



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
1-0043246
(51)^{2020.01} C22C 38/00; H01F 1/147; C22C 38/38; (13) B
C21D 8/12; C22C 38/06

(21) 1-2021-04958 (22) 14/02/2020
(86) PCT/JP2020/005893 14/02/2020 (87) WO2020/166718 A1 20/08/2020
(30) 2019-024587 14/02/2019 JP
(45) 25/02/2025 443 (43) 25/11/2021 404
(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, Japan
(72) MURAKAWA, Tesshu (JP); FUJIMURA, Hiroshi (JP); WAKISAKA, Takeaki (JP);
KUBOTA, Takeshi (JP).
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

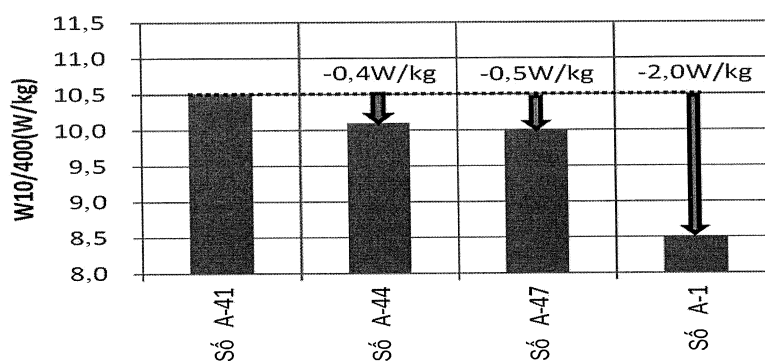
(54) TẤM THÉP ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG

(21) 1-2021-04958

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng vượt trội về các đặc tính từ mà không bị giảm mật độ từ thông ngay cả sau khi ủ khử ứng suất và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng này. Tấm thép điện không định hướng có thành phần hóa học chứa C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, Si với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 2,0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 4,0% khối lượng, Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,010% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0% khối lượng, Mn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,4% khối lượng, P với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,0050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,20% khối lượng, S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, và một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd với tổng là 0,00050% khối lượng hoặc lớn hơn và có phần còn lại bao gồm Fe và tạp chất không tránh khỏi, trong đó, khi biểu thị % khối lượng của Si là [Si], % khối lượng của Al là [Al] và % khối lượng của Mn là [Mn], thì tham số Q được thể hiện bằng công thức (1) sau đây là 2,0 hoặc lớn hơn, tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên của định hướng {100} là 2,4 hoặc lớn hơn và cỡ hạt trung bình là 30 μ m hoặc nhỏ hơn:

$$Q=[Si]+2[Al]-[Mn] \quad (1)$$

FIG. 1



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện được sử dụng thích hợp cho các ứng dụng như là các lõi từ của các động cơ điện.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tấm thép điện không định hướng được sử dụng là vật liệu dùng cho các lõi sắt trong các động cơ, các máy phát điện và thiết bị quay khác hoặc các máy biến áp cỡ nhỏ hoặc thiết bị cố định khác và đóng vai trò quan trọng để xác định hiệu suất năng lượng của thiết bị điện.

Về các đặc tính của tấm thép điện, tổn hao lõi và mật độ từ thông đặc trưng được nhắc đến. Tổn hao lõi càng thấp và mật độ từ thông càng cao thì càng tốt. Điều này là do khi sử dụng điện năng cho lõi sắt để tạo ra từ trường, thì tổn hao lõi càng thấp thì tổn hao năng lượng càng lớn do nhiệt có thể bị giảm xuống. Ngoài ra, điều này là do mật độ từ thông càng cao thì từ trường mà có thể được tạo ra bởi cùng năng lượng càng lớn.

Do đó, để bảo toàn năng lượng và đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về các sản phẩm thân thiện với môi trường, tấm thép điện không định hướng có tổn hao lõi thấp và mật độ từ thông cao và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng đang được tìm kiếm.

Về tấm thép điện không định hướng này, ví dụ như, nếu sử dụng các phôi để dùng cho các lõi stato của các động cơ được cắt từ tấm thép điện không định hướng, thì các khoảng trống được hình thành ở các phần trung tâm của các phôi. Nếu sử dụng các phần được cắt ra để hình thành các khoảng trống ở các phần trung tâm là các phôi dùng cho rôto, nghĩa là, nếu chế tạo phôi dùng cho rôto và phôi dùng cho lõi stato từ tấm thép điện không định hướng đơn thì hiệu suất tăng, do vậy điều này thích hợp hơn.

Ở các ứng dụng rôto mà độ bền là bắt buộc để xử lý quay tốc độ cao, ví dụ như, tấm thép điện không định hướng được chế tạo có độ bền cao hơn bằng cách làm cho cỡ hạt tinh thể mịn hơn và không có biến dạng gia công được yêu cầu. Mặt khác, độ bền cao không bắt buộc đối với các lõi stato. Các đặc tính từ vượt trội thu được bằng cách làm cho cỡ hạt tinh thể thô hơn và khử biến dạng gia công (mật độ từ thông cao và tổn

hao lõi thấp) được yêu cầu. Vì lý do này, nếu chế tạo phôi dùng cho rôto và phôi dùng cho lõi stato từ tấm thép điện không định hướng đơn, sau khi phôi được cắt ra để dùng cho stato được tạo hình thành lõi stato, thì xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện để khử biến dạng do sự gia công tấm thép điện không định hướng để có độ bền cao hơn và làm cho các hạt tinh thể thô hơn để nâng cao các đặc tính từ cho việc sử dụng. Xử lý nhiệt này được biết đến là “ủ khử ứng suất”.

Ở quá trình ủ khử ứng suất, có hiệu quả rõ ràng của việc khử biến dạng và làm tăng cỡ hạt tinh thể để cải thiện tổn hao lõi, nhưng đồng thời các định hướng tinh thể không thích hợp cho các đặc tính từ hình thành và đôi khi mật độ từ thông giảm đi, vậy nên nếu các đặc tính từ đặc biệt cao được tìm kiếm thì việc tránh giảm mật độ từ thông do quá trình ủ khử ứng suất được tìm kiếm.

Trái ngược với điều này, ở PTL 1, ở tấm thép điện không định hướng, có thể làm giảm sự gia tăng tích hợp vào các định hướng (111) sau khi hạt lớn lên do quá trình ủ khử ứng suất bằng cách làm cho giá trị của tỷ lệ giữa các cường độ bề mặt phản xạ tia X của các định hướng (100) và (111) ở mặt phẳng song song tấm tại phần có độ sâu bằng 1/5 độ dày từ lớp bề mặt của phần được tạo hình đến cấu trúc ngẫu nhiên, mà là tỷ lệ của $I_{(100)}$ và $I_{(111)}$, nằm trong khoảng xác định trước và đảm bảo phạm vi nhất định hoặc lớn hơn của mức độ tích hợp vào định hướng (100) so với mức độ tích hợp vào định hướng (111) gần lớp bề mặt của tấm thép. Kết quả là, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng cực kỳ vượt trội về các đặc tính từ với mật độ từ thông gần như không giảm sau khi ủ khử ứng suất.

Mặt khác, trong những năm gần đây, có sự tăng lên của các động cơ vận hành với tốc độ cao (sau đây còn gọi là “các động cơ tốc độ cao”). Ở các động cơ tốc độ cao, lực ly tâm tác dụng lên vật thể quay như là rôto trở nên lớn hơn. Do đó, độ bền cao được tìm kiếm ở tấm thép điện được sử dụng là vật liệu dùng cho các rôto của các động cơ tốc độ cao.

Ngoài ra, ở các động cơ tốc độ cao, dòng điện xoáy hình thành do từ thông tần số cao, hiệu suất động cơ giảm và nhiệt được sinh ra. Nếu lượng nhiệt được sinh ra lớn, thì các nam châm bên trong rôto bị giảm từ tính. Vì lý do này, tổn hao lõi thấp được tìm kiếm ở các rôto của các động cơ quay tốc độ cao. Do đó, ở tấm thép điện được sử dụng

là vật liệu dùng cho các rôto, thì không những độ bền cao mà cả các đặc tính từ vượt trội cũng được tìm kiếm.

Ở các tài liệu sáng chế từ 2 đến 8, các tấm thép điện không định hướng nhằm đạt được cả độ bền cao và các đặc tính từ vượt trội được đề xuất.

Ở tài liệu sáng chế 9, tấm thép điện không định hướng có thể có các đặc tính từ vượt trội ở tất cả các hướng trong mặt phẳng tấm được đề xuất.

Danh mục tài liệu trích dẫn:

Tài liệu sáng chế:

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 8-134606

Tài liệu sáng chế 2: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 60-238421

Tài liệu sáng chế 3: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 62-112723

Tài liệu sáng chế 4: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 2-22442

Tài liệu sáng chế 5: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 2-8346

Tài liệu sáng chế 6: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 2005-113185

Tài liệu sáng chế 7: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 2007-186790

Tài liệu sáng chế 8: Công bố đơn xin cấp patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 2010-090474

Tài liệu sáng chế 9: Công bố quốc tế số WO2018/220837

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật cần giải quyết

Ở tài liệu sáng chế 1 nêu trên, đúng là biểu hiện được hiệu quả ngăn ngừa sự giảm mật độ từ thông sau khi ủ khử ứng suất, nhưng không có phần mô tả liên quan đến độ bền đang được tìm kiếm ở các vật liệu của các vật thể quay như là các rôto của các động cơ tham gia vào hoạt động tốc độ cao.

Ngoài ra, ở tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở các tài liệu sáng chế từ 1 đến 8, không có xem xét nào được đưa ra về các đặc tính sau khi ủ khử ứng suất và xử lý nhiệt bổ sung khác. Các tác giả sáng chế đã nghiên cứu điều này và kết quả là thấy rằng nếu xử lý nhiệt bổ sung cho các tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở các tài liệu này thì đôi khi mật độ từ thông có thể giảm.

Ngoài ra, ở tấm thép điện không định hướng được bộc lộ ở tài liệu sáng chế 9 nêu trên, cỡ hạt trung bình tương đối lớn, do vậy có thể không thu được đủ độ bền kéo.

Theo cách này, ở kỹ thuật đã biết, ở tấm thép có đủ độ bền trước khi ủ khử ứng suất, có vấn đề kỹ thuật là giữ cho mật độ từ thông không bị giảm do quá trình ủ khử ứng suất, làm cho tổn hao lõi đủ thấp và thu được đủ độ bền kéo.

Sáng chế được hoàn thành khi xem xét các vấn đề kỹ thuật nêu trên và mục đích chính là đề xuất tấm thép điện không định hướng được sử dụng ví dụ như trong các động cơ truyền động v.v được dùng cho các ô tô trong đó có thể chế tạo phôi dùng cho rôto có đủ độ bền và phôi dùng cho lõi stato có các đặc tính từ vượt trội (mật độ từ thông cao và tổn hao lõi thấp) từ tấm thép điện không định hướng đơn.

Giải quyết vấn đề

Các tác giả sáng chế đã tiến hành nghiên cứu chuyên sâu và kết quả là phát hiện thấy rằng tấm thép điện với tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên của các định hướng {100} của 1/2 lớp trung tâm (sau đây đôi khi được gọi là “cường độ {100}”) của giá trị xác định trước hoặc lớn hơn và với các tỷ lệ thành phần của Si, Al và Mn trong tấm thép điện nằm trong các khoảng xác định trước có thể thu được hiệu quả làm giảm tổn hao lõi do quá trình ủ khử ứng suất khi thực hiện bước ủ khử ứng suất này, và nhờ tổng hiệu quả của hiệu quả cải thiện mật độ từ thông do làm cho cường độ {100} cao hơn và hiệu quả làm giảm tổn hao lõi, thì có hiệu quả cải thiện mật độ từ thông trong khi giảm đáng kể tổn hao lõi và nhờ đó hoàn thành sáng chế.

Nghĩa là, tấm thép điện không định hướng theo sáng chế có thành phần hóa học chứa C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, Si với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 2,0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 4,0% khối lượng, Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,010% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0% khối lượng, Mn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,4% khối lượng, P với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,0050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,20% khối lượng, S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, và một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd: tổng 0,00050% khối lượng hoặc lớn hơn và có phần còn lại bao gồm Fe và tạp chất không tránh khỏi, trong đó khi biểu thị % khối lượng của Si là [Si], % khối lượng của Al là [Al] và % khối lượng của Mn là [Mn], tham số Q được thể hiện bằng công thức (1) sau đây là 2,0 hoặc lớn hơn, cường độ {100} là 2,4 hoặc lớn hơn và cỡ hạt trung bình là 30 μ m hoặc nhỏ hơn:

$$Q=[Si]+2[Al]-[Mn] \quad (1)$$

Theo sáng chế, tốt hơn là ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm bao gồm Sn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,40% khối lượng, Cr với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng và Cu với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng được chứa.

Hơn nữa, theo sáng chế, tốt hơn là các hạt kim loại Cu có đường kính 100nm hoặc nhỏ hơn được chứa trong 5/10 μ m³ hoặc lớn hơn.

Hơn nữa, theo sáng chế, tốt hơn là độ bền kéo là 600MPa hoặc lớn hơn.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

Theo sáng chế, có thể tạo ra tấm thép điện có độ bền cao, mật độ từ thông cao và có hiệu quả cao về giảm tổn hao lõi tại thời điểm ủ khử ứng suất.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG.1 là biểu đồ thể hiện lượng giảm của tổn hao lõi trong các ví dụ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, tấm thép điện không định hướng theo sáng chế và phương pháp sản xuất

tấm thép điện không định hướng này sẽ được giải thích một cách chi tiết.

Lưu ý rằng, “song song”, “vuông góc”, “giống nhau” và các thuật ngữ và các giá trị khác của độ dài và góc v.v quy định các hình dạng và điều kiện hình học và phạm vi của chúng được sử dụng trong phần mô tả này không bị hạn chế theo đúng nghĩa và sẽ được hiểu là bao gồm các khoảng của các phạm vi mà các chức năng tương tự được có thể được mong đợi.

Tấm thép điện không định hướng theo sáng chế có thành phần hóa học chứa C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, Si với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 2,0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 4,0% khối lượng, Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,010% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0% khối lượng, Mn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,4% khối lượng, P với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,0050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,20% khối lượng, S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd với tổng là 0,00050% khối lượng hoặc lớn hơn và có phần còn lại bao gồm Fe và tạp chất không tránh khỏi, có tham số Q được thể hiện bằng công thức (1) sau đây là 2,0 hoặc lớn hơn khi biểu thị % khối lượng của Si là [Si], % khối lượng của Al là [Al] và % khối lượng của Mn là [Mn], có cường độ {100} là 2,4 hoặc lớn hơn và có cỡ hạt trung bình là 30 μ m hoặc nhỏ hơn:

$$Q=[Si]+2[Al]-[Mn] \quad (1)$$

Tấm thép điện không định hướng theo sáng chế có hiệu quả làm giảm tổn hao lõi tại thời điểm ủ khử ứng suất cực kỳ cao, do vậy có thể tạo ra các sản phẩm hoàn thiện cuối cùng có các đặc tính từ cao. Điều này được cho là do các lý do sau đây.

Đó là, ở tấm thép điện không định hướng thông thường, nếu thực hiện ủ khử ứng suất hoặc gia nhiệt bổ sung khác, tốt hơn là các hạt tinh thể có các định hướng {100} hoặc {411} được xem là tốt cho các đặc tính từ, các hạt tinh thể có các định hướng khác ({111} hoặc {211}) được xem là không tốt cho các đặc tính từ ưu tiên phát triển. Người ta cho rằng mặc dù tổn hao lõi giảm do sự lớn lên của hạt, nhưng sai hỏng cấu trúc tinh thể làm tăng tổn hao lõi, do vậy lượng giảm tổn hao lõi trở nên nhỏ hơn. Ngoài ra, sai hỏng cấu trúc tinh thể gây ra sự giảm mật độ từ thông.

Tấm thép điện không định hướng theo sáng chế có tham số Q là 2 hoặc lớn hơn để làm cho tấm thép pha α -Fe đơn và có cường độ $\{100\}$ là 2,4 hoặc lớn hơn để nhờ đó làm cho các định hướng tinh thể tại thời điểm sản xuất tấm thép điện (nghĩa là, sau khi ủ hoàn thiện và trước khi ủ khử ứng suất) có lợi để làm giảm tổn hao lõi. Về sự phát triển của các định hướng tại thời điểm gia nhiệt dần dần và sự lớn lên của hạt sau khi ủ khử ứng suất hoặc xử lý nhiệt bổ sung khác cũng vậy, người ta đoán rằng các định hướng khác không ưu tiên phát triển và mật độ từ thông cao được duy trì trong khi tổn hao lõi thấp được thúc đẩy.

Ngoài điều này, nhờ việc bao gồm một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd, có thể lọc sạch các chất kết tủa mịn MnS v.v ($>1\mu\text{m}$) và nhờ đó tốt hơn là phản ứng để thúc đẩy sự lớn lên chọn lọc của các hạt tinh thể có các định hướng tinh thể có lợi cho các đặc tính từ hoặc ngăn ngừa sự lớn lên chọn lọc của các hạt tinh thể có các định hướng tinh thể không có lợi cho các đặc tính từ. Nghĩa là, ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế có các oxit hoặc các oxy-sulfua bao gồm nhóm các nguyên tố xác định trước nêu trên, người ta cho rằng sự chọn lọc định hướng thay đổi khi giảm một cách thận trọng nhiệt độ ủ ở giai đoạn ban đầu của sự kết tinh lại (giai đoạn cỡ hạt tinh thể là $30\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn) để kiểm soát cỡ hạt tinh thể và thúc đẩy sự lớn lên của các tinh thể được hình thành nhờ tốc độ gia nhiệt tương đối cao bởi tốc độ gia nhiệt tương đối thấp ở giai đoạn lớn lên của hạt trong khoảng thời gian sau của quá trình kết tinh lại (giai đoạn cỡ hạt tinh thể lớn vượt quá $30\mu\text{m}$).

Vì điều này, có thể giữ mật độ từ thông không bị giảm khi thực hiện ủ khử ứng suất và đồng thời thu được hiệu quả cao trong việc giảm tổn hao lõi và được cho là có thể thu được độ bền kéo cao.

Lưu ý rằng, liên quan đến sáng chế, các kết hợp với kỹ thuật độ bền cao khác cũng được chấp nhận. Ví dụ như, cũng có thể sử dụng đồng thời kỹ thuật làm tăng độ bền bằng cách sử dụng các chất kết tủa Cu 100nm hoặc nhỏ hơn riêng rẽ.

Sau đây, các phần tử trong tấm thép điện không định hướng theo sáng chế sẽ được giải thích.

1. Thành phần hóa học

Đầu tiên, thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng theo sáng chế sẽ được giải thích. Lưu ý rằng, thành phần hóa học được giải thích dưới đây là thành phần của các phần tử cấu thành thép để hình thành tấm thép. Nếu tấm thép được dùng làm mẫu đo có màng cách điện v.v trên bề mặt của nó thì giá trị được tính sau khi loại bỏ màng này.

(1) C

Hàm lượng C là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng.

Nếu hàm lượng C lớn, thì làm mở rộng vùng austenit và tăng các đoạn biến đổi pha để ngăn ngừa sự lớn lên của hạt tinh thể ferit tại thời điểm ủ, do vậy có khả năng làm tăng tổn hao lõi. Ngoài ra, nếu già hóa từ xảy ra thì các đặc tính từ về từ trường cao cũng suy giảm, do vậy hàm lượng C tốt hơn là thấp.

Trên quan điểm chi phí sản xuất, có thuận lợi khi sử dụng máy khử khí ở giai đoạn thép nóng chảy (ví dụ như, máy khử khí chân không RH) để giảm hàm lượng C. Nếu hàm lượng C là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng thì hiệu quả ngăn ngừa già hóa từ cao. Ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế, các cacbua và các chất kết tủa phi kim khác không được sử dụng là cách thức chính để tăng độ bền, vậy nên việc không bao gồm C không có giá trị. Tốt hơn là, hàm lượng C nhỏ. Vì lý do này, hàm lượng C tốt hơn là 0,0015% khối lượng hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0012% khối lượng hoặc nhỏ hơn. Nếu sử dụng kỹ thuật lắng đọng điện hoặc các kỹ thuật khác, thì có thể giảm hàm lượng xuống 0,0001% khối lượng hoặc nhỏ hơn, hàm lượng này thấp hơn giới hạn phân tích hóa học. Hàm lượng C cũng có thể bằng 0% khối lượng. Mặt khác, nếu xem xét về chi phí công nghiệp thì giới hạn dưới là 0,0003% khối lượng.

(2) Si

Hàm lượng của Si lớn hơn hoặc bằng 2,0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 4,0%.

Si là nguyên tố quan trọng được bổ sung để thu được tác dụng làm tăng điện trở riêng để giảm tổn hao dòng điện xoáy. Nếu hàm lượng của Si nhỏ thì tác dụng làm giảm tổn hao dòng điện xoáy trở nên khó thu được, trong khi nếu hàm lượng Si lớn thì tấm thép có khả năng vỡ tại thời điểm cán nguội.

(3) Al

Hàm lượng của Al lớn hơn hoặc bằng 0,010% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0% khối lượng.

Al là nguyên tố được bổ sung không thể tránh khỏi để khử oxy thép trong quá trình luyện thép, và tương tự Si, là nguyên tố chính được bổ sung để thu được tác dụng làm tăng điện trở riêng để giảm tổn hao dòng điện xoáy. Vì lý do này, Al được bổ sung với lượng lớn để làm giảm tổn hao lõi, nhưng nếu lượng lớn được bổ sung thì mật độ từ thông bão hòa giảm đi. Theo sáng chế, điều cần thiết là sao cho tham số Q được giải thích sau đây bằng 2 hoặc lớn hơn và cấu trúc là pha α -Fe đơn.

(4) Mn

Hàm lượng của Mn lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,4% khối lượng.

Mn có thể được bổ sung chủ động để tăng độ bền của thép, nhưng theo sáng chế, việc sử dụng chắc chắn các hạt Cu là cách thức chính để đạt được độ bền cao, thì việc này không được yêu cầu cụ thể nhằm mục đích tăng độ bền của thép. Mn được bổ sung nhằm mục đích tăng điện trở nội tại hoặc làm cho các sulfua thô hơn và thúc đẩy sự lớn lên của hạt tinh thể để giảm tổn hao lõi, nhưng sự bổ sung quá mức sẽ làm giảm mật độ từ thông.

(5) P

Hàm lượng của P lớn hơn hoặc bằng 0,0050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,20% khối lượng.

P là nguyên tố có hiệu quả đáng kể trong việc làm tăng độ bền kéo, nhưng giống như Mn không cần phải cố ý bổ sung nhằm mục đích này theo sáng chế. P được bổ sung do nó làm tăng điện trở riêng để giảm tổn hao lõi và phân tách tại các biên hạt tinh thể để nhờ đó ngăn ngừa sự hình thành cấu trúc tinh thể {111} không có lợi cho các đặc tính từ và thúc đẩy sự hình thành cấu trúc tinh thể {100} có lợi các đặc tính từ. Mặt khác, việc bổ sung quá mức khiến cho thép trở nên giòn và giảm khả năng cán nguội và khả năng gia công của sản phẩm.

(6) S

Hàm lượng của S là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng.

S đôi khi liên kết với Mn trong thép nhờ đó MnS được hình thành. MnS kết tủa mịn trong quy trình sản xuất thép ($>100\mu\text{m}$) và có thể ngăn ngừa sự lớn lên của hạt tại thời điểm ủ khử ứng suất. Vì lý do này, các sulfua đã hình thành có thể gây ra sự suy giảm các đặc tính từ, cụ thể là tổn hao lõi, do đó hàm lượng của S tốt hơn là càng thấp càng tốt. Hàm lượng của S tốt hơn là 0,0020 khối lượng hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 0,0010 khối lượng hoặc nhỏ hơn.

(7) Một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd

Tổng là 0,00050% khối lượng hoặc lớn hơn.

Do chứa các nguyên tố này với tổng bằng 0,00050% khối lượng hoặc lớn hơn, nên **các chất kết tủa điểm nóng chảy cao với S được hình thành** và sự hình thành MnS mịn trong thép được ngăn ngừa. Ngoài ra, điều này làm tăng hiệu quả của tính chọn lọc định hướng tại thời điểm ủ khử ứng suất. Mặt khác, ngay cả khi bổ sung quá mức thì hiệu quả của sáng chế bị bão hòa. Không chỉ vậy, các chất kết tủa được hình thành và cản trở chuyển động của các vách từ tính hoặc gây trở ngại cho sự lớn lên của hạt do đó làm cho tổn hao lõi trầm trọng hơn, vì thế giới hạn trên là 0,10% khối lượng.

(8) Sn, Cr và Cu

Theo sáng chế, tốt hơn là có ít nhất một loại thành phần được chọn từ nhóm bao gồm Sn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,40% khối lượng, Cr với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng và Cu với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng. Sn, Cr và Cu khiến cho sự hình thành các tinh thể được tối ưu để cải thiện các đặc tính từ nhờ sự kết tinh lại sơ cấp. Vì lý do này, nếu Sn, Cr hoặc Cu được chứa, thì cấu trúc tinh thể được hình thành với các tinh thể $\{100\}$ thích hợp cho sự cải thiện đồng đều các đặc tính từ theo tất cả các hướng trong mặt phẳng tấm có thể dễ dàng thu được nhờ sự kết tinh lại sơ cấp. Ngoài ra, Sn, Cr và Cu ngăn ngừa sự oxy hóa và thấm nitơ bề mặt tấm thép tại thời điểm ủ hoàn thiện và ngăn ngừa sự thay đổi kích cỡ của các hạt tinh thể. Do đó, Sn, Cr hoặc Cu có thể được chứa.

(9) Phần còn lại

Phần còn lại là Fe và tạp chất không tránh khỏi. Trong số các tạp chất không tránh khỏi, thì Nb, Zr, Mo, V v.v là các nguyên tố hình thành nên các cacbonitrua, do vậy tốt hơn là giảm chúng xuống càng nhiều càng tốt. Hàm lượng của các chất này tương ứng tốt hơn là 0,01 khối lượng hoặc nhỏ hơn.

(10) Khác

Theo sáng chế, khi biểu thị % khối lượng của Si là [Si], % khối lượng của Al là [Al], và % khối lượng của Mn là [Mn], thì tham số Q được thể hiện bằng công thức (1) sau đây là 2,0 hoặc lớn hơn.

$$Q=[Si]+2[Al]-[Mn] \quad (1)$$

Điều này là để tấm thép điện không định hướng theo sáng chế là pha α -Fe đơn và đảm bảo khả năng lớn lên của hạt tại thời điểm ủ khử ứng suất.

2. Liên quan đến cường độ {100} (cường độ tỷ lệ ngẫu nhiên của các định hướng {100} tại 1/2 lớp trung tâm)

Ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế, cường độ {100} được sử dụng là 2,4 hoặc lớn hơn. Cũng ở tấm thép này, tốt hơn là 3,0 hoặc lớn hơn, cụ thể là 3,5 hoặc lớn hơn. Lưu ý rằng, giới hạn trên không được thiết lập cụ thể, nhưng nó có thể là 30 hoặc nhỏ hơn.

Theo sáng chế, bằng cách làm cho cường độ {100} nằm trong khoảng trên, có thể thu được tấm thép điện không định hướng vượt trội về các đặc tính từ mà không bị giảm mật độ từ thông và giảm đáng kể tổn hao lõi khi ủ khử ứng suất hoặc khi xử lý nhiệt bổ sung khác.

Cường độ {100} nghĩa là tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên tia X của các pha α -Fe của {100}, có thể thấy được từ đồ thị cực nghịch đảo thu được bằng cách đo và tính bởi nhiều xạ tia X.

Lưu ý rằng, “tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên” là giá trị thu được bằng cách đo các cường độ tia X của mẫu chuẩn không có sự tích hợp vào bất kỳ định hướng cụ thể nào và mẫu thử trong các điều kiện giống nhau và lấy cường độ tia X thu được của mẫu thử chia cho cường độ tia X của mẫu chuẩn.

Phép đo được thực hiện tại vị trí có độ dày bằng 1/2 lớp của mẫu thử. Lúc này, bề

mặt đo được hoàn thiện bằng cách đánh bóng hóa học v.v để trở nên mịn.

3. Cỡ hạt

Ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế, cỡ hạt tinh thể là $30\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn, tốt hơn là $25\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là $15\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, giá trị giới hạn dưới tốt hơn là $3\mu\text{m}$ hoặc lớn hơn, tốt hơn nữa là $15\mu\text{m}$ hoặc lớn hơn. Nếu cỡ hạt tinh thể lớn hơn khoảng nêu trên, thì sự cải thiện về giá trị tổn hao lõi do quá trình ủ khử ứng suất nhỏ và dẫn đến các đặc tính từ của chi tiết sau khi ủ khử ứng suất sẽ giảm đi. Mặt khác, nếu nhỏ hơn khoảng nêu trên, thì giá trị tổn hao lõi của chi tiết không được xử lý bằng cách ủ khử ứng suất sẽ trở nên lớn hơn. Ngoài ra, nếu cỡ hạt tinh thể vượt quá $30\mu\text{m}$, thì độ bền kéo giảm và độ bền kéo mong muốn có thể không thu được. Ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế, bằng cách làm cho cỡ hạt tinh thể mịn hơn đến $30\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn, thì độ bền kéo tăng lên đến 600MPa hoặc lớn hơn và đạt được độ bền cao hơn. Lý do tại sao độ bền kéo tăng nếu các hạt tinh thể mịn được cho là như sau: độ bền kéo tăng lên nếu các sai lệch mạng trong vật liệu thép (khuyết tật mạng) trở nên khó di chuyển. Ngoài ra, đã biết rằng nếu các sai lệch mạng chạm vào biên hạt, thì chúng khó di chuyển. Nghĩa là, nếu có nhiều biên hạt, nói cách khác, nếu các hạt tinh thể được làm mịn hơn, thì độ bền kéo tăng lên.

Cỡ hạt tinh thể nêu trên là cỡ hạt trung bình và có thể thu được bằng phương pháp đo dưới đây.

Nghĩa là, mẫu thử có mặt cắt ngang song song với bề mặt cán của tấm thép điện không định hướng được chuẩn bị bằng cách đánh bóng. Bề mặt đã đánh bóng của mẫu thử này (sau đây còn được gọi là “bề mặt quan sát”) được đánh bóng điện phân để tạo ra bề mặt này, sau đó được phân tích cấu trúc tinh thể bằng phương pháp nhiễu xạ tán ngược điện tử (EBSD).

Từ phân tích EBSD, ở bề mặt quan sát, các biên có các chênh lệch tinh thể là 15° hoặc lớn hơn được coi là các biên hạt tinh thể, các vùng riêng rẽ được bao quanh bởi các biên hạt tinh thể này được coi là các hạt tinh thể riêng rẽ và vùng bao gồm 10000 hạt tinh thể hoặc nhiều hơn (vùng quan sát) được kiểm tra. Ở vùng quan sát, các đường kính của các hạt tinh thể khi được đo bằng các diện tích tương đương vòng tròn (các đường kính tương đương vòng tròn) được xác định là các cỡ hạt. Nghĩa là, cỡ hạt là

đường kính tương đương vòng tròn.

4. Các hạt kim loại Cu

Ở tấm thép điện không định hướng theo sáng chế, các hạt kim loại Cu có đường kính 100nm hoặc nhỏ hơn cũng có thể được chứa với lượng 5 hạt/ $10\mu\text{m}^2$ hoặc lớn hơn.

Theo sáng chế, sự có mặt của các hạt kim loại Cu được cho là làm tăng độ bền của tấm thép điện không định hướng theo sáng chế và cũng góp phần cải thiện các đặc tính từ tại thời điểm ủ khử ứng suất.

Theo sáng chế, như đã giải thích ở trên, đường kính của các hạt kim loại Cu là 100nm hoặc nhỏ hơn. Cụ thể là, tốt hơn là trong khoảng từ 1nm đến 20nm, cụ thể là 3nm đến 10nm. Các hạt lớn hơn khoảng nêu trên sẽ khiến cho hiệu quả làm tăng độ bền bị giảm đáng kể và cần phải có lượng lớn Cu, do đó ảnh hưởng bất lợi đối với các đặc tính từ trở nên lớn hơn. Mặt khác, nếu các hạt nhỏ hơn khoảng nêu trên, thì ảnh hưởng bất lợi đối với các đặc tính từ trở nên lớn hơn, do vậy nó không thích hợp. Đường kính của các hạt kim loại Cu có thể xác định bằng cách quan sát bằng kính hiển vi điện tử. Lưu ý rằng, “đường kính” của các hạt kim loại Cu cũng là đường kính tương đương vòng tròn.

Ngoài ra, mật độ số của các hạt kim loại Cu là 5/ $10\mu\text{m}^2$ hoặc lớn hơn. Cụ thể là, tốt hơn là 100/ $10\mu\text{m}^2$ hoặc lớn hơn, đặc biệt là 1000/ $10\mu\text{m}^2$ hoặc lớn hơn. Nằm trong khoảng nêu trên là hiệu quả trên quan điểm làm tăng độ bền.

Mật độ số của các hạt kim loại Cu được thiết lập bằng cách sử dụng mẫu thử, đo các oxit trong trường $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ và lấy trung bình của các giá trị đo được của ít nhất 5 trường hoặc nhiều hơn.

Để hình thành các hạt kim loại Cu trong tấm thép theo sáng chế, thì điều quan trọng là phải trải qua quá trình nhiệt sau đây. Nghĩa là, trong quy trình sản xuất tấm hoàn thiện, thì tấm này được duy trì trong vùng nhiệt từ 450°C đến 720°C trong 30 giây hoặc lâu hơn. Hơn nữa, trong các quy trình sau đó, tốt hơn là không duy trì tấm trong vùng nhiệt vượt quá 800°C trong 20 giây hoặc lâu hơn.

Nhờ trải qua quy trình này nên các hạt kim loại Cu có các đường kính và mật độ số đặc trưng được hình thành có hiệu quả và độ bền cao hơn có thể được tìm kiếm mà

không làm giảm gần như tất cả các đặc tính từ.

Sau quy trình xử lý nhiệt này thì vật liệu thép có độ bền cao hơn, do đó quy trình xử lý nhiệt này được thực hiện sau quy trình cán nguội. Việc thực hiện đồng thời cùng với quá trình ủ kết tinh lại và xử lý nhiệt khác mà được xem là cần thiết nhằm các mục đích khác có lợi trên quan điểm hiệu suất. Nghĩa là, nếu tấm thép điện được cán nguội, thì tốt hơn là duy trì nó ở vùng nhiệt 450°C đến 720°C trong 30 giây hoặc lớn hơn trong quy trình xử lý nhiệt cuối cùng sau khi cán nguội, trong khi đó nếu tấm thép điện được cán nóng, thì tốt hơn là duy trì lâu trong quy trình làm mát từ vùng nhiệt 750°C hoặc cao hơn trong quy trình xử lý nhiệt cuối cùng sau khi cán nóng.

Ngoài ra, tùy thuộc vào các đặc tính được nhắm vào, thì quá trình xử lý nhiệt thêm đôi khi được sử dụng, nhưng trong trường hợp này, tốt hơn là không duy trì tấm thép ở vùng nhiệt vượt quá 800°C trong 20 giây hoặc lâu hơn. Điều này là do việc thực hiện xử lý nhiệt ở các nhiệt độ hoặc trong thời gian vượt quá mức này thì các pha kim loại Cu được hình thành đôi khi hòa tan lại hoặc kết tụ ngược để hình thành các pha kim loại thô.

Sáng chế không sử dụng sự tăng bền bằng cách làm mịn cấu trúc tinh thể, do đó có hiệu quả ngay cả khi thực hiện SRA (ủ khử ứng suất) để phục hồi biến dạng được đưa vào vật liệu khi dập khuôn tấm thép và gia công nó thành một phần động cơ và làm các hạt tinh thể lớn lên để phục hồi và cải thiện từ tính, thì sự suy giảm độ bền là nhỏ.

5. Khác

Tấm thép điện không định hướng theo sáng chế còn có thể có màng cách điện trên bề mặt của tấm thép.

Màng cách điện theo sáng chế không bị giới hạn cụ thể. Nó có thể được lựa chọn và sử dụng thích hợp theo ứng dụng v.v trong số các loại đã biết. Nó có thể là màng gốc hữu cơ hoặc màng gốc vô cơ. Về màng gốc hữu cơ, ví dụ như, nhựa gốc polyamin, nhựa acrylic, nhựa acrylstyren, nhựa alkit, nhựa polyeste, nhựa silicon, nhựa florơ, nhựa polyolefin, nhựa styre, nhựa vinyl axetat, nhựa epoxy, nhựa phenol, nhựa uretan, nhựa melamin v.v có thể được đề cập. Ngoài ra, về màng gốc vô cơ, ví dụ như, màng gốc photphat hoặc màng gốc nhôm photphat hoặc ngoài ra màng kết hợp hữu cơ - vô cơ chứa nhựa nêu trên v.v có thể được đề cập.

Độ dày của màng cách điện không bị giới hạn cụ thể, nhưng tốt hơn là độ dày mỗi phía là lớn hơn hoặc bằng $0,05\mu\text{m}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $2\mu\text{m}$.

Phương pháp tạo thành màng cách điện không bị giới hạn cụ thể, nhưng ví dụ như nhựa ở trên hoặc chất vô cơ có thể được hòa tan trong dung môi để điều chế chế phẩm cho sự tạo thành màng cách điện và chế phẩm để tạo thành màng cách điện có thể được phủ đồng đều trên bề mặt của tấm thép theo phương pháp đã biết để tạo thành màng cách điện.

Độ dày của tấm thép điện theo sáng chế không bị giới hạn cụ thể chỉ cần điều chỉnh thích hợp theo ứng dụng v.v, nhưng trên quan điểm sản xuất, nó thường là lớn hơn hoặc bằng $0,10\text{mm}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $0,60\text{mm}$, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng $0,015\text{mm}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $0,50\text{mm}$. Trên quan điểm cân bằng các đặc tính từ và hiệu suất, thì tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng $0,015\text{mm}$ và nhỏ hơn hoặc bằng $0,35\text{mm}$.

Tấm thép điện theo sáng chế đặc biệt phù hợp cho các ứng dụng trong đó nó thường được dập khuôn thành hình dạng mong muốn. Ví dụ như, nó có thể thích hợp để sử dụng cho các động cơ trợ lực dùng cho thiết bị điện, các động cơ bước, các máy nén của thiết bị điện, các động cơ dùng cho các ứng dụng công nghiệp, các động cơ truyền động dùng cho xe điện, xe lai và tàu hỏa, các máy phát điện và các lõi dùng cho nhiều ứng dụng khác nhau, các cuộn cảm, các lò phản ứng, các bộ cảm biến dòng điện và các ứng dụng thông thường đã biết khác mà trong đó các tấm thép điện được sử dụng.

Trong số này, theo sáng chế, nó có thể được dùng thích hợp cho các lõi động cơ được giải thích sau đây để dùng cho rôto và lõi động cơ để dùng cho stato.

6. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng nêu trên theo sáng chế không bị giới hạn cụ thể, nhưng (1) phương pháp ủ tấm cán nóng ở nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội, (2) phương pháp đúc liên tục phôi tấm mỏng, (3) phương pháp cán nóng bồi trơn, (4) phương pháp đúc dải v.v có thể được đề cập sau đây.

Lưu ý rằng, bất kỳ phương pháp nào thì thành phần hóa học của phôi tấm hoặc nguyên liệu gốc đều là thành phần hóa học được mô tả ở phần “A. Tấm thép điện không định hướng, 1. Thành phần hóa học” nêu trên.

(1) Phương pháp ủ tấm cán nóng ở nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội

Đầu tiên, phôi tấm được sản xuất theo quy trình luyện thép. Phôi tấm được nung nóng bằng lò nung lại, sau đó được cán thô và cán hoàn thiện liên tiếp trong quy trình cán nóng để thu được cuộn cán nóng. Các điều kiện cán nóng không bị giới hạn cụ thể. Nó có thể là phương pháp sản xuất chung, nghĩa là, phương pháp sản xuất hoàn thành việc cán nóng hoàn thiện phôi tấm đã nung nóng ở 1000 đến 1200°C ở 700 đến 900°C và cuộn nó ở 500 đến 700°C.

Tiếp theo, cuộn cán nóng của tấm thép được ủ tấm cán nóng. Do bước ủ tấm cán nóng, nên tấm thép được làm cho kết tinh lại và các hạt tinh thể lớn lên thô đến cỡ hạt tinh thể là 300 đến 500μm.

Bước ủ tấm cán nóng có thể là ủ liên tục hoặc ủ theo mẻ. Trên quan điểm về chi phí, bước ủ tấm cán nóng tốt hơn là được thực hiện theo cách ủ liên tục. Về ủ liên tục, các hạt tinh thể được lớn lên ở nhiệt độ cao trong thời gian ngắn. Bằng cách làm cho các hàm lượng của Si v.v thỏa mãn tham số $Q \geq 2,0$, có thể biến chúng thành các thành phần mà không gây ra sự biến đổi ferit-austenit ở nhiệt độ cao. Trong trường hợp ủ liên tục, nhiệt độ ủ tấm cán nóng ví dụ như có thể là 1050°C.

Tiếp theo, tấm thép được tẩy gỉ trước khi cán nguội.

Tẩy gỉ là quy trình cần thiết để loại bỏ vảy cặn trên bề mặt của tấm thép. Các điều kiện tẩy gỉ được lựa chọn theo tình trạng loại bỏ vảy cặn. Lưu ý rằng, thay vì tẩy gỉ, máy mài có thể được sử dụng để loại bỏ vảy cặn.

Tiếp theo, tấm thép được cán nguội.

Ở đây, ở tấm thép điện không định hướng mức cao có hàm lượng Si cao, nếu cỡ hạt tinh thể quá thô thì tấm thép trở nên giòn và sự gãy giòn có thể xảy ra trong khi cán nguội. Vì lý do này, thông thường cỡ hạt trung bình của tấm thép trước khi cán nguội được giới hạn chung là 200μm hoặc nhỏ hơn. Mặt khác, theo sáng chế, cỡ hạt trung bình trước khi cán nguội là 300 đến 500μm và quá trình cán nguội sau đây được thực hiện bằng cách giảm cán từ 88 đến 97%.

Lưu ý rằng, thay vì cán nguội, trên quan điểm tránh gãy giòn, thì cán ấm có thể được thực hiện ở nhiệt độ là nhiệt độ chuyển tiếp dẻo/giòn của vật liệu hoặc lớn hơn.

Sau đó, nếu thực hiện ủ hoàn thiện, thì các hạt đã kết tinh lại ND//<100> lớn lên. Vì điều này, nên cường độ mặt {100} tăng lên và xác suất có mặt các hạt định hướng {100} tăng lên.

Tiếp theo, tấm thép được ủ hoàn thiện.

Bước ủ hoàn thiện phải được thực hiện trong các điều kiện để thu được cỡ hạt tinh thể sao cho thu được các đặc tính từ mong muốn, nhưng các điều kiện này có thể là khoảng của các điều kiện ủ hoàn thiện của tấm thép điện không định hướng thông thường. Tuy nhiên, để thu được các hạt tinh thể mịn thì nhiệt độ thấp được mong đợi. Nhiệt độ 800°C hoặc nhỏ hơn được mong đợi.

Bước ủ hoàn thiện có thể là ủ liên tục hoặc ủ theo mẻ. Trên quan điểm về chi phí, bước ủ hoàn thiện tốt hơn là được thực hiện theo cách ủ liên tục.

Tấm thép điện không định hướng nêu trên theo sáng chế thu được thông qua các quy trình nêu trên.

(2) Phương pháp đúc liên tục phôi tấm mỏng

Theo phương pháp đúc liên tục phôi tấm mỏng, phôi tấm dày từ 30 đến 60mm được sản xuất trong quá trình luyện thép. Bước cán thô của quy trình cán nóng được bỏ qua. Tốt hơn là làm cho các tinh thể cột đủ lớn trong phôi tấm mỏng và để cho các định hướng {100}<011> thu được bằng cách gia công các tinh thể cột trong khi cán nóng ở tấm cán nóng. Trong quy trình này, các tinh thể cột lớn lên sao cho các mặt {100} song song với bề mặt của tấm thép. Vì mục đích này, người ta mong muốn không thực hiện khuấy điện từ ở bước đúc liên tục. Ngoài ra, người ta mong đợi giảm đi đáng kể các chất lẫn cực nhỏ trong thép nóng chảy mà thúc đẩy sự hình thành các hạt nhân hóa rắn.

Hơn nữa, sau khi nung nóng phôi tấm mỏng trong lò nung lại, thì nó được cán hoàn thiện liên tục trong quy trình cán nóng để thu được cuộn cán nóng dày xấp xỉ 2mm.

Sau đó, tấm thép của cuộn cán nóng được ủ tấm cán nóng, tẩy gỉ, cán nguội và ủ hoàn thiện theo cách giống như ở “(1) phương pháp ủ tấm cán nóng nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội” nêu trên.

Tấm thép điện không định hướng nêu trên theo sáng chế thu được thông qua các quy trình nêu trên.

(3) Phương pháp cán nóng bôi trơn

Đầu tiên, phôi tấm được sản xuất theo quy trình luyện thép. Phôi tấm được nung nóng bằng lò nung lại, sau đó được cán thô và cán hoàn thiện liên tiếp trong quy trình cán nóng để thu được cuộn cán nóng.

Ở đây, mặc dù thường được thực hiện mà không có sự bôi trơn, nhưng bước cán nóng này là bước cán nóng được thực hiện trong các điều kiện bôi trơn thích hợp. Nếu thực hiện cán nóng trong các điều kiện bôi trơn thích hợp, thì biến dạng cắt đưa vào vùng lân cận của lớp bề mặt của tấm thép giảm đi. Vì điều này, nên thông thường các cấu trúc đã gia công có định hướng RD//<011> được gọi là các sợi α lớn lên ở trung tâm tấm thép có thể được làm cho chạm đến gần lớp bề mặt của tấm thép. Ví dụ như, như được mô tả ở Công bố đơn Patent chưa qua xét nghiệm Nhật Bản số 10-36912, tại thời điểm cán nóng, bằng cách trộn từ 0,5 đến 20% mỡ là chất bôi trơn vào nước làm mát con lăn cán nóng và làm cho hệ số ma sát trung bình giữa các con lăn cán nóng hoàn thiện và tấm thép là 0,25 hoặc nhỏ hơn, thì các sợi α có thể lớn lên. Các điều kiện nhiệt độ tại thời điểm này không được quy định cụ thể. Nhiệt độ có thể tương tự “(1) phương pháp ủ tấm cán nóng nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội” nêu trên.

Sau đó, tấm thép của cuộn cán nóng được ủ tấm cán nóng, tẩy gỉ, cán nguội và ủ hoàn thiện theo cách giống như ở “(1) phương pháp ủ tấm cán nóng nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội” nêu trên. Nếu làm cho các sợi α lớn lên gần lớp bề mặt của tấm thép trong tấm thép của cuộn cán nóng, ở bước ủ tấm cán nóng sau đó, thì $\{h11\}<1/h12>$, cụ thể là, $\{100\}<012>$ đến $\{411\}<148>$ kết tinh lại. Nếu tẩy gỉ, sau đó cán nguội và ủ hoàn thiện tấm thép, thì $\{100\}<012>$ đến $\{411\}<148>$ kết tinh lại. Vì điều này, nên cường độ mặt $\{100\}$ tăng lên và xác suất có mặt của các hạt định hướng $\{100\}$ tăng lên.

Tấm thép điện không định hướng nêu trên theo sáng chế thu được thông qua các quy trình nêu trên.

(4) Phương pháp đúc dải

Đầu tiên, trong quá trình luyện thép, bước đúc dải được sử dụng để sản xuất trực tiếp cuộn cán nóng dày từ 1 đến 3mm.

Ở bước đúc dải, bằng cách làm nguội nhanh thép nóng chảy giữa cặp con lăn làm

mát bằng nước, có thể trực tiếp thu được tấm thép có độ dày tương ứng với cuộn cán nóng. Lúc này, bằng cách tăng sự chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt ngoài cùng của tấm thép mà tiếp xúc với các con lăn làm mát bằng nước và thép nóng chảy, thì các hạt tinh thể hóa rắn tại bề mặt lớn lên theo hướng vuông góc với tấm thép và hình thành các tinh thể cột.

Ở thép có cấu trúc BCC, các tinh thể cột lớn lên sao cho các mặt $\{100\}$ của chúng song song với bề mặt của tấm thép. Cường độ mặt $\{100\}$ tăng lên và xác suất có mặt của các hạt định hướng $\{100\}$ tăng lên. Ngoài ra, điều quan trọng là không được phép thay đổi khác các mặt $\{100\}$ càng nhiều càng tốt trong quá trình biến đổi, gia công hoặc kết tinh lại. Cụ thể là, điều quan trọng là chứa nguyên tố thúc đẩy ferit Si và giới hạn hàm lượng của nguyên tố thúc đẩy austenit Mn để làm cho cấu trúc pha ferit đơn ngay sau khi hóa rắn về nhiệt độ phòng mà không phải trải qua quá trình hình thành pha austenit ở nhiệt độ cao.

Ngay cả khi sự biến đổi austenit-ferit xảy ra, một vài mặt $\{100\}$ vẫn được duy trì, nhưng bằng cách làm cho các hàm lượng của Si v.v đáp ứng tham số $Q \geq 2,0$, thì có thể làm cho các thành phần không gây ra sự biến đổi ferit-austenit ở nhiệt độ cao.

Tiếp theo, tấm thép của cuộn cán nóng thu được bằng cách đúc dải được cán nóng sau đó tấm thép đã cán nóng thu được được ủ (bước ủ tấm cán nóng).

Lưu ý rằng, bước cán nóng không cần phải thực hiện. Cũng có thể thực hiện là xử lý sau.

Ngoài ra, cũng có thể thực hiện xử lý sau mà không thực hiện bước ủ tấm cán nóng. Ở đây, nếu đưa 30% hoặc lớn hơn biến dạng vào tấm thép bằng cách cán nóng, nếu thực hiện bước ủ tấm cán nóng ở nhiệt độ 550°C hoặc lớn hơn, thì sự kết tinh lại xảy ra ở các phần mà biến dạng được đưa vào và các định hướng tinh thể đôi khi thay đổi. Do đó, nếu đưa vào lớn hơn hoặc bằng 30% biến dạng bằng cách cán nóng, thì bước ủ tấm cán nóng không được thực hiện hoặc được thực hiện ở nhiệt độ mà không có sự kết tinh lại.

Tiếp theo, tấm thép được cán nguội sau khi tẩy gỉ.

Cán nguội là quy trình cần thiết để thu được độ dày sản phẩm mong muốn. Tuy nhiên, nếu sự giảm cán của bước cán nguội trở nên quá mức, thì định hướng tinh thể

mong muốn có thể không thu được ở sản phẩm hoàn thiện. Vì lý do này, sự giảm cán của bước cán nguội tốt hơn là 90% hoặc nhỏ hơn, tốt hơn nữa là 85% hoặc nhỏ hơn, còn tốt hơn nữa là 80% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của sự giảm cán của bước cán nguội không được thiết lập cụ thể, nhưng giới hạn dưới của sự giảm cán được xác định từ độ dày của tấm thép trước khi cán nguội và độ dày mong muốn của sản phẩm hoàn thiện. Ngoài ra, ngay cả khi không thu được các đặc tính bề mặt và độ phẳng được tìm kiếm ở các tấm thép cán mỏng, thì bước cán nguội trở nên cần thiết, do vậy bước cán nguội nhỏ nhất nhằm mục đích này là cần thiết.

Bước cán nguội có thể được thực hiện bởi máy cán đôi chiều hoặc máy cán nguội tandem.

Lưu ý rằng, thay vì cán nguội, trên quan điểm tránh gãy giòn, thì cán ấm có thể được thực hiện ở nhiệt độ là nhiệt độ chuyển tiếp dẻo/giòn của vật liệu hoặc lớn hơn.

Lưu ý rằng, tẩy gỉ và ủ hoàn thiện được thực hiện theo cách giống với “(1) phương pháp ủ tấm cán nóng nhiệt độ cao + giảm mạnh cán nguội” nêu trên.

Tấm thép điện không định hướng theo sáng chế nhắc đến ở trên thu được thông qua các quy trình nêu trên.

Sáng chế không chỉ giới hạn ở phương án nêu trên. Phương án nêu trên chỉ là minh họa. Bất kỳ phương thức nào về cơ bản có cùng sự cấu thành ý tưởng kỹ thuật được mô tả ở các yêu cầu bảo hộ của sáng chế và thể hiện các hoạt động và hiệu quả tương tự đều thuộc phạm vi kỹ thuật của sáng chế.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, các ví dụ sẽ được minh họa để giải thích cụ thể sáng chế. Lưu ý rằng, các điều kiện ở các ví dụ là các minh họa được dùng để xác nhận khả năng gia công và các hiệu quả của sáng chế. Sáng chế không chỉ giới hạn ở các điều kiện của các ví dụ này. Sáng chế có thể sử dụng nhiều điều kiện khác nhau chỉ cần không chệch khỏi bản chất và đạt được mục đích.

Ví dụ 1

Các phôi tấm dày 250mm có các thành phần hóa học được thể hiện ở bảng 1 sau đây được chuẩn bị.

Tiếp theo, các phôi tấm này được cán nóng để cho ra các tấm đã được cán nóng dày 5,0mm và 2,0mm. Nhiệt độ nung lại phôi tấm ở thời điểm đó là 1200°C, nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và nhiệt độ cuộn là 650°C. Các tấm đã cán nóng được ủ ở 1050°C trong 30 phút, sau đó được ngâm để loại bỏ lớp cặn bề mặt. Sau đó, chúng được cán nguội thành 0,25mm. Các thao tác ủ hoàn thiện được thực hiện tương ứng ở 750°C và 1050°C trong 1 phút. A-38 đến 40 được ủ ở 600°C trong 1 phút sau khi ủ hoàn thiện là xử lý kết tủa Cu.

Các tấm thép điện không định hướng thu được được đo cấu trúc tinh thể {100}, cỡ hạt trung bình, độ bền kéo, số lượng các chất kết tủa Cu, tổn hao lõi W10/400 và mật độ từ thông B50. Cấu trúc tinh thể {100} được tìm bằng cách tính đồ thị cực nghịch đảo từ nhiễu xạ tia X. Tổn hao lõi W10/400 là tổn hao năng lượng (W/kg) xuất hiện ở sắt khi dùng từ trường xoay chiều 1,0T ở 400Hz. Mật độ từ thông B50 là mật độ từ thông xuất hiện ở sắt khi sử dụng từ trường 5000A/m ở 50Hz. Giá trị đo là trung bình của hướng cán và hướng 90° khi cắt thành các miếng hình vuông 55mm của các tấm thép (một mặt theo hướng cán) từ các vật liệu gốc.

Sau phép đo trên, quá trình ủ khử ứng suất được thực hiện. Quá trình ủ khử ứng suất được thực hiện bằng cách tăng nhiệt độ lên 100°C/giờ, ngâm trong 2 giờ sau khi đạt đến 800°C, sau đó làm nguội dần dần với 100°C/giờ. Tuy nhiên, quá trình ủ khử ứng suất của các vật liệu được xử lý kết tủa Cu được thực hiện bằng cách tăng nhiệt độ lên 100°C/giờ, ngâm trong 2 giờ sau khi đạt đến 950°C, sau đó làm nguội dần dần với 100°C/giờ. Sau khi ủ khử ứng suất, quy trình tương tự được tiếp tục như trên để đo tổn hao lõi và mật độ từ thông.

Để khảo sát độ bền của các vật liệu trước khi ủ khử ứng suất, các mảnh thử nghiệm được lấy theo hướng song song với hướng cán và phải trải qua các thử nghiệm kéo. Về các mảnh thử nghiệm lúc này, các mảnh thử nghiệm theo tiêu chuẩn JIS số 5 được sử dụng. Các ứng suất tối đa (các độ bền kéo) cho đến khi đứt được đo. Các kết quả đo được thể hiện ở bảng 2.

Các vật liệu được làm từ các tấm đã được cán nóng dày 5,0mm có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện lớn hơn 2,4 (A1 đến 40, A44 đến 46, A50 và A57 đến 58). Các vật liệu được làm từ các tấm đã được cán nóng dày 2,0mm có các cường độ {100}

sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4 (A41 đến 43 và A47 đến 49). A-51 đến 56 là các tấm được cán nóng có độ dày 5,0mm, nhưng Q nhỏ hơn 2,0, do vậy sau khi ủ hoàn thiện, các cường độ $\{100\}$ nhỏ hơn 2,4. Các cỡ hạt tinh thể là khoảng 20 μm hoặc chừng đó ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 750°C (A1 đến 40 và A47 đến 57) và khoảng 100 μm ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 1050°C (A-41 đến 46).

A-1 đến 30 được thay đổi về các nguyên tố phụ gia khác nhau. Bất kể các nguyên tố phụ gia nào được bổ sung, hiệu quả làm giảm đáng kể tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất vẫn thu được. A-31 đến 40 có các nguyên tố phụ gia tùy chọn được bổ sung. Ngay cả khi bổ sung các nguyên tố phụ gia tùy chọn, thì hiệu quả tổn hao lõi giảm đáng kể tại thời điểm ủ khử ứng suất vẫn không thay đổi. A-37 đến 40 có Cu được bổ sung là nguyên tố phụ gia tùy chọn. Trong số này, A-38 đến 40 là các ví dụ sáng chế được xử lý để tạo ra sự kết tủa của các hạt kim loại. Cỡ hạt trung bình và số lượng các chất kết tủa của các hạt kim loại Cu ở A-38 đến 40 tương ứng là khoảng 30nm và khoảng 100/10 μm^2 . Do sự xử lý kết tủa này, nếu so sánh A-38 đến 40 và các ví dụ sáng chế A-1 đến 3 với các thành phần tương tự, người ta thấy rằng giữa A-1 và A-38, A-2 và A-39 và A-3 và A-40, các ví dụ này được xử lý để tạo ra kết tủa có độ bền kéo cao hơn. Do đó, với việc bổ sung Cu là nguyên tố phụ gia tùy chọn và thực hiện xử lý kết tủa của các hạt kim loại, thì hiệu quả thu được có thể làm cho độ bền kéo đặc biệt cao.

A-1 và 41 đến 49 hầu như giống nhau về các thành phần và chỉ thay đổi các điều kiện sản xuất. Biểu đồ thể hiện chung các kết quả đo tổn hao lõi sau khi SRA của A-1, 41, 44, và 47 trong số này được thể hiện trên FIG.1. Bằng cách tăng cường độ $\{100\}$ hoặc làm cho các hạt tinh thể trước khi ủ khử ứng suất nhỏ hơn để làm chúng thô hơn sau khi ủ khử ứng suất, có hiệu quả làm giảm tổn hao lõi, nhưng người ta thấy rằng khi kết hợp cả hai, thì có thể giảm tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất nhiều hơn do hiệu ứng đồng vận. Lưu ý rằng, liên quan đến tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất, tổn hao lõi khi Si là 2,0 đến 2,3% là 9,5W/kg hoặc nhỏ hơn, tổn hao lõi khi Si bằng 2,4 đến 3,1% là 9,0W/kg hoặc nhỏ hơn, và tổn hao lõi khi Si bằng 3,8 đến 4,0% là 8,5W/kg hoặc nhỏ hơn được xem là đạt các mức độ. Các tổn hao lõi cao hơn tổn hao lõi đạt được ngay cả khi không sử dụng sáng chế, do vậy được xem là giảm.

Lý do tại sao tổn hao lõi giảm nếu cường độ $\{100\}$ tăng lên được cho là các định

hướng của từ hóa dễ dàng của sắt bcc được sắp hàng trong mặt phẳng, lượng từ thông rò rỉ ra ngoài hệ thống nhỏ hơn và tổn hao do sự di chuyển vách miền từ cũng nhỏ hơn. Ngoài ra, ngay cả khi cỡ hạt trung bình sau khi ủ khử ứng suất được làm cho giống nhau khoảng $100\mu\text{m}$, thay vì làm ra cỡ hạt này bằng cách ủ hoàn thiện, thì tổn hao lõi sẽ thấp nếu làm cho cỡ hạt mịn hơn sau khi ủ hoàn thiện để nó là $100\mu\text{m}$ sau khi ủ khử ứng suất. Người ta tin rằng lý do đó là biến dạng cực nhỏ được đưa vào tại thời điểm làm mát tại thời điểm ủ hoàn thiện bị loại bỏ do sự di chuyển của các biên hạt tinh thể. Lý do của hiệu ứng đồng vận này được đoán là bước ủ khử ứng suất làm cho các hạt định hướng $\{100\}$ ăn mòn các hạt định hướng khác mà không tốt đối với các đặc tính từ.

A-50 thể hiện các đặc tính khi Mg và các nguyên tố khác để làm sạch MnS không được chứa. Ngay cả khi thực hiện ủ khử ứng suất, cỡ hạt tinh thể không lớn lên một cách thỏa đáng và kết quả là tổn hao lõi kém hơn.

A-41, 42 và 43 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ $\{100\}$ nhỏ hơn 2,4, nhưng các cỡ hạt lớn hơn $30\mu\text{m}$. Ngoài ra, A-44, 45, 46 và 58 thể hiện các ví dụ so sánh với các cường độ $\{100\}$ là 2,4 hoặc lớn hơn, nhưng các cỡ hạt lớn hơn $30\mu\text{m}$. Từ các ví dụ so sánh này, người ta thấy rằng nếu cỡ hạt lớn hơn $30\mu\text{m}$, thì có thể không thu được đủ độ bền kéo.

A-51 đến 56 thể hiện các ví dụ so sánh với Q nhỏ hơn 2,0. Ở các ví dụ so sánh này, các tấm thép không là các pha $\alpha\text{-Fe}$ đơn, do đó tại thời điểm bước ủ tấm cán nóng, các cỡ hạt tinh thể không thể được tạo ra thô hơn và các cường độ $\{100\}$ sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4.

Bảng 1

Số		Các thành phần (% khối lượng)																	Q		Ghi chú																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		C	Si	Mn	Al	P	S	Mg	Ca	Sr	Ba	Ce	La	Nd	Pr	Zn	Cd	Sn	Cr	Cu																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
A-1	0.0018	2.95	0.19	0.28	0.010	0.0014	0.0048	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---</

Bảng 2

Số	Si	Cường độ {100} của cấu trúc trước khi ủ khử ứng suất	Cỡ hạt trước khi ủ khử ứng suất (μm)	Các đặc tính từ trước khi ủ khử ứng suất		Các đặc tính từ sau khi ủ khử ứng suất		Độ bền kéo trước khi ủ khử ứng suất (MPa)	Số các hạt Cu nhỏ hơn hoặc bằng 100nm trước khi ủ khử ứng suất (/10μm ²)	Ghi chú
				W10/400 (W/kg)	B50 (T)	W10/400 (W/kg)	B50 (T)			
A-1	2,95	2,5	21	39,9	1,69	8,5	1,71	685	0	Ví dụ sáng chế
A-2	2,10	2,6	21	45,4	1,74	9,1	1,76	600	0	Ví dụ sáng chế
A-3	3,90	3,1	19	32,4	1,60	7,8	1,65	788	0	Ví dụ sáng chế
A-4	2,96	2,9	21	39,6	1,70	8,5	1,72	683	0	Ví dụ sáng chế
A-5	2,00	2,6	21	44,3	1,74	9,2	1,76	617	0	Ví dụ sáng chế
A-6	3,95	2,7	22	31,2	1,61	7,8	1,64	788	0	Ví dụ sáng chế
A-7	2,97	2,9	18	39,7	1,69	8,6	1,71	677	0	Ví dụ sáng chế
A-8	2,10	2,9	20	44,7	1,73	9,1	1,75	612	0	Ví dụ sáng chế
A-9	3,97	2,7	19	32,0	1,61	7,8	1,65	789	0	Ví dụ sáng chế
A-10	2,98	2,7	22	40,4	1,70	8,4	1,71	680	0	Ví dụ sáng chế
A-11	2,20	3,0	21	45,9	1,74	9,1	1,75	607	0	Ví dụ sáng chế
A-12	3,99	3,0	21	32,4	1,60	7,8	1,64	774	0	Ví dụ sáng chế
A-13	2,96	3,1	22	39,8	1,69	8,5	1,71	673	0	Ví dụ sáng chế
A-14	2,15	3,0	19	44,5	1,73	9,1	1,76	617	0	Ví dụ sáng chế
A-15	3,96	2,8	20	31,4	1,61	7,9	1,65	777	0	Ví dụ sáng chế
A-16	3,00	2,9	22	40,2	1,69	8,5	1,71	675	0	Ví dụ sáng chế
A-17	2,22	2,6	21	44,3	1,73	9,0	1,76	601	0	Ví dụ sáng chế
A-18	3,87	2,8	21	32,9	1,61	7,8	1,65	771	0	Ví dụ sáng chế
A-19	2,95	2,7	21	39,7	1,70	8,5	1,72	688	0	Ví dụ sáng chế
A-20	2,13	3,0	22	44,0	1,73	9,1	1,75	604	0	Ví dụ sáng chế
A-21	3,97	2,6	18	32,7	1,60	7,9	1,64	773	0	Ví dụ sáng chế
A-22	2,98	3,0	22	39,8	1,69	8,5	1,71	674	0	Ví dụ sáng chế
A-23	2,06	3,0	20	45,6	1,73	9,0	1,76	619	0	Ví dụ sáng chế
A-24	3,63	3,0	19	31,7	1,60	7,8	1,65	783	0	Ví dụ sáng chế
A-25	2,99	2,9	21	39,8	1,69	8,7	1,71	675	0	Ví dụ sáng chế
A-26	2,30	3,0	19	45,4	1,73	9,2	1,75	606	0	Ví dụ sáng chế
A-27	3,88	2,9	22	31,3	1,60	7,9	1,64	786	0	Ví dụ sáng chế
A-28	2,95	2,8	21	39,6	1,70	8,6	1,72	679	0	Ví dụ sáng chế
A-29	2,20	3,0	19	44,0	1,73	9,0	1,76	604	0	Ví dụ sáng chế
A-30	3,86	2,6	19	32,0	1,60	7,8	1,65	780	0	Ví dụ sáng chế
A-31	2,98	2,9	20	40,4	1,69	8,6	1,71	684	0	Ví dụ sáng chế
A-32	2,12	2,7	19	45,6	1,74	9,0	1,76	600	0	Ví dụ sáng chế
A-33	3,94	2,9	21	32,4	1,61	7,8	1,65	778	0	Ví dụ sáng chế
A-34	2,97	2,6	20	39,7	1,69	8,6	1,71	674	0	Ví dụ sáng chế
A-35	2,10	2,8	19	44,7	1,73	9,1	1,76	615	0	Ví dụ sáng chế
A-36	3,97	3,0	20	32,9	1,60	7,9	1,64	790	0	Ví dụ sáng chế
A-37	2,98	2,5	22	39,5	1,69	8,4	1,71	686	2	Ví dụ sáng chế
A-38	2,98	2,7	20	38,1	1,70	8,6	1,71	730	105	Ví dụ sáng chế
A-39	2,03	2,6	21	46,0	1,74	9,1	1,76	657	102	Ví dụ sáng chế
A-40	3,89	3,0	19	31,7	1,60	7,8	1,65	807	103	Ví dụ sáng chế
A-41	2,97	0,3	102	10,6	1,65	10,5	1,62	460	0	Ví dụ so sánh
A-42	2,96	0,4	90	10,7	1,65	10,3	1,61	455	0	Ví dụ so sánh
A-43	2,92	0,4	101	10,5	1,64	10,4	1,61	456	0	Ví dụ so sánh
A-44	2,97	2,6	100	10,2	1,70	10,1	1,70	469	0	Ví dụ so sánh
A-45	2,96	3,0	86	10,2	1,69	10,0	1,69	466	0	Ví dụ so sánh
A-46	2,92	2,8	95	10,2	1,70	10,0	1,70	464	0	Ví dụ so sánh
A-47	2,97	0,3	18	40,0	1,63	10,0	1,61	681	0	Ví dụ so sánh
A-48	2,94	0,6	19	40,0	1,63	10,0	1,61	673	0	Ví dụ so sánh
A-49	2,95	0,5	20	40,2	1,63	10,0	1,61	670	0	Ví dụ so sánh
A-50	2,98	2,5	20	39,9	1,69	29,8	1,69	678	0	Ví dụ so sánh
A-51	2,50	0,4	21	39,4	1,63	12,8	1,61	676	0	Ví dụ so sánh
A-52	2,49	0,3	18	38,5	1,62	12,3	1,60	689	0	Ví dụ so sánh
A-53	2,45	0,3	20	37,1	1,61	11,0	1,59	699	0	Ví dụ so sánh
A-54	2,41	0,3	20	35,8	1,60	10,8	1,58	705	0	Ví dụ so sánh
A-55	2,98	0,5	21	33,7	1,58	10,2	1,56	727	0	Ví dụ so sánh
A-56	2,92	0,3	22	32,3	1,57	9,8	1,55	750	0	Ví dụ so sánh
A-57	2,11	2,6	28	43,2	1,74	9,1	1,76	603	0	Ví dụ sáng chế
A-58	2,12	2,7	35	40,1	1,74	9,1	1,76	582	0	Ví dụ so sánh

Ví dụ 2

Các phôi tấm dày 30mm và các phôi tấm dày 250mm có các thành phần hóa học được thể hiện ở bảng 3 sau đây được chuẩn bị. Tiếp theo, các phôi tấm này được cán nóng để tạo ra các tấm đã được cán nóng dày 2,0mm. Nhiệt độ nung lại phôi tấm ở thời điểm đó là 1200°C, nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và nhiệt độ cuộn là 650°C. Sau đó, các tấm được ngâm để loại bỏ lớp cặn bề mặt. Sau đó, chúng được cán nguội đến 0,25mm. Các thao tác ủ hoàn thiện được thực hiện ở 750°C trong 1 phút. B-38 đến 40 được ủ ở 600°C trong 1 phút sau khi ủ hoàn thiện là xử lý kết tủa Cu.

Các tấm thép điện không định hướng thu được được đo cấu trúc tinh thể {100}, cỡ hạt trung bình, độ bền kéo, số lượng các chất kết tủa Cu, tổn hao lõi W10/400 và mật độ từ thông B50 theo các phương pháp giống với ví dụ 1. Thử nghiệm kéo và ủ khử ứng suất tiếp theo được thực hiện theo cách giống như ở ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện ở bảng 4.

Các vật liệu được làm từ các phôi tấm dày 30mm có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện lớn hơn 2,4 (B-1 đến 40, B-44 đến 46, B-50 và B-57 đến 58). Các vật liệu được làm từ các phôi tấm dày 250mm có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4 (B-41 đến 43 và B-47 đến 49). B-51 đến 56 được làm từ các phôi tấm có độ dày 30mm, nhưng có Q nhỏ hơn 2,0, do đó có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4. Các cỡ hạt tinh thể là khoảng 20μm hoặc chùng đó ở các vật liệu được ủ hoàn thiện 750°C (B-1 đến 40 và B-47 đến 57) và khoảng 100μm ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 1050°C (B-41 đến 46).

B-1 đến 30 thay đổi về các nguyên tố phụ gia khác nhau. Bất kể các nguyên tố phụ gia nào được bổ sung thì vẫn thu được hiệu quả làm giảm đáng kể tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất. B-31 đến 40 có các nguyên tố phụ gia tùy chọn được bổ sung vào. Ngay cả khi bổ sung các nguyên tố phụ gia tùy chọn, thì hiệu quả tổn hao lõi giảm đáng kể tại thời điểm ủ khử ứng suất vẫn không thay đổi. B-37 đến 40 có Cu được bổ sung là nguyên tố phụ gia tùy chọn. Trong số này, B-38 đến 40 là các ví dụ sáng chế được xử lý để tạo ra kết tủa của các hạt kim loại. Kích cỡ trung bình và số lượng các kết tủa của các hạt kim loại Cu ở B-38 đến 40 tương ứng là khoảng 30nm và khoảng 100/10μm². Do sự xử lý kết tủa này, nếu so sánh B-38 đến 40 và các ví dụ sáng chế B-1 đến 3 có các thành

phần tương tự, người ta thấy rằng giữa B-1 và B-38, B-2 và B-39, và B-3 và B-40, các ví dụ này được xử lý để tạo ra chất kết tủa có độ bền kéo cao hơn. Do đó, với việc bổ sung Cu là nguyên tố phụ gia tùy chọn và thực hiện xử lý kết tủa của các hạt kim loại, thì hiệu quả thu được có thể làm cho độ bền kéo đặc biệt cao.

B-1 và 41 đến 49 gần như giống nhau về các thành phần và chỉ thay đổi các điều kiện sản xuất. Bằng cách tăng cường độ $\{100\}$ hoặc làm cho các hạt tinh thể trước khi ủ khử ứng suất nhỏ hơn để làm chúng thô hơn sau khi ủ khử ứng suất, thì có hiệu quả làm giảm tổn hao lõi, nhưng người ta thấy rằng khi kết hợp cả hai thì có thể giảm tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất nhiều hơn do hiệu ứng đồng vận. Lưu ý rằng, liên quan đến tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất, tổn hao lõi khi Si là 2,0 đến 2,3% là 9,5W/kg hoặc nhỏ hơn, tổn hao lõi khi Si bằng 2,4 đến 3,1% là 9,0W/kg hoặc nhỏ hơn và tổn hao lõi khi Si bằng 3,8 đến 4,0% là 8,5W/kg hoặc nhỏ hơn được xem là đạt các mức độ. Các tổn hao lõi cao hơn các tổn hao lõi này đạt được mà không sử dụng sáng chế, do vậy được xem là thất bại.

B-50 thể hiện các đặc tính khi Mg và các nguyên tố khác để làm sạch MnS không được chứa. Ngay cả khi thực hiện ủ khử ứng suất, cỡ hạt tinh thể không lớn lên một cách thỏa đáng và kết quả là tổn hao lõi kém hơn.

B-41, 42 và 43 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ $\{100\}$ nhỏ hơn 2,4, nhưng các cỡ hạt lớn hơn 30 μm . Ngoài ra, B-44, 45, 46 và 58 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ $\{100\}$ bằng 2,4 hoặc lớn hơn, nhưng các cỡ hạt lớn hơn 30 μm . Từ các ví dụ so sánh này, người ta thấy rằng nếu cỡ hạt lớn hơn 30 μm thì có thể không thu được đủ độ bền kéo.

B-51 đến 56 thể hiện các ví dụ so sánh với Q nhỏ hơn 2,0. Ở các ví dụ so sánh này, các tấm thép không phải các pha α -Fe đơn, nên các cấu trúc được hình thành ở pha austenit bị mất trong quá trình biến đổi pha tại thời điểm pha thép được nung nóng lại và các cường độ $\{100\}$ sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4.

Bảng 3

Số	Các thành phần (% khối lượng)																			Q	Ghi chú
	C	Si	Mn	Al	P	S	Mg	Ca	Sr	Ba	Ce	La	Nd	Pr	Zn	Cd	Sn	Cr	Cu		
B-1	0.0017	2.96	0.19	0.30	0.011	0.0013	0.0045	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-2	0.0008	2.05	0.13	0.12	0.007	0.0006	0.0006	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-3	0.0028	3.92	2.30	2.90	0.190	0.0027	0.0080	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-4	0.0018	2.95	0.18	0.28	0.013	0.0011	---	0.0040	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-5	0.0007	2.11	0.21	0.12	0.006	0.0006	---	0.00510	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-6	0.0026	3.95	2.38	2.85	0.191	0.0025	---	0.00590	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-7	0.0020	2.98	0.18	0.31	0.011	0.0015	---	0.0043	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-8	0.0008	2.12	0.16	0.14	0.008	0.0008	---	0.0052	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-9	0.0025	3.92	2.30	2.95	0.197	0.0026	---	0.00690	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-10	0.0017	2.99	0.18	0.32	0.010	0.0015	---	---	---	0.0047	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-11	0.0007	2.04	0.14	0.14	0.009	0.0006	---	---	---	0.0038	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-12	0.0026	3.93	2.40	2.98	0.195	0.0027	---	---	---	0.00310	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-13	0.0019	2.95	0.18	0.29	0.011	0.0012	---	---	---	0.0045	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-14	0.0007	2.14	0.15	0.11	0.007	0.0008	---	---	---	0.00054	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-15	0.0027	3.88	2.31	2.89	0.189	0.0028	---	---	---	0.00590	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-16	0.0019	2.98	0.20	0.28	0.010	0.0015	---	---	---	---	0.0046	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-17	0.0007	2.01	0.19	0.17	0.008	0.0009	---	---	---	---	0.0069	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-18	0.0026	3.89	2.39	2.97	0.196	0.0026	---	---	---	---	0.00730	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-19	0.0019	2.99	0.19	0.31	0.013	0.0012	---	---	---	---	---	---	0.0041	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-20	0.0009	2.15	0.13	0.12	0.012	0.0007	---	---	---	---	---	---	0.0058	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-21	0.0025	3.97	2.37	2.94	0.179	0.0027	---	---	---	---	---	---	0.00690	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-22	0.0017	2.96	0.19	0.30	0.013	0.0013	---	---	---	---	---	---	---	0.005	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-23	0.0008	2.10	0.15	0.14	0.007	0.0009	---	---	---	---	---	---	---	0.00057	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-24	0.0027	3.88	2.33	2.90	0.191	0.0028	---	---	---	---	---	---	---	0.00590	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-25	0.0017	2.98	0.18	0.30	0.010	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	0.004	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-26	0.0009	2.11	0.17	0.17	0.006	0.0008	---	---	---	---	---	---	---	---	0.00059	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-27	0.0027	3.92	2.37	2.93	0.194	0.0028	---	---	---	---	---	---	---	---	0.00490	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-28	0.0018	2.96	0.20	0.32	0.011	0.0011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.004	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-29	0.0008	2.15	0.15	0.13	0.008	0.0008	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0061	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-30	0.0027	3.88	2.36	2.91	0.183	0.0027	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.00670	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-31	0.0017	2.99	0.20	0.31	0.012	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0060	---	---	Vị dư sáng chế	
B-32	0.0008	2.03	0.16	0.12	0.012	0.0009	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0006	---	---	Vị dư sáng chế	
B-33	0.0026	3.91	2.34	2.97	0.189	0.0026	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0061	---	---	Vị dư sáng chế	
B-34	0.0016	2.96	0.20	0.28	0.014	0.0013	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0600	---	Vị dư sáng chế	
B-35	0.0006	2.24	0.14	0.14	0.009	0.0006	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0007	---	Vị dư sáng chế	
B-36	0.0025	3.99	2.38	2.98	0.189	0.0026	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.0067	---	Vị dư sáng chế	
B-37	0.0017	2.98	0.19	0.29	0.011	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-38	0.0017	2.98	0.19	0.29	0.011	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-39	0.0007	2.23	0.14	0.13	0.017	0.0008	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-40	0.0026	3.88	2.31	2.99	0.195	0.0028	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-41	0.0020	2.98	0.19	0.32	0.014	0.0011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư sáng chế	
B-42	0.0020	2.94	0.19	0.30	0.013	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-43	0.0017	2.97	0.19	0.28	0.014	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-44	0.0017	2.97	0.19	0.30	0.011	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-45	0.0016	2.98	0.20	0.32	0.013	0.0013	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-46	0.0018	2.98	0.20	0.32	0.012	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-47	0.0018	2.99	0.19	0.31	0.015	0.0011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-48	0.0019	2.95	0.19	0.28	0.015	0.0013	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-49	0.0019	2.98	0.19	0.30	0.012	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-50	0.0019	2.95	0.19	0.30	0.013	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-51	0.0016	2.43	1.49	0.30	0.015	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-52	0.0017	2.41	1.77	0.30	0.014	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-53	0.0019	2.45	1.94	0.28	0.013	0.0013	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-54	0.0018	2.42	2.29	0.29	0.013	0.0011	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-55	0.0019	2.90	2.24	0.29	0.013	0.0014	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-56	0.0018	2.92	2.28	0.60	0.014	0.0012	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-57	0.0007	2.12	0.11	0.11	0.007	0.0008	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	
B-58	0.0008	2.13	0.11	0.13	0.007	0.0007	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Vị dư so sánh	

Bảng 4]

Số	Si	Cường độ {100} của cấu trúc trước khi ủ khử ứng suất	Cỡ hạt trước khi ủ khử ứng suất (μm)	Các đặc tính từ trước khi ủ khử ứng suất		Các đặc tính từ sau khi ủ khử ứng suất		Độ bền kéo trước khi ủ khử ứng suất (MPa)	Số các hạt Cu nhỏ hơn hoặc bằng 100nm trước khi ủ khử ứng suất ($/10\mu\text{m}^2$)	Ghi chú
				W10/400 (W/kg)	B50 (T)	W10/400 (W/kg)	B50 (T)			
B-1	2,96	2,7	21	39,9	1,69	8,6	1,71	681	0	Ví dụ sáng chế
B-2	2,05	3,0	19	44,4	1,73	9,2	1,75	611	0	Ví dụ sáng chế
B-3	3,92	2,8	22	31,3	1,60	7,9	1,65	786	0	Ví dụ sáng chế
B-4	2,95	3,0	21	40,4	1,69	8,7	1,71	679	0	Ví dụ sáng chế
B-5	2,11	3,1	22	45,5	1,74	9,1	1,75	600	0	Ví dụ sáng chế
B-6	3,95	2,7	20	31,3	1,61	7,8	1,64	789	0	Ví dụ sáng chế
B-7	2,98	2,7	20	40,0	1,70	8,5	1,72	683	0	Ví dụ sáng chế
B-8	2,12	2,8	18	44,3	1,73	9,2	1,76	606	0	Ví dụ sáng chế
B-9	3,92	2,8	19	31,8	1,60	7,8	1,65	783	0	Ví dụ sáng chế
B-10	2,99	2,9	21	40,3	1,69	8,4	1,71	677	0	Ví dụ sáng chế
B-11	2,04	3,0	21	45,8	1,73	9,1	1,75	602	0	Ví dụ sáng chế
B-12	3,93	2,7	21	32,3	1,60	7,9	1,64	789	0	Ví dụ sáng chế
B-13	2,95	2,8	22	40,2	1,69	8,5	1,71	682	0	Ví dụ sáng chế
B-14	2,14	2,6	19	45,0	1,73	9,1	1,75	610	0	Ví dụ sáng chế
B-15	3,88	3,0	19	32,8	1,60	7,8	1,64	771	0	Ví dụ sáng chế
B-16	2,98	3,0	22	40,3	1,70	8,4	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
B-17	2,01	3,0	18	44,6	1,73	9,1	1,76	601	0	Ví dụ sáng chế
B-18	3,89	3,0	19	32,4	1,60	7,9	1,64	775	0	Ví dụ sáng chế
B-19	2,99	3,1	20	40,0	1,70	8,4	1,72	682	0	Ví dụ sáng chế
B-20	2,15	2,9	19	44,9	1,74	9,1	1,75	605	0	Ví dụ sáng chế
B-21	3,97	3,1	21	31,6	1,60	7,8	1,64	782	0	Ví dụ sáng chế
B-22	2,96	2,8	18	40,5	1,69	8,4	1,71	679	0	Ví dụ sáng chế
B-23	2,10	2,9	21	44,7	1,74	9,0	1,75	616	0	Ví dụ sáng chế
B-24	3,88	3,1	21	31,5	1,61	7,9	1,65	781	0	Ví dụ sáng chế
B-25	2,98	2,8	19	39,9	1,70	8,3	1,72	681	0	Ví dụ sáng chế
B-26	2,11	2,9	20	45,0	1,73	9,0	1,76	607	0	Ví dụ sáng chế
B-27	3,92	2,9	21	31,3	1,60	7,8	1,64	788	0	Ví dụ sáng chế
B-28	2,96	2,7	21	40,3	1,69	8,4	1,71	678	0	Ví dụ sáng chế
B-29	2,15	2,9	20	44,6	1,74	9,0	1,76	618	0	Ví dụ sáng chế
B-30	3,88	2,8	20	32,2	1,60	7,8	1,64	781	0	Ví dụ sáng chế
B-31	2,99	2,7	19	40,3	1,70	8,6	1,72	676	0	Ví dụ sáng chế
B-32	2,03	2,7	20	44,8	1,73	9,1	1,76	607	0	Ví dụ sáng chế
B-33	3,91	2,6	20	32,4	1,61	7,9	1,64	775	0	Ví dụ sáng chế
B-34	2,96	2,8	19	40,5	1,69	8,5	1,71	680	0	Ví dụ sáng chế
B-35	2,24	2,8	20	44,3	1,73	9,0	1,76	619	0	Ví dụ sáng chế
B-36	3,99	2,7	21	31,9	1,60	7,9	1,64	790	0	Ví dụ sáng chế
B-37	2,98	2,6	22	39,7	1,70	8,6	1,72	682	3	Ví dụ sáng chế
B-38	2,98	2,8	19	39,5	1,69	8,4	1,72	726	104	Ví dụ sáng chế
B-39	2,23	2,9	21	44,5	1,73	9,2	1,76	660	103	Ví dụ sáng chế
B-40	3,88	2,7	18	32,7	1,60	7,8	1,65	805	105	Ví dụ sáng chế
B-41	2,98	0,3	103	10,6	1,64	10,3	1,61	466	0	Ví dụ so sánh
B-42	2,94	0,5	89	10,3	1,64	10,4	1,62	459	0	Ví dụ so sánh
B-43	2,97	0,6	91	10,6	1,65	10,5	1,61	462	0	Ví dụ so sánh
B-44	2,97	2,7	99	10,0	1,69	10,0	1,69	466	0	Ví dụ so sánh
B-45	2,98	3,1	103	10,2	1,69	10,1	1,69	457	0	Ví dụ so sánh
B-46	2,98	2,9	85	10,1	1,70	9,9	1,70	469	0	Ví dụ so sánh
B-47	2,99	0,4	22	39,0	1,62	10,1	1,62	663	0	Ví dụ so sánh
B-48	2,95	0,4	18	39,5	1,63	10,0	1,61	673	0	Ví dụ so sánh
B-49	2,98	0,5	16	38,1	1,62	10,1	1,61	673	0	Ví dụ so sánh
B-50	2,95	2,7	21	39,5	1,69	28,0	1,70	672	0	Ví dụ so sánh
B-51	2,43	0,4	20	39,0	1,63	12,9	1,61	679	0	Ví dụ so sánh
B-52	2,41	0,4	18	38,8	1,62	11,6	1,60	687	0	Ví dụ so sánh
B-53	2,45	0,5	19	37,2	1,61	11,5	1,59	699	0	Ví dụ so sánh
B-54	2,42	0,4	19	35,2	1,60	10,5	1,58	706	0	Ví dụ so sánh
B-55	2,90	0,5	20	33,6	1,58	10,2	1,56	725	0	Ví dụ so sánh
B-56	2,92	0,5	20	32,3	1,57	9,8	1,55	750	0	Ví dụ so sánh
B-57	2,12	2,6	27	43,1	1,74	9,0	1,76	604	0	Ví dụ sáng chế
B-58	2,13	2,7	35	40,5	1,75	9,2	1,76	581	0	Ví dụ so sánh

Ví dụ 3

Các phôi tấm dày 250mm có các thành phần hóa học được thể hiện ở bảng 5 sau đây được chuẩn bị.

Tiếp theo, các phôi tấm này được cán nóng để cho ra các tấm đã được cán nóng dày 2,0mm. Nhiệt độ nung lại phôi tấm ở thời điểm đó là 1200°C, nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và nhiệt độ cuộn là 650°C. Hơn nữa, tại thời điểm cán nóng, để tăng khả năng bôi trơn các con lăn, về chất bôi trơn, 10% mỡ được trộn vào nước làm mát cán nóng sao cho hệ số ma sát trung bình giữa các con lăn cán nóng hoàn thiện và các tấm thép bằng 0,25 hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, cũng có các vật liệu mà được thực hiện cán nóng không cần trộn với mỡ. Sau đó, các tấm thép được ngâm để loại bỏ cặn bề mặt. Sau đó, chúng được cán nguội đến 0,25mm. Quá trình ủ hoàn thiện được thực hiện ở 750°C trong 1 phút. C-38 đến 40 được ủ ở 600°C trong 1 phút sau khi ủ hoàn thiện là xử lý kết tủa Cu.

Các tấm thép điện không định hướng thu được được đo cấu trúc tinh thể {100}, cỡ hạt trung bình, độ bền kéo, số lượng các chất kết tủa Cu, tổn hao lõi W10/400 và mật độ từ thông B50 theo phương pháp tương tự ví dụ 1. Thử nghiệm kéo và ủ khử ứng suất tiếp theo được thực hiện giống như cách ở ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện ở bảng 6.

Các vật liệu trong đó mỡ được trộn tại thời điểm cán nóng có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện lớn hơn 2,4 (C-1 đến 40, C44 đến 46, C-50 và C-57 đến 58). Các vật liệu mà mỡ không được trộn vào tại thời điểm cán nóng có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4 (C-41 đến 43 và C47 đến 49). C-51 đến 56 là các vật liệu mà có mỡ được trộn tại thời điểm cán nóng, nhưng có Q nhỏ hơn 2,0, do đó có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4. Các cỡ hạt tinh thể là khoảng 20μm hoặc chùng đó ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 750°C (C1 đến 40 và C47 đến 57) và khoảng 100μm ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 1050°C (C-41 đến 46).

C-1 đến 30 được thay đổi về các nguyên tố phụ gia khác nhau. Bất kể các nguyên tố phụ gia nào được bổ sung, hiệu quả làm giảm đáng kể tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất vẫn thu được. C-31 đến 40 có các nguyên tố phụ gia tùy chọn được bổ sung. Ngay cả khi bổ sung các nguyên tố phụ gia tùy chọn, thì hiệu quả tổn hao lõi giảm đáng kể tại thời điểm ủ khử ứng suất vẫn không thay đổi. C-37 đến 40 được bổ sung Cu là nguyên

tổ phụ gia tùy chọn. Trong số này, C-38 đến 40 là các ví dụ sáng chế được xử lý để tạo ra kết tủa của các hạt kim loại. Kích cỡ trung bình và số lượng các kết tủa của các hạt kim loại Cu ở C-38 đến 40 lần lượt là khoảng 30nm và khoảng 100/10 μ m². Do sự xử lý kết tủa này, nếu so sánh C-38 đến 40 và các ví dụ sáng chế C-1 đến 3 có các thành phần tương tự, người ta thấy rằng giữa C-1 và C-38, C-2 và C-39 và C-3 và C-40, các ví dụ này được xử lý để tạo ra kết tủa có độ bền kéo cao hơn. Do đó, với việc bổ sung Cu là nguyên tố phụ gia tùy chọn và thực hiện xử lý kết tủa của các hạt kim loại, thì hiệu quả thu được có thể làm cho độ bền kéo đặc biệt cao.

C-1 và 41 đến 49 hầu như giống nhau về các thành phần và chỉ thay đổi các điều kiện sản xuất. Bằng cách tăng cường độ {100} hoặc làm cho các hạt tinh thể trước khi ủ khử ứng suất nhỏ hơn để làm chúng thô hơn sau khi ủ khử ứng suất, thì có hiệu quả làm giảm tổn hao lõi, nhưng người ta thấy rằng khi kết hợp cả hai thì có thể giảm tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất nhiều hơn do hiệu ứng đồng vận. Lưu ý rằng, liên quan đến tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất, tổn hao lõi khi Si là 2,0 đến 2,3% là 9,5W/kg hoặc nhỏ hơn, tổn hao lõi khi Si bằng 2,4 đến 3,1% là 9,0W/kg hoặc nhỏ hơn, và tổn hao lõi khi Si bằng 3,8 đến 4,0% là 8,5W/kg hoặc nhỏ hơn được xem là đạt các mức độ. Các tổn hao lõi cao hơn các tổn hao lõi này đạt được mà không sử dụng sáng chế, do vậy được xem là thất bại.

C-50 thể hiện các đặc tính khi Mg và các nguyên tố khác để làm sạch MnS không được chứa. Ngay cả khi thực hiện ủ khử ứng suất, cỡ hạt tinh thể không lớn lên một cách thỏa đáng và kết quả là tổn hao lõi kém hơn.

C-41, 42 và 43 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ {100} nhỏ hơn 2,4, nhưng các cỡ hạt lớn hơn 30 μ m. Ngoài ra, C-44, 45, 46 và 58 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ {100} bằng 2,4 hoặc lớn hơn, nhưng các cỡ hạt lớn hơn 30 μ m. Từ các ví dụ so sánh này, người ta thấy rằng nếu cỡ hạt lớn hơn 30 μ m thì có thể không thu được đủ độ bền kéo.

C-51 đến 56 thể hiện các ví dụ so sánh với Q nhỏ hơn 2,0. Ở các ví dụ so sánh này, các tấm thép không phải các pha α -Fe đơn, do đó tại thời điểm cán bồi trơn, chúng trở thành các pha γ . Ở sự biến đổi pha tiếp theo, hiệu quả của việc cán bồi trơn không còn, do đó các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện thấp hơn 2,4.

Bảng 5

Số	Các thành phần (% khối lượng)													Q	Chú				
	C	Si	Mn	Al	P	S	Mg	Ca	Sr	Ba	Ce	La	Nd	Pr	Zn	Cd	Sn	Cr	Cu
C-1	0.0015	3.00	0.19	0.30	0.013	0.0014	0.0041	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-2	0.0006	2.13	0.13	0.13	0.009	0.0007	0.0006	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-3	0.0027	3.95	2.34	2.95	0.180	0.0027	0.0052	0.0030	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-4	0.0015	2.98	0.19	0.32	0.011	0.0011	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-5	0.0008	2.14	0.16	0.15	0.007	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-6	0.0027	2.96	2.36	2.91	0.196	0.0025	0.0043	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-7	0.0020	2.96	0.19	0.29	0.012	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-8	0.0007	2.16	0.16	0.16	0.009	0.0009	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-9	0.0028	3.94	2.29	2.89	0.187	0.0027	0.0047	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-10	0.0017	2.96	0.18	0.32	0.012	0.0011	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-11	0.0026	3.88	2.21	0.16	0.13	0.006	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-12	0.0018	2.95	0.19	0.31	0.012	0.0015	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-13	0.0018	2.95	0.19	0.31	0.012	0.0015	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-14	0.0009	2.10	0.13	0.15	0.015	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-15	0.0026	3.98	2.38	2.96	0.195	0.0025	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-16	0.0017	2.96	0.19	0.28	0.013	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-17	0.0007	2.21	0.17	0.14	0.007	0.0009	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-18	0.0028	3.84	2.33	2.89	0.192	0.0015	0.0047	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-19	0.0018	2.99	0.18	0.30	0.011	0.0015	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-20	0.0006	2.11	0.14	0.14	0.009	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-21	0.0027	3.95	2.39	2.91	0.188	0.0027	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-22	0.0019	2.96	0.20	0.32	0.013	0.0015	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-23	0.0008	2.14	0.12	0.14	0.008	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-24	0.0025	3.93	2.39	2.88	0.187	0.0026	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-25	0.0015	2.99	0.20	0.31	0.013	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-26	0.0009	2.20	0.13	0.14	0.006	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-27	0.0027	3.87	2.33	2.94	0.189	0.0027	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-28	0.0019	2.98	0.19	0.29	0.014	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-29	0.0009	2.10	0.17	0.08	0.009	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-30	0.0027	3.88	2.34	2.97	0.197	0.0028	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-31	0.0019	2.97	0.19	0.31	0.013	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-32	0.0008	2.07	0.13	0.14	0.016	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-33	0.0026	3.91	2.36	2.81	0.189	0.0026	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-34	0.0017	2.98	0.20	0.30	0.012	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-35	0.0008	2.10	0.16	0.13	0.006	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-36	0.0025	3.98	2.37	2.87	0.195	0.0025	0.0045	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-37	0.0016	3.00	0.19	0.31	0.012	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-38	0.0016	3.00	0.19	0.31	0.012	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-39	0.0006	2.21	0.14	0.14	0.008	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-40	0.0026	3.88	2.36	2.92	0.191	0.0026	0.0044	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-41	0.0019	2.97	0.20	0.31	0.012	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-42	0.0020	2.98	0.19	0.31	0.012	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-43	0.0020	2.96	0.19	0.31	0.014	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-44	0.0018	2.98	0.19	0.29	0.012	0.0011	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-45	0.0019	2.97	0.19	0.29	0.014	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-46	0.0017	2.95	0.20	0.31	0.011	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-47	0.0019	2.98	0.20	0.32	0.012	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-48	0.0019	2.98	0.20	0.29	0.015	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-49	0.0016	2.98	0.20	0.31	0.012	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-50	0.0017	2.94	0.20	0.29	0.012	0.0014	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-51	0.0016	2.43	1.49	0.30	0.013	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-52	0.0015	2.42	1.77	0.30	0.012	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-53	0.0019	2.46	1.91	0.29	0.014	0.0013	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-54	0.0019	2.50	2.30	0.29	0.014	0.0010	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-55	0.0018	3.00	2.30	0.29	0.012	0.0012	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
C-56	0.0016	2.97	2.22	0.60	0.013	0.0													

Bảng 6

Số	Si	Cường độ {100} của cấu trúc trước khi ủ khử ứng suất	Cỡ hạt trước khi ủ khử ứng suất (μm)	Các đặc tính từ trước khi ủ khử ứng suất		Các đặc tính từ sau khi ủ khử ứng suất		Độ bền kéo trước khi ủ khử ứng suất (MPa)	Số các hạt Cu nhỏ hơn hoặc bằng 100nm trước khi ủ khử ứng suất ($/10\mu\text{m}^2$)	Ghi chú
				W10/400 (W/kg)	B50 (T)	W10/400 (W/kg)	B50 (T)			
C-1	3,00	2,7	18	40,0	1,70	8,4	1,72	678	0	Ví dụ sáng chế
C-2	2,13	2,9	19	44,8	1,73	9,0	1,75	600	0	Ví dụ sáng chế
C-3	3,95	2,6	22	32,5	1,61	7,8	1,65	779	0	Ví dụ sáng chế
C-4	2,98	3,0	19	40,3	1,70	8,6	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
C-5	2,14	3,1	18	45,0	1,74	9,2	1,76	602	0	Ví dụ sáng chế
C-6	3,90	2,9	20	31,0	1,60	7,8	1,65	772	0	Ví dụ sáng chế
C-7	2,96	3,1	21	39,8	1,69	8,4	1,71	678	0	Ví dụ sáng chế
C-8	2,16	2,8	20	45,8	1,74	9,1	1,75	612	0	Ví dụ sáng chế
C-9	3,94	2,8	19	32,6	1,60	7,8	1,64	787	0	Ví dụ sáng chế
C-10	2,96	3,0	19	40,0	1,70	8,3	1,72	683	0	Ví dụ sáng chế
C-11	2,21	2,9	20	45,2	1,74	9,1	1,76	608	0	Ví dụ sáng chế
C-12	3,88	2,8	19	32,7	1,60	7,9	1,65	787	0	Ví dụ sáng chế
C-13	2,95	2,7	20	40,3	1,70	8,7	1,72	679	0	Ví dụ sáng chế
C-14	2,10	3,0	20	46,0	1,74	9,1	1,75	604	0	Ví dụ sáng chế
C-15	3,98	2,8	21	32,8	1,61	7,8	1,64	775	0	Ví dụ sáng chế
C-16	2,96	2,8	19	39,6	1,70	8,5	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
C-17	2,21	2,9	21	45,9	1,74	9,0	1,75	615	0	Ví dụ sáng chế
C-18	3,84	2,7	19	31,6	1,60	7,8	1,64	789	0	Ví dụ sáng chế
C-19	2,99	2,8	19	39,6	1,69	8,6	1,71	685	0	Ví dụ sáng chế
C-20	2,11	3,0	20	45,9	1,74	9,1	1,76	620	0	Ví dụ sáng chế
C-21	3,95	2,8	21	31,1	1,60	7,8	1,65	790	0	Ví dụ sáng chế
C-22	2,96	2,6	19	39,6	1,69	8,4	1,71	677	0	Ví dụ sáng chế
C-23	2,14	3,0	18	45,1	1,73	9,1	1,76	604	0	Ví dụ sáng chế
C-24	3,93	2,7	19	32,6	1,61	7,9	1,65	773	0	Ví dụ sáng chế
C-25	2,99	2,8	21	39,8	1,70	8,6	1,72	677	0	Ví dụ sáng chế
C-26	2,20	2,9	19	45,1	1,74	9,2	1,75	607	0	Ví dụ sáng chế
C-27	3,87	2,9	19	32,0	1,61	7,8	1,65	784	0	Ví dụ sáng chế
C-28	2,98	2,7	20	40,4	1,69	8,3	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
C-29	2,10	2,7	21	45,7	1,73	9,1	1,75	602	0	Ví dụ sáng chế
C-30	3,88	3,0	21	31,6	1,60	7,9	1,64	770	0	Ví dụ sáng chế
C-31	2,97	2,7	19	40,4	1,69	8,5	1,71	678	0	Ví dụ sáng chế
C-32	2,07	2,7	19	45,6	1,74	9,1	1,75	608	0	Ví dụ sáng chế
C-33	3,91	2,8	21	31,3	1,61	7,9	1,65	789	0	Ví dụ sáng chế
C-34	2,98	2,9	20	40,5	1,69	8,6	1,71	676	0	Ví dụ sáng chế
C-35	2,10	2,6	21	45,1	1,74	9,2	1,75	601	0	Ví dụ sáng chế
C-36	3,98	2,8	19	32,6	1,60	7,8	1,65	778	0	Ví dụ sáng chế
C-37	3,00	2,9	21	40,2	1,70	8,3	1,72	680	2	Ví dụ sáng chế
C-38	3,00	2,7	19	39,2	1,69	8,6	1,72	722	102	Ví dụ sáng chế
C-39	2,21	3,1	20	45,9	1,73	9,2	1,75	658	102	Ví dụ sáng chế
C-40	3,88	2,9	20	31,4	1,60	7,8	1,64	816	105	Ví dụ sáng chế
C-41	2,97	0,4	102	10,7	1,65	10,5	1,62	467	0	Ví dụ so sánh
C-42	2,98	0,3	92	10,6	1,64	10,4	1,61	463	0	Ví dụ so sánh
C-43	2,96	0,4	92	10,5	1,65	10,4	1,61	455	0	Ví dụ so sánh
C-44	2,98	2,5	98	10,2	1,70	10,0	1,70	463	0	Ví dụ so sánh
C-45	2,97	3,0	99	10,1	1,70	10,1	1,69	460	0	Ví dụ so sánh
C-46	2,95	2,9	96	10,3	1,69	10,1	1,69	465	0	Ví dụ so sánh
C-47	2,98	0,7	24	38,8	1,63	10,0	1,61	680	0	Ví dụ so sánh
C-48	2,98	0,3	17	39,8	1,63	10,1	1,61	674	0	Ví dụ so sánh
C-49	2,98	0,4	18	39,0	1,62	9,9	1,62	663	0	Ví dụ so sánh
C-50	2,94	2,8	18	38,9	1,69	29,5	1,69	663	0	Ví dụ so sánh
C-51	2,43	0,3	20	39,2	1,63	12,9	1,61	676	0	Ví dụ so sánh
C-52	2,42	0,5	20	38,2	1,62	11,6	1,60	687	0	Ví dụ so sánh
C-53	2,46	0,5	19	37,6	1,61	11,2	1,59	699	0	Ví dụ so sánh
C-54	2,50	0,6	19	35,7	1,60	10,6	1,58	707	0	Ví dụ so sánh
C-55	3,00	0,6	21	33,3	1,58	10,3	1,56	726	0	Ví dụ so sánh
C-56	2,97	0,6	20	32,4	1,57	9,8	1,55	749	0	Ví dụ so sánh
C-57	2,12	2,6	28	43,3	1,74	9,2	1,76	605	0	Ví dụ sáng chế
C-58	2,12	2,5	36	40,3	1,74	9,2	1,76	586	0	Ví dụ so sánh

Ví dụ 4

Các dải thép dài 1,3mm có các thành phần hóa học được thể hiện ở bảng 7 sau đây được chuẩn bị. Ngoài ra, tách biệt với đúc dải nêu trên, các phôi tấm được đúc thành các phôi có độ dày 250mm được cán nóng trong cả điều kiện của nhiệt độ nung lại phôi là 1200°C, nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và nhiệt độ cuộn là 650°C để thu được các tấm thép cán nóng dày 2,0mm. Tiếp theo, các tấm thép này được ngâm để loại bỏ lớp cặn bề mặt. Sau đó, chúng được cán nguội tới 0,25mm. Các thao tác ủ hoàn thiện được thực hiện ở 750°C trong 1 phút. D-38 đến 40 được ủ ở 600°C trong 1 phút sau khi ủ hoàn thiện là xử lý kết tủa Cu.

Các tấm thép điện không định hướng thu được được đo cấu trúc tinh thể {100}, cỡ hạt trung bình, độ bền kéo, số lượng các chất kết tủa Cu, tổn hao lõi W10/400 và mật độ từ thông B50 theo phương pháp tương tự ví dụ 1. Thử nghiệm kéo và ủ khử ứng suất tiếp theo được thực hiện giống như cách ở ví dụ 1. Các kết quả được thể hiện ở bảng 8.

Các vật liệu đúc dải có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện lớn hơn 2,4 (D-1 đến 40, D-44 đến 46, D-50, và D-57 đến 58). Các vật liệu đúc phôi thép có các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4 (D-41 đến 43 và D-47 đến 49). D-51 đến 56 được đúc dải, nhưng có Q nhỏ hơn 2,0, do vậy sau khi ủ hoàn thiện, các cường độ {100} nhỏ hơn 2,4. Các cỡ hạt tinh thể là khoảng 20μm hoặc chùng đó ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 750°C (D-1 đến 40 và D-47 đến 57) và khoảng 100μm ở các vật liệu được ủ hoàn thiện ở 1050°C (D-41 đến 48).

D-1 đến 30 thay đổi về các nguyên tố phụ gia khác nhau. Bất kể các nguyên tố phụ gia nào được bổ sung, thì hiệu quả làm giảm đáng kể tổn hao lõi sau khi ủ khử ứng suất vẫn thu được. D-31 đến 40 có các nguyên tố phụ gia tùy chọn được bổ sung vào. Ngay cả khi bổ sung các nguyên tố phụ gia tùy chọn, thì hiệu quả tổn hao lõi giảm đáng kể tại thời điểm ủ khử ứng suất vẫn không thay đổi. D-37 đến 40 có Cu được bổ sung là nguyên tố phụ gia tùy chọn. Trong số này, D-38 đến 40 là các ví dụ sáng chế được xử lý để tạo ra kết tủa của các hạt kim loại. Kích cỡ trung bình và số lượng các kết tủa của các hạt kim loại Cu ở D-38 đến 40 tương ứng là khoảng 30nm và khoảng 100/10μm². Do sự xử lý kết tủa này, nếu so sánh D-38 đến 40 và các ví dụ sáng chế D-1 đến 3 tương tự về thành phần, người ta thấy rằng giữa D-1 và D-38, D-2 và D-39, và D-3 và D-40, các ví

dụ này được xử lý để tạo ra kết tủa có độ bền kéo cao hơn. Do đó, với việc bổ sung Cu là nguyên tố phụ gia tùy chọn và thực hiện xử lý kết tủa của các hạt kim loại, thì hiệu quả thu được có thể làm cho độ bền kéo đặc biệt cao.

D-1 và 41 đến 49 gần như giống nhau về thành phần và chỉ thay đổi các điều kiện sản xuất. Bằng cách tăng cường độ {100} hoặc làm cho các hạt tinh thể trước khi ủ khử ứng suất nhỏ hơn để làm chúng thô hơn sau khi ủ khử ứng suất, thì có hiệu quả làm giảm tổn hao lỗi, nhưng người ta thấy rằng khi kết hợp cả hai, thì có thể giảm tổn hao lỗi sau khi ủ khử ứng suất nhiều hơn do hiệu ứng đồng vận. Lưu ý rằng, liên quan đến tổn hao lỗi sau khi ủ khử ứng suất, tổn hao lỗi khi Si là 2,0 đến 2,3% là 9,5W/kg hoặc nhỏ hơn, tổn hao lỗi khi Si bằng 2,4 đến 3,1% là 9,0W/kg hoặc nhỏ hơn và tổn hao lỗi khi Si bằng 3,8 đến 4,0% là 8,5W/kg hoặc nhỏ hơn được xem là đạt các mức độ. Các tổn hao lỗi cao hơn các tổn hao lỗi này đạt được mà không sử dụng sáng chế, do vậy được xem là thất bại.

D-50 thể hiện các đặc tính khi Mg và các nguyên tố khác mà làm sạch MnS không được chứa. Ngay cả khi có ủ khử ứng suất, thì các cỡ hạt tinh thể cũng lớn lên không đáp ứng và kết quả là tổn hao lỗi trở nên tệ hơn.

D-41, 42 và 43 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ {100} nhỏ hơn 2,4 và các cỡ hạt lớn hơn 30 μ m. Ngoài ra, D-44, 45, 46 và 58 thể hiện các ví dụ so sánh có các cường độ {100} bằng 2,4 hoặc lớn hơn, nhưng các cỡ hạt lớn hơn 30 μ m. Từ các ví dụ so sánh này, người ta thấy rằng nếu cỡ hạt lớn hơn 30 μ m, thì có thể không thu được đủ độ bền kéo.

D-51 đến 56 thể hiện các ví dụ so sánh với Q nhỏ hơn 2,0. Ở các ví dụ so sánh này, các tấm thép không phải là các pha α -Fe đơn, do đó các cấu trúc ở các dải thép thay đổi do sự biến đổi pha sau khi ủ các dải thép này và các cường độ {100} sau khi ủ hoàn thiện nhỏ hơn 2,4.

Bảng 7

Số	Các thành phần (% khối lượng)																	Q	Ghi chú		
	C	Si	Mn	Al	P	S	Mg	Ca	Sr	Ba	Ce	La	Nd	Pr	Zn	Cd	Sn			Cr	Cu
D-1	0,0016	2,98	0,19	0,28	0,013	0,0013	0,0046													3,4	Vì dụ sáng chế
D-2	0,0006	2,12	0,14	0,14	0,008	0,0007	0,0005													2,3	Vì dụ sáng chế
D-3	0,0027	3,89	2,35	2,96	0,185	0,0027	0,0062													7,5	Vì dụ sáng chế
D-4	0,0017	2,95	0,20	0,30	0,013	0,0014	0,0048													3,4	Vì dụ sáng chế
D-5	0,0007	2,21	0,17	0,16	0,008	0,0007	0,0062													2,4	Vì dụ sáng chế
D-6	0,0025	3,80	2,37	2,92	0,197	0,0026	0,0073													7,3	Vì dụ sáng chế
D-7	0,0018	2,98	0,18	0,31	0,011	0,0013			0,0045											3,4	Vì dụ sáng chế
D-8	0,0007	2,11	0,17	0,11	0,005	0,0009			0,0005											2,2	Vì dụ sáng chế
D-9	0,0026	3,95	2,28	2,88	0,188	0,0026			0,0069											7,4	Vì dụ sáng chế
D-10	0,0018	2,99	0,19	0,30	0,013	0,0014			0,0048											3,4	Vì dụ sáng chế
D-11	0,0008	2,04	0,17	0,13	0,007	0,0009			0,0006											2,1	Vì dụ sáng chế
D-12	0,0026	3,89	2,20	2,98	0,193	0,0026			0,0031											7,7	Vì dụ sáng chế
D-13	0,0019	2,97	0,18	0,30	0,012	0,0013			0,0047											3,4	Vì dụ sáng chế
D-14	0,0006	2,15	0,14	0,14	0,007	0,0006			0,0005											2,3	Vì dụ sáng chế
D-15	0,0027	3,87	2,32	2,97	0,197	0,0028			0,0058											7,5	Vì dụ sáng chế
D-16	0,0015	2,96	0,18	0,29	0,013	0,0013						0,0045								3,4	Vì dụ sáng chế
D-17	0,0009	2,16	0,15	0,16	0,006	0,0006						0,0007								2,3	Vì dụ sáng chế
D-18	0,0027	3,89	2,35	2,91	0,194	0,0027						0,0078								7,4	Vì dụ sáng chế
D-19	0,0018	2,97	0,19	0,29	0,011	0,0014							0,0047							3,4	Vì dụ sáng chế
D-20	0,0007	2,13	0,13	0,13	0,007	0,0008							0,0006							2,3	Vì dụ sáng chế
D-21	0,0025	3,91	2,32	2,93	0,182	0,0027							0,0072							7,5	Vì dụ sáng chế
D-22	0,0016	3,00	0,19	0,28	0,010	0,0012								0,0048						3,4	Vì dụ sáng chế
D-23	0,0008	2,04	0,17	0,09	0,009	0,0007								0,0006						2,1	Vì dụ sáng chế
D-24	0,0027	3,94	2,31	2,80	0,194	0,0026								0,0070						7,2	Vì dụ sáng chế
D-25	0,0019	2,96	0,18	0,29	0,011	0,0013									0,0043					3,4	Vì dụ sáng chế
D-26	0,0007	2,15	0,12	0,13	0,007	0,0008									0,0006					2,3	Vì dụ sáng chế
D-27	0,0027	3,91	2,36	2,96	0,192	0,0026									0,0050					7,5	Vì dụ sáng chế
D-28	0,0019	2,98	0,18	0,28	0,013	0,0014									0,0046					3,4	Vì dụ sáng chế
D-29	0,0007	2,14	0,12	0,14	0,006	0,0007									0,0006					2,3	Vì dụ sáng chế
D-30	0,0027	3,88	2,36	2,98	0,194	0,0028										0,0064				7,5	Vì dụ sáng chế
D-31	0,0018	2,97	0,19	0,28	0,013	0,0014														2,1	Vì dụ sáng chế
D-32	0,0007	2,13	0,14	0,05	0,010	0,0009									0,0700					3,3	Vì dụ sáng chế
D-33	0,0026	3,91	2,33	2,92	0,191	0,0025									0,0063					7,4	Vì dụ sáng chế
D-34	0,0018	2,99	0,19	0,29	0,012	0,0013										0,0007				2,3	Vì dụ sáng chế
D-35	0,0008	2,20	0,14	0,12	0,007	0,0008														3,4	Vì dụ sáng chế
D-36	0,0026	3,97	2,31	2,89	0,188	0,0027										0,0062				1,5	Vì dụ sáng chế
D-37	0,0020	2,95	0,20	0,28	0,011	0,0012														1,5	Vì dụ sáng chế
D-38	0,0020	2,95	0,20	0,28	0,011	0,0012														1,8	Vì dụ sáng chế
D-39	0,0008	2,10	0,13	0,12	0,006	0,0007														1,6	Vì dụ sáng chế
D-40	0,0025	3,95	2,37	2,89	0,196	0,0028														3,3	Vì dụ so sánh
D-41	0,0018	2,97	0,20	0,28	0,011	0,0011														3,3	Vì dụ so sánh
D-42	0,0019	2,95	0,19	0,29	0,013	0,0010														3,3	Vì dụ so sánh
D-43	0,0020	2,94	0,20	0,30	0,014	0,0014														3,4	Vì dụ so sánh
D-44	0,0019	2,96	0,20	0,30	0,012	0,0013														3,4	Vì dụ so sánh
D-45	0,0018	2,98	0,20	0,32	0,014	0,0015														3,4	Vì dụ so sánh
D-46	0,0019	2,97	0,19	0,29	0,013	0,0011														3,4	Vì dụ so sánh
D-47	0,0020	2,99	0,20	0,29	0,012	0,0012														3,4	Vì dụ so sánh
D-48	0,0020	2,99	0,19	0,28	0,015	0,0014														3,4	Vì dụ so sánh
D-49	0,0016	2,97	0,20	0,31	0,014	0,0011														3,3	Vì dụ so sánh
D-50	0,0018	2,96	0,19	0,29	0,014	0,0012														1,5	Vì dụ so sánh
D-51	0,0015	2,44	1,47	0,28	0,012	0,0011														1,2	Vì dụ so sánh
D-52	0,0019	2,42	1,80	0,29	0,012	0,0013														1,0	Vì dụ so sánh
D-53	0,0016	2,40	1,99	0,28	0,012	0,0011														0,8	Vì dụ so sánh
D-54	0,0018	2,45	2,22	0,28	0,014	0,0014														1,4	Vì dụ so sánh
D-55	0,0019	3,00	2,21	0,28	0,015	0,0012														1,8	Vì dụ so sánh
D-56	0,0019	2,90	2,25	0,29	0,012	0,0014														2,2	Vì dụ sáng chế
D-57	0,0006	2,13	0,12	0,11	0,007	0,0008														2,2	Vì dụ so sánh
D-58	0,0006	2,11	0,12	0,11	0,008	0,0009														2,2	Vì dụ so sánh

Bảng 8

Số	Si	Cường độ {100} của cấu trúc trước khi ủ khử ứng suất	Cỡ hạt trước khi ủ khử ứng suất (μm)	Các đặc tính từ trước khi ủ khử ứng suất		Các đặc tính từ sau khi ủ khử ứng suất		Độ bền kéo trước khi ủ khử ứng suất (MPa)	Số các hạt Cu nhỏ hơn hoặc bằng 100nm trước khi ủ khử ứng suất ($/10\mu\text{m}^2$)	Ghi chú
				W10/400 (W/kg)	B50 (T)	W10/400 (W/kg)	B50 (T)			
D-1	2,98	2,6	18	40,2	1,69	8,4	1,71	678	0	Ví dụ sáng chế
D-2	2,12	2,9	19	44,8	1,73	9,2	1,76	607	0	Ví dụ sáng chế
D-3	3,89	2,9	21	32,1	1,61	7,9	1,65	788	0	Ví dụ sáng chế
D-4	2,95	2,7	21	40,4	1,69	8,4	1,71	677	0	Ví dụ sáng chế
D-5	2,21	3,0	19	45,7	1,73	9,1	1,75	615	0	Ví dụ sáng chế
D-6	3,80	2,8	18	32,2	1,60	7,9	1,64	788	0	Ví dụ sáng chế
D-7	2,98	2,6	21	39,9	1,70	8,7	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
D-8	2,11	2,7	20	45,9	1,74	9,1	1,76	616	0	Ví dụ sáng chế
D-9	3,95	3,0	20	32,2	1,60	7,8	1,65	774	0	Ví dụ sáng chế
D-10	2,99	2,7	19	39,8	1,70	8,5	1,72	676	0	Ví dụ sáng chế
D-11	2,04	3,1	22	45,0	1,74	9,1	1,76	602	0	Ví dụ sáng chế
D-12	3,89	2,8	22	32,1	1,61	7,8	1,64	775	0	Ví dụ sáng chế
D-13	2,97	2,9	22	40,0	1,69	8,4	1,71	678	0	Ví dụ sáng chế
D-14	2,15	2,9	18	45,1	1,73	9,0	1,75	601	0	Ví dụ sáng chế
D-15	3,87	2,9	19	31,8	1,60	7,9	1,65	778	0	Ví dụ sáng chế
D-16	2,96	2,6	21	39,6	1,70	8,5	1,72	684	0	Ví dụ sáng chế
D-17	2,16	2,9	21	45,3	1,74	9,2	1,75	603	0	Ví dụ sáng chế
D-18	3,89	2,9	21	32,8	1,61	7,9	1,65	771	0	Ví dụ sáng chế
D-19	2,97	2,5	19	39,7	1,70	8,4	1,72	682	0	Ví dụ sáng chế
D-20	2,13	3,0	22	44,0	1,74	9,2	1,75	618	0	Ví dụ sáng chế
D-21	3,91	2,8	22	31,0	1,60	7,8	1,64	776	0	Ví dụ sáng chế
D-22	3,00	2,9	21	39,7	1,69	8,3	1,71	679	0	Ví dụ sáng chế
D-23	2,04	3,0	18	45,1	1,74	9,0	1,76	608	0	Ví dụ sáng chế
D-24	3,94	3,0	19	32,7	1,61	7,8	1,64	774	0	Ví dụ sáng chế
D-25	2,96	2,6	20	39,5	1,69	8,6	1,71	683	0	Ví dụ sáng chế
D-26	2,15	3,0	19	45,3	1,73	9,0	1,75	606	0	Ví dụ sáng chế
D-27	3,91	2,9	20	32,8	1,61	7,9	1,64	778	0	Ví dụ sáng chế
D-28	2,98	2,7	20	39,6	1,70	8,5	1,72	679	0	Ví dụ sáng chế
D-29	2,14	3,0	22	45,5	1,73	9,1	1,75	611	0	Ví dụ sáng chế
D-30	3,88	2,7	19	31,3	1,60	7,9	1,64	788	0	Ví dụ sáng chế
D-31	2,97	3,0	21	40,2	1,69	8,4	1,71	683	0	Ví dụ sáng chế
D-32	2,13	2,9	20	45,6	1,74	9,0	1,75	600	0	Ví dụ sáng chế
D-33	3,91	3,0	20	31,9	1,60	7,8	1,65	786	0	Ví dụ sáng chế
D-34	2,99	2,7	19	40,0	1,70	8,3	1,72	680	0	Ví dụ sáng chế
D-35	2,20	2,9	20	45,5	1,73	9,1	1,75	603	0	Ví dụ sáng chế
D-36	3,97	2,8	18	32,0	1,61	7,8	1,65	789	0	Ví dụ sáng chế
D-37	2,95	3,0	18	40,3	1,69	8,7	1,71	684	1	Ví dụ sáng chế
D-38	2,95	2,7	22	39,0	1,70	8,4	1,71	728	105	Ví dụ sáng chế
D-39	2,10	2,8	18	45,5	1,74	9,0	1,75	655	105	Ví dụ sáng chế
D-40	3,95	2,8	19	31,6	1,61	7,9	1,64	816	106	Ví dụ sáng chế
D-41	2,97	0,3	101	10,6	1,65	10,5	1,62	467	0	Ví dụ so sánh
D-42	2,95	0,5	99	10,7	1,65	10,5	1,62	463	0	Ví dụ so sánh
D-43	2,94	0,6	104	10,5	1,65	10,5	1,61	457	0	Ví dụ so sánh
D-44	2,96	2,6	99	10,0	1,70	9,9	1,70	461	0	Ví dụ so sánh
D-45	2,98	3,1	97	10,1	1,70	10,1	1,70	458	0	Ví dụ so sánh
D-46	2,97	2,9	104	10,3	1,69	10,0	1,69	457	0	Ví dụ so sánh
D-47	2,99	0,3	25	38,8	1,62	10,0	1,62	661	0	Ví dụ so sánh
D-48	2,99	0,4	19	38,1	1,62	10,0	1,61	665	0	Ví dụ so sánh
D-49	2,97	0,6	19	39,0	1,62	10,0	1,61	661	0	Ví dụ so sánh
D-50	2,96	3,1	19	39,4	1,69	29,7	1,69	676	0	Ví dụ so sánh
D-51	2,44	0,5	20	39,9	1,63	12,8	1,61	680	0	Ví dụ so sánh
D-52	2,42	0,5	19	38,4	1,62	11,5	1,60	690	0	Ví dụ so sánh
D-53	2,40	0,3	20	37,1	1,61	11,5	1,59	695	0	Ví dụ so sánh
D-54	2,45	0,4	19	35,0	1,60	10,7	1,58	707	0	Ví dụ so sánh
D-55	3,00	0,3	20	33,8	1,58	9,8	1,56	729	0	Ví dụ so sánh
D-56	2,90	0,3	19	32,8	1,57	10,0	1,55	747	0	Ví dụ so sánh
D-57	2,13	2,7	29	43,1	1,74	9,1	1,76	602	0	Ví dụ sáng chế
D-58	2,11	2,6	33	40,3	1,74	9,2	1,77	579	0	Ví dụ so sánh

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng, tấm thép này có thành phần hóa học chứa C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, Si với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 2,0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 4,0% khối lượng, Al với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,010% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 3,0% khối lượng, Mn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,4% khối lượng, P với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,0050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,20% khối lượng, S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030% khối lượng, và một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Mg, Ca, Sr, Ba, Ce, La, Nd, Pr, Zn và Cd với tổng là lớn hơn hoặc bằng 0,00050% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và có phần còn lại bao gồm Fe và tạp chất không tránh khỏi, trong đó:

khi biểu thị % khối lượng của Si là [Si], % khối lượng của Al là [Al] và % khối lượng của Mn là [Mn], thì tham số Q được thể hiện bằng công thức (1) sau đây là 2,0 hoặc lớn hơn,

tỷ lệ cường độ ngẫu nhiên của định hướng {100} là 2,4 hoặc lớn hơn, và

cỡ hạt trung bình là 30 μ m hoặc nhỏ hơn:

$$Q=[Si]+2[Al]-[Mn] \quad (1)$$

2. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 1, còn chứa ít nhất một thành phần được chọn từ nhóm bao gồm Sn với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 0,40% khối lượng, Cr với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,02% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng và Cu với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng.

3. Tấm thép điện không định hướng theo điểm 2, trong đó tấm thép này còn chứa Cu với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 0,10% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 2,00% khối lượng và các hạt kim loại Cu có đường kính 100nm hoặc nhỏ hơn ở mật độ 5/10 μ m² hoặc lớn hơn.

4. Tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3 trong đó độ bền kéo là 600MPa hoặc lớn hơn.

$\frac{1}{1}$

FIG. 1

