



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

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

(11)



1-0033256

(51)⁷ C22C 38/00; C22C 38/14; C21D 8/12

(13) B

(21) 1-2017-02886

(22) 10/03/2016

(86) PCT/JP2016/057572 10/03/2016

(87) WO 2016/148010 A1 22/09/2016

(30) 2015-053095 17/03/2015 JP

(45) 25/09/2022 414

(43) 25/10/2017 355A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

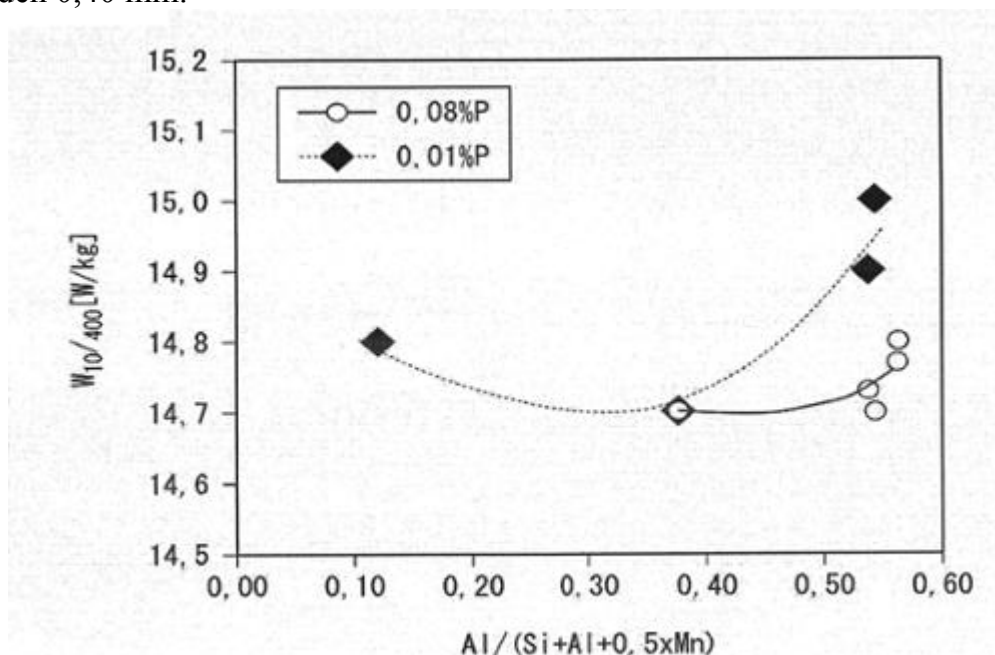
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, Japan

(72) KANO Satoshi (JP); WAKISAKA Takeaki (JP); TANAKA Ichiro (JP).

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

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

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và phương pháp sản xuất tấm thép này. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bao gồm các nguyên tố sau: C nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0050 % khối lượng, Si nằm trong khoảng từ 0,50 đến 2,70 % khối lượng, Mn nằm trong khoảng từ 0,10 đến 3,00 % khối lượng, Al nằm trong khoảng từ 1,00 đến 2,70 % khối lượng, và P nằm trong khoảng từ 0,050 đến 0,100 % khối lượng. Trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ nằm trong khoảng từ 0,50 đến 0,83, $Si+Al/2+Mn/4+5 \times P$ nằm trong khoảng từ 1,28 đến 3,90, $Si+Al+0,5 \times Mn$ nằm trong khoảng từ 4,0 đến 7,0, tỷ số cường độ của {100} mặt phẳng I {100} so với cường độ của {111} mặt phẳng I {111} nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,40, điện trở riêng là $60,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ hoặc cao hơn ở nhiệt độ trong phòng, và độ dày nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,40 mm.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hao tổn lõi tần số cao thấp và phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hiệu suất cao. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà có thể tốt hơn là được sử dụng làm vật liệu cho lõi của máy điện và các thiết bị điện mà đòi hỏi hiệu suất năng lượng cao, kích thước nhỏ, và công suất cao, và phương pháp sản xuất chúng. Máy điện và các thiết bị điện là, ví dụ, động cơ nén trong máy điều hòa không khí, động cơ dẫn động được gắn trong phương tiện hybrid, phương tiện chạy bằng điện, và phương tiện chạy nhiên liệu - pin, và máy phát điện nhỏ được gắn trong phương tiện hai bánh, và hệ thống đồng phát dùng trong hộ gia đình.

Quyền ưu tiên được hưởng theo đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2015-053095 nộp ngày 17 tháng 3, 2015, nội dung của đơn ưu tiên được kết hợp vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, có nhu cầu về máy điện và các thiết bị điện có kích thước nhỏ, công suất cao và hiệu suất năng lượng cao hơn để giải quyết các vấn đề môi trường toàn cầu. Do đó, cả sự hao tổn lõi thấp và mật độ từ thông cao là rất cần thiết đối với tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (tấm thép) được sử dụng cho lõi của máy điện và thiết bị điện.

Cụ thể, trong các động cơ dẫn động của phương tiện vận chuyển hybrid và phương tiện chạy bằng điện, tốc độ quay của động cơ dẫn động tăng lên để bù cho sự giảm về mô men xoắn với mỗi sự giảm về kích thước. Tần số của điện từ trường tác dụng lên

tấm thép cũng tăng với sự gia tăng tốc độ quay của động cơ dẫn động. Điều này làm tăng sự hao hụt lõi. Do đó, cần thiết phải làm giảm sự hao tổn lõi của tấm thép trong khoảng tần số cao (sự hao tổn lõi tần số cao). Sự giảm về độ dày tấm, sự cải thiện về điện trở riêng và sự giảm các nguyên tố tạp chất đã được sử dụng làm các phương pháp để làm giảm sự hao tổn lõi tần số cao. Ví dụ, trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 5, điện trở riêng của tấm thép tăng lên nhờ làm tăng lượng của các nguyên tố hợp kim như Si và Al trong tấm thép.

Tuy nhiên, khi lượng lớn của Si và Al được bổ sung vào thép, vết nứt và vết gãy có xu hướng xuất hiện trong khi sản xuất tấm thép, và do đó năng suất và hiệu suất giảm. Có hiệu quả nếu làm giảm lượng Si và Al trong thép, và nhờ đó làm giảm độ cứng của thép để ngăn ngừa sự suy giảm về năng suất và hiệu suất. Mặt khác, cần thiết phải làm tăng lượng Si và Al trong thép, và nhờ đó làm tăng điện trở riêng để làm giảm hơn nữa sự hao tổn lõi. Tác dụng của Al đến việc làm tăng điện trở riêng trên mỗi đơn vị khối lượng là hầu như giống với tác dụng của Si. Tuy nhiên, tác dụng của Al đến việc làm tăng độ cứng trên mỗi đơn vị khối lượng chỉ bằng khoảng một phần ba đến một phần hai tác dụng của Si. Do đó, Al đã được sử dụng làm nguyên tố có tác dụng làm giảm sự hao tổn lõi mà không làm giảm năng suất nhiều nhất có thể. Đó là, sự hao tổn lõi được làm giảm hơn nữa nhờ tiếp tục làm tăng lượng Al trong thép. Do đó, khi có mong đợi rằng lượng của các nguyên tố hợp kim được làm tăng hơn nữa để làm tăng điện trở riêng, thì cần thiết phải cải thiện hơn nữa năng suất.

Ví dụ, tài liệu sáng chế 1 mô tả phương pháp kiểm soát cỡ hạt trung bình và độ cứng Vickers của dải thép nóng được ủ mà được sản xuất từ thép bao gồm Si: 1,5 % khối lượng đến 3,5 % khối lượng và Al: 0,6 % khối lượng đến 3,0 % khối lượng, và có

khoảng giá trị của $(Al/(Si+Al))$ từ 0,3 đến 0,5. Ngoài ra, Tài liệu sáng chế 1 cũng mô tả rằng phương pháp này có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hao tổn lõi tần số cao thấp mà không làm giảm năng suất bởi vì khả năng chống nứt gãy của dải thép nóng được ủ được cải thiện. Tức là, việc điều chỉnh tỷ lệ của lượng Al với tổng lượng của lượng Si và lượng Al (lượng tương đối của Al) tạo ra sự khác biệt của phương pháp được bộc lộ trong Tài liệu sáng chế 1 so với các phương pháp được bộc lộ trong các Tài liệu sáng chế từ 2 đến 5.

Tuy nhiên, sự hao tổn lõi tần số cao tăng khi lượng tương đối của Al vượt quá giá trị không đổi. Điều này có thể gây ra do sự hao tổn trễ tăng lên cùng với từ giảo mà tăng lên khi lượng tương đối của Al tăng.

Tài liệu tình trạng kỹ thuật

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2007-247047

Tài liệu sáng chế 2: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2005-200756

Tài liệu sáng chế 3: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2003-253404

Tài liệu sáng chế 4: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2013-44010

Tài liệu sáng chế 5: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2014-210978

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Sáng chế được tạo ra trên cơ sở giải quyết các vấn đề được

mô tả nêu trên, và mục đích của sáng chế nhằm đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hao tổn lõi tần số cao thấp với năng suất cao thậm chí khi lượng tương đối của Al được tăng hơn nữa đến giá trị nằm trong khoảng mà trong đó, ở chừng mực nhất định, sự hao tổn lõi tần số cao đã tăng khi sự hao tổn trễ tăng (khoảng lớn hơn giới hạn trên).

Các vấn đề được giải quyết bởi sáng chế

Các tác giả sáng chế đã tiến hành nghiên cứu kỹ lưỡng sự thay đổi về mức hao tổn lõi, cụ thể, sự thay đổi về mức hao tổn trễ khi các nguyên tố hóa học khác nhau được bổ sung vào thép bao gồm lượng định trước của Al để giải quyết các vấn đề được đề cập nêu trên. Kết quả là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng sự hao tổn lõi tần số cao không giảm (không tăng) do tác dụng của P lên cấu trúc của tấm thép khi thép bao gồm lượng định trước của P ngay cả khi lượng tương đối của Al trong thép tăng lên đến nằm trong khoảng mà trong đó sự hao tổn lõi tần số cao tăng khi sự hao tổn trễ tăng ở chừng mực nhất định. Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng khi tấm thép có cấu trúc mà trong đó tỷ số cường độ của $\{100\}$ mặt phẳng $I\{100\}$ so với cường độ của $\{111\}$ mặt phẳng $I\{111\}$, $I\{100\}/I\{111\}$, là nằm trong khoảng định trước, cấu trúc này thể hiện hiện tượng song tinh biến dạng từ việc tạo hình trong khi đột dập, và theo đó sự hao tổn lõi tần số cao có thể được làm giảm hơn nữa.

Ngoài ra, quá trình cán nguội trở nên dễ dàng khi lượng Si giảm và lượng Al tăng. Tuy nhiên, khi lượng P tăng, quá trình cán nguội trở nên rất khó thực hiện. Do đó, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng tấm thép có thể được cán nguội một cách hiệu quả và ổn định bằng cách thay đổi một cách thích hợp cỡ hạt trung bình của tấm thép ngay trước khi cán nguội theo thông số làm tăng bền dung dịch rắn R ngay cả khi P gây khó khăn cho quá trình cán

nguội. Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng $I\{100\}/I\{111\}$ có thể được kiểm soát nằm trong khoảng định trước bằng cách duy trì nhiệt độ của tấm thép ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng nhiệt độ định trước của giai đoạn gia nhiệt trong bước ủ cuối cùng.

Sáng chế được tạo ra dựa trên các phát hiện nêu trên. Nội dung chính của sáng chế như sau.

(1) Theo một khía cạnh của sáng chế, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng chứa các nguyên tố sau làm thành phần hóa học: C: 0 đến 0,0050 % khối lượng, Si: 0,50 đến 2,70 % khối lượng, Mn: 0,10 đến 3,00 % khối lượng, Al: 1,00 đến 2,70 % khối lượng, P: 0,050 đến 0,100 % khối lượng, S: 0 đến 0,0060 % khối lượng, N: 0 đến 0,0050 % khối lượng, Ti: 0 đến 0,008 % khối lượng, V: 0 đến 0,008 % khối lượng, Nb: 0 đến 0,008 % khối lượng, Zr: 0 đến 0,008 % khối lượng, và thành phần còn lại: Fe và các tạp chất. Trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, thành phần hóa học thỏa mãn biểu thức (1) dưới đây, biểu thức (2) dưới đây, và biểu thức (3) dưới đây, cường độ của $\{100\}$ mặt phẳng $I\{100\}$ và cường độ của $\{111\}$ mặt phẳng $I\{111\}$ thỏa mãn biểu thức (4) dưới đây khi cường độ $I\{100\}$ và cường độ $I\{111\}$ được xác định bằng cách tính giá trị trung bình của hàm xác định sự định hướng gần bề mặt và hàm xác định sự định hướng ở tâm theo chiều dày sử dụng các thông số cực mà đo được bằng phương pháp nhiễu xạ tia X, điện trở riêng là $60,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ hoặc cao hơn ở nhiệt độ trong phòng, và độ dày nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,40 mm.

$$0,50 \leq \text{Al}/(\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn}) \leq 0,83 \quad (1)$$

$$1,28 \leq \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \leq 3,90 \quad (2)$$

$$4,0 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 7,0 \quad (3)$$

$$0,50 \leq I\{100\}/I\{111\} \leq 1,40 \quad (4)$$

(2) Theo khía cạnh khác của sáng chế, phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bao gồm bước cán nóng mà đưa tấm phôi trải qua quá trình cán nóng để tạo ra dải nóng, bước cán nguội bằng cách cho dải nóng trải qua quá trình cán nguội sau bước cán nóng để tạo ra dải nguội có độ dày nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,40 mm, bước ủ cuối cùng mà đưa dải nguội trải qua quá trình ủ cuối cùng sau bước cán nguội. Tấm phôi chứa các nguyên tố sau làm thành phần hóa học: C: 0 đến 0,0050 % khối lượng, Si: 0,50 đến 2,70 % khối lượng, Mn: 0,10 đến 3,00 % khối lượng, Al: 1,00 đến 2,70 % khối lượng, P: 0,050 đến 0,100 % khối lượng, S: 0 đến 0,0060 % khối lượng, N: 0 đến 0,0050 % khối lượng, Ti: 0 đến 0,008 % khối lượng, V: 0 đến 0,008 % khối lượng, Nb: 0 đến 0,008 % khối lượng, Zr: 0 đến 0,008 % khối lượng, và thành phần còn lại: Fe và các tạp chất. Thành phần hóa học cũng thỏa mãn biểu thức (5) dưới đây, biểu thức (6) dưới đây, và biểu thức (7) dưới đây. Trong bước cán nguội, cỡ hạt trung bình của dải nóng trước khi cán nguội D (μm) và thông số làm tăng bền dung dịch rắn R được tính bằng biểu thức (8) dưới đây thỏa mãn biểu thức (9) dưới đây. Trong giai đoạn mà trong đó dải nguội được gia nhiệt trong bước ủ cuối cùng, nhiệt độ của dải nguội được duy trì trong khoảng thời gian từ 10 đến 300 giây ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C.

$$0,50 \leq \text{Al}/(\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn}) \leq 0,83 \quad (5)$$

$$1,28 \leq \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \leq 3,90 \quad (6)$$

$$4,0 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 7,0 \quad (7)$$

$$R = \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \quad (8)$$

$$D < 4,5 \times \left(225 - 33 \times R - \frac{770}{\sqrt{D}} \right) \quad (9)$$

(3) Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo (2) nêu trên có thể còn bao gồm bước ủ dải nóng bằng cách cho dải nóng trải qua quá trình ủ dải nóng giữa bước cán nóng và bước cán nguội.

Hiệu quả đạt được bởi sáng chế

Theo sáng chế, có thể làm giảm hơn nữa kích thước của máy điện và thiết bị điện và cải thiện hơn nữa công suất và hiệu suất tiêu thụ năng lượng của máy điện và các thiết bị điện bằng cách tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có chi phí sản xuất thấp, trong đó sự hao tổn lõi tần số cao được cải thiện hơn nữa. Ngoài ra, do các bộ phận không thể được đột dập dễ dàng hơn từ tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, nên có thể bỏ qua bước gia nhiệt tấm thép kỹ thuật điện không định hướng để đột dập và làm giảm tần suất với việc dụng cụ đột dập bị mòn được thay thế bằng dụng cụ đột dập mới. Do đó, cũng có thể làm giảm chi phí sản xuất của máy điện và thiết bị điện. Hơn nữa, theo sáng chế, có thể sản xuất một cách ổn định tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong đó sự hao tổn lõi tần số cao được cải thiện hơn nữa với chi phí thấp mà không làm giảm năng suất và hiệu suất ngay cả khi có sự gia tăng về điện trở riêng của tấm điện không định hướng gây khó khăn cho quá trình cán nguội. Theo đó, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có giá trị trong công nghiệp rất cao.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG.1 là đồ thị thể hiện tác dụng của lượng P đến mối quan

hệ giữa $W_{10/400}$ và $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$.

FIG.2 là đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa $I\{100\}/I\{111\}$ và $W_{10/400}$.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và phương pháp sản xuất chúng theo phương án của sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

A. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng

Dưới đây, các nguyên tố của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một phương án sẽ được mô tả.

1. Thành phần hóa học

Đầu tiên, thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này sẽ được mô tả. Các lượng dưới đây của các nguyên tố hóa học (%) được thể hiện ở dạng % khối lượng.

(1) Si: 0,50% đến 2,70%

Si làm tăng điện trở riêng của tấm thép, và nhờ đó làm giảm sự hao tổn lõi của tấm thép. Do đó, điều cần thiết là lượng Si là 0,50% hoặc lớn hơn. Ngoài ra, lượng Si tốt hơn là 1,00% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 1,20% hoặc lớn hơn. Mặt khác, khi lượng Si quá lớn, tấm thép có thể bị gãy trong khi cán nguội. Ngoài ra, theo phương án này, lượng Si nên giảm nhiều nhất có thể, và lượng Al tăng, như được giải thích dưới đây. Hơn nữa, bởi vì Si ức chế sự hoạt động của của các hệ trượt của tấm thép, Si tạo điều kiện tạo song tinh biến dạng trong khi làm biến dạng. Vì song tinh biến dạng ức chế sự dịch chuyển của các vách của vùng, sự hao tổn trở tăng lên cùng với lượng của song tinh biến dạng sau khi đột dập. Xét về các mặt này, điều cần thiết là lượng Si bằng 2,70% hoặc

nhỏ hơn. Ngoài ra, lượng Si tốt hơn là 2,50% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 2,00% hoặc nhỏ hơn. Theo đó, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, lượng Si là nằm trong khoảng từ 0,50% đến 2,70%.

(2) Mn: 0,10% đến 3,00%

Do Mn kết hợp với S để tạo ra MnS, Mn ngăn ngừa S gây ra tính giòn của thép. Do đó, điều cần thiết là lượng của Mn là 0,10% hoặc lớn hơn. Ngoài ra, Mn cũng như Si và Al làm tăng điện trở riêng của tấm thép, và làm giảm sự hao tổn lõi của tấm thép. Độ cứng của thép chứa lượng Mn cao là thấp hơn độ cứng của thép chứa lượng Si cao khi thép chứa lượng Mn cao được so sánh với thép chứa lượng Si cao mà có cùng điện trở riêng như thép chứa lượng Mn cao có và có lượng khác nhau của Si và Mn so với thép chứa lượng Mn cao. Do đó, thép chứa lượng Mn cao tốt hơn là được so sánh về khả năng chống nứt gãy trong khi cán nguội với thép chứa lượng Si cao này. Do đó, lượng của Mn tốt hơn là 0,50% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 1,00% hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, khi lượng của Mn quá cao, chi phí dành cho hợp kim tăng. Xét về mặt này, điều cần thiết là lượng của Mn bằng 3,00% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, lượng của Mn tốt hơn là 2,50% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 2,00% hoặc nhỏ hơn. Theo đó, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, lượng của Mn là nằm trong khoảng từ 0,10% đến 3,00%.

(3) Al: 1,00% đến 2,70%

Al cũng như Si và Mn làm tăng điện trở riêng của tấm thép, và làm giảm sự hao tổn lõi của tấm thép. Tác dụng của Al đến việc làm tăng điện trở riêng trên mỗi đơn vị khối lượng là hầu như giống với tác dụng của Si. Tuy nhiên, tác dụng của Al đến việc làm tăng độ cứng trên mỗi đơn vị khối lượng là khoảng một phần ba đến một phần hai tác dụng của Si. Do đó, Al là nguyên tố quan

trọng trong phương án này bởi vì cả năng suất cao và điện trở riêng cao có thể đạt được bằng cách làm tăng lượng Al. Do đó, điều cần thiết là lượng Al là 1,00% hoặc lớn hơn. Ngoài ra, lượng Al tốt hơn là 1,50% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 1,60% hoặc lớn hơn. Mặt khác, khi lượng Al quá cao, mật độ từ thông bão hòa giảm, và nhờ đó mật độ từ thông giảm trong cùng điều kiện kích thích. Xét về mặt này, điều cần thiết là lượng Al là 2,70% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, lượng Al tốt hơn là 2,50% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 2,40% hoặc nhỏ hơn. Theo đó, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, lượng Al nằm trong khoảng từ 1,00% đến 2,70%.

(4) P: 0,050% đến 0,100%

P cải thiện cấu trúc của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, và nhờ đó tạo điều kiện cho việc từ hóa tấm thép. Ngoài ra, P cải thiện đặc tính dễ gia công của tấm thép trong khi đột dập. Do đó, điều cần thiết là lượng P là 0,050% hoặc lớn hơn. Ngoài ra, lượng P tốt hơn là 0,055% hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,060% hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng trong đó tổng lượng Si, Mn và Al là lớn và điện trở riêng là cao, khi lượng P là lớn hơn 0,100%, sự nứt gãy có thể xảy ra trong khi cán nguội. Xét về mặt này, điều cần thiết là lượng P là 0,100% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, lượng P tốt hơn là 0,090% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,080% hoặc nhỏ hơn. Theo đó, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, lượng P nằm trong khoảng từ 0,050 đến 0,100%.

(5) Thành phần còn lại

Thành phần còn lại là Fe và các tạp chất.

C là tạp chất, và lượng của C có thể là 0%. Khi lượng của C là lớn hơn 0,0050%, cacbua hạt mịn kết tủa trong thép, và theo đó

sự hao tổn lõi tăng lên đáng kể. Theo đó, điều cần thiết là lượng của C nằm trong khoảng từ 0% đến 0,0050%.

S là tạp chất, và lượng của S có thể là 0%. Khi lượng của S là lớn hơn 0,0060%, nhiều sulfua như MnS kết tủa trong thép, và theo đó sự hao tổn lõi tăng lên đáng kể. Ngoài ra, vì S ức chế sự tăng trưởng hạt trong bước ủ cuối cùng, kích thước hạt trung bình thích hợp không thể thu được, và theo đó sự hao tổn lõi có thể tăng khi lượng của S là cao trong thép. Theo đó, điều cần thiết là lượng của S là nằm trong khoảng từ 0% đến 0,0060%.

N là tạp chất, và lượng của N có thể là 0%. Khi lượng của N là lớn hơn 0,0050%, nitrua tăng, và theo đó sự hao tổn lõi tăng lên đáng kể. Ngoài ra, N ức chế sự tăng trưởng hạt trong bước ủ cuối cùng, và kích thước hạt trung bình thích hợp không thể thu được, và theo đó sự hao tổn lõi có thể tăng khi lượng của N là cao trong thép. Theo đó, điều cần thiết là lượng của N nằm trong khoảng từ 0% đến 0,0050%.

Ti, V, Nb, và Zr là các tạp chất, và lượng của Ti, V, Nb, và Zr, mỗi nguyên tố này có thể là 0%. Vì mỗi một nguyên tố trong số Ti, V, Nb, và Zr đều có ảnh hưởng xấu đến sự tăng trưởng hạt trong bước ủ cuối cùng, mong muốn làm giảm lượng của Ti, V, Nb, và Zr nhiều nhất có thể. Theo đó, điều cần thiết là lượng của mỗi Ti, V, Nb, và Zr là nằm trong khoảng từ 0% đến 0,008%.

(6) Tỷ lệ của tác dụng của Al lên điện trở riêng với tác dụng của ba nguyên tố hóa học (Si, Al, và Mn) lên điện trở riêng X: 0,50 đến 0,83

Theo phương án này, sự gia tăng về điện trở riêng của tấm thép hầu như tỷ lệ với giá trị của $(Si+Al+0,5\times Mn)$, và $Al/(Si+Al+0,5\times Mn)$ có nghĩa rằng tỷ lệ của tác dụng của Al đến điện trở riêng với tác dụng của ba nguyên tố hóa học (Si, Al, và

Mn) đến điện trở riêng. Khi giá trị của $(Si+Al+0,5 \times Mn)$ là không đổi và giá trị của $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ tăng, có thể làm giảm tải trọng trong khi cán nguội, và ngăn ngừa sự nứt gãy của tấm thép trong khi cán nguội mà không làm thay đổi điện trở riêng của tấm thép. Do đó, theo phương án này, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ là 0,50 hoặc lớn hơn, tức là, nằm trong khoảng được xác định bởi biểu thức (10) dưới đây. Do sự hao tổn trễ tăng khi tỷ lệ của lượng Al với tổng lượng Si và Al tăng trong khoảng này, nên sự hao tổn lõi tăng theo phương pháp thông thường. Mặt khác, theo phương án này, có thể duy trì hoặc làm giảm sự hao tổn lõi nhờ kiểm soát khoảng của lượng P và cấu trúc ngay cả trong khoảng được thể hiện trong biểu thức (10) dưới đây. Ngoài ra, theo phương án này, bởi vì điều cần thiết là lượng Si, Al, và Mn nằm trong khoảng được đề cập nêu trên, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ là 0,83 hoặc nhỏ hơn, tức là, trong khoảng được thể hiện trong biểu thức (11) dưới đây. Theo đó, theo phương án này, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ thỏa mãn biểu thức (12) dưới đây. Ngoài ra, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ có thể là 0,51 hoặc lớn hơn. $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ có thể là 0,80 hoặc nhỏ hơn. Dưới đây, như được thể hiện trong biểu thức (13) dưới đây, $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ có thể được chỉ ra dưới dạng X.

$$Al/(Si+Al+0,5 \times Mn) \geq 0,50 \quad (10)$$

$$Al/(Si+Al+0,5 \times Mn) \leq 0,83 \quad (11)$$

$$0,50 \leq Al/(Si+Al+0,5 \times Mn) \leq 0,83 \quad (12)$$

$$X = Al/(Si+Al+0,5 \times Mn) \quad (13)$$

ở đây, trong các biểu thức trên này, các ký hiệu hóa học thể hiện lượng của các nguyên tố hóa học tương ứng trong thép (% khối lượng).

(7) Thông số làm tăng bền dung dịch rắn R: 1,28-3,90

Si, Al, Mn, và P có tác dụng mạnh đến việc làm tăng bền

dung dịch rắn. Khi tấm thép bao gồm lượng dư của Si, Al, Mn, và P, tấm thép có thể bị gãy trong khi cán nguội. Như được thể hiện trong biểu thức (14) dưới đây, thông số làm tăng bền dung dịch rắn R được xác định dưới dạng thông số thể hiện tác dụng của Si, Al, Mn, và P đến việc làm tăng bền dung dịch rắn. Theo phương án này, thông số làm tăng bền dung dịch rắn R là 3,90 hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, theo phương án này, bởi vì điều cần thiết là lượng Si, Al, Mn, và P nằm trong khoảng được đề cập nêu trên, nên thông số làm tăng bền dung dịch rắn R là 1,28 hoặc lớn hơn. Theo đó, như được thể hiện trong biểu thức (15) dưới đây, thông số làm tăng bền dung dịch rắn R là 1,28 đến 3,90. Ngoài ra, thông số làm tăng bền dung dịch rắn R có thể bằng 1,50 hoặc lớn hơn, hoặc 2,00 hoặc lớn hơn. Thông số làm tăng bền dung dịch rắn R có thể bằng 3,80 hoặc nhỏ hơn.

$$R=Si+Al/2+Mn/4+5\times P \quad (14)$$

$$1,28\leq R\leq 3,90 \quad (15)$$

ở đây, trong các biểu thức này, các ký hiệu hóa học thể hiện lượng của các nguyên tố hóa học tương ứng trong thép (% khối lượng).

2. Điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng ρ : $60,0\times 10^{-8} \Omega\cdot m$ hoặc lớn hơn

Điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng chủ yếu được xác định bởi lượng Si, Al, và Mn. Từ quan điểm đảm bảo mức hao tổn lõi thấp trong khoảng tần số cao, điều cần thiết là điện trở riêng là $60,0\times 10^{-8} \Omega\cdot m$ hoặc lớn hơn ở nhiệt độ trong phòng. Ngoài ra, tốt hơn nếu điện trở riêng là $65,0\times 10^{-8} \Omega\cdot m$ hoặc lớn hơn ở nhiệt độ trong phòng. Điện trở riêng có thể là $85,0\times 10^{-8} \Omega\cdot m$ hoặc nhỏ hơn, hoặc $70,0\times 10^{-8} \Omega\cdot m$ hoặc nhỏ hơn ở nhiệt độ trong phòng.

Như được thể hiện trong biểu thức (16) dưới đây, điều cần

thiết là $(\text{Si}+\text{Al}+0,5\times\text{Mn})$ nằm trong khoảng từ 4,0 đến 7,0 để thu được điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng. Được ưu tiên hơn nữa nếu $(\text{Si}+\text{Al}+0,5\times\text{Mn})$ nằm trong khoảng từ 4,4 đến 7,0. Dưới đây, như được thể hiện trong biểu thức (17) dưới đây, $(\text{Si}+\text{Al}+0,5\times\text{Mn})$ có thể được thể hiện dưới dạng E.

Điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng được đo bằng phương pháp phương pháp bốn điểm đã biết. Ít nhất một mẫu được lấy từ vị trí 10 cm hoặc lớn hơn xa mép của tấm thép, lớp phủ ngăn cách được loại bỏ ra khỏi mẫu, và điện trở riêng của mẫu được đo. Ví dụ, lớp phủ ngăn cách có thể được loại bỏ sử dụng dung dịch nước kiềm như 20% natri hydroxit chứa nước.

$$4,0 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 7,0 \quad (16)$$

$$E = \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \quad (17)$$

Ở đây, trong các biểu thức này, các ký hiệu hóa học thể hiện lượng của các nguyên tố hóa học tương ứng trong thép (% khối lượng).

3. Cỡ hạt trung bình

Tốt hơn nếu cỡ hạt trung bình (đường kính trung bình của các hạt tinh thể) của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng nằm trong khoảng từ 30 μm đến 200 μm . Khi cỡ hạt trung bình là 30 μm hoặc lớn hơn, mật độ từ thông và mức hao tổn lõi được cải thiện vì mỗi hạt được tái kết tinh có đặc tính từ tính tuyệt vời. Ngoài ra, khi cỡ hạt trung bình là 200 μm hoặc nhỏ hơn, tổn thất dòng xoáy giảm, và theo đó sự hao tổn lõi tiếp tục giảm hơn nữa.

Cỡ hạt trung bình của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (μm) được xác định bằng cách sử dụng phương pháp chuẩn đối với ảnh được chụp bằng kính hiển vi quang học ở độ phóng đại 50 lần. Ba mẫu được chụp từ các vị trí cách 10 cm hoặc xa hơn tính từ mép của tấm thép. Phương pháp chuẩn được sử dụng cho các

ảnh của bề mặt cắt ngang (mặt phẳng bao gồm hướng chiều dày và hướng cán; mặt phẳng vuông góc với chiều rộng) của các mẫu. Theo phương pháp chẩn này, cỡ hạt trung bình được xác định bằng cách lấy trung bình giá trị trung bình của cỡ hạt theo hướng cán và giá trị trung bình của cỡ hạt theo hướng chiều dày. Số lượng các hạt tinh thể cần được đo tốt hơn là ít nhất 200 trên mỗi mẫu.

4. Tỷ số cường độ $\{100\}$ mặt phẳng $I\{100\}$ so với cường độ của $\{111\}$ mặt phẳng $I\{111\}$ ($I\{100\}/I\{111\}$): 0,50-1,40

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này có cấu trúc trong đó tỷ số cường độ của $\{100\}$ mặt phẳng $I\{100\}$ so với cường độ của $\{111\}$ mặt phẳng $I\{111\}$ ($I\{100\}/I\{111\}$) là 0,50 đến 1,40, như được thể hiện trong biểu thức (18) dưới đây. Như được thể hiện trong FIG.2, khi $I\{100\}/I\{111\}$ là nhỏ hơn 0,50, đặc tính từ tính mong muốn không thể thu được, và nhờ đó mức hao tổn lõi tăng. Mặt khác, khi $I\{100\}/I\{111\}$ là lớn hơn 1,40, các hạt tinh thể trong đó song tinh biến dạng tạo ra trong khi đột dập tăng lên đáng kể. Song tinh biến dạng ức chế sự dịch chuyển của các vách miền. Do đó, sự hao tổn lõi bị giảm như được thể hiện trong FIG.2. Ba mẫu được chụp từ các vị trí cách 10 cm hoặc xa hơn tính từ mép của tấm thép. Phương pháp nhiễu xạ tia X (phương pháp phản xạ) được sử dụng cho bề mặt cắt ngang (tiết diện vuông góc với hướng chiều dày) của các mẫu. Các vị trí cần đo theo hướng chiều dày (các vị trí trên bề mặt cắt ngang theo hướng chiều dày) là gần với bề mặt (các vị trí 1/10 độ dày của tấm thép tính từ bề mặt của tấm thép) và ở trung tâm theo chiều dày (các vị trí bằng 1/2 độ dày của tấm thép tính từ bề mặt của tấm thép). Ba thông số cực (thông số cực của mặt phẳng $\{200\}$, mặt phẳng $\{110\}$, và mặt phẳng $\{211\}$) được đo bằng phương pháp phản xạ sử dụng nhiễu xạ kế tia X (phương pháp nhiễu xạ tia X) ở mỗi vị trí theo chiều dày gần với bề mặt và

ở tâm theo chiều dày. Các hàm xác định sự định hướng (ODF) thu được bằng cách tính từ các thông số cực ở mỗi vị trí theo chiều dày. Sau đó, $I\{100\}$ và $I\{111\}$ được xác định bằng cách tính giá trị trung bình ODF gần bề mặt và ODF ở trung tâm theo chiều dày.

$$0,50 \leq I\{100\}/I\{111\} \leq 1,40 \quad (18)$$

5. Độ dày của tấm thép: 0,05-0,40 mm

Theo phương án này, giả thuyết quan trọng là ở chỗ mức hao tổn lõi thấp đạt được trong khoảng tần số cao. Khi độ dày của tấm thép là mỏng, sự hao tổn lõi của tấm thép là thấp trong khoảng tần số cao. Do đó, điều cần thiết là độ dày của tấm thép là 0,40 mm hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, độ dày của tấm thép tốt hơn là 0,30 mm hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,20 mm hoặc nhỏ hơn. Mặt khác, khi độ dày của tấm thép là quá mỏng, thì yếu tố xếp chồng của tấm thép có thể giảm mạnh do làm giảm độ mỏng của tấm thép, hoặc năng suất của lõi có thể giảm. Do đó, điều cần thiết là độ dày của tấm thép là 0,05 mm hoặc lớn hơn. Ngoài ra, độ dày của tấm thép tốt hơn là 0,10 mm hoặc lớn hơn, và tốt hơn nữa là 0,15 mm hoặc lớn hơn.

6. Phương pháp sản xuất

Xét về mặt làm giảm chi phí sản xuất, tốt hơn nếu tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này được sản xuất bằng phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án dưới đây.

B. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng

Tiếp theo, mỗi bước của phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một phương án sẽ được mô tả.

1. Bước cán nóng

Trong bước cán nóng, tấm phôi có thành phần hóa học được mô tả nêu trên được trải qua quá trình cán nóng để tạo ra dải nóng.

Điều kiện cán nóng không được giới hạn một cách cụ thể. Tốt hơn nếu độ dày của dải nóng (độ dày cuối của dải nóng) là 1,0 mm đến 2,5 mm. Khi độ dày của dải nóng là 1,0 mm hoặc lớn hơn, tải trọng tác dụng lên máy cán nóng là nhẹ, và nhờ đó năng suất là cao trong bước cán nóng.

2. Bước cán nguội

Trong bước cán nguội, sau bước cán nóng nêu trên, dải nóng được trải qua bước cán nguội để sản xuất dải nguội.

Trong bước cán nguội, điều cần thiết là thông số làm tăng bền dung dịch rắn R được thể hiện trong biểu thức (14) nêu trên và cỡ hạt trung bình của dải nóng D (μm) thỏa mãn biểu thức (19) dưới đây. Khi thông số làm tăng bền dung dịch rắn R và cỡ hạt trung bình của dải nóng D (μm) thỏa mãn biểu thức (19) dưới đây, thì dải nguội có thể được sản xuất mà không gây đứt gãy dải nóng trong khi cán nguội. Mặt khác, khi thông số làm tăng bền dung dịch rắn R và cỡ hạt trung bình của dải nóng D (μm) không thỏa mãn biểu thức (19) dưới đây, thì sản phẩm (tấm thép kỹ thuật điện không định hướng) không thể được sản xuất vì dải nóng bị gãy trong khi cán nguội.

Phương trình 2

$$D < 4,5 \times \left(225 - 33 \times R - \frac{770}{\sqrt{D}} \right) \quad (19)$$

Cỡ hạt trung bình D (μm) được xác định bằng cách sử dụng phương pháp chẩn cho ảnh được chụp bằng kính hiển vi quang học ở độ phóng đại 50 lần. Ba mẫu được chụp từ các vị trí 10 cm hoặc lớn hơn xa mép của dải nóng. Phương pháp chẩn được sử dụng cho

các ảnh của bề mặt cắt ngang (mặt phẳng bao gồm hướng chiều dày và hướng cán; mặt phẳng vuông góc với chiều rộng) của các mẫu. Trong phương pháp chẵn, cỡ hạt trung bình được xác định bằng cách lấy trung bình giá trị trung bình của cỡ hạt theo hướng cán và giá trị trung bình của cỡ hạt theo hướng chiều dày. Số lượng các hạt tinh thể cần đo tốt hơn là ít nhất 200 trên mỗi mẫu.

Ở đây, cỡ hạt trung bình D (μm) là cỡ hạt trung bình của dải nóng ngay trước khi cán nguội (dải nóng được trải qua quá trình cán nguội một cách trực tiếp). Đó là, “tấm thép ngay trước khi cán nguội” có nghĩa là dải nóng mà được sản xuất bởi bước cán nóng khi bước cán nguội ngay sau là bước cán nóng. Ngoài ra, như được giải thích dưới đây, “tấm thép ngay trước khi cán nguội” có nghĩa là dải thép nóng được ủ thu được bằng bước ủ dải nóng (dải nóng được trải qua bước ủ dải nóng) khi bước ủ dải nóng được chèn giữa bước cán nóng và bước cán nguội.

Tốt hơn nếu mức giảm do cán nguội là 60% đến 95%. Khi mức giảm này là 60% hoặc lớn hơn, có thể thu được tác dụng của P đến cấu trúc của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng ổn định hơn. Ngoài ra, khi mức giảm này là 95% hoặc nhỏ hơn, có thể sản xuất ở quy mô công nghiệp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng ổn định hơn. Độ dày của dải nguội được làm giảm đến 0,05 mm đến 0,40 mm bằng cách cán nguội với các lý do được gợi ý nêu trên trong mục “A. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.”

Nhiệt độ của tấm thép có thể là ở nhiệt độ trong phòng trong khi cán nguội. Ngoài ra, quá trình cán nguội có thể là cán ấm trong đó nhiệt độ của tấm thép là 100°C đến 200°C . Tấm thép này có thể được gia nhiệt sơ bộ và quá trình cán này có thể được gia nhiệt sơ bộ để làm tăng nhiệt độ của tấm thép đến nằm trong khoảng từ 100°C đến 200°C .

Ngoài ra, tốt hơn nếu số lượng lần cán qua là 3 hoặc lớn hơn trong bước cán nguội. Trong bước cán nguội, tốt hơn nếu mức giảm của lần cán qua thứ nhất là nằm trong khoảng từ 10% đến 25%. Ngoài ra, tốt hơn nếu mức giảm tổng (mức giảm tích lũy) từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua thứ hai là nằm trong khoảng từ 35% đến 55%. Hơn nữa, tốt hơn nếu mức giảm tổng (mức giảm tích lũy) từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua cuối cùng 60% đến 95%, như được giải thích nêu trên. Khi mức giảm của lần cán qua thứ nhất là 10% hoặc lớn hơn, hiệu suất sản xuất của dải nguội là cao. Ngoài ra, khi mức giảm của lần cán qua thứ nhất là 25% hoặc nhỏ hơn, tấm thép có thể được cán qua giữa các con lăn một cách nhanh chóng và ổn định. Khi mức giảm tổng từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua thứ hai là 35% hoặc lớn hơn, tấm thép có thể được cán qua giữa các con lăn một cách nhanh chóng và ổn định. Ngoài ra, khi mức giảm tổng từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua thứ hai là 55% hoặc nhỏ hơn, tải trọng tác dụng lên máy cán nguội là nhẹ.

3. Bước ủ cuối cùng

Trong bước ủ cuối cùng, sau bước cán nguội nêu trên, dải nguội được trải qua bước ủ cuối cùng để sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

Bước ủ cuối cùng bao gồm giai đoạn gia nhiệt trong đó dải nguội được gia nhiệt, giai đoạn duy trì trong đó nhiệt độ của dải nguội được gia nhiệt được duy trì ở nhiệt độ không đổi trong khoảng nhiệt độ định trước, và giai đoạn làm mát trong đó dải nguội được làm mát sau giai đoạn duy trì. Trong giai đoạn gia nhiệt, cần phải duy trì nhiệt độ của dải nguội ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C trong thời gian 10 đến 300 giây trong giai đoạn duy trì trung gian để $I\{100\}/I\{111\}$ của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là nằm trong khoảng từ 0,50

đến 1,40. Khi nhiệt độ nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C, có thể kiểm soát được lượng của các hạt tinh thể có $\{100\}$ mặt phẳng trên bề mặt tấm và lượng của các hạt tinh thể có $\{111\}$ mặt phẳng trên bề mặt tấm, bề mặt tấm là mặt phẳng song song với bề mặt của tấm thép, tức là, mặt phẳng bao gồm hướng cán và chiều rộng. Ngoài ra, khi nhiệt độ của dải nguội được duy trì ở nhiệt độ không đổi trong khoảng thời gian ngắn hơn 10 giây, thì không thể thu được cấu trúc trong đó $I\{100\}/I\{111\}$ nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,40, và do đó các hạt tinh thể trong đó các dạng song tinh biến dạng trong khi đột dập tăng lên một cách đáng kể. Mặt khác, khi nhiệt độ của dải nguội được duy trì ở nhiệt độ không đổi trong khoảng thời gian dài hơn 300 giây, năng suất của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là thấp. Được ưu tiên hơn nữa nếu thời gian để duy trì là 30 giây hoặc ngắn hơn để làm tăng hơn nữa năng suất. Ngoài ra, trong khoảng nhiệt độ thấp hơn 550°C và trong khoảng nhiệt độ cao hơn 700°C, bất kể khoảng thời gian mà trong đó nhiệt độ của dải nguội được duy trì ở nhiệt độ không đổi được kiểm soát, cấu trúc thích hợp không thể thu được vì $I\{100\}/I\{111\}$ không biến đổi đầy đủ. Trong giai đoạn gia nhiệt, sau bước duy trì trung gian, dải nguội được tiếp tục gia nhiệt đến nhiệt độ đích mà tại đó nhiệt độ của dải nguội cao hơn 700°C. Sau đó, trong giai đoạn duy trì, nhiệt độ của dải nguội được duy trì trong khoảng nhiệt độ định trước bao gồm nhiệt độ đích. Khi khoảng nhiệt độ là 1100°C hoặc thấp hơn, tải trọng tác dụng lên thiết bị ủ là nhẹ. Do đó, tốt hơn nếu khoảng nhiệt độ là 1100°C hoặc thấp hơn. Ngoài ra, tốt hơn nếu nhiệt độ của dải nguội được duy trì nằm trong khoảng từ 950°C hoặc cao hơn trong 1 giây hoặc lâu hơn sao cho cỡ hạt trung bình của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là nằm trong khoảng từ 30 μm đến 200 μm . Mặt khác, khi nhiệt độ của dải nguội được duy trì nằm trong khoảng từ 950°C hoặc cao hơn trong khoảng thời gian 300 giây hoặc ngắn hơn, năng suất là đủ. Kết quả

là, trong giai đoạn duy trì, được ưu tiên hơn nữa nếu nhiệt độ của dải nguội được duy trì nằm trong khoảng từ 950°C đến 1100°C trong 1 giây đến 300 giây. Trong bước ủ cuối cùng, với các lý do được đưa ra trong mục “A. Tẩm thép kỹ thuật điện không định hướng,” nêu trên, tốt hơn nếu cỡ hạt trung bình là 30 μm đến 200 μm sau bước ủ cuối cùng.

4. Bước ủ dải nóng

Theo phương án này, bước ủ dải nóng có thể được tiến hành giữa bước cán nóng và bước cán nguội. Trong bước ủ dải nóng, có thể cải thiện hơn nữa tác dụng của P đến cấu trúc trong tấm thép chứa lượng Al là 1,0% hoặc lớn hơn, và nhờ đó mật độ từ thông cao và mức hao tổn lõi thấp có thể được đảm bảo ổn định hơn. Ngoài ra, trong bước ủ dải nóng, vì cấu trúc biến dạng của dải nóng được làm giảm khả năng xảy ra biến dạng được cảm ứng trong khi cán nóng, và nhờ đó độ cứng của dải nóng giảm. Do đó, tải trọng trên máy cán nguội có thể được làm giảm và các hư hại của tấm thép trong khi cán nguội (ví dụ, xuất hiện vết gợn sóng) có thể được làm giảm nhờ bước ủ dải nóng. Theo đó, tốt hơn là tiến hành bước ủ dải nóng trong đó dải nóng được sản xuất bởi bước ủ cán nóng nêu trên được trải qua bước ủ dải nóng.

Bước ủ dải nóng bao gồm giai đoạn gia nhiệt trong đó dải nóng được gia nhiệt, giai đoạn duy trì trong đó nhiệt độ của dải nóng đã gia nhiệt được duy trì trong khoảng định trước, và giai đoạn làm mát trong đó dải nóng được làm mát sau giai đoạn duy trì.

Dải nóng có thể bao gồm vì cấu trúc biến dạng biến đổi theo điều kiện cán. Ngoài ra, do dải nóng bao gồm 1,0% hoặc lớn hơn Al, quá trình tái kết tinh được kết thúc trong khoảng nhiệt độ từ nằm trong khoảng từ 900°C đến 950°C . Do đó, tốt hơn nếu ủ dải nóng trong khoảng nhiệt độ từ 950°C hoặc cao hơn để thu được vì

cấu trúc được tái kết tinh từ vi cấu trúc biến dạng, và nhờ đó ngăn ngừa một cách ổn định tấm thép không bị hư hại trong khi cán nguội. Ngoài ra, với lý do tương tự, tốt hơn nếu thời gian ủ là 30 giây hoặc lâu hơn trong khoảng nhiệt độ này. Khi dải nóng được ủ ở 1100°C hoặc thấp hơn, tải trọng tác dụng lên thiết bị ủ là nhẹ. Do đó, tốt hơn nếu nhiệt độ ủ là 1100°C hoặc thấp hơn. Khi thời gian ủ là 3600 giây hoặc ngắn hơn, có thể duy trì năng suất cao. Do đó, tốt hơn nếu thời gian ủ là 3600 giây hoặc ngắn hơn. Ngoài ra, khi thông số làm tăng bền dung dịch rắn R là 3,80 hoặc nhỏ hơn, và nhiệt độ ủ là 1000°C hoặc cao hơn, có thể cải thiện hơn nữa tác dụng thu được bằng biểu thức (19). Do đó, tốt hơn nếu nhiệt độ ủ là 1000°C hoặc cao hơn.

Ngoài ra, trong giai đoạn làm mát, tốt hơn nếu tốc độ làm mát trung bình là $1^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ đến $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ trong khoảng nhiệt độ từ 950°C đến 600°C để làm giảm sự phân tách biên dạng hạt của P, và nhờ đó cải thiện hơn nữa cấu trúc.

Kết quả là, trong bước ủ dải nóng, được ưu tiên hơn nữa nếu nhiệt độ của dải nóng được duy trì nằm trong khoảng từ 950°C đến 1100°C trong 30 giây đến 3600 giây, và sau đó dải nóng được làm mát sao cho tốc độ làm mát trung bình là $1^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ đến $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ trong khoảng nhiệt độ từ 950°C đến 600°C .

Sáng chế không chỉ giới hạn ở phương án nêu trên. Phương án này chỉ là các Ví dụ cụ thể. Phạm vi kỹ thuật của sáng chế bao gồm phạm vi hầu như có cùng các dấu hiệu được đề cập trong yêu cầu bảo hộ của sáng chế.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, các ví dụ thực nghiệm tham khảo và các Ví dụ theo sáng chế sẽ được mô tả một cách cụ thể. Trong các bảng dưới đây, khi giá trị trong ô được gạch chân, giá trị trong ô này không

đáp ứng các yêu cầu cơ bản sáng chế.

Thực nghiệm tham khảo 1: Tác dụng của lượng P

Các thép số 1 đến 10 mỗi loại có thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 dưới đây được làm nóng chảy trong chân không và được đúc, và nhờ đó các tấm phôi được sản xuất. Các dải nóng có độ dày bằng 2,0 mm được sản xuất bằng cách cán nóng các tấm phôi. Sau đó, trong bước ủ dải nóng, các dải nóng được gia nhiệt đến 1000°C, nhiệt độ của các dải nóng được duy trì ở 1000°C trong 60 giây, và sau đó các dải nóng được làm mát từ 1000°C đến nhiệt độ trong phòng sao cho tốc độ làm mát trung bình của mỗi dải nóng là giá trị tương ứng được thể hiện trong bảng 2 dưới đây có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 950°C đến 600°C. Sau khi ủ dải nóng, các dải nguội có độ dày bằng 0,35 mm được sản xuất bằng cách cán nguội các dải nóng. Các dải nguội được trải qua bước ủ cuối cùng trong đó nhiệt độ của các dải nguội được duy trì ở 1050°C trong 1 giây. Kết quả là, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (các mẫu số 1 đến 10) được sản xuất.

Tấm đơn 55 mm vuông được đột dập từ tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, và điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng ρ ($\Omega \cdot m$) của tấm đơn được đo. Ngoài ra, tấm đơn được từ hóa bằng cách tác dụng thông lượng từ tính có mật độ từ thông 1,0 T lên tấm đơn ở tần số 400 Hz, và sự hao tổn lõi tần số cao $W_{10/400}$ (W/kg) của tấm đơn được đo. Hơn nữa, ảnh của bề mặt của mép của tấm đơn (bề mặt được tạo ra bằng cách đột dập) được chụp bằng kính hiển vi quang học ở độ phóng đại 50 lần. Số lượng các hạt tinh thể bao gồm song tinh biến dạng được đếm khoảng 300 các hạt tinh thể được chọn từ ảnh này, và tỷ lệ của số lượng các hạt tinh thể bao gồm song tinh biến dạng so với tổng số các hạt tinh thể (khoảng 300) (tỷ lệ của dạng song tinh) được tính. Bảng 2 thể hiện ρ , $W_{10/400}$, và tỷ lệ của dạng song tinh của các mẫu số trong tất cả

các mẫu, cỡ hạt trung bình của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là khoảng 100 μm .

Bảng 1

Thép số	Thành phần hóa học [% khối lượng] (Thành phần còn lại: Fe và các tạp chất khác)							$X^{1)}$	$R^{2)}$	$E^3)$
	Si	Mn	Al	P	C	S	N			
1	<u>3,00</u>	1,30	<u>0,50</u>	<u>0,011</u>	0,0021	0,0012	0,0019	<u>0,12</u>	3,63	4,2
2	2,30	0,97	1,70	<u>0,010</u>	0,0020	0,0012	0,0018	<u>0,38</u>	3,44	4,5
3	1,90	0,50	2,50	<u>0,012</u>	0,0018	0,0011	0,0019	0,54	3,34	4,7
4	1,40	1,40	2,50	<u>0,009</u>	0,0018	0,0011	0,0020	0,54	3,05	4,6
5	<u>3,00</u>	1,30	<u>0,50</u>	0,077	0,0022	0,0011	0,0018	<u>0,12</u>	<u>3,96</u>	4,2
6	2,30	0,97	1,70	0,078	0,0020	0,0012	0,0018	<u>0,38</u>	3,78	4,5
7	1,90	0,50	2,50	0,077	0,0018	0,0010	0,0023	0,54	3,66	4,7
8	1,40	1,40	2,50	0,079	0,0023	0,0011	0,0020	0,54	3,40	4,6
9	1,00	2,00	2,57	0,081	0,0020	0,0010	0,0019	0,56	3,19	4,6
10	1,73	0,60	2,62	0,080	0,0022	0,0010	0,0018	0,56	3,59	4,7

$$\times 1) X = \text{Al} / (\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn})$$

$$\times 2) R = \text{Si} + \text{Al} / 2 + \text{Mn} / 4 + 5 \times \text{P}$$

$$\times 3) E = \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn}$$

Bảng 2

Mẫu số	Thép số	P [% khối lượng]	$X^{1)}$	$R^{2)}$	Tốc độ làm mát trung bình [$^{\circ}\text{C}/\text{giây}$]	ρ ($\times 10^{-8}$ [$\Omega \cdot \text{m}$])	$W_{10/400}$ [W/kg]	Tỷ lệ tạo song tinh [%]
1	1	<u>0,011</u>	<u>0,12</u>	3,63	23	60,7	14,8	25
2	2	<u>0,010</u>	<u>0,38</u>	3,44	24	61,8	14,7	17
3	3	<u>0,012</u>	0,54	3,34	24	61,8	14,9	15
4	4	<u>0,009</u>	0,54	3,05	22	61,5	15,0	10
5	5	0,077	<u>0,12</u>	<u>3,96</u>	23	Nứt gãy		
6	6	0,078	<u>0,38</u>	3,78	24	61,8	14,7	16
7	7	0,077	0,54	3,66	24	61,8	14,7	16
8	8	0,079	0,54	3,40	23	61,5	14,7	10
9	9	0,081	0,56	3,19	19	61,2	14,8	10
10	10	0,080	0,56	3,59	22	61,5	14,8	10

$$\times 1) X = Al / (Si + Al + 0,5 \times Mn)$$

$$\times 2) R = Si + Al / 2 + Mn / 4 + 5 \times P$$

Trong nhóm các mẫu số 1 đến 4, lượng P là khoảng 0,01%. Khi mẫu số 2 được so sánh với mẫu số 1 trong nhóm mẫu, $W_{10/400}$ giảm với sự gia tăng về ρ . Ngoài ra, khi mẫu số 3 được so sánh với mẫu số 2, $W_{10/400}$ tăng với sự gia tăng về X ngay cả khi ρ của mẫu số 2 là giống như ρ của mẫu số 3. Trong nhóm các mẫu số 5 đến 10, lượng P là khoảng 0,08%. Trong nhóm mẫu, khi mẫu số 7 được so sánh với mẫu số 6 có cùng ρ như mẫu số 7 có, $W_{10/400}$ được duy trì ngay cả khi X tăng. Ngoài ra, trong mẫu số 5, vì thông số làm tăng bền dung dịch rắn R cao quá mức, dải nóng bị gãy trong khi cán nguội, và do đó tấm thép kỹ thuật điện không định hướng không được tạo ra. FIG.1 thể hiện mối quan hệ giữa $W_{10/400}$ và $Al/(Si+Al+0,5 \times Mn)$ trong mỗi nhóm mẫu, và khiến cho tác dụng của lượng P đến mối quan hệ giữa $W_{10/400}$ và X trở nên rõ ràng. Mẫu số 5 được loại trừ từ FIG.1. Như có thể được hiểu từ bảng 1 và FIG.1, khi lượng P là khoảng 0,01%, $W_{10/400}$ giảm khi X tăng đến khi X đạt đến 0,38, trong khi giá trị của $W_{10/400}$ tăng khi X tăng sau khi X tăng đến lớn hơn 0,38. Mặt khác, khi lượng P là khoảng 0,08%, $W_{10/400}$ thấp được duy trì ngay cả khi X tăng. Do đó, khi thép bao gồm ít nhất 0,05% P, đặc tính dễ tạo hình của thép có thể được cải thiện trong khi $W_{10/400}$ được duy trì do $W_{10/400}$ hầu như không tăng với sự gia tăng về X.

Ngoài ra, như có thể được hiểu từ các mẫu số 1 đến 4, khi ρ của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được duy trì ở mức cao, tỷ lệ của dạng song tinh tăng với sự gia tăng về lượng Si. Khi X cao, tỷ lệ của dạng song tinh có thể được làm giảm bằng cách làm giảm lượng Si trong khi duy trì ρ ở mức cao. Trong trường hợp này, được mong đợi rằng $W_{10/400}$ có thể được làm giảm vì các vách từ tính dễ dàng di chuyển hơn. Tuy nhiên, trong các mẫu số 1

đến 4, $W_{10/400}$ không giảm ngay cả khi tỷ lệ của dạng song tinh giảm. Ngoài ra, khi các mẫu số 6 đến 8 được so sánh với các mẫu số 2 đến 4, tỷ lệ của dạng song tinh hầu như không phụ thuộc vào lượng của P. Do đó, đã phát hiện ra rằng tác dụng của lượng P lên mối quan hệ giữa $W_{10/400}$ và X gây ra không chỉ bằng cách làm giảm tỷ lệ của dạng song tinh mà còn bằng cách cải thiện cấu trúc nhờ sự gia tăng lượng P.

Thực nghiệm tham khảo 2: Tác dụng của cỡ hạt trung bình D (μm)

Các thép số 1, 3, 4, 5, 7, và 8 được thể hiện trong bảng 1 được làm nóng chảy trong chân không và được đúc, và nhờ đó các tấm phôi được sản xuất. Các dải nóng có độ dày bằng 2,0 mm được sản xuất bằng cách cán nóng các tấm. Sau đó, trong bước ủ dải nóng, các dải nóng được gia nhiệt đến nhiệt độ ủ tương ứng được thể hiện trong bảng 3 dưới đây, nhiệt độ của các dải nóng được duy trì ở nhiệt độ ủ tương ứng trong 60 giây, và sau đó các dải nóng được làm mát từ nhiệt độ ủ tương ứng đến nhiệt độ trong phòng sao cho tốc độ làm mát trung bình của mỗi dải nóng là giá trị tương ứng được thể hiện trong bảng 3 dưới đây trong khoảng nhiệt độ từ 950°C đến 600°C.

Cỡ hạt trung bình của dải nóng được tôi (cỡ hạt trung bình của tấm thép ngay trước khi cán nguội) D (μm) và bề mặt độ cứng (Độ cứng Vickers) ở 1 kgf Hv (-) được đo. Bảng 3 thể hiện cỡ hạt trung bình D (μm) và độ cứng bề mặt Hv (-).

Sau đó, các dải nguội có độ dày bằng 0,20 mm (Các mẫu số 1-a đến 8-d) được sản xuất bằng cách cán nguội các dải nóng được tôi. Số lần cán qua là 5 trong bước cán nguội. Mức giảm của lần cán qua thứ nhất là 15%, mức giảm tổng từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua thứ hai là 40%, và mức giảm tổng là 90,0%. Bảng 3 thể hiện liệu có vết nứt gãy trong bước cán nguội hay không.

Bảng 3

Mẫu số	Thép số	R ¹⁾	Nhiệt độ ủ [°C]	Tốc độ làm mát trung bình [°C/giây]	D [μm]	Y ²⁾	Hv	Vết nứt
1-a	1	3,63	950	22	88	104,1	205	Không
1-b	1	3,63	1000	22	113	147,5	196	Không
1-c	1	3,63	1050	23	130	169,5	191	Không
1-d	1	3,63	1100	25	148	188,6	187	Không
3-a	3	3,34	950	20	84	139,2	197	Không
3-b	3	3,34	1000	21	110	186,9	187	Không
3-c	3	3,34	1050	23	125	207,3	182	Không
3-d	3	3,34	1100	23	144	228,5	178	Không
4-a	4	3,07	950	21	83	176,3	186	Không
4-b	4	3,07	1000	21	116	234,9	173	Không
4-c	4	3,07	1050	22	132	255,0	169	Không
4-d	4	3,07	1100	23	150	273,7	165	Không
5-a	5	<u>3,96</u>	950	20	<u>79</u>	<u>33,9</u>	220	Có
5-b	5	<u>3,96</u>	1000	21	<u>117</u>	<u>103,4</u>	205	Có
5-c	5	<u>3,96</u>	1050	23	<u>129</u>	<u>118,6</u>	202	Có
5-d	5	<u>3,96</u>	1100	24	<u>150</u>	<u>140,8</u>	197	Có
7-a	7	3,66	950	20	<u>75</u>	<u>68,1</u>	211	Có
7-b	7	3,66	1000	20	120	151,9	195	Không
7-c	7	3,66	1050	22	139	174,4	190	Không
7-d	7	3,66	1100	24	155	189,9	187	Không
8-a	8	3,40	950	20	88	135,3	196	Không
8-b	8	3,40	1000	21	110	174,3	187	Không
8-c	8	3,40	1050	23	132	203,0	181	Không
8-d	8	3,40	1100	25	148	219,8	177	Không

※1) $R = Si + Al/2 + Mn/4 + 5xP$

※2) $Y = 4,5 \times (225 - 33 \times R - 770/\sqrt{D})$

Trong các mẫu số 5-a đến 5-d, vì thông số làm tăng bền dung dịch rắn R và cỡ hạt trung bình D (μm) không thỏa mãn biểu thức (19) dưới đây cũng như thông số làm tăng bền dung dịch rắn R cao quá mức, dải nóng được tôi bị gãy trong khi cán nguội. Trong mẫu

số 7-a, vì thông số làm tăng bền dung dịch rắn R và cỡ hạt trung bình D (μm) không thỏa mãn biểu thức (19) dưới đây, dải nóng được tôi bị gãy trong khi cán nguội. Trong các mẫu ngoại trừ các mẫu số 5-a đến 5-d và mẫu số 7-a, dải nóng được tôi được cán mà không bị gãy bởi bước cán nguội.

Ví dụ 1

Các thép số 6, 7, và 8 được thể hiện trong bảng 1 được làm nóng chảy trong chân không và được đúc, và nhờ đó các tấm phôi được sản xuất. Các dải nóng có độ dày bằng 2,0 mm được sản xuất bằng cách cán nóng các tấm phôi. Sau đó, trong bước ủ dải nóng, các dải nóng được gia nhiệt đến 1000°C , nhiệt độ của các dải nóng được duy trì ở 1000°C trong 60 giây, và sau đó các dải nóng được làm mát từ 1000°C đến nhiệt độ trong phòng sao cho tốc độ làm mát trung bình của mỗi dải nóng là $1^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ đến $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ trong khoảng từ 950°C đến 600°C . Sau đó, các dải nguội có độ dày bằng 0,35 mm được sản xuất bằng cách cán nguội các dải nóng được tôi. Hơn nữa, trong bước ủ cuối cùng, các dải nguội được gia nhiệt đến 1050°C , nhiệt độ của các dải nguội được duy trì ở 1050°C trong 1 giây, và sau đó các dải nguội được làm mát từ 1050°C đến nhiệt độ trong phòng. Kết quả là, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (Các mẫu số 6-e đến 8-f) được sản xuất. Trong các mẫu số 6-f, 7-f, và 8-f, như được thể hiện trong bảng 4, trong giai đoạn gia nhiệt trong đó các dải nguội được gia nhiệt đến 1050°C , nhiệt độ của các dải nguội được duy trì ở 600°C trong 20 giây.

Theo cách tương tự trong phần (Thực nghiệm tham khảo 1), sự hao tổn lõi tần số cao $W_{10/400}$ (W/kg) và tỷ lệ của dạng song tinh của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng sản xuất được được đo. Hơn nữa, các thông số cực được đo sử dụng nhiễu xạ tia X ở mỗi vị trí theo chiều dày gần với bề mặt và ở trung tâm theo chiều dày của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

$I\{100\}/I\{111\}$ được xác định bằng cách tính ODF gần với bề mặt và ODF ở trung tâm theo chiều dày từ các thông số cực, và tính trung bình cho các ODF. Bảng 4 thể hiện các kết quả của $W_{10/400}$, tỷ lệ của dạng song tinh, và $I\{100\}/I\{111\}$. Ngoài ra, trong tất cả các mẫu, cỡ hạt trung bình của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là khoảng 100 μm .

Bảng 4

Mẫu số	Thép số	$X^{1)}$	$R^{2)}$	ρ (x 10^{-8} [$\Omega \cdot \text{m}$])	D [μm]	$Y^{3)}$	Tốc độ làm mát trung bình [$^{\circ}\text{C}/\text{giây}$]	Điều kiện ủ cuối cùng	$\frac{I\{100\}}{I\{111\}}$	Tỷ lệ tạo thành song tinh %	$W_{10/400}$ [W/kg]	Lưu ý
6-e	6	$\frac{0,3}{8}$	$\frac{3,7}{8}$	61,8	120	133,8	20	$\frac{1050^{\circ}\text{C}}{\text{x 1 giây}}$	<u>0,48</u>	16	14,7	Ví dụ so sánh
6-f	6	$\frac{0,3}{8}$	$\frac{3,7}{8}$	61,8	120	133,8	20	$600^{\circ}\text{C} \times 20$ giây $\rightarrow 1050^{\circ}\text{C} \times 1$ giây	<u>0,45</u>	15	14,7	Ví dụ so sánh
7-e	7	$\frac{0,5}{4}$	$\frac{3,6}{6}$	61,8	120	151,9	20	$\frac{1050^{\circ}\text{C}}{\text{x 1 giây}}$	<u>1,45</u>	16	14,7	Ví dụ so sánh
7-f	7	$\frac{0,5}{4}$	$\frac{3,6}{6}$	61,8	120	151,9	20	$600^{\circ}\text{C} \times 20$ giây $\rightarrow 1050^{\circ}\text{C} \times 1$ giây	1,10	5	14,1	Ví dụ so sánh
8-e	8	$\frac{0,5}{4}$	$\frac{3,4}{0}$	61,5	110	174,3	21	$\frac{1050^{\circ}\text{C}}{\text{x 1 giây}}$	<u>1,43</u>	10	14,7	Ví dụ so sánh
8-f	8	$\frac{0,5}{4}$	$\frac{3,4}{0}$	61,5	110	174,3	21	$600^{\circ}\text{C} \times 20$ giây $\rightarrow 1050^{\circ}\text{C} \times 1$ giây	1,03	3	14,0	Ví dụ so sánh

※1) $X = \text{Al} / (\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn})$

※2) $R = \text{Si} + \text{Al} / 2 + \text{Mn} / 4 + 5 \times \text{P}$

※3) $Y = 4,5 \times (225 - 33 \times R - 770 / \sqrt{D})$

Ví dụ, như có thể được hiểu từ kết quả so sánh giữa mẫu số 7-f và mẫu số 7-e, trong thép có giá trị X của 0,50 hoặc lớn hơn (Các thép số 7 và 8), khi giai đoạn gia nhiệt của bước ủ cuối bao

gồm bước duy trì trung gian trong đó nhiệt độ của dải nguội được duy trì ở 600°C trong 20 giây, sự hao tổn lõi giảm đáng kể. Ngoài ra, bước duy trì trung gian giảm $I\{100\}/I\{111\}$, và nhờ đó tỷ lệ của dạng song tinh là giảm. Lý do chi tiết tại sao tỷ lệ của dạng song tinh giảm là không rõ ràng. Được cho rằng $I\{100\}/I\{111\}$ ảnh hưởng đến sự tạo thành song tinh biến dạng bởi vì các dạng song tinh biến dạng dọc theo chiều $\langle 111 \rangle$ của mặt phẳng $\{211\}$. Kết quả là, được cho là sự tạo thành song tinh biến dạng được ức chế trong khi đột dập cấu trúc trong đó $I\{100\}/I\{111\}$ là nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,40.

Mặt khác, như có thể được hiểu từ kết quả so sánh giữa mẫu số 6-f và mẫu số 6-e, trong thép có giá trị X của nhỏ hơn 0,50 (Thép số 6), ngay cả khi giai đoạn gia nhiệt của bước ủ cuối cùng bao gồm quá trình duy trì trung gian trong đó nhiệt độ của dải nguội được duy trì ở 600°C trong 20 giây, $I\{100\}/I\{111\}$, tỷ lệ của dạng song tinh, và sự hao tổn lõi hầu như không thay đổi.

Do đó, khi nhiệt độ của dải nguội có giá trị X của 0,50 hoặc lớn hơn được duy trì ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C trong 10 giây đến 300 giây trong giai đoạn gia nhiệt của bước ủ hoàn thiện, có thể thu được cấu trúc mà trong đó $I\{100\}/I\{111\}$ bằng 0,50 đến 1,40. Mặt khác, khi X là nhỏ hơn 0,50 hoặc khi nhiệt độ của dải nguội không được duy trì ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C trong 10 giây đến 300 giây, không thể thu được cấu trúc mà trong đó $I\{100\}/I\{111\}$ là nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,40.

Ví dụ 2

Các thép số 11 đến 65 mỗi loại có thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 5 và bảng 6 dưới đây được làm nóng chảy trong chân không và được đúc, nhờ đó các tấm phôi được sản xuất. Các dải nóng có độ dày bằng 2,0 mm được sản xuất bằng cách cán

nóng các tấm phôi. Sau đó, trong bước ủ dải nóng, các dải nóng được gia nhiệt đến 1000°C , nhiệt độ của các dải nóng được duy trì ở 1000°C hoặc 1050°C trong 60 giây, và sau đó các dải nóng được làm mát từ 1000°C đến nhiệt độ trong phòng sao cho tốc độ làm mát trung bình của mỗi dải nóng là giá trị tương ứng được thể hiện trong bảng 7 hoặc bảng 8 dưới đây trong khoảng từ 950°C đến 600°C . Cỡ hạt trung bình của các dải nóng được tôi (cỡ hạt trung bình của tấm thép ngay trước khi cán nguội) D (μm) được đo. Bảng 7 và bảng 8 thể hiện cỡ hạt trung bình D (μm).

Sau đó, các dải nguội có độ dày bằng 0,35 mm được sản xuất bằng cách cán nguội các dải nóng được tôi. Số lần cán qua là 6 trong bước cán nguội. Mức giảm của lần cán qua thứ nhất là 20%, mức giảm tổng từ lần cán qua thứ nhất đến cán qua thứ hai là 50%, và mức giảm tổng là 82,5%. Hơn nữa, trong giai đoạn gia nhiệt của bước ủ hoàn thiện, các dải nguội được gia nhiệt đến 600°C , nhiệt độ của các dải nguội được duy trì ở 600°C trong 20 giây, và sau đó các dải nguội được gia nhiệt đến 1050°C . Sau đó, trong giai đoạn sau đó của bước ủ hoàn thiện, dải nguội được gia nhiệt được duy trì ở 1050°C trong 1 giây. Kết quả là, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (các mẫu số 11 đến 65) được sản xuất.

Tấm đơn 55 mm vuông được đột dập từ tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, và điện trở riêng ở nhiệt độ trong phòng ρ ($\Omega\cdot\text{m}$) của tấm đơn được đo. Ngoài ra, mật độ từ thông B_{50} ở lực từ hóa 5000 A/m (T) và $W_{10/400}$ (W/kg) của tấm đơn được đo. Bảng 9 và bảng 10 thể hiện các kết quả của ρ ($\Omega\cdot\text{m}$), B_{50} (T), và $W_{10/400}$ (W/kg). Ngoài ra, trong tất cả các mẫu, cỡ hạt trung bình của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là khoảng 100 μm .

Bảng 5

Thép số	Thành phần hóa học [% khối lượng] (Thành phần còn lại: Fe và các tạp chất khác)							X ¹⁾	R ²⁾	E ³⁾	Lưu ý
	Si	Mn	Al	P	C	S	N				
11	<u>0,30</u>	1,00	2,39	0,054	0,0012	0,0011	0,0021	0,75	2,02	<u>3,2</u>	Ví dụ so sánh
12	<u>0,30</u>	1,00	2,39	0,062	0,0012	0,0011	0,0022	0,75	2,06	<u>3,2</u>	Ví dụ so sánh
13	<u>0,30</u>	1,00	2,39	0,087	0,0011	0,0009	0,0022	0,75	2,18	<u>3,2</u>	Ví dụ so sánh
14	<u>0,30</u>	1,00	2,39	0,094	0,0010	0,0008	0,0020	0,75	2,22	<u>3,2</u>	Ví dụ so sánh
15	<u>2,76</u>	0,19	1,83	0,052	0,0020	0,0011	0,0021	<u>0,39</u>	<u>3,98</u>	4,7	Ví dụ so sánh
16	<u>2,76</u>	0,19	1,83	0,061	0,0018	0,0012	0,0023	<u>0,39</u>	<u>4,03</u>	4,7	Ví dụ so sánh
17	<u>2,76</u>	0,19	1,83	0,089	0,0017	0,0011	0,0021	<u>0,39</u>	<u>4,17</u>	4,7	Ví dụ so sánh
18	<u>2,76</u>	0,19	1,83	0,097	0,0018	0,0013	0,0020	<u>0,39</u>	<u>4,21</u>	4,7	Ví dụ so sánh
19	1,40	<u>3,10</u>	1,59	0,052	0,0011	0,0011	0,0021	<u>0,35</u>	3,23	4,5	Ví dụ so sánh
20	1,40	<u>3,11</u>	1,60	0,061	0,0018	0,0012	0,0023	<u>0,35</u>	3,28	4,6	Ví dụ so sánh
21	1,40	<u>3,14</u>	1,58	0,086	0,0010	0,0012	0,0018	<u>0,35</u>	3,41	4,6	Ví dụ so sánh
22	1,40	<u>3,11</u>	1,61	0,095	0,0019	0,0011	0,0021	<u>0,35</u>	3,46	4,6	Ví dụ so sánh
23	1,34	<u>3,10</u>	<u>0,89</u>	0,051	0,0019	0,0010	0,0022	<u>0,24</u>	2,82	<u>3,8</u>	Ví dụ so sánh
24	1,34	<u>3,10</u>	<u>0,88</u>	0,060	0,0018	0,0010	0,0021	<u>0,23</u>	2,86	<u>3,8</u>	Ví dụ so sánh
25	1,33	<u>3,12</u>	<u>0,87</u>	0,086	0,0017	0,0012	0,0018	<u>0,23</u>	2,98	<u>3,8</u>	Ví dụ so sánh
26	1,33	<u>3,12</u>	<u>0,88</u>	0,096	0,0018	0,0012	0,0019	<u>0,23</u>	3,03	<u>3,8</u>	Ví dụ so sánh
27	1,10	1,30	<u>2,89</u>	0,053	0,0018	0,0009	0,0020	0,62	3,14	4,6	Ví dụ so sánh
28	1,10	1,33	<u>2,88</u>	0,064	0,0018	0,0008	0,0021	0,62	3,19	4,6	Ví dụ so sánh

29	1,11	1,31	<u>2,86</u>	0,083	0,0019	0,0008	0,0022	0,62	3,28	4,6	Ví dụ so sánh
30	1,12	1,30	<u>2,87</u>	0,095	0,0020	0,0009	0,0023	0,62	3,36	4,6	Ví dụ so sánh
31	1,90	0,50	2,50	<u>0,012</u>	0,0018	0,0011	0,0019	0,54	3,34	4,7	Ví dụ so sánh
32	0,61	2,88	2,39	0,052	0,0011	0,0011	0,0021	0,54	2,79	4,4	Ví dụ sáng chế
33	0,63	2,93	2,35	0,062	0,0010	0,0009	0,0021	0,53	2,85	4,4	Ví dụ sáng chế
34	0,59	2,94	2,38	0,087	0,0009	0,0010	0,0019	0,54	2,95	4,4	Ví dụ sáng chế
35	0,58	2,91	2,42	0,095	0,0012	0,0010	0,0020	0,54	2,99	4,5	Ví dụ sáng chế
36	0,62	2,92	2,59	0,051	0,0011	0,0013	0,0018	0,55	2,90	4,7	Ví dụ sáng chế
37	0,57	2,94	2,57	0,063	0,0010	0,0011	0,0019	0,56	2,91	4,6	Ví dụ sáng chế
38	0,64	2,86	2,62	0,086	0,0010	0,0012	0,0018	0,56	3,10	4,7	Ví dụ sáng chế

※1) $X = Al / (Si + Al + 0,5x Mn)$

※2) $R = Si + Al / 2 + Mn / 4 + 5xP$

※3) $E = Si + Al + 0,5x Mn$

Bảng 6

Thép số	Thành phần hóa học [% khối lượng] (Thành phần còn lại: Fe và các tạp chất khác)							X ¹⁾	R ²⁾	E ³⁾	Lưu ý
	Si	Mn	Al	P	C	S	N				
39	0,56	2,88	2,61	0,098	0,0019	0,0010	0,0019	0,57	3,08	4,6	Ví dụ sáng chế
40	1,00	2,87	2,50	0,054	0,0018	0,0012	0,0020	0,51	3,24	4,9	Ví dụ sáng chế
41	0,90	2,86	2,40	0,062	0,0018	0,0012	0,0021	0,51	3,13	4,7	Ví dụ sáng chế
42	0,92	2,88	2,42	0,087	0,0019	0,0012	0,0021	0,51	3,29	4,8	Ví dụ sáng chế
43	0,89	2,91	2,41	0,094	0,0018	0,0011	0,0023	0,51	3,29	4,8	Ví dụ sáng chế
44	1,27	1,91	2,57	0,051	0,0020	0,0010	0,0019	0,54	3,29	4,8	Ví dụ sáng chế

45	1,33	1,92	2,56	0,063	0,0021	0,0010	0,0022	0,53	3,41	4,9	Ví dụ sáng chế
46	1,34	1,88	2,63	0,089	0,0020	0,0010	0,0021	0,54	3,57	4,9	Ví dụ sáng chế
47	1,26	1,89	2,61	0,095	0,0019	0,0011	0,0021	0,54	3,51	4,8	Ví dụ sáng chế
48	1,66	1,50	2,60	0,051	0,0021	0,0011	0,0023	0,52	3,59	5,0	Ví dụ sáng chế
49	1,65	1,45	2,55	0,064	0,0022	0,0012	0,0018	0,52	3,61	4,9	Ví dụ sáng chế
50	1,69	1,48	2,53	0,084	0,0021	0,0013	0,0019	0,51	3,75	5,0	Ví dụ sáng chế
51	1,72	1,43	2,58	0,097	0,0023	0,0011	0,0018	0,51	3,85	5,0	Ví dụ sáng chế
52	1,66	1,00	2,41	0,052	0,0018	0,0009	0,0020	0,53	3,38	4,6	Ví dụ sáng chế
53	1,68	1,03	2,40	0,065	0,0020	0,0009	0,0021	0,52	3,46	4,6	Ví dụ sáng chế
54	1,69	1,03	2,43	0,051	0,0019	0,0009	0,0023	0,52	3,42	4,6	Ví dụ sáng chế
55	1,70	1,04	2,40	0,053	0,0021	0,0011	0,0023	0,52	3,43	4,6	Ví dụ sáng chế
56	1,72	0,79	2,39	0,052	0,0022	0,0011	0,0021	0,53	3,37	4,5	Ví dụ sáng chế
57	1,71	0,81	2,40	0,096	0,0019	0,0011	0,0020	0,53	3,59	4,5	Ví dụ sáng chế
58	1,73	0,83	2,62	0,051	0,0022	0,0010	0,0018	0,55	3,50	4,8	Ví dụ sáng chế
59	1,72	0,84	2,61	0,095	0,0020	0,0012	0,0023	0,55	3,71	4,8	Ví dụ sáng chế
60	1,74	0,82	2,42	0,062	0,0019	0,0012	0,0019	0,53	3,47	4,6	Ví dụ sáng chế
61	1,73	0,81	2,41	0,087	0,0018	0,0011	0,0022	0,53	3,57	4,5	Ví dụ sáng chế
62	1,71	0,81	2,64	0,063	0,0018	0,0011	0,0021	0,56	3,55	4,8	Ví dụ sáng chế
63	1,70	0,80	2,63	0,089	0,0021	0,0011	0,0021	0,56	3,66	4,7	Ví dụ sáng chế
64	1,10	1,90	2,67	0,051	0,0020	0,0012	0,0019	0,57	3,17	4,7	Ví dụ sáng chế
65	1,10	1,88	2,65	0,062	0,0019	0,0010	0,0018	0,57	3,21	4,7	Ví dụ sáng chế

※1) $X = Al / (Si + Al + 0,5x Mn)$

$$\times 2) R = Si + Al/2 + Mn/4 + 5xP$$

$$\times 3) E = Si + Al + 0,5x Mn$$

Bảng 7

Mẫu số	Thép số	Điều kiện ủ dải nóng	Tốc độ làm mát trung bình [°C/giây]	D [μm]	Y ¹⁾	Lưu ý
11	<u>11</u>	1050°Cx60 giây	25	131	411	Ví dụ so sánh
12	<u>12</u>	1050°Cx60 giây	24	132	406	Ví dụ so sánh
13	<u>13</u>	1050°Cx60 giây	26	134	389	Ví dụ so sánh
14	<u>14</u>	1050°Cx60 giây	27	128	377	Ví dụ so sánh
15	<u>15</u>	1000°Cx60 giây	21	<u>124</u>	<u>110</u>	Ví dụ so sánh
16	<u>16</u>	1000°Cx60 giây	22	<u>131</u>	<u>112</u>	Ví dụ so sánh
17	<u>17</u>	1000°Cx60 giây	24	<u>124</u>	<u>82</u>	Ví dụ so sánh
18	<u>18</u>	1000°Cx60 giây	21	<u>129</u>	<u>83</u>	Ví dụ so sánh
19	<u>19</u>	1000°Cx60 giây	21	115	210	Ví dụ so sánh
20	<u>20</u>	1000°Cx60 giây	26	113	199	Ví dụ so sánh
21	<u>21</u>	1000°Cx60 giây	24	110	176	Ví dụ so sánh
22	<u>22</u>	1000°Cx60 giây	23	110	169	Ví dụ so sánh
23	<u>23</u>	1000°Cx60 giây	24	120	278	Ví dụ so sánh
24	<u>24</u>	1000°Cx60 giây	25	123	276	Ví dụ so sánh
25	<u>25</u>	1000°Cx60 giây	24	130	267	Ví dụ so sánh
26	<u>26</u>	1000°Cx60 giây	26	128	256	Ví dụ so sánh
27	<u>27</u>	1050°Cx60 giây	20	130	243	Ví dụ so sánh

28	<u>28</u>	1050°Cx60 giây	22	135	240	Ví dụ so sánh
29	<u>29</u>	1050°Cx60 giây	20	134	226	Ví dụ so sánh
30	<u>30</u>	1050°Cx60 giây	21	133	214	Ví dụ so sánh
31	<u>31</u>	1000°Cx60 giây	22	130	213	Ví dụ so sánh
32	32	1050°Cx60 giây	20	120	283	Ví dụ sáng chế
33	33	1050°Cx60 giây	18	121	275	Ví dụ sáng chế
34	34	1050°Cx60 giây	23	119	257	Ví dụ sáng chế
35	35	1050°Cx60 giây	22	118	249	Ví dụ sáng chế
36	36	1050°Cx60 giây	20	122	268	Ví dụ sáng chế
37	37	1050°Cx60 giây	23	124	270	Ví dụ sáng chế
38	38	1050°Cx60 giây	24	117	233	Ví dụ sáng chế

※1) $Y=4,5 \times (225-33 \times R - 770/\sqrt{D})$

Bảng 8

Mẫu số	Thép số	Điều kiện ủ dải nóng	Tốc độ làm mát trung bình [°C/giây]	D [μm]	Y ¹⁾	Lưu ý
39	39	1050°Cx60 giây	21	125	246	Ví dụ sáng chế
40	40	1050°Cx60 giây	17	122	218	Ví dụ sáng chế
41	41	1050°Cx60 giây	18	121	233	Ví dụ sáng chế
42	42	1050°Cx60 giây	17	130	221	Ví dụ sáng chế
43	43	1050°Cx60 giây	16	126	215	Ví dụ sáng chế
44	44	1050°Cx60 giây	19	120	208	Ví dụ sáng chế
45	45	1050°Cx60 giây	20	124	196	Ví dụ sáng chế
46	46	1050°Cx60	22	115	159	Ví dụ sáng chế

		giây				
47	47	1050°Cx60 giây	21	118	172	Ví dụ sáng chế
48	48	1000°Cx60 giây	24	134	180	Ví dụ sáng chế
49	49	1000°Cx60 giây	22	132	175	Ví dụ sáng chế
50	50	1000°Cx60 giây	23	131	154	Ví dụ sáng chế
51	51	1000°Cx60 giây	23	131	138	Ví dụ sáng chế
52	52	1050°Cx60 giây	18	128	205	Ví dụ sáng chế
53	53	1050°Cx60 giây	19	131	196	Ví dụ sáng chế
54	54	1050°Cx60 giây	17	132	203	Ví dụ sáng chế
55	55	1000°Cx60 giây	24	133	203	Ví dụ sáng chế
56	56	1050°Cx60 giây	24	124	201	Ví dụ sáng chế
57	57	1050°Cx60 giây	23	123	167	Ví dụ sáng chế
58	58	1050°Cx60 giây	22	125	182	Ví dụ sáng chế
59	59	1050°Cx60 giây	21	123	149	Ví dụ sáng chế
60	60	1050°Cx60 giây	20	122	184	Ví dụ sáng chế
61	61	1050°Cx60 giây	20	121	167	Ví dụ sáng chế
62	62	1050°Cx60 giây	21	130	182	Ví dụ sáng chế
63	63	1050°Cx60 giây	23	126	160	Ví dụ sáng chế
64	64	1000°Cx60 giây	22	120	226	Ví dụ sáng chế
65	65	1000°Cx60 giây	23	130	233	Ví dụ sáng chế

※1) $Y=4,5 \times (225-33 \times R - 770/\sqrt{D})$

Bảng 9

Mẫu số	Thép số	ρ ($\times 10^{-8}$ [$\Omega \cdot m$])	$I\{100\}/$ $I\{111\}$	Tỷ lệ tạo song tinh [%]	B_{50} [T]	W10/ 400 [W/kg]	Lưu ý
11	<u>11</u>	<u>44,1</u>	0,53	0	1,686	15,5	Ví dụ so sánh
12	<u>12</u>	<u>44,1</u>	0,59	0	1,687	15,5	Ví dụ so sánh
13	<u>13</u>	<u>44,1</u>	0,65	0	1,689	15,4	Ví dụ so sánh
14	<u>14</u>	<u>44,1</u>	0,69	0	1,690	15,4	Ví dụ so sánh
15	<u>15</u>	63,7	<u>Vết nứt</u>				Ví dụ so sánh
16	<u>16</u>	63,7	<u>Vết nứt</u>				Ví dụ so sánh
17	<u>17</u>	63,7	<u>Vết nứt</u>				Ví dụ so sánh
18	<u>18</u>	63,7	<u>Vết nứt</u>				Ví dụ so sánh
19	<u>19</u>	63,6	<u>0,33</u>	22	1,650	14,9	Ví dụ so sánh
20	<u>20</u>	63,8	<u>0,39</u>	25	1,651	14,8	Ví dụ so sánh
21	<u>21</u>	63,8	<u>0,45</u>	26	1,653	14,8	Ví dụ so sánh
22	<u>22</u>	63,9	<u>0,48</u>	28	1,654	14,6	Ví dụ so sánh
23	<u>23</u>	55,9	<u>0,31</u>	8	1,654	15,5	Ví dụ so sánh
24	<u>24</u>	55,8	<u>0,38</u>	8	1,655	15,4	Ví dụ so sánh
25	<u>25</u>	55,7	<u>0,39</u>	7	1,658	15,3	Ví dụ so sánh
26	<u>26</u>	55,8	<u>0,45</u>	7	1,659	15,3	Ví dụ so sánh
27	<u>27</u>	61,0	<u>1,42</u>	21	1,610	14,7	Ví dụ so sánh
28	<u>28</u>	61,1	<u>1,48</u>	22	1,610	14,9	Ví dụ so sánh
29	<u>29</u>	60,9	<u>1,56</u>	24	1,610	15,0	Ví dụ so sánh
30	<u>30</u>	61,1	<u>1,58</u>	26	1,620	15,0	Ví dụ so sánh
31	<u>31</u>	61,8	0,72	10	1,620	15,2	Ví dụ so sánh
32	32	60,4	0,63	5	1,647	14,3	Ví dụ sáng chế
33	33	60,6	0,68	6	1,649	14,2	Ví dụ sáng chế
34	34	60,4	0,71	6	1,651	14,1	Ví dụ sáng chế
35	35	60,5	0,72	7	1,650	14,1	Ví dụ sáng chế
36	36	62,8	0,71	8	1,636	14,1	Ví dụ sáng chế
37	37	62,1	0,74	8	1,639	14,1	Ví dụ sáng chế
38	38	62,9	0,73	9	1,639	14,0	Ví dụ sáng chế

Bảng 10

Mẫu số	Thép số	ρ ($\times 10^{-8}$ [$\Omega \cdot m$])	I_{100}/I_{111}	Tỷ lệ tạo sóng tĩnh [%]	B_{50} [T]	$W_{10/400}$ [W/kg]	Lưu ý
39	39	62,0	0,82	9	1,642	14,0	Ví dụ sáng chế
40	40	66,2	0,84	8	1,627	13,9	Ví dụ sáng chế
41	41	63,9	0,90	9	1,628	13,8	Ví dụ sáng chế
42	42	64,5	0,94	9	1,629	13,8	Ví dụ sáng chế
43	43	64,2	1,03	10	1,630	13,9	Ví dụ sáng chế
44	44	64,0	1,08	9	1,625	14,1	Ví dụ sáng chế
45	45	64,7	1,14	9	1,635	14,1	Ví dụ sáng chế
46	46	65,2	1,18	9	1,625	14,0	Ví dụ sáng chế
47	47	64,1	1,18	10	1,638	14,0	Ví dụ sáng chế
48	48	66,4	1,25	11	1,669	14,0	Ví dụ sáng chế
49	49	65,4	1,29	15	1,669	14,2	Ví dụ sáng chế
50	50	65,9	1,29	16	1,670	14,3	Ví dụ sáng chế
51	51	66,5	1,31	18	1,669	14,3	Ví dụ sáng chế
52	52	61,2	1,33	10	1,631	14,3	Ví dụ sáng chế
53	53	61,5	1,15	8	1,632	13,8	Ví dụ sáng chế
54	54	62,0	1,16	10	1,622	13,8	Ví dụ sáng chế
55	55	61,8	1,20	13	1,664	14,1	Ví dụ sáng chế
56	56	60,3	1,25	14	1,648	14,2	Ví dụ sáng chế
57	57	60,5	1,26	10	1,652	14,1	Ví dụ sáng chế
58	58	63,0	1,30	11	1,636	14,1	Ví dụ sáng chế

59	59	62,9	1,32	12	1,64 1	14,0	Ví dụ sáng chế
60	60	61,1	1,35	14	1,647	14,1	Ví dụ sáng chế
61	61	60,8	1,20	5	1,650	14,1	Ví dụ sáng chế
62	62	62,9	1,24	8	1,637	14,1	Ví dụ sáng chế
63	63	62,6	1,21	8	1,64 1	14,0	Ví dụ sáng chế
64	64	62,8	1,26	8	1,657	14,1	Ví dụ sáng chế
65	65	62,4	1,34	7	1,658	14,0	Ví dụ sáng chế

Trong các mẫu số 11 đến 14, do lượng Si, ρ , và E là quá nhỏ, $W_{10/400}$ là quá lớn. Trong các mẫu số 15 đến 18, do R không thỏa mãn biểu thức (15) dưới đây cũng như lượng Si là quá lớn, tấm thép bị gãy trong khi cán nguội. Ngoài ra, trong các mẫu số 19 đến 22, do X không thỏa mãn biểu thức (12) và $I\{100\}/I\{111\}$ không thỏa mãn biểu thức (18) cũng như lượng của Mn cao quá mức, $W_{10/400}$ là quá lớn. Trong các mẫu số 23 đến 26, do thành phần hóa học và cấu trúc là không thích hợp, $W_{10/400}$ là quá lớn. Trong các mẫu này, ρ là thấp và E là nhỏ cũng như lượng của Mn cao quá mức và lượng Al là quá nhỏ. Hơn nữa, X không thỏa mãn biểu thức (12), và $I\{100\}/I\{111\}$ không thỏa mãn biểu thức (18). trong các mẫu số 27 đến 30, $I\{100\}/I\{111\}$ không thỏa mãn biểu thức (18) cũng như lượng Al là quá lớn, $W_{10/400}$ là lớn. Trong mẫu số 31, do lượng P quá thấp, $W_{10/400}$ là lớn.

Mặt khác, trong các mẫu số 32 đến 65, do thành phần hóa học của thép và điều kiện sản xuất là thích hợp, nên năng suất (hiệu suất và năng suất) là cao trong bước cán nguội. Ngoài ra, trong các mẫu này, do điện trở riêng và cấu trúc của các tấm thép là thích hợp, $W_{10/400}$ là nhỏ.

FIG.2 là đồ thị mà được tạo ra từ dữ liệu thu được từ các

mẫu số 19 đến 22, 27 đến 30, và 32 đến 65, và thể hiện mối quan hệ giữa $I\{100\}/I\{111\}$ và $W_{10/400}$. Như có thể được hiểu từ FIG.2, khi $I\{100\}/I\{111\}$ nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,4, có thể làm giảm $W_{10/400}$ đến giới hạn dưới.

Theo sáng chế, có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, có chi phí sản xuất thấp trong đó sự hao tổn lõi tần số cao được cải thiện hơn nữa và phương pháp sản xuất chúng. Do đó, khả năng ứng dụng trong công nghiệp của sáng chế là cao.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng chứa các nguyên tố sau làm thành phần hóa học:

C: 0 đến 0,0050 % khối lượng,

Si: 0,50 đến 2,70 % khối lượng,

Mn: 0,10 đến 3,00 % khối lượng,

Al: 1,00 đến 2,70 % khối lượng,

P: 0,050 đến 0,100 % khối lượng,

S: 0 đến 0,0060 % khối lượng,

N: 0 đến 0,0050 % khối lượng,

Ti: 0 đến 0,008 % khối lượng,

V: 0 đến 0,008 % khối lượng,

Nb: 0 đến 0,008 % khối lượng,

Zr: 0 đến 0,008 % khối lượng, và

thành phần còn lại: Fe và các tạp chất, trong đó:

thành phần hóa học thỏa mãn biểu thức (1) dưới đây, biểu thức (2) dưới đây, và biểu thức (3) dưới đây;

cường độ của $\{100\}$ mặt phẳng $I\{100\}$ và cường độ của $\{111\}$ mặt phẳng $I\{111\}$ thỏa mãn biểu thức (4) dưới đây, cường độ $I\{100\}$ và cường độ $I\{111\}$ mà được xác định bằng cách tính giá trị trung bình của hàm xác định sự định hướng gần bề mặt và hàm xác định sự định hướng ở tâm theo chiều dày sử dụng các thông số cực mà đo được bằng phương pháp nhiễu xạ tia X,

điện trở riêng là $60,0 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ hoặc cao hơn ở nhiệt độ trong phòng,

độ dày nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,40 mm,

$$0,50 \leq \text{Al}/(\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn}) \leq 0,83 \quad (1),$$

$$1,28 \leq \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \leq 3,90 \quad (2),$$

$$4,0 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 7,0 \quad (3), \text{ và}$$

$$0,50 \leq I\{100\}/I\{111\} \leq 1,40 \quad (4),$$

trong đó, trong các biểu thức từ (1) đến (3) các ký hiệu hóa học thể hiện lượng của các nguyên tố hóa học tương ứng theo % khối lượng.

2. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, phương pháp này bao gồm:

bước cán nóng mà đưa tấm phôi trải qua quá trình cán nóng để tạo ra dải nóng, tấm phôi chứa các nguyên tố sau làm thành phần hóa học:

C: 0 đến 0,0050 % khối lượng,

Si: 0,50 đến 2,70 % khối lượng,

Mn: 0,10 đến 3,00 % khối lượng,

Al: 1,00 đến 2,70 % khối lượng,

P: 0,050 đến 0,100 % khối lượng,

S: 0 đến 0,0060 % khối lượng,

N: 0 đến 0,0050 % khối lượng,

Ti: 0 đến 0,008 % khối lượng,

V: 0 đến 0,008 % khối lượng,

Nb: 0 đến 0,008 % khối lượng,

Zr: 0 đến 0,008 % khối lượng, và

thành phần còn lại: Fe và các tạp chất, và

thành phần hóa học thỏa mãn biểu thức (5) dưới đây, biểu thức (6) dưới đây, và biểu thức (7) dưới đây;

bước cán nguội bằng cách cho dải nóng trải qua quá trình cán nguội sau khi bước cán nóng để sản xuất dải nguội có độ dày nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,40 mm,

bước ủ cuối cùng mà đưa dải nguội trải qua quá trình ủ cuối cùng sau bước cán nguội, trong đó:

trong bước cán nguội, cỡ hạt trung bình của dải nóng trước bước cán nguội D có đơn vị là μm và thông số làm tăng bền dung dịch rắn R được tính bằng biểu thức (8) dưới đây thỏa mãn biểu thức (9) dưới đây,

trong giai đoạn mà trong đó dải nguội được gia nhiệt trong bước ủ cuối cùng, nhiệt độ dải nguội được duy trì trong thời gian 10 đến 300 giây ở nhiệt độ không đổi nằm trong khoảng từ 550°C đến 700°C,

$$0,50 \leq \text{Al}/(\text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn}) \leq 0,83 \quad (5),$$

$$1,28 \leq \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \leq 3,90 \quad (6),$$

$$4,0 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0,5 \times \text{Mn} \leq 7,0 \quad (7),$$

$$R = \text{Si} + \text{Al}/2 + \text{Mn}/4 + 5 \times \text{P} \quad (8), \text{ và}$$

$$D < 4,5 \times \left(225 - 33 \times R - \frac{770}{\sqrt{D}} \right) \quad (9)$$

trong đó, trong các biểu thức từ (5) đến (8) các ký hiệu hóa học thể hiện lượng của các nguyên tố hóa học tương ứng theo % khối lượng.

3. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 2, phương pháp này còn bao gồm bước ủ dải nóng bằng cách cho dải nóng trải qua quá trình ủ dải nóng giữa bước cán nóng và bước cán nguội.

1/1

FIG. 1

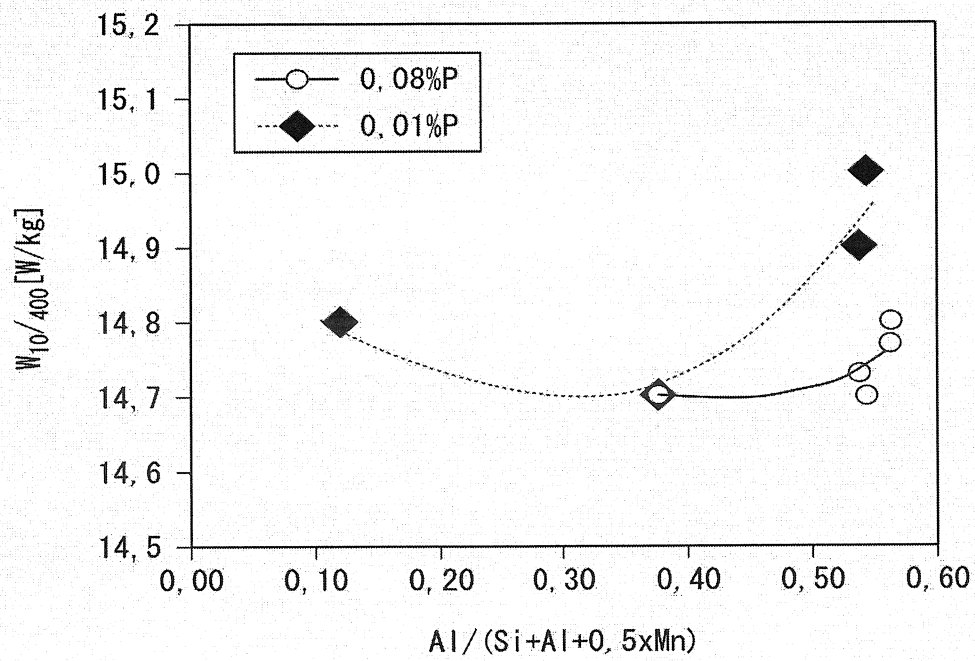


FIG. 2

