu lõi khác nhau dùng cho thiết bị điện cụ thể là các vật liệu lõi động cơ như là các máy quay, các máy biến áp cỡ nhỏ và trung bình và các linh kiện điện.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sau đây, các hiệu quả của khía cạnh theo sáng chế được mô tả một cách chi tiết có viện dẫn đến các ví dụ sau đây. Tuy nhiên, điều kiện ở các ví dụ này là điều kiện ví dụ được sử dụng để xác nhận khả năng hoạt động và các hiệu quả của sáng chế, như vậy sáng chế không chỉ giới hạn ở điều kiện ví dụ này. Sáng chế có thể sử dụng nhiều loại điều kiện khác nhau chỉ cần các điều kiện đó không nằm ngoài phạm vi của sáng chế và có thể đạt được mục đích của sáng chế.

Ví dụ 1

Các tấm thép silic được sản xuất bằng cách sử dụng phôi thép với thành phần hóa học được điều chỉnh và kiểm soát các điều kiện sản xuất ở từng công đoạn, và sau đó các tấm thép điện không định hướng được sản xuất bằng cách tạo thành lớp phủ cách điện gốc axit photphoric có độ dày trung bình là 1μm trên tấm thép silic. Các thành phần hóa học được thể hiện ở các bảng 1 và 2, và các điều kiện sản xuất được thể hiện ở các bảng 3 và 4. Tại thời điểm sản xuất nêu trên, bước cán nóng thô được thực hiện sao cho độ dày là 40mm, và bước cán nguội được thực hiện sao cho độ dày

của tất cả các tấm thép sau khi cán nguội là 0,35mm.

Các tấm thép điện không định hướng đã sản xuất được quan sát bằng phương pháp mô tả ở trên và sự phân bố AlN dọc theo hướng độ dày của tấm thép silic được đo. Các kết quả được thể hiện trong các bảng 5 và 6.

Mật độ từ thông B_{50} được đo mà sử dụng các tấm thép điện không định hướng đã sản xuất. Mật độ từ thông B_{50} trung bình của ba hướng mà là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° được đo trước và sau khi ủ khử ứng suất, và độ chênh lệch ΔB_{50} trước khi ủ khử ứng suất và sau khi ủ khử ứng suất được đo. Khi mật độ từ thông B_{50} trước khi ủ khử ứng suất là 1,58T hoặc lớn hơn, nó được đánh giá là chấp nhận được. Ngoài ra, khi độ chênh lệch ΔB_{50} là 0,010T hoặc nhỏ hơn, nó được đánh giá là chấp nhận được.

Ở đây, mật độ từ thông B_{50} trung bình của ba hướng mà là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° được đo dựa trên mật độ từ thông được kích thích trong từ trường 5000A/m. Cụ thể là, các mật độ từ thông B_{50} liên quan đến ba hướng mà là hướng dọc theo hướng cán (0°), hướng vuông góc với hướng cán (90°), và hướng tạo với hướng cán góc 45° (45°) được đo, và giá trị trung bình được tính theo ba hướng.

Tổn hao sắt $W_{15/50}$ được đo bằng cách sử dụng các tấm thép điện không định hướng đã sản xuất. Các tổn hao lõi $W_{15/50}$ trung bình liên quan đến ba hướng mà là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° được đo trước và sau khi già hóa ở 200°C trong 2 giờ, và độ chênh lệch $\Delta W_{15/50}$ trước và sau khi già hóa được đo. Khi tổn hao sắt $W_{15/50}$ trung bình trước khi già hóa là 3,50W/kg hoặc nhỏ hơn, nó được đánh giá là chấp nhận được. Ngoài ra, khi độ chênh lệch $\Delta W_{15/50}$ là 0,4W/kg hoặc nhỏ hơn, nó được đánh giá là chấp nhận được.

Ở đây, mật độ từ thông và tổn hao sắt có thể đo được theo phương pháp sau đây. Mẫu thử 55mm vuông có thể được cắt và lấy ra từ tấm thép, và sau đó B_{50} và $W_{17/50}$ có thể đo được bởi thử nghiệm tấm đơn (SST), B_{50} ở đây cho biết mật độ từ thông theo đơn vị T (tesla) khi tấm thép được kích thích trong từ trường 5000A/m, và $W_{17/50}$ cho biết tổn hao sắt khi tấm thép được kích thích ở các điều kiện 50Hz và mật độ từ thông là 1,5T.

Các điều kiện sản xuất, các kết quả sản xuất và các kết quả đánh được thể hiện ở các bảng 1 đến 6. Trong các bảng này, giá trị được gạch chân cho biết nằm ngoài khoảng theo sáng chế. Hơn nữa, trong các bảng, "-" về thành phần hóa học của tấm thép silic cho biết rằng không có nguyên tố hợp kim nào được cố ý bổ sung hoặc hàm lượng nhỏ hơn giới hạn phát hiện.

Như được thể hiện trong các bảng, ở các ví dụ sáng chế số B1 đến B19, thành phần của tấm thép silic và trạng thái phân bố của các chất kết tủa AlN được kiểm soát thích hợp, và nhờ đó các đặc tính từ là vượt trội đối với tấm thép điện không định hướng.

Mặt khác, như được thể hiện ở các bảng, ở các ví dụ so sánh số b1 đến b17, ít nhất một trong các thành phần của tấm thép silic và trạng thái phân bố của các chất kết tủa AlN không được kiểm soát thích hợp, và do đó các đặc tính từ không thỏa mãn cho tấm thép điện không định hướng.

Bảng 1

Thép số	Thành phần hóa học của tám thép silic (đơn vị % khối lượng, phần còn lại chứa Fe và tạp chất)													
	C	Si	Mn	Al	P	S	N	B	Sb	Sn	Cu	REM	Ca	Mg
A1	0,0029	0,01	2,7	0,25	0,01	0,0020	0,0021	0,0014	-	-	-	-	-	-
A2	0,0028	3,5	1,1	0,35	0,03	0,0010	0,0022	0,0018	-	-	-	-	-	-
A3	0,0027	3,2	0,01	0,45	0,07	0,0023	0,0023	0,0011	-	-	-	-	-	-
A4	0,0025	1,2	3,0	0,5	0,09	0,0021	0,0019	0,0015	-	-	-	-	-	-
A5	0,0023	3,0	0,2	0,001	0,1	0,0016	0,0014	0,0011	-	-	-	-	-	-
A6	0,0019	2,95	0,2	0,45	0,18	0,0015	0,0015	0,0018	-	-	-	-	-	-
A7	0,0016	2,1	0,2	0,30	0,17	0,0030	0,0022	0,0019	-	-	-	-	-	-
A8	0,0015	1,8	0,04	0,90	0,15	0,0016	0,003	0,0011	-	-	-	-	-	-
A9	0,0013	1,8	1,5	1,20	0,14	0,0017	0,0025	0,002	-	-	-	-	-	-
A10	0,0011	1,7	1,4	1,20	0,14	0,0022	0,0022	0,0014	0,050	-	-	-	-	-
A11	0,0009	1,5	1,2	1,80	0,02	0,0024	0,0022	0,0019	-	0,010	-	-	-	-
A12	0,0007	1,5	1,1	0,012	0,05	0,0020	0,0026	0,0013	-	0,200	-	-	-	-
A13	0,0007	1,1	0,2	1,5	0,09	0,0010	0,0022	0,0014	0,015	0,150	-	-	-	-
A14	0,0005	0,4	0,3	2,0	0,14	0,0011	0,0012	0,0015	0,016	0,050	-	-	-	-
A15	0,0017	2,3	0,3	0,35	0,02	0,0011	0,0021	0,0019	-	-	0,2	-	-	-
A16	0,0015	2,4	0,3	0,34	0,03	0,0025	0,0023	0,0015	-	-	-	0,003	-	-
A17	0,0019	2,3	0,2	0,39	0,02	0,0026	0,0020	0,0014	-	-	-	-	0,004	-
A18	0,0021	2,2	0,3	0,33	0,04	0,0026	0,0018	0,0017	-	-	-	-	-	0,003

Bảng 2

Thành phần hóa học của tấm thép silic (đơn vị % khối lượng, phần còn lại chứa Fe và tạp chất)														
Thép số	C	Si	Mn	Al	P	S	N	B	Sb	Sn	Cu	REM	Ca	Mg
a1	0,01	1,5	0,5	0,5	0,17	0,0024	0,0021	0,0018	0,010	0,012	-	-	-	-
a2	0,001	0,5	4,5	0,9	0,02	0,0021	0,0026	0,0018	0,012	0,017	-	-	-	-
a3	0,0015	2,2	1,5	0,0005	0,05	0,0016	0,0021	0,0014	0,018	0,018	-	-	-	-
a4	0,0010	0,2	1,4	3,5	0,02	0,0015	0,0019	0,0015	0,012	0,012	-	-	-	-
a5	0,0016	0,004	0,8	1,50	0,15	0,0016	0,0024	0,0015	-	-	-	-	-	-
a6	0,0018	3,700	0,9	0,40	0,14	0,0017	0,0025	0,0018	-	-	-	-	-	-
a7	0,0015	1,8	0,004	0,35	0,15	0,0016	0,0024	0,0017	-	-	-	-	-	-
a8	0,0017	1,6	0,8	2,70	0,15	0,0018	0,0024	0,0016	-	-	-	-	-	-
a9	0,0019	1,6	1,0	0,40	0,20	0,0016	0,0022	0,0017	-	-	-	-	-	-
a10	0,0016	1,8	0,9	0,45	0,17	0,0040	0,0019	0,0018	-	-	-	-	-	-
a11	0,0014	1,7	0,8	0,40	0,16	0,0016	0,0050	0,0019	-	-	-	-	-	-
a12	0,0017	1,6	0,8	0,35	0,15	0,0017	0,0021	0,0030	-	-	-	-	-	-

Bảng 3

Thứ nghịem số	Thép số	Nhiệt độ gia nhiệt phối (°C)	Nhiệt độ kết thúc của bước cán nóng (°C)	Xử lý ủ mắ		Sự giảm cán của bước cán nguội (%)	Ủ hoàn thiện			Ghi chú
				Nhiệt độ (°C)	Thời gian (phút)		Tốc độ gia nhiệt (°C/giây)	Nhiệt độ duy trì (°C)	Thời gian duy trì (giây)	
B1	A1	1100	1020	800	180	78	35	820	30	Ví dụ sáng chế
B2	A2	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ sáng chế
B3	A3	1150	920	750	10	75	34	790	30	Ví dụ sáng chế
B4	A4	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ sáng chế
B5	A5	1100	1020	800	180	78	35	820	30	Ví dụ sáng chế
B6	A6	1150	920	750	10	75	34	790	30	Ví dụ sáng chế
B7	A7	1100	1020	800	180	78	35	820	30	Ví dụ sáng chế
B8	A8	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ sáng chế
B9	A9	1100	900	700	30	83	33	800	30	Ví dụ sáng chế
B10	A10	1100	900	700	30	83	33	800	30	Ví dụ sáng chế
B11	A11	1150	920	750	10	75	34	790	30	Ví dụ sáng chế
B12	A12	1150	1030	820	160	81	31	780	30	Ví dụ sáng chế
B13	A13	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ sáng chế
B14	A14	1100	900	700	30	83	33	800	30	Ví dụ sáng chế
B15	A15	1150	1020	950	120	78	35	820	30	Ví dụ sáng chế
B16	A16	1100	900	700	30	83	33	800	30	Ví dụ sáng chế
B17	A17	1100	1020	800	180	78	35	790	30	Ví dụ sáng chế
B18	A18	1100	920	750	10	85	32	790	30	Ví dụ sáng chế
B19	A18	1100	920	750	10	85	60	790	30	Ví dụ sáng chế

Bảng 4

Thứ nhịệm số	Thép số	Nhiệt độ gia nhiệt phối (°C)	Nhiệt độ kết thúc của bước cán nóng (°C)	Xử lý ủ măm		Sự giảm cán của bước cán nguội (%)	Ủ hoàn thiện			Ghi chú
				Nhiệt độ (°C)	Thời gian (phút)		Tốc độ gia nhiệt (°C/giây)	Nhiệt độ duy trì (°C)	Thời gian duy trì (giây)	
b1	a1	1150	990	800	25	78	34	800	30	Ví dụ so sánh
b2	a2	1100	820	650	15	83	29	800	30	Ví dụ so sánh
b3	a3	1150	950	750	5	75	30	790	30	Ví dụ so sánh
b4	a4	1100	820	650	15	83	29	800	30	Ví dụ so sánh
b5	a5	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ so sánh
b6	a6	1100	900	700	30	Nứt gãy	-	-	-	Ví dụ so sánh
b7	a7	1100	1020	800	180	78	35	820	30	Ví dụ so sánh
b8	a8	1150	920	750	10	75	34	790	30	Ví dụ so sánh
b9	a9	1150	1030	820	160	Nứt gãy	-	-	-	Ví dụ so sánh
b10	a10	1100	900	700	30	83	33	800	30	Ví dụ so sánh
b11	a11	1150	1030	820	160	81	31	780	30	Ví dụ so sánh
b12	a12	1100	1020	950	120	85	32	820	30	Ví dụ so sánh
b13	A3	1150	900	680	30	78	35	820	30	Ví dụ so sánh
b14	A1	1100	1100	970	30	83	38	800	30	Ví dụ so sánh
b15	A5	1100	950	750	8	81	37	780	30	Ví dụ so sánh
b16	A3	1150	990	800	190	83	35	800	30	Ví dụ so sánh
b17	A7	1100	920	750	30	78	28	790	30	Ví dụ so sánh

Bảng 5

Thử nghiệm số	Thép số	Trạng thái phân bố của các kết tủa AlN				Các đặc tính từ					Ghi chú
		Mật độ số mẫu/ μm^2 1/10t	Mật độ số mẫu/ μm^2 1/5t	Mật độ số mẫu/ μm^2 1/2t	PDR %	Trước khi SRA B_{50} T	Trước và sau khi SRA ΔB_{50} T	Trước khi già hóa $W_{15/50}$ W/kg	Sau khi già hóa $W_{15/50}$ W/kg	Trước và sau khi già hóa $\Delta W_{15/50}$ W/kg	
B1	A1	0,000020	0,000016	0,000015	33,3	1,75	0,001	3,41	3,71	0,30	Ví dụ sáng chế
B2	A2	0,000030	0,000025	0,000021	42,9	1,65	0,006	2,25	2,25	0,00	Ví dụ sáng chế
B3	A3	0,000030	0,000029	0,000024	25,0	1,67	0,001	2,68	2,70	0,02	Ví dụ sáng chế
B4	A4	0,000020	0,000018	0,000016	25,0	1,69	0,001	2,88	2,88	0,00	Ví dụ sáng chế
B5	A5	0,000030	0,000027	0,000022	36,4	1,70	0,001	2,93	2,94	0,01	Ví dụ sáng chế
B6	A6	0,000040	0,000030	0,000029	37,9	1,68	0,001	2,76	2,80	0,04	Ví dụ sáng chế
B7	A7	0,000010	0,000007	0,000007	42,9	1,72	0,004	3,28	3,30	0,02	Ví dụ sáng chế
B8	A8	0,000030	0,000028	0,000021	42,9	1,70	0,003	3,23	3,30	0,07	Ví dụ sáng chế
B9	A9	0,000030	0,000025	0,000022	36,4	1,66	0,001	2,68	2,69	0,01	Ví dụ sáng chế
B10	A10	0,000020	0,000018	0,000015	33,3	1,67	0,001	2,76	2,77	0,01	Ví dụ sáng chế
B11	A11	0,000030	0,000025	0,000022	36,4	1,65	0,000	2,67	2,67	0,00	Ví dụ sáng chế
B12	A12	0,000040	0,000033	0,000028	42,9	1,74	0,005	3,47	3,47	0,00	Ví dụ sáng chế
B13	A13	0,000010	0,000008	0,000007	42,9	1,69	0,003	3,30	3,30	0,00	Ví dụ sáng chế
B14	A14	0,000030	0,000022	0,000022	36,4	1,69	0,001	3,43	3,43	0,00	Ví dụ sáng chế
B15	A15	0,000040	0,000030	0,000029	37,9	1,73	0,002	2,96	3,02	0,06	Ví dụ sáng chế
B16	A16	0,000031	0,000025	0,000022	40,9	1,68	0,001	2,88	2,92	0,04	Ví dụ sáng chế
B17	A17	0,000030	0,000025	0,000021	42,9	1,72	0,003	2,88	2,91	0,03	Ví dụ sáng chế
B18	A18	0,000020	0,000018	0,000015	33,3	1,70	0,001	2,96	2,97	0,01	Ví dụ sáng chế
B19	A18	0,000028	0,000028	0,000021	33,3	1,70	0,001	2,96	2,97	0,01	Ví dụ sáng chế

Bảng 6

Thứ nhịệm số	Thép số	Trạng thái phân bố của các kết tủa AIN				Các đặc tính từ					Ghi chú
		Mật độ số 1/10t mẫu/ μm^2	Mật độ số 1/5t mẫu/ μm^2	Mật độ số 1/2t mẫu/ μm^2	PDR %	Trước khi SRA B ₅₀ T	Trước và sau khi SRA ΔB_{50} T	Trước khi già hóa W _{15/50} W/kg	Sau khi già hóa W _{15/50} W/kg	Trước và sau khi già hóa $\Delta\text{W}_{15/50}$ W/kg	
b1	a1	0,000020	0,000016	0,000014	42,9	1,74	0,007	3,43	3,90	0,47	Ví dụ so sánh
b2	a2	0,000020	0,000017	0,000012	<u>66,7</u>	1,67	0,015	2,65	2,67	0,02	Ví dụ so sánh
b3	a3	0,000030	0,000022	0,000019	<u>57,9</u>	1,71	0,013	2,99	2,99	0,00	Ví dụ so sánh
b4	a4	0,000040	0,000033	0,000022	<u>81,8</u>	1,55	0,026	2,57	2,57	0,00	Ví dụ so sánh
b5	a5	0,000030	0,000025	0,000022	36,4	1,69	0,005	3,58	3,63	0,05	Ví dụ so sánh
b6	a6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ví dụ so sánh
b7	a7	0,000040	0,000033	0,000028	42,9	1,57	0,005	3,58	3,61	0,03	Ví dụ so sánh
b8	a8	0,000030	0,000027	0,000022	36,4	1,55	0,007	2,57	3,58	1,01	Ví dụ so sánh
b9	a9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ví dụ so sánh
b10	a10	0,000030	0,000025	0,000021	42,9	1,72	0,002	3,58	3,60	0,02	Ví dụ so sánh
b11	a11	0,000020	0,000018	0,000015	33,3	1,72	0,003	3,56	3,57	0,01	Ví dụ so sánh
b12	a12	0,000030	0,000022	0,000021	42,9	1,72	0,005	3,58	3,59	0,01	Ví dụ so sánh
b13	A3	0,000031	0,000022	0,000020	<u>55,0</u>	1,62	0,014	2,98	3,00	0,02	Ví dụ so sánh
b14	A1	0,000020	0,000017	0,000013	<u>53,8</u>	1,64	0,015	3,41	3,55	0,14	Ví dụ so sánh
b15	A5	0,000040	0,000033	0,000025	<u>60,0</u>	1,65	0,016	2,93	2,94	0,01	Ví dụ so sánh
b16	A3	0,000022	0,000017	0,000014	<u>57,1</u>	1,65	0,017	3,08	3,12	0,04	Ví dụ so sánh
b17	A7	0,000032	0,000027	0,000021	<u>52,4</u>	1,64	0,013	3,35	3,37	0,02	Ví dụ so sánh

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Theo các khía cạnh nêu trên của sáng chế, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng với sự thay đổi nhỏ về các mật độ từ thông trước và sau công đoạn ủ khử ứng suất (SRA). Cụ thể là, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng trong đó sự chênh lệch giữa mật độ từ thông B_{50} trước công đoạn ủ khử ứng suất và mật độ từ thông B_{50} sau khi ủ khử ứng suất là 0,010T hoặc nhỏ hơn, theo trung bình của ba hướng là hướng cán, hướng ngang, và hướng cán 45° . Theo đó, sáng chế có khả năng áp dụng công nghiệp đáng kể.

Đơn này hưởng quyền ưu tiên dựa trên đơn xin cấp Patent Nhật Bản số 2018-056310, nộp ngày 23 tháng 3 năm 2018 và nội dung của nó được kết hợp ở đây nhằm mục đích viện dẫn.

Danh mục số chỉ dẫn

- | | |
|-----|--------------------------------------|
| 1 | Tấm thép điện không định hướng |
| 3 | Tấm thép silic (tấm thép nền) |
| 5 | Lớp phủ cách điện (lớp phủ sức căng) |
| 11 | Mẫu đột dập |
| 13 | Lớp mỏng |
| 15 | Răng |
| 17 | Vành |
| 100 | Lỗi động cơ |

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện, khác biệt ở chỗ:

tấm thép silic này bao gồm, về thành phần hóa học, theo % khối lượng,

0,01 đến 3,50% Si,

0,0010 đến 2,500% Al,

0,01 đến 3,00% Mn,

0,0030% C hoặc nhỏ hơn,

0,180% P hoặc nhỏ hơn,

0,0030% S hoặc nhỏ hơn,

0,0030% N hoặc nhỏ hơn,

0,0020% B hoặc nhỏ hơn,

tùy chọn ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm chỉ bao gồm:

0,0500% Sb hoặc nhỏ hơn, và

0,0100 đến 0,2000% Sn,

tùy chọn ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm chỉ bao gồm:

0 đến 1,00% Cu,

0 đến 0,0400% REM,

0 đến 0,0400% Ca, và

0 đến 0,0400% Mg, và

phần còn lại chứa Fe và tạp chất, và

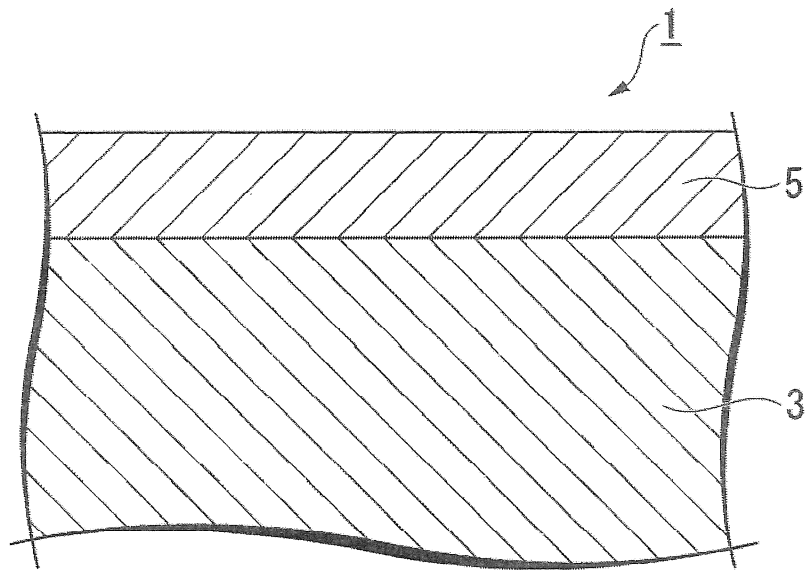
khi t là độ dày của tấm thép silic và PDR được xác định theo (biểu thức 1) sau đây mà cho biết tỷ lệ về giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của các mật độ số của các chất kết tủa AlN trong ba vùng là vùng $1/10t$, vùng $1/5t$, và vùng $1/2t$ từ bề mặt của tấm thép silic dọc theo hướng độ dày,

PDR là 50% hoặc nhỏ hơn,

trong đó
$$\text{PDR} = (\text{giá trị lớn nhất} - \text{giá trị nhỏ nhất}) \div \text{giá trị nhỏ nhất} \times 100$$
(biểu thức 1).

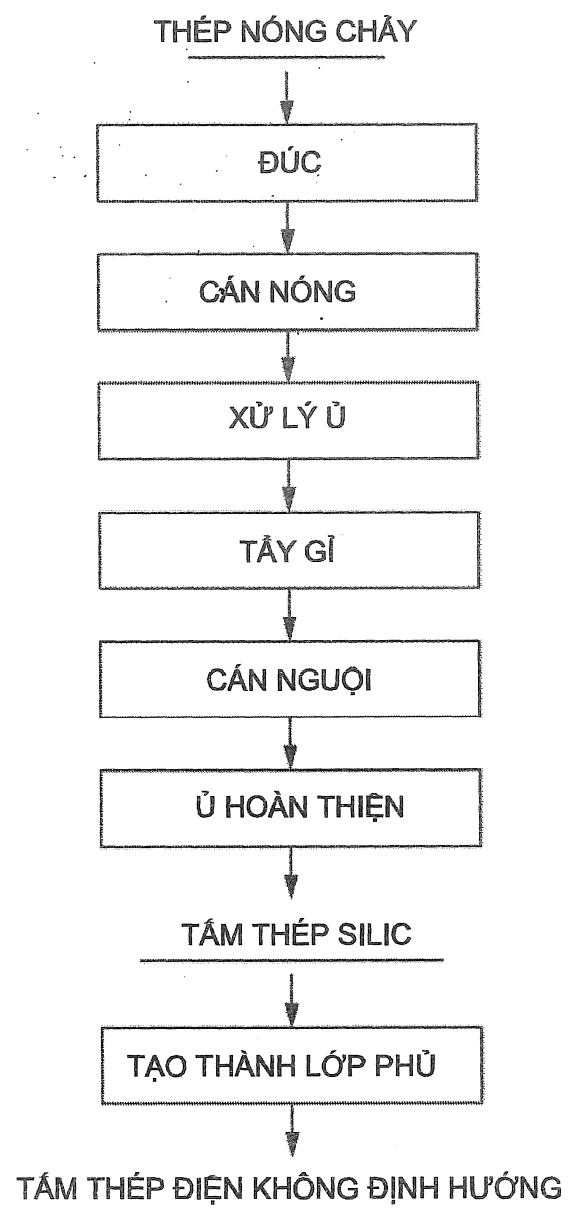
1/3

FIG. 1



2/3

FIG. 2



3/3

FIG. 3

