



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

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

(11)



1-0037386

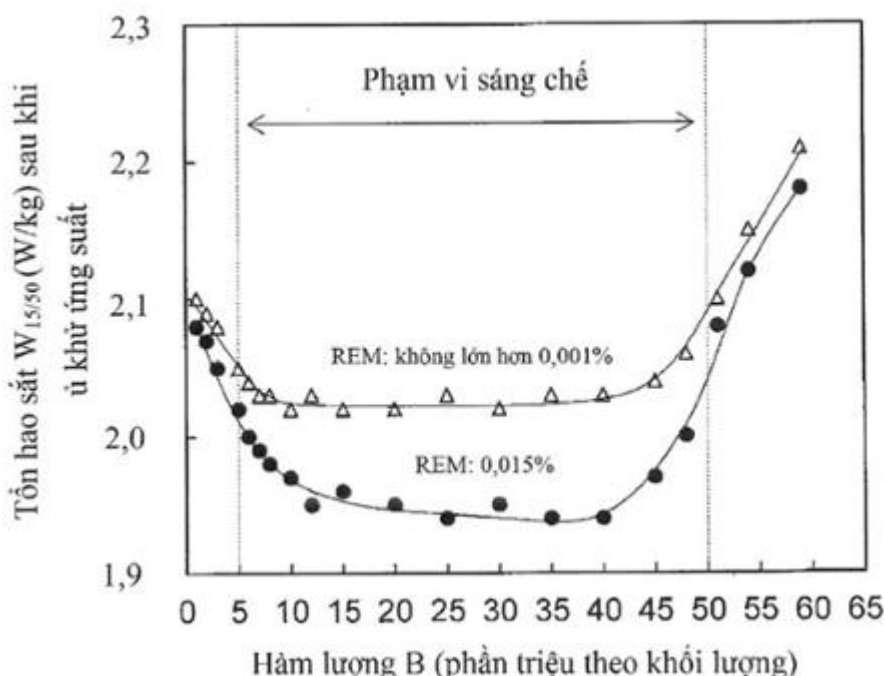
(51)⁷ C22C 38/00; C21D 9/46; H01F 1/147;
C22C 38/14; C22C 38/60; C21D 8/12

(13) B

- (21) 1-2019-03307 (22) 12/12/2017
(86) PCT/JP2017/044518 12/12/2017 (87) WO/2018/123558 05/07/2018
(30) 2016-254928 28/12/2016 JP; 2017-062216 28/03/2017 JP
(45) 27/11/2023 428 (43) 25/10/2019 379A
(73) JFE STEEL CORPORATION (JP)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japan
(72) OKUBO, Tomoyuki (JP); UESAKA, Masanori (JP); ODA, Yoshihiko (JP).
(74) Công ty Cổ phần Sở hữu công nghiệp INVESTIP (INVESTIP)

(54) TẤM THÉP KỸ THUẬT ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG CÓ KHẢ NĂNG TÁI CHẾ UỖ VIỆT

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có thành phần hóa học bao gồm C với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, Si với lượng 1,0-5,0% theo khối lượng, Mn với lượng 0,03-3,0% theo khối lượng, P với lượng không lớn hơn 0,2% theo khối lượng, S với lượng không lớn hơn 0,005% theo khối lượng, Al với lượng không lớn hơn 0,05% theo khối lượng, N với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, O với lượng không lớn hơn 0,010% theo khối lượng, Ti với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, Nb với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, B với lượng 0,0005-0,0050% theo khối lượng và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi, ưu việt không chỉ về khả năng tái chế mà còn về đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và, cụ thể hơn, là đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có khả năng tái chế ưu việt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, có yêu cầu cần phải thúc đẩy việc tái chế và tiết kiệm năng lượng để nhằm mục đích bảo vệ môi trường toàn cầu. Tương tự, trong lĩnh vực thiết bị điện, cần phải tăng tỷ lệ tái chế và tăng cường hiệu suất của các thiết bị điện. Do đó, việc phát triển các vật liệu không chỉ có khả năng tái chế ưu việt mà còn có tổn hao sắt thấp như các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sử dụng rộng rãi làm vật liệu lõi sắt cho các thiết bị điện được kỳ vọng một cách mạnh mẽ.

Là một ví dụ về kỹ thuật cải thiện khả năng tái chế của các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, tài liệu sáng chế 1 đề xuất phương pháp trong đó không chỉ các đặc tính từ mà khả năng tái chế cũng được cải thiện bằng cách giảm lượng nhôm (Al) xuống đến mức siêu thấp nhỏ hơn 0,0005% theo khối lượng trong các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng chứa 0,7-1,5% theo khối lượng là silic (Si) và 0,1-0,3% theo khối lượng là mangan (Mn).

Danh sách tài liệu trích dẫn

Các tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: JP-A-2004-277760

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Phương pháp được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 1 có hiệu quả khi hàm lượng Si và Mn trong vật liệu thép thô thấp, nhưng có vấn đề về chất lượng là khó có thể giảm đủ việc tổn hao sắt bằng cách ủ khử ứng suất trong thời gian ngắn khi mà hàm lượng Si và Mn cao. Phương pháp cũng có vấn đề trong việc sản xuất là không dễ làm giảm và kiểm soát hàm lượng Al xuống nhỏ hơn 0,0005% theo khối lượng.

Do đó, đối tượng của sáng chế là đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng ưu việt không chỉ về khả năng tái chế mà còn về đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất.

Giải pháp giải quyết vấn đề

Các tác giả sáng chế đã tập trung vào các thành phần vết được chứa trong vật liệu thép thô có hàm lượng Al thấp để giải quyết vấn đề nêu trên, và thực hiện các nghiên cứu khác nhau về ảnh hưởng của chúng lên đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất. Kết quả là, các tác giả đã phát hiện ra rằng không chỉ đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất được cải thiện mà hàm lượng Al cũng có thể được tăng lên đến 0,05% theo khối lượng, tức là cao hơn hàm lượng Al là 0,0005% theo khối lượng như được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 1, bằng cách bổ sung lượng thích hợp kim loại bo (B), và hơn nữa là đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất được cải thiện hơn khi B và Ca và/hoặc kim loại đất hiếm (Rare-Earth Metal: REM) được bổ sung kết hợp, và kết quả là, sáng chế đã được hoàn thành.

Sáng chế được đưa ra dựa trên kiến thức nêu trên là tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có thành phần hóa học bao gồm C với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, Si với lượng 1,0-5,0% theo khối lượng, Mn với lượng 0,03-3,0% theo khối lượng, P với lượng không lớn hơn 0,2% theo khối lượng, S với lượng không lớn hơn 0,005% theo khối lượng, Al với lượng không lớn hơn 0,05% theo khối lượng, N với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, O với lượng không lớn hơn 0,010% theo khối lượng, Ti với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, Nb với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, B với lượng 0,0005-0,0050% theo khối lượng và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế khác biệt ở chỗ còn chứa thêm một hoặc hai thành phần được chọn từ Ca với lượng 0,0010-0,010% theo khối lượng, và REM với lượng 0,0010-0,040% theo khối lượng ngoài các thành phần hóa học nêu trên.

Ngoài ra, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế khác biệt ở chỗ còn chứa thêm tổng cộng 0,005-0,20% theo khối lượng là một hoặc hai kim loại được lựa chọn từ Sn và Sb, ngoài hợp các thành phần hóa học nêu trên.

Ngoài ra, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế khác biệt ở chỗ còn chứa thêm Mg với lượng 0,0002-0,0050% theo khối lượng ngoài các thành phần hóa học nêu trên.

Hơn nữa, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế khác biệt ở chỗ tỷ lệ hàm lượng Mn (% theo khối lượng) so với hàm lượng Si (% theo khối lượng) $[Mn]/[Si]$ không nhỏ hơn 0,20,

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Theo sáng chế, các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng ưu việt không chỉ về khả năng tái chế mà còn về đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất có thể được tạo ra, vì vậy có thể đạt được đồng thời sự gia tăng về tỷ lệ tái chế và tiết kiệm năng lượng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là đồ thị thể hiện ảnh hưởng của việc bổ sung B và REM lên tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện.

Fig.2 là đồ thị thể hiện ảnh hưởng của việc bổ sung B và REM lên tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, thử nghiệm đã dẫn đến sự phát triển sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

Thép chứa Si và Mn với hàm lượng tương đối cao có thành phần hóa học bao gồm C với lượng 0,002% theo khối lượng, Si với lượng 2,5% theo khối lượng, Mn với lượng 1,02% theo khối lượng, P với lượng 0,02% theo khối lượng, Al với lượng 0,001% theo khối lượng, S với lượng 0,0021% theo khối lượng, N với lượng 0,0028% theo khối lượng, O với lượng 0,0045% theo khối lượng, Ti với lượng 0,0012% theo khối lượng, Nb với lượng 0,0005% theo khối lượng, B với lượng 0,0001-0,0059% theo khối lượng, REM với lượng 0,015% theo khối lượng hoặc không lớn hơn 0,001% theo khối lượng và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi được nung chảy trong phòng thí nghiệm và được đúc thành dạng thỏi thép, sau đó được cán nóng thành dạng tấm cán nóng có độ dày là 2,0 mm. Tấm cán nóng được đưa vào ủ bằng thép cán nóng ở nhiệt độ 980°C trong thời gian 30 giây, được tẩy gỉ và được cán nguội để tạo thành tấm cán nguội có độ dày là 0,30 mm. Tấm cán nguội sau đó được đưa vào ủ hoàn thiện tại nhiệt độ lưu là 1000°C trong thời gian lưu là 10 giây.

Mẫu thử nghiệm Epstein cỡ 280 mm x 30 mm được cắt ra khỏi tấm thép thu được sau khi ủ hoàn thiện theo cả hướng cán (hướng-L) và dọc theo hướng vuông góc với hướng cán (hướng-C), và thử nghiệm Epstein được thực hiện trên mẫu thử nghiệm này để đo các đặc tính từ (tổn hao sắt $W_{15/50}$).

Sau đó, mẫu thử nghiệm Epstein đã được thực hiện đo đặc tính từ nêu trên còn được đưa vào xử lý nhiệt (tốc độ nung nóng: 300°C/giờ, nhiệt độ lưu: 750°C, thời gian lưu: 0 giờ, và tốc độ làm nguội: 100°C/giờ) mô phỏng việc ủ khử ứng suất bởi người sử dụng, và sau đó các đặc tính từ (tổn hao sắt $W_{15/50}$) được đo lại.

Fig.1 thể hiện mối quan hệ giữa tổn hao sắt $W_{15/50}$ sau khi ủ hoàn thiện (trước khi ủ khử ứng suất) và các hàm lượng của B và REM. Fig.2 thể hiện mối quan hệ giữa tổn hao sắt $W_{15/50}$ sau khi ủ khử ứng suất và các hàm lượng của B và REM. Như được thấy từ Fig.1, khi lượng thích hợp B được bổ sung, tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện (trước khi ủ khử ứng suất) tăng nhẹ, nhưng tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất có thể được giảm xuống. Ngoài ra, khi REM được bổ sung kết hợp với B, không chỉ tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện (trước khi ủ khử ứng suất) có thể được giảm xuống, mà tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất cũng có thể được giảm xuống hơn nữa.

Thông thường, đã biết rằng khi tấm thép kỹ thuật điện sau khi dập được đưa vào ủ khử ứng suất, tổn hao sắt được giảm xuống do ứng suất biến dạng do gia công hoặc tương tự được giải phóng. Tuy nhiên, trong tấm thép có hàm lượng Si và Mn tương đối cao, tổn hao sắt hầu như không thay đổi trước khi và sau khi ủ khử ứng suất khi không chứa B. Ngược lại, tổn hao sắt được xác nhận là được giảm xuống bằng cách ủ khử ứng suất khi lượng thích hợp B được bổ sung vào tấm thép, và được giảm hơn nữa để cải thiện đặc tính tổn hao sắt khi REM được bổ sung kết hợp vào tấm thép. Lý do thu được các kết quả này đã được các tác giả sáng chế xem xét và xác nhận như sau.

Trong tấm thép có hàm lượng Si và Mn tương đối cao và không chứa B, các hợp chất nitrua của Si-Mn được kết tủa trong khi ủ khử ứng suất để ngăn cản sự di chuyển của các miền từ tính, và do đó tổn hao sắt bị tăng lên. Do đó, hiệu quả làm giảm tổn hao sắt bởi sự giải phóng ứng suất biến dạng do gia công thông qua việc ủ khử ứng suất bị bù trừ bởi sự gia tăng tổn hao sắt thông qua các Si-Mn nitrua, do đó không thể đạt được hiệu quả làm giảm tổn hao sắt bằng cách ủ khử ứng suất.

Mặt khác, khi lượng thích hợp B được bổ sung vào tấm thép, các hạt nitrua B kết tủa mịn (chủ yếu là BN) ngăn sự tăng trưởng hạt trong khi ủ hoàn thiện như là chất ức chế, vì vậy tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện (trước khi ủ khử ứng suất) được tăng lên đến

một mức độ nào đó. Tuy nhiên, N trong thép bị tiêu hao do sự tạo ra B nitrua để ngăn ngừa sự kết tủa của các Si-Mn nitrua trong khi ủ khử ứng suất, và do đó sự tăng trưởng hạt trong khi ủ khử ứng suất được thúc đẩy làm giảm tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất.

Hơn nữa, khi REM được bổ sung kết hợp cùng với B vào trong tấm thép, có thể quan sát thấy là BN được kết tủa trên chất lẫn REM tương đối thô (chất đã sulfat hóa). Do đó, trong tấm thép được bổ sung kết hợp với B và REM, BN được kết tủa và phân tán mịn được hạn chế để thúc đẩy sự tăng trưởng hạt tinh thể trong khi ủ hoàn thiện, vì vậy đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện (trước khi ủ khử ứng suất) được cải thiện đến mức độ như trong tấm không chứa B. Đồng thời, sự tạo thành của các Si-Mn nitrua được hạn chế trong khi ủ khử ứng suất, vì vậy lượng tổn hao sắt được giảm bằng cách ủ khử ứng suất được tăng nhiều hơn. Nghĩa là, tổn hao sắt sau khi ủ hoàn thiện và sau khi ủ khử ứng suất có thể được giảm đáng kể bằng cách bổ sung lượng thích hợp B và REM kết hợp.

Hơn nữa, hiệu quả của REM cũng được ghi nhận đối với Ca, theo nghiên cứu của các tác giả sáng chế. Sáng chế được phát triển được dựa trên kiến thức nêu trên.

Thành phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế sẽ được mô tả dưới đây.

C: không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng

C là nguyên tố có hại tạo ra cacbua gây ra sự già hóa từ tính và làm suy giảm đặc tính tổn hao sắt của tấm sản phẩm, vì vậy giới hạn trên của hàm lượng C được hạn chế ở mức 0,0050% theo khối lượng. Tốt hơn là, hàm lượng C không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng. Hơn nữa, giới hạn dưới của hàm lượng C không được hạn chế cụ thể bởi vì hàm lượng thấp hơn được ưu tiên.

Si: 1,0-5,0% theo khối lượng

Si là nguyên tố có hiệu quả làm tăng điện trở suất của thép để làm giảm tổn hao sắt. Vì Si là nguyên tố không có từ tính, có vấn đề là sự bổ sung lượng lớn Si làm giảm mật độ từ thông. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, hiệu suất động cơ được cải thiện nhờ hiệu ứng giảm tổn hao sắt, vì vậy Si được bổ sung tích cực theo sáng chế. Đồng thời, sáng chế là giải pháp kỹ thuật để hạn chế việc ngăn cản sự tăng trưởng hạt do sự kết tủa của silic nitrua trong khi ủ khử ứng suất. Khi hàm lượng Si là nhỏ hơn 1,0% theo khối lượng, ảnh hưởng xấu nêu trên là không rõ rệt, vì vậy hiệu quả của sáng chế không được phát triển. Mặt khác, khi lượng Si được bổ sung là vượt quá 5,0% theo khối lượng, việc

cán trở nên khó khăn. Do đó, theo sáng chế, hàm lượng Si nằm trong phạm vi từ 1,0-5,0% theo khối lượng. Tốt hơn là, từ 1,5-4,0% theo khối lượng. Tốt hơn nữa là, từ 2,0-3,5% theo khối lượng.

Mn: 0,03-3,0% theo khối lượng

Mn liên kết với S để ngăn tính giòn nóng do S và có hiệu quả làm tăng điện trở suất của thép để làm giảm tổn hao sắt. Vì Mn là nguyên tố có lượng tăng cường dung dịch rắn nhỏ hơn so với của Si, điện trở suất có thể được tăng lên mà không làm tổn hại đến khả năng dập của thép như so với Si, vì vậy nó được bổ sung tích cực theo sáng chế. Để đạt được hiệu quả nêu trên, cần phải bổ sung Mn với lượng không nhỏ hơn 0,03% theo khối lượng. Mặt khác, khi vượt quá 3,0% theo khối lượng, lượng Mn cacbua kết tủa được tăng lên làm ngăn cản sự tăng trưởng hạt và làm tăng nhẹ tổn hao sắt. Do đó, lượng Mn ở trong phạm vi từ 0,03-3,0% theo khối lượng. Tốt hơn là, nó ở trong phạm vi từ 0,3-2,0% theo khối lượng.

[Mn]/[Si]: không nhỏ hơn 0,20

Si và Mn là các nguyên tố tạo ra nitrua. Khi Si và Mn được bổ sung kết hợp, sự tạo thành của Si-Mn nitrua được thúc đẩy trong khi ủ khử ứng suất. Cụ thể, khi tỷ lệ hàm lượng Mn (% theo khối lượng) trên hàm lượng Si (% theo khối lượng) [Mn]/[Si] không nhỏ hơn 0,20, Si-Mn nitrua có thể dễ dàng được tạo ra, ngăn cản sự tăng trưởng hạt và không tạo ra hiệu quả làm giảm tổn hao sắt bằng cách ủ khử ứng suất. Nghĩa là, khi [Mn]/[Si] không nhỏ hơn 0,20, hiệu quả của sáng chế trở nên rõ rệt. Do đó, tốt hơn là giải pháp kỹ thuật theo sáng chế được áp dụng cho các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có tỷ lệ [Mn]/[Si] không nhỏ hơn 0,20, Tốt hơn nữa là, không nhỏ hơn 0,30,

P: không lớn hơn 0,2% theo khối lượng

Vì P có khả năng tăng cường dung dịch rắn cao, nó có thể được bổ sung một cách thích hợp để điều chỉnh độ bền (độ cứng) của thép. Để đạt được hiệu quả này, tốt hơn là lượng P bổ sung không nhỏ hơn 0,04% theo khối lượng. Tuy nhiên, khi lượng P bổ sung vượt quá 0,2% theo khối lượng, việc cán trở nên khó khăn do tính giòn của thép, vì vậy giới hạn trên của P là 0,2% theo khối lượng. Tốt hơn là, không lớn hơn 0,10% theo khối lượng.

Al: không lớn hơn 0,05% theo khối lượng

Al là nguyên tố có hại làm suy giảm khả năng tái chế và tốt hơn là được giảm nhiều nhất có thể. Cụ thể, khi lượng Al vượt quá 0,05% theo khối lượng, việc tái chế trở

nên khó khăn. Khi lượng Al không lớn hơn 0,005% theo khối lượng, AlN mịn được giảm xuống để thúc đẩy sự tăng trưởng hạt tinh thể, điều này có lợi cho việc giảm tổn hao sắt của tấm sản phẩm. Tuy nhiên, theo sáng chế, N được cố định dưới dạng B nitrua (chủ yếu là BN), vì vậy ngay cả khi lượng Al được bổ sung lên đến 0,05% theo khối lượng, rất khó tạo ra AlN mịn và ảnh hưởng xấu khi tăng trưởng hạt là nhỏ. Do đó, giới hạn trên của lượng Al theo sáng chế là 0,05% theo khối lượng. Tốt hơn là, không lớn hơn 0,02% theo khối lượng.

N: không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng

N là nguyên tố có hại tạo thành nitrua với Si và/hoặc Mn để ngăn cản sự tăng trưởng hạt và làm tăng tổn hao sắt. Ảnh hưởng xấu như thế trở nên rõ rệt khi hàm lượng N vượt quá 0,0050% theo khối lượng, vì vậy giới hạn trên của hàm lượng N là 0,0050% theo khối lượng. Tốt hơn là không lớn hơn 0,003% theo khối lượng.

S: không lớn hơn 0,005% theo khối lượng

S là nguyên tố tạo ra sulfua làm ngăn cản sự tăng trưởng hạt và làm tăng tổn hao sắt. Cụ thể, khi hàm lượng S vượt quá 0,005% theo khối lượng, ảnh hưởng xấu nêu trên trở nên rõ rệt, vì vậy giới hạn trên của hàm lượng S là 0,005% theo khối lượng. Tốt hơn là, không lớn hơn 0,003% theo khối lượng.

O: không lớn hơn 0,010% theo khối lượng

O là nguyên tố tạo ra oxit ngăn cản sự tăng trưởng hạt và làm tăng tổn hao sắt. Cụ thể, khi hàm lượng O vượt quá 0,010% theo khối lượng, ảnh hưởng xấu nêu trên trở nên rõ rệt, vì vậy giới hạn trên của hàm lượng O là 0,010% theo khối lượng. Tốt hơn là, không lớn hơn 0,005% theo khối lượng.

Ti: không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, Nb: không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng

Ti và Nb là các nguyên tố liên kết với C trong thép để làm suy giảm kết cấu kết tinh lại và làm giảm mật độ từ thông của tấm sản phẩm. Khi hàm lượng mỗi nguyên tố này vượt quá 0,0030% theo khối lượng, ảnh hưởng xấu nêu trên trở nên rõ rệt, vì vậy giới hạn trên của hàm lượng của mỗi nguyên tố này là 0,0030% theo khối lượng. Tốt hơn là, không lớn hơn 0,0015% theo khối lượng.

B: 0,0005-0,0050% theo khối lượng

B tạo ra nitrua ổn định để ngăn sự tạo thành của Si-Mn nitrua trong khi ủ khử ứng suất và có tác dụng giảm tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất, vì vậy đây là nguyên tố quan trọng theo sáng chế. Khi hàm lượng B nhỏ hơn 0,0005% theo khối lượng, tác dụng nêu trên là nhỏ, trong khi hàm lượng vượt quá 0,0050% theo khối lượng, sự tăng trưởng hạt bị ngăn lại làm suy giảm đặc tính tổn hao sắt. Do đó, hàm lượng B nằm trong phạm vi từ 0,0005-0,0050% theo khối lượng. Giới hạn dưới của hàm lượng B tốt hơn là không nhỏ hơn 0,0010% theo khối lượng, tốt hơn nữa là không nhỏ hơn 0,0020% theo khối lượng theo quan điểm giảm tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất.

Hơn nữa, có xu hướng là B nitrua được kết tủa dễ dàng lên trên oxit của Ca và/hoặc REM như đã được mô tả ở phần trước, tốt hơn là B được bổ sung kết hợp cùng với Ca và/hoặc REM để tăng cường hiệu quả làm giảm tổn hao sắt bởi B.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có thể chứa Ca, REM, Sn và Sb trong các phạm vi dưới đây ngoài các thành phần cơ bản nêu trên.

Ca: 0,0010-0,010% theo khối lượng, REM: 0,0010-0,040% theo khối lượng

Cả Ca và REM có hiệu quả hạn chế việc tăng tổn hao sắt do B bằng cách bổ sung kết hợp cùng với B. Để đạt được hiệu quả này, tốt hơn là bổ sung mỗi nguyên tố với lượng không nhỏ hơn 0,0010% theo khối lượng. Tuy nhiên, khi Ca được bổ sung với lượng vượt quá 0,010% theo khối lượng và/hoặc REM được bổ sung với lượng vượt quá 0,040% theo khối lượng, hiệu quả cải thiện đặc tính tổn hao sắt bị bão hòa và các chất lẫn ngăn cản sự dịch chuyển của thành miền từ tính làm tăng hơn nữa tổn hao sắt. Do đó, khi Ca và/hoặc REM được bổ sung, tốt hơn là hàm lượng Ca ở trong phạm vi từ 0,0010-0,010% theo khối lượng, và hàm lượng REM ở trong phạm vi từ 0,0010-0,040% theo khối lượng. Tốt hơn nữa là, hàm lượng Ca ở trong phạm vi từ 0,0020-0,0050% theo khối lượng và hàm lượng REM ở trong phạm vi từ 0,0040-0,020% theo khối lượng.

Sn và Sb: 0,005-0,20% theo khối lượng tổng

Sn và Sb có tác dụng cải thiện kết cấu kết tinh lại để cải thiện mật độ từ thông có tổn hao sắt. Để đạt được hiệu quả này, các nguyên tố cần phải được bổ sung với lượng không nhỏ hơn 0,005% theo khối lượng tổng. Mặt khác, khi chúng được bổ sung với lượng vượt quá 0,20% theo khối lượng, tác dụng nêu trên bị bão hòa. Do đó, khi Sn và/hoặc Sb được bổ sung, tốt hơn là chúng được bổ sung với lượng trong phạm vi từ 0,005-0,20% theo khối lượng tổng. Tốt hơn nữa là, tổng lượng Al ở trong phạm vi từ 0,01-0,10% theo khối lượng.

Mg: 0,0002-0,0050% theo khối lượng

Mg có tác dụng cải thiện đặc tính tổn hao sắt bằng cách tạo ra sunfua ổn định lên đến nhiệt độ cao hơn để ngăn sự hình thành sulfua mịn và thúc đẩy sự tăng trưởng hạt. Để đạt được hiệu quả này, lượng Mg bổ sung cần thiết là không nhỏ hơn 0,0002% theo khối lượng. Mặt khác, khi lượng Mg bổ sung vượt quá 0,0050% theo khối lượng, đặc tính tổn hao sắt bị suy giảm hơn. Do đó, khi Mg được bổ sung, tốt hơn là với lượng ở trong phạm vi từ 0,0002-0,0050% theo khối lượng. Tốt hơn nữa là, nó ở trong phạm vi từ 0,0004-0,0020% theo khối lượng.

Trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, phần còn lại khác với các thành phần nêu trên là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế sẽ được mô tả dưới đây.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có thể được sản xuất bằng cách nung chảy thép có thành phần hóa học nêu trên theo sáng chế thông qua quá trình tinh luyện đã biết thông thường với lò chuyển, lò điện, thiết bị khử khí chân không hoặc thiết bị tương tự, tạo hình thép đã nung chảy thành phôi tấm thép thông qua phương pháp đúc liên tục hoặc phương pháp luyện thép thành thỏi/đúc thành thỏi lớn, cán nóng phôi tấm thép thông qua quá trình đã biết để tạo thành tấm cán nóng, đưa tấm cán nóng vào ủ bằng thép cán nóng nếu cần, sau đó đưa tấm cán nóng vào cán nguội một lần hoặc cán nguội hai hoặc nhiều lần có bước ủ trung gian xen giữa để tạo ra tấm cán nguội có độ dày cuối cùng, và đưa tấm cán nguội vào ủ hoàn thiện.

Ở đây, tốt hơn là thực hiện việc ủ bằng thép cán nóng bởi vì phương pháp ủ này có hiệu quả cải thiện các đặc tính từ mặc dù chi phí sản xuất tăng lên.

Ngoài ra, nhiệt độ của ủ hoàn thiện sau khi cán nguội được mong muốn điều chỉnh theo các trị số đích của các đặc tính từ và các đặc tính cơ học và tốt hơn là không thấp hơn 900°C từ quan điểm là sự tăng trưởng hạt được thúc đẩy để làm giảm tổn hao sắt. Tốt hơn nữa là, nhiệt độ ủ hoàn thiện ở trong phạm vi từ 950-1050°C. Hơn nữa, môi trường ủ trong ủ hoàn thiện tốt nhất là môi trường khử như là không khí được trộn lẫn khí hydro-khí nitơ có tỷ lệ P_{H_2O}/P_{H_2} không lớn hơn 0,1, tốt hơn nữa là không khí được trộn lẫn khí hydro-khí nitơ có tỷ lệ P_{H_2O}/P_{H_2} không lớn hơn 0,01.

Tấm thép sau khi ủ hoàn thiện tốt hơn là được phủ màng cách điện lên trên bề mặt để đảm bảo các đặc tính cách điện trong quá trình cán mỏng và/hoặc cải thiện khả năng

dập. Màng cách điện tốt hơn là màng hữu cơ chứa nhựa để đảm bảo khả năng dập tốt. Ngoài ra, tốt hơn là màng bán hữu cơ hoặc màng vô cơ khi cần xét đến khả năng hàn.

Từ đó tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được theo sáng chế ưu việt không chỉ về khả năng tái chế mà còn cả về đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất, vì vậy nó được đúc lỗ thành dạng lõi dùng cho roto và stato và được tạo lớp để tạo nên lõi động cơ, mà có thể được sử dụng trong các ứng dụng được đưa vào ủ khử ứng suất. Việc ủ khử ứng suất tốt hơn là được thực hiện trong môi trường khí trơ dưới điều kiện nhiệt độ từ 700 đến 900°C trong thời gian từ 0,1 đến 10 giờ. Khi nhiệt độ ủ thấp hơn 700°C và/hoặc thời gian lưu nhỏ hơn 0,1 giờ, sự tăng trưởng hạt là không đủ và hiệu quả làm giảm tổn hao sắt thông qua ủ khử ứng suất không thể đạt được đủ, trong khi khi nhiệt độ ủ vượt quá 900°C, không thể ngăn chặn được chảy dính màng cách điện, và do vậy khó có thể đảm bảo các đặc tính cách điện giữa các tấm thép và tổn hao sắt bị tăng lên. Ngoài ra, khi thời gian lưu vượt quá 10 giờ, năng suất bị hạ thấp làm tăng chi phí sản xuất. Điều kiện tốt hơn nữa là nhiệt độ trong khoảng 720-820°C trong thời gian từ 1 đến 3 giờ.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Mỗi loại thép có các thành phần hóa học khác nhau được thể hiện trong bảng 1 được nung chảy và được tạo hình thành phôi tấm thép. Phôi tấm thép được nung nóng đến nhiệt độ 1100°C trong thời gian 30 phút và được đưa vào cán nóng với nhiệt độ cuối của bước cán cuối cùng là 900°C để tạo ra tấm cán nóng có độ dày là 2,3 mm, sau đó được cuộn thành cuộn ở nhiệt độ cuộn là 580°C. Sau đó, tấm cán nóng được tẩy gỉ để làm sạch cặn và được cán nguội để tạo thành tấm cán nguội có độ dày là 0,35 mm. Tấm cán nguội được đưa vào ủ hoàn thiện trong môi trường không khí chứa khí hydro và khí nito với tỷ lệ $H_2:N_2 = 20:80$ (P_{H_2O}/P_{H_2} : 0,001) ở nhiệt độ 1000°C trong thời gian 10 giây và được phủ với màng cách điện để thu được tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (tấm sản phẩm).

* : SRA : Ủ khử ứng suất

Bảng 1-1

Tám thép số	Thành phần hóa học (% theo khối lượng:ngoại trừ Mn/Si)													Mật độ tổn hao sắt từ $W_{15/50}$ (W/kg)		Ghi chú				
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	B	O	Ca	REM	Mg	Các nguyên tố khác		Mn/Si	trước khi SRA	Sau khi SRA	
																		$B_{50}(T)$	SRA	
1	0,0015	2,16	0,82	0,06	0,0021	0,0001	0,0026	0,0009	0,0008	<0,0001	0,0030	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,38	1,698	2,353	2,321	Ví dụ so sánh
2	0,0015	2,14	0,76	0,02	0,0021	0,0002	0,0014	0,0019	0,0006	<0,0001	0,0025	<0,0001	0,0210	<0,0001	–	0,36	1,699	2,342	2,323	Ví dụ so sánh
3	0,0018	2,22	0,82	0,01	0,0011	0,0004	0,0017	0,0009	0,0004	<0,0001	0,0030	0,0031	<0,0001	<0,0001	–	0,37	1,697	2,334	2,316	Ví dụ so sánh
4	0,0019	2,15	0,77	0,02	0,0026	0,0002	0,0024	0,0019	0,0002	0,0003	0,0028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,36	1,695	2,381	2,302	Ví dụ so sánh
5	0,0021	2,10	0,71	0,01	0,0008	0,0001	0,0013	0,0019	0,0012	0,0006	0,0027	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,34	1,699	2,392	2,224	Ví dụ theo sáng chế
6	0,0029	2,26	0,72	0,01	0,0011	0,0003	0,0020	0,0016	0,0008	0,0017	0,0028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,32	1,695	2,396	2,213	Ví dụ theo sáng chế
7	0,0019	2,22	0,68	0,02	0,0021	0,0002	0,0019	0,0013	0,0004	0,0045	0,0015	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,31	1,667	2,399	2,228	Ví dụ theo sáng chế
8	0,0024	2,23	0,81	0,01	0,0015	0,0003	0,0018	0,0016	0,0004	0,0053	0,0020	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,36	1,681	2,453	2,311	Ví dụ so sánh
9	0,0013	2,18	0,81	0,01	0,0013	0,0002	0,0021	0,0017	0,0008	0,0024	0,0018	<0,0001	0,0008	<0,0001	–	0,37	1,694	2,392	2,214	Ví dụ theo sáng chế
10	0,0014	2,10	0,67	0,02	0,0022	0,0002	0,0014	0,0013	0,0001	0,0016	0,0026	<0,0001	0,0014	<0,0001	–	0,32	1,696	2,361	2,191	Ví dụ theo sáng chế
11	0,0024	2,24	0,75	0,01	0,0021	0,0003	0,0012	0,0018	0,0008	0,0015	0,0023	<0,0001	0,0048	<0,0001	–	0,33	1,699	2,316	2,132	Ví dụ theo sáng chế
12	0,0029	2,24	0,84	0,01	0,0008	0,0001	0,0019	0,0018	0,0012	0,0021	0,0034	0,0031	0,0080	<0,0001	–	0,38	1,702	2,313	2,119	Ví dụ theo sáng chế
13	0,0023	2,11	0,79	0,02	0,0028	0,0003	0,0012	0,0008	0,0005	0,0013	0,0029	<0,0001	0,0100	<0,0001	Sb:0,08	0,37	1,731	2,216	2,042	Ví dụ theo sáng chế

Tám thép số	Thành phần hóa học (% theo khối lượng:ngoại trừ Mn/Si)														Mật độ từ B ₅₀ (T)	tồn hao sắt W _{15/50} (W/kg)		Ghi chú		
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	B	O	Ca	REM	Mg	Các nguyên tố khác	Mn/Si	trước khi SRA		Sau khi SRA	
14	0,0017	2,28	0,68	0,01	0,0028	0,0002	0,0023	0,0018	0,0009	0,0023	0,0037	<0,0001	0,0160	<0,0001	–	0,30	1,704	2,316	2,131	Ví dụ theo sáng chế
15	0,0015	2,11	0,80	0,01	0,0026	0,0004	0,0014	0,0018	0,0006	0,0016	0,0029	<0,0001	0,0370	<0,0001	–	0,38	1,692	2,351	2,168	Ví dụ theo sáng chế
16	0,0010	2,19	0,76	0,02	0,0021	0,0001	0,0026	0,0010	0,0002	0,0015	0,0036	<0,0001	0,0430	<0,0001	–	0,35	1,686	2,501	2,316	Ví dụ so sánh
17	0,0021	2,15	0,76	0,01	0,0009	0,0002	0,0013	0,0014	0,0009	0,0024	0,0021	0,0007	<0,0001	<0,0001	–	0,35	1,695	2,391	2,218	Ví dụ theo sáng chế
18	0,0016	2,28	0,79	0,02	0,0014	0,0003	0,0020	0,0017	0,0003	0,0016	0,0028	0,0013	<0,0001	<0,0001	–	0,35	1,704	2,359	2,187	Ví dụ theo sáng chế
19	0,0025	2,23	0,66	0,01	0,0023	0,0001	0,0024	0,0016	0,0009	0,0015	0,0020	0,0046	<0,0001	<0,0001	–	0,30	1,701	2,324	2,126	Ví dụ theo sáng chế
20	0,0014	2,28	0,82	0,04	0,0027	0,0001	0,0020	0,0012	0,0005	0,0018	0,0029	0,0036	<0,0001	<0,0001	Sn:0,05	0,36	1,725	2,224	2,053	Ví dụ theo sáng chế
21	0,0024	2,25	0,70	0,01	0,0008	0,0003	0,0015	0,0020	0,0008	0,0021	0,0040	0,0091	<0,0001	<0,0001	–	0,31	1,704	2,348	2,172	Ví dụ theo sáng chế
22	0,0030	2,17	0,69	0,01	0,0020	0,0002	0,0017	0,0007	0,0010	0,0023	0,0017	0,0120	<0,0001	<0,0001	–	0,32	1,687	2,499	2,308	Ví dụ so sánh
23	0,0011	2,23	0,66	0,01	0,0013	0,0080	0,0022	0,0005	0,0011	0,0015	0,0032	<0,0001	<0,0001	<0,0001	–	0,30	1,691	2,383	2,225	Ví dụ theo sáng chế
24	0,0016	2,12	0,67	0,02	0,0015	0,0160	0,0021	0,0011	0,0010	0,0023	0,0020	<0,0001	0,0140	<0,0001	–	0,32	1,696	2,326	2,136	Ví dụ theo sáng chế
25	0,0023	2,11	0,61	0,02	0,0011	0,0290	0,0018	0,0016	0,0004	0,0019	0,0023	0,0032	<0,0001	<0,0001	–	0,29	1,698	2,319	2,129	Ví dụ theo sáng chế
26	0,0030	2,25	0,81	0,01	0,0016	0,0130	0,0013	0,0018	0,0010	0,0015	0,0028	<0,0001	0,0130	<0,0001	Sn:0,09	0,36	1,732	2,216	2,064	Ví dụ theo sáng chế
27	0,0025	2,10	0,73	0,02	0,0018	0,0150	0,0024	0,0005	0,0004	0,0025	0,0036	0,0038	<0,0001	<0,0001	Sb:0,03	0,35	1,719	2,243	2,092	Ví dụ theo sáng chế

* : SRA : Ủ khử ứng suất

Bảng 1-2

Tám thép số	Thành phần hóa học (% theo khối lượng:ngoại trừ Mn/Si)														Mật độ từ B ₅₀ (T)	tổn hao sắt W _{15/50} (W/kg)	Ghi chú			
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	B	O	Ca	REM	Mg	Các nguyên tố khác	Mn/S _i		trước khi SRA	Sau khi SRA	
																		SRA	SRA	
28	0,0010	2,17	0,54	0,01	0,0023	0,0001	0,0025	0,0014	0,0005	0,0021	0,0039	<0,0001	0,0160	<0,0001	—	0,25	1,703	2,361	2,162	Ví dụ theo sáng chế
29	0,0023	2,14	0,39	0,03	0,0020	0,0001	0,0021	0,0018	0,0006	0,0018	0,0035	<0,0001	0,0110	<0,0001	—	0,18	1,705	2,383	2,183	Ví dụ theo sáng chế
30	0,0018	2,12	0,13	0,02	0,0019	0,0003	0,0030	0,0018	0,0009	0,0035	0,0031	<0,0001	0,0150	<0,0001	—	0,06	1,706	2,402	2,217	Ví dụ theo sáng chế
31	0,0030	2,10	0,55	0,02	0,0025	0,0002	0,0015	0,0007	0,0002	<0,0001	0,0028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,26	1,701	2,372	2,331	Ví dụ so sánh
32	0,0030	2,18	0,38	0,02	0,0024	0,0003	0,0014	0,0006	0,0007	<0,0001	0,0024	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,17	1,704	2,394	2,327	Ví dụ so sánh
33	0,0018	2,13	0,14	0,01	0,0027	0,0002	0,0021	0,0006	0,0002	<0,0001	0,0020	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,07	1,703	2,426	2,301	Ví dụ so sánh
34	0,0022	1,26	0,39	0,02	0,0016	0,0003	0,0022	0,0020	0,0011	0,0024	0,0024	0,0049	<0,0001	<0,0001	—	0,31	1,719	2,501	2,326	Ví dụ theo sáng chế
35	0,0019	2,91	1,08	0,01	0,0023	0,0160	0,0013	0,0008	0,0001	0,0015	0,0019	<0,0001	0,0180	<0,0001	—	0,37	1,687	2,279	2,081	Ví dụ theo sáng chế
36	0,0030	3,39	1,62	0,01	0,0025	0,0003	0,0023	0,0012	0,0010	0,0026	0,0020	0,0051	0,0120	<0,0001	—	0,48	1,667	2,163	1,956	Ví dụ theo sáng chế
37	0,0011	1,21	0,38	0,01	0,0020	0,0001	0,0026	0,0008	0,0010	<0,0001	0,0028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,31	1,716	2,516	2,501	Ví dụ so sánh
38	0,0022	2,99	1,12	0,01	0,0011	0,0003	0,0014	0,0007	0,0007	<0,0001	0,0016	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,37	1,682	2,264	2,253	Ví dụ so sánh
39	0,0021	3,32	1,58	0,01	0,0018	0,0002	0,0023	0,0016	0,0009	<0,0001	0,0019	<0,0001	<0,0001	<0,0001	—	0,48	1,663	2,156	2,131	Ví dụ so sánh
40	0,0022	2,19	0,82	0,02	0,0022	0,0002	0,0055	0,0012	0,0010	0,0026	0,0016	<0,0001	0,0130	<0,0001	—	0,37	1,672	2,503	2,318	Ví dụ so sánh

Tám thép số	Thành phần hóa học (% theo khối lượng:ngoại trừ Mn/Si)														Mật độ tổn hao sắt từ $W_{15/50}$ (W/kg)		Ghi chú			
															B ₅₀ (T)					
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	B	O	Ca	REM	Mg	Các nguyên tố khác	Mn/Si		trước khi SRA	Sau khi SRA	
41	0,0030	2,12	0,69	0,01	0,0027	0,0004	0,0015	0,0005	0,0004	0,0012	0,0110	<0,0001	0,0140	<0,0001	—	0,33	1,673	2,498	2,316	Ví dụ so sánh
42	0,0026	2,24	0,75	0,04	0,0028	0,0001	0,0014	0,0038	0,0006	0,0018	0,0034	<0,0001	0,0160	<0,0001	—	0,33	1,675	2,499	2,321	Ví dụ so sánh
43	0,0024	2,27	0,83	0,06	0,0017	0,0002	0,0015	0,0006	0,0036	0,0019	0,0016	<0,0001	0,0160	<0,0001	—	0,37	1,671	2,503	2,315	Ví dụ so sánh
44	0,0018	2,06	0,73	0,03	0,0018	0,007	0,0021	0,0007	0,0001	0,0015	0,0019	<0,001	<0,001	0,0002	—	0,35	1,693	2,352	2,195	Ví dụ theo sáng chế
45	0,0013	2,11	0,68	0,02	0,0013	0,008	0,0018	0,0005	0,0002	0,0016	0,0014	<0,001	<0,001	0,0004	—	0,32	1,695	2,318	2,160	Ví dụ theo sáng chế
46	0,0015	2,08	0,78	0,01	0,0015	0,007	0,0025	0,0011	0,0003	0,0014	0,0018	<0,001	<0,001	0,0018	—	0,38	1,697	2,317	2,155	Ví dụ theo sáng chế
47	0,0016	2,11	0,68	0,01	0,0018	0,007	0,0024	0,0008	0,0001	0,0016	0,0019	<0,001	<0,001	0,0023	—	0,32	1,698	2,316	2,157	Ví dụ theo sáng chế
48	0,0023	2,03	0,65	0,02	0,0016	0,008	0,0019	0,0003	0,0005	0,0015	0,0023	<0,001	<0,001	0,0045	—	0,32	1,698	2,346	2,188	Ví dụ theo sáng chế
49	0,0018	2,04	0,73	0,01	0,0013	0,007	0,0022	0,0005	0,0004	0,0013	0,0022	<0,001	<0,001	0,0065	—	0,36	1,697	2,376	2,222	Ví dụ theo sáng chế
50	0,0021	2,06	0,71	0,03	0,0014	0,008	0,0021	0,0004	0,0001	0,0015	0,0020	<0,001	0,0160	0,0006	—	0,34	1,696	2,283	2,130	Ví dụ theo sáng chế
51	0,0016	2,12	0,76	0,01	0,0016	0,007	0,0023	0,0006	0,0002	0,0016	0,0021	0,0028	<0,001	0,0008	—	0,36	1,697	2,281	2,131	Ví dụ theo sáng chế
52	0,0018	2,13	0,72	0,01	0,0018	0,007	0,0022	0,0003	0,0003	0,0014	0,0031	<0,001	0,0150	0,0012	Sn : 0,06	0,34	1,728	2,201	2,050	Ví dụ theo sáng chế
53	0,0013	2,11	0,77	0,01	0,0017	0,007	0,0019	0,0009	0,0004	0,0016	0,0026	0,0035	<0,001	0,0015	Sb : 0,04	0,36	1,720	2,217	2,055	Ví dụ theo sáng chế

Từ tấm sản phẩm đã thu được lấy ra các mẫu thử nghiệm Epsteins cỡ 280 mm x 30 mm theo hướng cán và dọc theo hướng vuông góc với hướng cán, mà được đưa vào thử nghiệm Epstein để đo tổn hao sắt $W_{15/50}$ có mật độ từ thông B_{50} ,

Sau đó, các mẫu thử nghiệm Epsteins sau khi đo tổn hao sắt được đưa vào xử lý nhiệt (tốc độ nung nóng: $300^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$, nhiệt độ lưu: 750°C , thời gian lưu: 0 giờ, tốc độ làm nguội: $100^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$) mô phỏng việc ủ khử ứng suất SRA bởi người sử dụng, và sau đó tổn hao sắt $W_{15/50}$ và mật độ từ thông B_{50} được đo lại lần nữa.

Các kết quả được đo ở trên cũng được thể hiện trên bảng 1. Các phần ghi chép về mật độ từ thông sau khi ủ khử ứng suất được bỏ qua bởi vì chúng xấp xỉ bằng với mật độ từ thông sau khi ủ hoàn thiện. Như được thấy từ bảng này, các tấm thép có thành phần hóa học theo sáng chế ưu việt về đặc tính tổn hao sắt sau khi ủ khử ứng suất ngay cả khi hàm lượng Si và Mn là tương đối cao.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tăm thép kỹ thuật điện không định hướng có thành phần hóa học bao gồm C với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, Si với lượng 2,0-5,0% theo khối lượng, Mn với lượng 0,03-3,0% theo khối lượng, P với lượng không lớn hơn 0,2% theo khối lượng, S với lượng không lớn hơn 0,005% theo khối lượng, Al với lượng không lớn hơn 0,05% theo khối lượng, N với lượng không lớn hơn 0,0050% theo khối lượng, O với lượng không lớn hơn 0,010% theo khối lượng, Ti với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, Nb với lượng không lớn hơn 0,0030% theo khối lượng, B với lượng 0,0005-0,0050% theo khối lượng và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi, trong đó tỷ lệ hàm lượng Mn (% theo khối lượng) trên hàm lượng Si (% theo khối lượng) $[Mn]/[Si]$ không nhỏ hơn 0,20.

2. Tăm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1, trong đó tấm thép này còn bao gồm một hoặc hai thành phần được chọn từ Ca với lượng 0,0010-0,010% theo khối lượng và kim loại đất hiếm (REM) với lượng 0,0010-0,040% theo khối lượng ngoài các thành phần hóa học nêu trên.

3. Tăm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tấm thép này còn bao gồm tổng cộng 0,005-0,20% theo khối lượng là một hoặc hai nguyên tố được chọn từ Sn và Sb ngoài các thành phần hóa học nêu trên.

4. Tăm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó tấm thép này còn bao gồm Mg với lượng 0,0002-0,0050% theo khối lượng ngoài các thành phần hóa học nêu trên.

Fig. 1

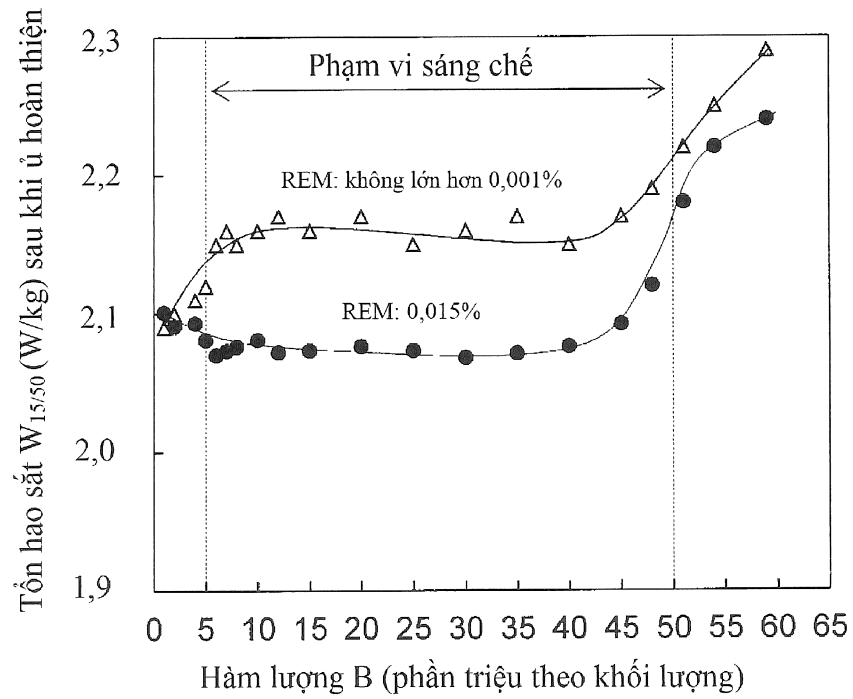


Fig. 2

