(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) **1-0048247**

(51)[2020.01] **C21D 8/12**; C21C 7/06; C21C 7/10; H01F 1/147; C21D 9/46; C22C 38/02; C22C 38/04; C21C 7/04

(13) **B**

(21) 1-2021-01708
(22) 05/09/2019
(86) PCT/JP2019/034879 05/09/2019
(87) WO 2020/071048 09/04/2020
(30) 2018-187234 02/10/2018 JP
(45) 25/07/2025 448
(43) 26/07/2021 400A
(73) JFE STEEL CORPORATION (JP)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011 Japan
(72) HARADA Akifumi (JP); MATSUI Akitoshi (JP); ODA Yoshihiko (JP); OKUBO Tomoyuki (JP); UESAKA Masanori (JP).
(74) Công ty Cổ phần Sở hữu công nghiệp INVESTIP (INVESTIP)

(54) TẤM THÉP KỸ THUẬT ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT PHÔI TẤM ĐƯỢC SỬ DỤNG LÀM NGUYÊN LIỆU CHO TẤM THÉP NÀY

(21) 1-2021-01708

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có nồng độ Al thấp đến mức có hiệu quả tái chế sắt phế liệu ưu việt và có mật độ từ thông cao và tổn hao sắt thấp. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al (nhôm tan được trong axit): 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca: 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O: 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được, trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử được mô tả ở trên, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, mà được sử dụng làm vật liệu lõi thép cho các thiết bị điện hoặc tương tự, và phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Ngày nay, để đáp ứng với sự nhận thức ngày càng tăng lên về tiết kiệm năng lượng, động cơ được sử dụng cho máy điều hòa hộ gia đình hoặc tương tự cần phải giảm sự tiêu thụ năng lượng và giảm tổn hao năng lượng . Do đó, vì tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, mà được sử dụng làm vật liệu lõi thép cho động cơ, cũng rất cần phải có các đặc tính từ cao chẳng hạn như tổn hao sắt thấp để giảm tổn hao sắt của động cơ và có mật độ từ thông cao để giảm tổn hao đồng của động cơ, nhiều tấm thép có các đặc tính từ ưu việt đang được phát triển. Đồng thời, có nhu cầu về kỹ thuật ở giai đoạn tinh luyện không chỉ để chuẩn bị một cách thích hợp thích hợp thép nóng chảy có hợp phần hóa học được yêu cầu cho thép có các đặc tính từ cao mà còn để kiểm soát các hợp phần hóa học và hình thái của các bao thể phi kim (các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc sulfua) trong thép.

Trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, vì sự tăng trưởng của hạt tinh thể bị cản trở trong giai đoạn ủ hoàn thiện khi, ngoài các bao thể gốc oxit, có tồn tại các bao thể gốc sulfua có đường kính hạt tương đối nhỏ chẳng hạn như MnS, việc kiểm soát hình thái của các bao thể gốc sulfua có đường kính hạt nhỏ là quan trọng theo quan điểm về các đặc tính sản phẩm. Do đó, cho đến nay, các kỹ thuật làm cho các bao thể gốc sulfua có đường kính hạt nhỏ chẳng hạn như MnS trở nên vô hại bằng cách bổ sung các nguyên tố khác nhau đã được đề xuất.

Ví dụ, Tài liệu sáng chế 1 đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mật độ từ thông cao, trong đó, bằng cách làm giảm nồng độ Al (nhôm) trong thép, và bằng cách bổ sung Ca (canxi), các bao thể gốc oxit được kiểm soát để có các hợp phần hóa học cụ thể, và S (lưu huỳnh) trong thép được cố định ở dạng CaS.

Tài liệu sáng chế 2 đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có tổn hao sắt thấp, trong đó, bằng cách bổ sung Al với lượng là từ 0,1% theo khối lượng đến 3% theo khối lượng, và bằng cách bổ sung các kim loại đất hiếm (sau đây, được gọi là "REM" - rare earth metal), S trong thép được cố định. Ở đây, thuật ngữ "REM" là thuật ngữ chung được sử dụng để chỉ 17 nguyên tố bao gồm 15 nguyên tố có các số hiệu nguyên tử từ 57 (La, nghĩa là, lantan) đến 71 (Lu, nghĩa là, luteti), Sc (scandi) có số hiệu nguyên tử là 21, và Y (yttri) có số hiệu nguyên tử là 39. Kỹ thuật theo Tài liệu sáng chế 2 là kỹ thuật mà trong đó, sau khi thép nóng chảy được khử oxy bằng cách sử dụng Al, CaO được bổ sung để biến đổi các bao thể gốc oxit thành các bao thể có gốc $CaO\text{-}Al_2O_3$, và sau đó REM được bổ sung sao cho nồng độ REM nằm trong khoảng phạm vi cụ thể, nhờ đó không chỉ kiểm soát hình thái kết tủa của TiN thông qua việc bổ sung REM mà còn ngăn sự tắc nghẽn xảy ra trong các vòi phun của thùng trung gian nhờ các oxit REM và tương tự.

Ngoài ra, Tài liệu sáng chế 3 đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có độ bền cao, tấm thép có hợp phần hóa học chứa Al với lượng là từ 0,05% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng và Cu (đồng) với lượng là từ 1,0% theo khối lượng đến 3,5% theo khối lượng, trong đó S trong thép được cố định bằng cách sử dụng Ca, REM, và Mg (magie). Tài liệu sáng chế 3 viện dẫn rằng, vì Mg cũng ưu tiên tạo ra các sulfua ở nhiệt độ cao, nên các sulfua có đường kính hạt lớn được tạo ra trong thép nóng chảy, điều này dẫn đến sự cải thiện khả năng tăng trưởng của hạt tinh thể.

Danh sách tài liệu viện dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Tài liệu sáng chế Nhật Bản số 5790953

Tài liệu sáng chế 2: Tài liệu sáng chế Nhật Bản số 4276613

Tài liệu sáng chế 3: Công bố đơn sáng chế Nhật Bản số 2017-137537

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Tuy nhiên, các kỹ thuật thông thường được mô tả ở trên có các vấn đề sau.

Đó là, trong trường hợp theo Tài liệu sáng chế 1, vì Ca là nguyên tố mà có tỷ lệ hiệu suất bổ sung thấp khi Ca được bổ sung vào thép nóng chảy, có thể có trường hợp mà có sự giảm về nồng độ Ca trong thép nóng chảy do sự thay đổi các điều kiện hoạt động.

Trong trường hợp như này, hoặc trong trường hợp mà có sự gia tăng về nồng độ T.O (total oxygen – tổng lượng oxy) trong thép nóng chảy, vì các bao thể gốc oxit không được biến đổi đủ, hợp phần hóa học có điểm nóng chảy thấp được tạo ra. Kết quả là, vì các bao thể gốc oxit bị kéo dài theo hướng cán khi việc cán nóng được thực hiện, sự tăng trưởng của hạt tinh thể bị cản trở khi việc ủ được thực hiện, điều này dẫn đến sự giảm về đường kính hạt tinh thể. Do đó, chuyển động của thành miền từ trường bị cản trở, điều này dẫn đến vấn đề suy giảm tổn hao sắt. Cụ thể là, trong trường hợp mà có sự giảm về nồng độ Al trong thép, sẽ khó có thể giảm đủ các lượng oxy và S được hòa tan trong thép khi quá trình tinh luyện được thực hiện lên thép nóng chảy, có rủi ro là không thể kiểm soát đủ hình thái của các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc sulfua trong tấm thép.

Trong trường hợp theo Tài liệu sáng chế 2, vì nồng độ Al trong thép về cơ bản là cao, nên có vấn đề là mật độ từ thông giảm. Mặt khác, trong trường hợp mà nồng độ Al nằm trong khoảng cận phạm vi dưới của khoảng phạm vi cụ thể, vì việc kiểm soát hình thái của các bao thể gốc oxit thông qua việc bổ sung CaO là không hiệu quả, nên cần phải sử dụng kỹ thuật kiểm soát một cách hiệu quả hình thái của các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc sulfua trong thép. Ngoài ra, đối với việc kiểm soát hình thái của các bao thể gốc oxit, vì xem xét các nồng độ của nhiều cấu tử trong thép nóng chảy theo quan điểm sử dụng làm mầm kết tủa của TiN và hạn chế việc tắc nghẽn vòi phun, nên có vấn đề là các bao thể gốc oxit có hợp phần hóa học có điểm nóng chảy thấp đến mức mà chúng bị kéo dài ra khi việc cán được thực hiện tùy thuộc vào các điều kiện chẳng hạn như nồng độ REM, nồng độ O (oxy), nồng độ S, và tương tự trong thép, mặc dù có thể hạn chế sự kết tủa của MnS, bởi vì S trong thép được cố định bằng cách sử dụng REM.

Trong trường hợp theo Tài liệu sáng chế 3, đối với các tác động của các nguyên tố phụ gia chẳng hạn như Ca, REM, và Mg, chỉ xem xét đến việc kiểm soát hình thái của các bao thể gốc sulfua, và không đề cập rõ ràng về các điều kiện cần có để kiểm soát hình thái của các bao thể gốc oxit. Do đó, trong trường hợp theo Tài liệu sáng chế 3 như trong trường hợp theo Tài liệu sáng chế 2, có rủi ro là các bao thể gốc oxit có hợp phần hóa học có điểm nóng chảy thấp đến mức mà chúng bị kéo dài ra khi việc cán được thực hiện tùy thuộc vào các điều kiện chẳng hạn như các nồng độ của các nguyên tố như này, nồng độ O (oxy), nồng độ S, và tương tự trong thép.

Sáng chế đã được hoàn thành khi xem xét đến tình huống được mô tả ở trên, và mục tiêu của sáng chế đó là đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có có nồng độ Al thấp đến mức có hiệu quả tái chế sắt phế liệu ưu việt và có mật độ từ thông cao và tổn hao sắt thấp và đề xuất phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng như này.

Giải pháp cho vấn đề

Để giải quyết được các vấn đề được mô tả ở trên, các tác giả sáng chế đã nỗ lực thực hiện rất nhiều nghiên cứu tập trung vào các tác động của hợp phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, các hợp phần hóa học của các bao thể, và phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng lên các đặc tính từ của thành phẩm tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

Kết quả là, các tác giả đã phát hiện ra rằng việc ức chế sự kết tủa của các bao thể gốc sulfua có đường kính hạt nhỏ chẳng hạn như MnS trong thép và kiểm soát các hợp phần hóa học của các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc oxysulfua trong thép trở thành các hợp phần hóa học không thể kéo dài là quan trọng để thu được tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được mô tả ở trên và kiểm soát các trị số của các biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)) và (T.Ca/REM), mà là các biểu thức quan hệ cho các khối lượng của các cấu tử trong thép, nằm trong phạm vi phù hợp là quan trọng để làm tăng mật độ từ thông của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và để giảm tổn hao sắt của tấm thép. Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng việc sử dụng phương pháp phù hợp để sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là hiệu quả để kiểm soát hình thái của các bao thể trong thép.

Sáng chế đã được hoàn thành dựa trên cơ sở kiến thức, và đối tượng chính của sáng chế là như sau.

[1] Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al (nhôm tan được trong axit): 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca:

0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O: 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được, trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử bao gồm T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn.

[2] Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al: 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca: 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O: 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, ít nhất một trong số nhóm nguyên tố từ nhóm nguyên tố A đến nhóm nguyên tố C dưới đây, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được, trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử bao gồm T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn.

Ở đây,

nhóm A chỉ gồm một hoặc cả hai thành phần được chọn từ Sn và Sb, mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,1% theo khối lượng,

nhóm B chỉ gồm Mg có lượng là 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và

nhóm C chỉ gồm một, hai, hoặc tất cả các thành phần được chọn từ Cu, Ni, và Cr, mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,5% theo khối lượng.

[3] Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục [1] hoặc [2] ở trên, trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng (T.Ca/REM), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của hai cấu tử bao gồm T.Ca và REM, là 1,0 hoặc lớn hơn.

[4] Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [3] ở trên, trong đó đường kính hạt tinh thể trung bình của cấu trúc kim tương là 40μm hoặc lớn hơn.

[5] Phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép

kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học chứa Si, REM, và Ca,

trong quá trình tinh luyện thép nóng chảy, mà đã được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện, bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không, bổ sung hợp kim chứa Ca vào thép nóng chảy được tinh luyện, và đúc liên tục thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa Ca, bằng cách sử dụng máy đúc liên tục để thu được phôi tấm,

phương pháp này bao gồm:

bổ sung Si có tính kim loại hoặc hợp kim chứa Si vào thép nóng chảy trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không để khử oxy cho thép nóng chảy bằng cách sử dụng Si;

bổ sung hợp kim chứa REM vào thép nóng chảy, mà đã được khử oxy bằng cách sử dụng Si, trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không hoặc sau khi kết thúc thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không; và

bổ sung hợp kim chứa Ca vào thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa REM, trong thùng rót.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

Trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, bằng cách kiểm soát trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn, sự tạo thành của các bao thể gốc sulfua bị kéo dài trong thép bị cản trở, và có thể kiểm soát các bao thể gốc oxit trong thép để có hình thái không bị kéo dài dạng hạt. Với điều này, có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mật độ từ thông cao và tổn hao sắt thấp và có nồng độ sol.Al là 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn vì vậy hiệu quả tái chế sắt phế liệu là ưu việt.

Ngoài ra, trong trường hợp phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, vì hợp kim chứa REM được bổ sung sau khi thép nóng chảy đã được khử oxy bằng cách sử dụng Si, có thể bổ sung hợp kim chứa REM vào thép nóng chảy ở tỷ lệ hiệu suất cao. Ngoài ra, vì hợp kim chứa Ca được bổ sung sau khi hợp kim chứa REM đã được bổ sung, vì có thể cố định và loại bỏ S (lưu huỳnh) thông qua việc bổ sung REM, có thể sản xuất phôi tấm

được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng với chi phí thấp.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

Các tác giả sáng chế đã sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al: 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca (tổng lượng canxi): 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O (total oxygen - tổng lượng oxy): 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được bằng cách sử dụng máy đúc liên tục sau khi đã thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không lên thép nóng chảy được rút ra từ lò chuyển, đã sản xuất tấm thép thành phẩm (tấm thép được ủ hoàn thiện) bằng cách sử dụng phôi tấm thu được làm nguyên liệu, và đã đánh giá mối quan hệ giữa hợp phần hóa học của thép và tổn hao sắt được biểu thị bởi $W_{15/50}$ ở trạng thái tấm thép thành phẩm. Ở đây, cụm từ "nồng độ REM" có nghĩa là, trong trường hợp mà hợp kim chứa REM chứa Ce (xeri), La (lantan), Nd (neodym), và Pr (praseodym) được bổ sung, tổng nồng độ của các nguyên tố này.

Kết quả là, sự tương quan giữa hợp phần hóa học của thép và tổn hao sắt $W_{15/50}$ đã được phát hiện ra. Từ các kết quả của các nghiên cứu bổ sung được thực hiện lên tấm thép thành phẩm, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng các bao thể phi kim (các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc sulfua) mà đã được quan sát trong tấm thép thành phẩm có nhiều hình thái phụ thuộc vào hợp phần hóa học của thép, và đã quan sát được các bao thể có hình thái dạng hạt, các bao thể có hình thái bị kéo dài theo hướng cán, và tương tự.

Nghĩa là, trong trường hợp tổn hao sắt $W_{15/50}$ tốt, nồng độ T.Ca và nồng độ REM trong thép là cao so với nồng độ T.O và nồng độ S, và nhiều bao thể gốc oxit được quan sát thấy có hình thái không bị kéo dài dạng hạt. Mặt khác, trong trường hợp tổn hao sắt

$W_{15/50}$ kém, nồng độ T.Ca và nồng độ REM trong thép là thấp so với nồng độ T.O và nồng độ S, và nhiều bao thể gốc oxit được quan sát thấy có hình thái bị kéo dài theo hướng cán.

Trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng mà được đề xuất theo sáng chế, vì nồng độ Si trong thép là cao, và vì hợp kim chứa Ca và hợp kim chứa REM được bổ sung, các bao thể gốc oxit trong thép được tạo ra về cơ bản là các bao thể có gốc $CaO\text{-}SiO_2$ chứa các oxit REM. Ngoài ra, vì Al_2O_3 tồn tại trong phôi tấm trong thùng rót được khử bởi Si, Ca, và REM trong thép, Al có thể được tạo ra trong thép nóng chảy, điều này dẫn đến Al_2O_3 cũng được bao gồm trong các bao thể gốc oxit.

Các bao thể gốc oxit bị kéo dài ra có nồng độ CaO và nồng độ oxit REM thấp hơn và nồng độ Al_2O_3 cao hơn so với các bao thể gốc oxit dạng hạt không bị kéo dài ra. Điều này được xem là do nồng độ T.Ca hoặc nồng độ REM là không đủ, nên các bao thể gốc oxit có các hợp phần hóa học có điểm nóng chảy thấp, điều này dẫn đến các bao thể bị kéo dài theo hướng cán khi việc cán nóng được thực hiện. Có thể coi rằng, vì các bao thể gốc oxit như này bị vỡ khi thực hiện việc cán nguội, nên có sự giảm về đường kính hạt tinh thể do sự tăng trưởng của hạt tinh thể trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bị cản trở khi việc ủ thép được thực hiện, điều này dẫn đến sự suy giảm tổn hao sắt $W_{15/50}$ do chuyển động của thành miền từ trường bị cản trở.

Ngoài ra, đối với các bao thể gốc sulfua, CaS, MnS, và các sulfua REM đã được quan sát. Cụ thể là, các bao thể gốc sulfua bị kéo dài có nồng độ MnS cao trong các bao thể và được kết tủa mịn trong các hạt tinh thể. Từ các quan sát này, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, trong trường hợp mà nồng độ T.Ca hoặc nồng độ REM là không đủ, có sự thất bại trong việc kiểm soát hình thái của các bao thể gốc sulfua, điều này góp phần vào sự suy giảm tổn hao sắt $W_{15/50}$.

Từ các kết quả được mô tả ở trên, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, để đạt được tổn hao sắt $W_{15/50}$ tốt, cần phải kiểm soát hợp phần hóa học của các bao thể gốc oxit trở thành hợp phần hóa học có điểm nóng chảy cao và để ức chế sự tạo thành của các bao thể gốc sulfua có đường kính hạt nhỏ chẳng hạn như MnS. Nghĩa là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng cần phải tăng đủ nồng độ T.Ca và nồng độ REM so với nồng độ T.O và nồng độ S trong thép.

Làm tăng nồng độ T.Ca và nồng độ REM nghĩa là làm tăng nồng độ CaO và nồng độ oxit REM trong các bao thể gốc oxit, và điều này góp phần làm tăng điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit. Ngoài ra, đối với các bao thể gốc sulfua, bằng cách bổ sung Ca và REM, có thể cố định S dưới các dạng CaS và các sulfua REM trong thép nóng chảy trong khi không làm ảnh hưởng tới sự tăng trưởng của hạt tinh thể, bởi vì có sự gia tăng về đường kính hạt của các sulfua do các sulfua được tạo ra ở nhiệt độ cao.

Hơn nữa, trong trường hợp mà các oxit REM được bao gồm trong các bao thể có gốc oxit gốc $CaO-SiO_2$, vì có sự gia tăng về khả năng nhận sulfua của các bao thể gốc oxit, điều được mong muốn là có thể sử dụng các bao thể gốc oxit làm các mầm kết tủa của các sulfua. Trong trường hợp mà trong đó các sulfua được kết tủa trên các bao thể gốc oxit, vì có sự giảm về lượng các bao thể gốc sulfua được kết tủa trong các hạt tinh thể, điều được mong muốn là có sự cải thiện về các đặc tính từ.

Từ quan điểm được mô tả ở trên, mối quan hệ giữa hợp phần hóa học của thép và hợp phần hóa học của các bao thể phi kim trong các nghiên cứu được mô tả ở trên đã được tổng quát hóa. Kết quả là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, nên nằm trong phạm vi phù hợp. Nghĩa là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, trong trường hợp mà trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, là nhỏ hơn 0,4, vì nồng độ Ca và nồng độ REM không đủ để làm tăng điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit hoặc để ức chế sự tạo thành của MnS, nên không thể tránh được sự tạo thành của các bao thể gốc oxit có điểm nóng chảy thấp và MnS, điều này dẫn đến sự suy giảm tổn hao sắt $W_{15/50}$. Do đó, trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, điều cần thiết là trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, được kiểm soát bằng 0,4 hoặc lớn hơn, tốt hơn là 0,8 hoặc lớn hơn, hoặc tốt hơn nữa là 1,2 hoặc lớn hơn.

Ngoài ra, từ các kết quả của các khảo sát nghiên cứu bổ sung, các tác giả sáng chế cũng phát hiện ra rằng trị số của biểu thức quan hệ nhất định đối với nồng độ T.Ca và nồng độ REM trong thép nên nằm trong phạm vi phù hợp. Nghĩa là, các tác giả sáng chế

đã phát hiện ra rằng, trong trường hợp mà trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng (T.Ca/REM), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của hai cấu tử trong thép, đó là, T.Ca và REM, là nhỏ hơn 1,0, vì có sự gia tăng về nồng độ oxit REM trong các bao thể gốc oxit, có sự giảm điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit. Ngoài ra, trong trường hợp mà lượng hợp kim chứa REM được bổ sung với lượng dư, có sự gia tăng về chi phí. Do đó, tốt hơn là REM chỉ đóng vai trò bổ trợ cho Ca. Do đó, trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế, tốt hơn là trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng (T.Ca/REM), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của hai cấu tử trong thép, được kiểm soát bằng 1,0 hoặc lớn hơn.

Ngoài ra, theo quan điểm về cấu trúc kim tương, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, trong trường hợp mà đường kính hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là nhỏ hơn 40μm, vì có sự suy giảm tổn hao sắt, nên có thể không đạt được các đặc tính từ tốt một cách ổn định. Do đó, theo sáng chế, tốt hơn là đường kính hạt tinh thể trung bình của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là 40μm hoặc lớn hơn hoặc tốt hơn nữa là 70μm hoặc lớn hơn. Ở đây, thuật ngữ "đường kính hạt tinh thể trung bình" trong bản mô tả này có nghĩa là trị số trung bình của các đường kính hạt tinh thể mà được xác định trong mặt cắt theo hướng chiều dày song song với hướng cán tại vị trí trung tâm theo hướng chiều rộng của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng.

Hơn nữa, các tác giả sáng chế cũng phát hiện ra rằng, khi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học được mô tả ở trên được sản xuất, nên sử dụng phương pháp phù hợp để sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng. Nghĩa là, để thu được tấm thép thành phẩm ưu việt về tổn hao sắt, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, như được mô tả ở trên, cần phải kiểm soát trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, bằng 0,4 hoặc lớn hơn và thời điểm bổ sung hợp kim chứa REM vào thép nóng chảy trong quá trình tinh luyện là quan trọng.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có nồng độ Si cao mà được đề xuất bởi sáng chế được sản xuất bằng cách tinh luyện (và bổ sung Si vào) thép nóng chảy, mà đã được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện, bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân

không chẳng hạn như máy khử khí chân không RH. Trong trường hợp mà trong đó hợp kim chứa REM được bổ sung trước khi thép nóng chảy được khử oxy bằng cách sử dụng Si, cần phải dung lượng lớn hợp kim chứa REM, và có các rủi ro về việc giảm tỷ lệ hiệu suất và gia tăng về chi phí. Để ngăn các rủi ro như này, cần phải bổ sung hợp kim chứa REM sau khi đã bổ sung lượng Si được xác định trước và đã khử oxy cho thép nóng chảy bằng cách sử dụng Si.

Ngoài ra, vì REM tạo thành các sulfua ổn định hơn so với Ca, điều được mong muốn là S được cố định ở dạng các sulfua REM vì vậy S bị loại bỏ. Để nhận thấy được hiệu quả như này, cần phải bổ sung hợp kim chứa REM trước khi bổ sung hợp kim chứa Ca. Tuy nhiên, vì các sulfua REM có trọng lượng riêng lớn là 5,0, các sulfua REM ít có khả năng nổi hơn trong bể tĩnh. Do đó, tốt hơn là hợp kim chứa REM được bổ sung trong bể khuấy mà trong đó quá trình xử lý khử khí chân không được thực hiện sau khi quá trình khử oxy đã đã thực hiện bằng cách sử dụng Si. Không cần phải nói rằng sáng chế không nhất thiết phủ nhận sự bổ sung hợp kim chứa REM trong bồn chưng cất trước khi hợp kim chứa Ca được bổ sung sau khi đã thực hiện quá trình xử lý khử khí chân không.

Như được mô tả ở trên, bằng cách bổ sung hợp kim chứa REM trước khi hợp kim chứa Ca được bổ sung, vì có thể làm tăng lượng Ca hiệu quả trong việc kiểm soát hình thái của các bao thể (bao thể có gốc các oxit và các bao thể gốc sulfua), có thể đạt được hình thái tốt của các bao thể (bao thể có gốc các oxit và các bao thể gốc sulfua). Nghĩa là, theo sáng chế, khi phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sản xuất, sự khử oxy bằng cách sử dụng Si được thực hiện trong khi xử lý khử khí chân không, và hợp kim chứa REM được bổ sung trong khi xử lý khử khí chân không sau khi khử oxy bằng cách sử dụng Si hoặc trước khi hợp kim chứa Ca được bổ sung sau khi đã thực hiện quá trình xử lý khử khí chân không. Sau đó, hợp kim chứa Ca được bổ sung vào thép nóng chảy mà đã được trải qua xử lý khử khí chân không và đã được bổ sung hợp kim chứa REM, và thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa Ca, được đúc liên tục bằng cách sử dụng máy đúc liên tục để thu được phôi tấm.

Theo sáng chế, những nguyên nhân tại sao hợp phần hóa học của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được quy định như được mô tả ở trên là như sau.

C (cacbon): 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn

C là nguyên tố mà làm tăng tổn hao sắt bằng cách gây ra già hóa từ tính, và có sự gia tăng rõ rệt về tổn hao sắt trong trường hợp mà nồng độ C là lớn hơn 0,0050% theo khối lượng. Do đó, nồng độ C được thiết lập là 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn hoặc tốt hơn là 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Ở đây, vì tốt hơn là nồng độ C là càng nhỏ càng tốt, nên không có sự giới hạn cụ thể về giới hạn dưới của nồng độ C.

Si (silic): 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng

Si là nguyên tố mà có hiệu quả trong việc giảm tổn hao sắt bằng cách làm tăng điện trở của thép. Cụ thể là, theo sáng chế, vì lượng Al, mà có hiệu quả giống như Si, được giảm đi, nồng độ Si được thiết lập là 1,5% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, trong trường hợp mà nồng độ Si là lớn hơn 5,0% theo khối lượng, có sự giảm mật độ từ thông, và có sự suy giảm đáng kể về khả năng sản xuất do, ví dụ, vết nứt được tạo ra khi thực hiện việc cán nguội do sự hóa giòn xảy ra trong thép. Do đó, giới hạn trên của nồng độ Si được thiết lập là 5,0% theo khối lượng. Tốt hơn là nồng độ Si là 1,5% theo khối lượng đến 3,8% theo khối lượng.

Mn (mangan): 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng

Mn, tương tự như Si, là nguyên tố mà có hiệu quả trong việc giảm tổn hao sắt bằng cách làm tăng điện trở của thép. Do đó, theo sáng chế, nồng độ Mn được thiết lập là 0,2% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Mặt khác, trong trường hợp mà nồng độ Mn lớn hơn 3,0% theo khối lượng, có sự giảm mật độ từ thông. Do đó, giới hạn trên của nồng độ Mn được thiết lập là 3,0% theo khối lượng.

sol.Al (nhôm tan được trong axit): 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn

Al (nhôm), tương tự như Si, là nguyên tố mà có hiệu quả trong việc giảm tổn hao sắt bằng cách làm tăng điện trở của thép. Tuy nhiên, theo quan điểm về việc tái chế sắt phế liệu của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng làm nguyên liệu thô cho gang đúc, nồng độ Al cần phải nhỏ hơn 0,05% theo khối lượng, và tốt hơn là nồng độ Al càng nhỏ càng tốt. Ngoài ra, nồng độ Al còn được giảm để làm tăng mật độ từ thông bằng cách cải thiện kết cấu, và nồng độ sol.Al được thiết lập là 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, tốt hơn là 0,0020% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, hoặc tốt hơn nữa là 0,0010% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Vì tốt hơn là nồng độ sol.Al càng nhỏ càng tốt, nên không có sự giới hạn cụ thể về giới hạn dưới của nồng độ sol.Al.

P (phospho): 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn

Vì P là nguyên tố hữu hiệu mà có hiệu quả cao trong việc làm tăng độ cứng của thép bằng cách được bổ sung với lượng rất nhỏ, nên P được bổ sung khi cần thiết theo độ cứng được yêu cầu. Tuy nhiên, trong trường hợp mà lượng P được bổ sung với lượng dư, có sự suy giảm về khả năng cán nguội. Do đó, giới hạn trên của nồng độ P được thiết lập là 0,2% theo khối lượng.

S (lưu huỳnh): 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn.

Vì S gây ra sự suy giảm về khả năng sản xuất (khả năng cán nóng) và các đặc tính từ của tấm thép thành phẩm bằng cách tạo ra các bao thể ở dạng các sulfua, nên tốt hơn là nồng độ S là càng nhỏ càng tốt. Do đó, theo sáng chế, giới hạn trên chấp nhận được của nồng độ S là 0,0050% theo khối lượng, và tốt hơn là nồng độ S là 0,0025% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn trong trường hợp mà các đặc tính từ được coi là quan trọng. Ở đây, vì tốt hơn là nồng độ S càng nhỏ càng tốt, nên không có sự giới hạn cụ thể về giới hạn dưới của nồng độ S.

N (nitơ): 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn.

tương tự với C được mô tả ở trên, vì N là nguyên tố mà gây ra sự suy giảm về các đặc tính từ, và, cụ thể là, vì ảnh hưởng bất lợi như này trở nên rõ rệt trong trường hợp thép chứa Al-thấp, nên nồng độ N được thiết lập là 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn hoặc tốt hơn là 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Ở đây, vì tốt hơn là nồng độ N càng nhỏ càng tốt, nên không có sự giới hạn cụ thể về giới hạn dưới của nồng độ N.

T.Ca (total calcium - tổng lượng canxi): 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng.

Vì Ca (canxi) ức chế sự kết tủa của các sulfua có đường kính hạt nhỏ như MnS bằng cách tạo ra các sulfua có đường kính hạt lớn ở dạng CaS, nên Ca có hiệu quả trong việc giảm tổn hao sắt bằng cách cải thiện sự tăng trưởng của hạt tinh thể. Do đó, nồng độ T.Ca được thiết lập là 0,0010% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Mặt khác, trong trường hợp mà nồng độ T.Ca là lớn hơn 0,0080% theo khối lượng, vì có sự gia tăng về các lượng các sulfua Ca và các oxit Ca, sự tăng trưởng của hạt tinh thể bị cản trở, mà ngược lại dẫn đến sự suy giảm về các đặc tính tổn hao sắt. Do đó, giới hạn trên của nồng độ T.Ca được thiết lập là 0,0080% theo khối lượng. Ở đây, nồng độ T.Ca (tổng nồng độ canxi) là tổng

nồng độ Ca tan được trong axit và nồng độ Ca không tan được trong axit trong thép.

T.O (total oxygen - tổng lượng oxy): 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn

Đối với O (oxy), trong trường hợp mà nồng độ T.O là lớn hơn 0,0100% theo khối lượng, vì có sự gia tăng về lượng các bao thể gốc oxit trong thép, sự tăng trưởng của hạt tinh thể bị cản trở, điều này dẫn đến sự suy giảm về các đặc tính tổn hao sắt. Do đó, nồng độ T.O được thiết lập là 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn hoặc tốt hơn là 0,0060% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Ở đây, lượng T.O là tổng lượng O (oxy) tồn tại trong thép ở dạng dung dịch rắn và lượng O (oxy) tồn tại trong thép ở dạng các oxit.

REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng

REM có hiệu quả trong việc cải thiện các đặc tính từ bằng cách tạo ra các sulfua ổn định ở nhiệt độ cao như được mô tả ở trên. Hơn nữa, có thể mong chờ hiệu quả bổ trợ của việc làm tăng lượng Ca hiệu quả. Do đó, nồng độ REM cần phải là 0,0001% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Mặt khác, trong trường hợp mà lượng REM được bổ sung với lượng dư, có các rủi ro là hiệu quả như này bị bão hòa, sự gia tăng về chi phí, và sự giảm điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit. Do đó, giới hạn trên của nồng độ REM được thiết lập là 0,0050% theo khối lượng.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế có thể còn chứa ít nhất một trong số nhóm nguyên tố A đến nhóm nguyên tố C dưới đây ngoài hợp phần hóa học được mô tả ở trên.

Nhóm A chỉ gồm một hoặc cả hai thành phần được chọn từ Sn (thiếc) và Sb (antimon), mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,1% theo khối lượng.

Cả Sn và Sb đều hiệu quả trong việc cải thiện các đặc tính từ bằng cách cải thiện kết cấu. Để nhận thấy được tác dụng như này, tốt hơn là các nguyên tố này được bổ sung riêng biệt hoặc kết hợp mỗi thành phần với lượng là 0,01% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, trong trường hợp mà các nguyên tố này được bổ sung với lượng dư, sự hóa giòn sẽ xảy ra trong thép, điều này dẫn đến nứt vỡ và khuyết tật bề mặt như vết rỗ xuất hiện trong tấm thép trong quá trình sản xuất tấm thép. Do đó, tốt hơn là giới hạn trên của nồng độ của mỗi nguyên tố trong số các nguyên tố này là 0,1% theo khối lượng.

Nhóm B chỉ gồm Mg (magie) với lượng là 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng

Vì Mg là nguyên tố mà có hiệu quả trong việc cải thiện các đặc tính từ bằng cách tạo ra các sulfua ổn định hơn so với MnS và Cu_2S trong môi trường nhiệt độ-cao, nên Mg có thể được bổ sung. Để nhận thấy được tác dụng như này, tốt hơn là Mg được bổ sung với lượng là 0,0001% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Mặt khác, trong trường hợp mà lượng Mg được bổ sung với lượng dư, có các rủi ro là hiệu quả như này bị bão hòa và sự giảm điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit. Do đó, tốt hơn là giới hạn trên của nồng độ Mg là 0,0050% theo khối lượng.

Nhóm C chỉ gồm một, hai, hoặc tất cả các thành phần được chọn từ Cu (đồng), Ni (niken), và Cr (crôm), mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,5% theo khối lượng

Vì Cu, Ni, và Cr là các nguyên tố mà có hiệu quả trong việc giảm tổn hao sắt bằng cách làm tăng điện trở suất của tấm thép, nên một, hai, hoặc tất cả các nguyên tố này có thể được bổ sung. Để nhận thấy được tác dụng như này, tốt hơn là các nguyên tố này được bổ sung với lượng mỗi nguyên tố là 0,01% theo khối lượng hoặc lớn hơn. Mặt khác, vì các nguyên tố này đắt hơn so với Si và Al, tốt hơn là nồng độ của mỗi nguyên tố trong số các nguyên tố này là 0,5% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn.

Trong trường hợp tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sản xuất bằng cách sử dụng phương pháp theo sáng chế, phần còn lại mà khác với các nguyên tố được mô tả ở trên là Fe và các tạp chất không thể tránh được. Tuy nhiên, các nguyên tố khác có thể được bổ sung miễn là các hiệu quả của sáng chế không bị giảm đi, và, ví dụ, có thể chấp nhận nồng độ V (vanadi) là 0,004% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ Nb (niobi) là 0,004% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ B (boron) là 0,0005% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ Ti là 0,002% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ Cu là 0,01% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ Ni là 0,01% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, và nồng độ Cr nồng độ là 0,01% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, trong trường hợp mà các nguyên tố này được chứa dưới dạng các tạp chất không thể tránh được.

Sau đây, các hợp phần hóa học của các bao thể gốc oxit tồn tại trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế sẽ được mô tả.

Theo sáng chế, để tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có các đặc tính từ ưu việt, điều cần thiết là trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối

lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit tồn tại không chỉ trong tấm thép thành phẩm (tấm thép được ủ hoàn thiện) mà còn trong tấm thép được cán nóng hoặc phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép thành phẩm, là 0,50 hoặc lớn hơn và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit được mô tả ở trên, là 0,20 hoặc nhỏ hơn. Các yêu cầu này có thể được thỏa mãn trong trường hợp mà trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn.

Trong trường hợp mà trong đó các hợp phần hóa học của các bao thể gốc oxit được mô tả ở trên không thỏa mãn các yêu cầu được mô tả ở trên, vì các bao thể gốc oxit bị kéo dài do sự giảm điểm nóng chảy của các bao thể gốc oxit khi việc cán nóng được thực hiện, sự tăng trưởng của hạt tinh thể bị cản trở trong quá trình tự ủ ngay sau quá trình cán nóng, quá trình ủ tấm thép được cán nóng, và quá trình ủ hoàn thiện, điều này dẫn đến sự suy giảm về các đặc tính từ. Tốt hơn là trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ của CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit được mô tả ở trên, là 0,6 hoặc lớn hơn và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit được mô tả ở trên, là 0,1 hoặc nhỏ hơn. Ở đây, trị số của biểu thức được mô tả ở trên cho các nồng độ của CaO và các oxit REM và trị số của biểu thức được mô tả ở trên cho nồng độ Al_2O_3 được tính từ các trị số trung bình thu được bằng cách quan sát 100 bao thể gốc oxit hoặc nhiều hơn mà tồn tại trong mặt cắt (mặt-L) song song với hướng cán tấm thép bằng kính hiển vi quét điện tử (scanning electron microscope - SEM) và bằng cách thực hiện phân tích các hợp phần

hóa học của chúng bằng máy đo quang phổ tia-X phân tán-năng lượng (energy-dispersive X-ray spectrometer - EDX) được gắn vào SEM này. Ở đây, đường kính chùm electron của EDX là 1μm.

Sau đây, phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được mô tả ở trên sẽ được mô tả.

Phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo sáng chế là phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có hợp phần hóa học được mô tả ở trên, trong đó việc tinh luyện được thực hiện lên thép nóng chảy, mà đã được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện, bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không, hợp kim chứa Ca được bổ sung vào thép nóng chảy, mà đã được trải qua tinh luyện trong thiết bị khử khí chân không, và thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa Ca, được đúc liên tục bằng cách sử dụng máy đúc liên tục để thu được phôi tấm. Trong quá trình sản xuất phôi tấm như này, chất chứa Si được bổ sung vào thép nóng chảy trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không để điều chỉnh nồng độ Si trong thép nóng chảy bằng 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng. Hợp kim chứa REM được bổ sung vào thép nóng chảy, mà nồng độ Si của nó đã được điều chỉnh, trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không hoặc sau khi kết thúc thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không để điều chỉnh nồng độ REM trong thép nóng chảy bằng 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng. Sau đó, hợp kim chứa Ca được bổ sung vào thép nóng chảy, mà đã được trải qua tinh luyện trong thiết bị khử khí chân không, và đã được bổ sung hợp kim chứa REM, trong thùng rót để điều chỉnh nồng độ T.Ca trong thép nóng chảy bằng 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng.

Sau đây, phương pháp sản xuất phôi tấm được mô tả ở trên sẽ được mô tả cụ thể.

Thép nóng chảy, mà đã được chuẩn bị bằng cách sử dụng lò chuyển hoặc lò hồ quang điện, được rút vào trong thùng rót, và thép nóng chảy được rút ra được trải qua tinh luyện dưới áp suất giảm (được gọi là "xử lý khử khí chân không") bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không chẳng hạn như máy khử khí chân không RH, mà có chức năng tinh luyện chân không. Bằng cách thực hiện xử lý khử khí chân không như này, C

trong thép nóng chảy được loại bỏ (được gọi là "xử lý khử cacbon chân không") xuống mức nồng độ cacbon siêu thấp (0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn) trong khi N trong thép nóng chảy được loại bỏ (được gọi là "sự khử nitơ"). Vì cần phải thực hiện khử cacbon chân không bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không sao cho đạt được nồng độ cacbon siêu thấp trong thép nóng chảy, nên tốt hơn là thép nóng chảy được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện mà không được khử oxy.

Sau khi đạt được nồng độ C trong thép nóng chảy là 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn thông qua quá trình xử lý khử cacbon chân không, Si có tính kim loại và hợp kim chứa Si (chẳng hạn như hợp kim Fe-Si) được bổ sung để thực hiện việc khử oxy bằng cách sử dụng Si. Sau khi quá trình điều chỉnh được thực hiện sao cho đạt được nồng độ Si được xác định trước trong thép nóng chảy nằm trong khoảng từ 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, các cấu tử hợp kim khác chẳng hạn như Mn có tính kim loại được bổ sung để thực hiện quá trình điều chỉnh thành phần. Ngoài ra, trong trường hợp mà hợp kim chứa REM được bổ sung trong khi xử lý khử khí chân không, hợp kim chứa REM được bổ sung đồng thời hoặc muộn hơn so với các cấu tử hợp kim khác chẳng hạn như Mn có tính kim loại để điều chỉnh nồng độ REM. Sau đó, sau khi các bao thể gốc oxit và các bao thể gốc oxysulfua đã được loại bỏ khỏi thép nóng chảy thông qua quá trình phân tách tuyển nổi bằng cách thực hiện xử lý tuần hoàn trong thời gian được xác định trước, quá trình xử lý khử khí chân không được kết thúc. Ở đây, một số hợp kim khác với hợp kim chứa REM có thể được bổ sung khi thép nóng chảy được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện. Trong trường hợp mà trong đó hợp kim chứa REM được bổ sung sau khi kết thúc xử lý khử khí chân không, hợp kim chứa REM được bổ sung vào thép nóng chảy trong thùng rót ở áp suất khí quyển sau khi đã thực hiện quá trình xử lý khử khí chân không để điều chỉnh nồng độ REM. Các ví dụ về phương pháp bổ sung hợp kim chứa REM ở áp suất khí quyển bao gồm phương pháp phun và phương pháp dùng bộ cấp dây được phủ sắt.

Hợp kim chứa Ca (chẳng hạn như hợp kim Ca-Si) được bổ sung vào thép nóng chảy, mà đã được trải qua xử lý khử khí chân không, và đã được bổ sung hợp kim chứa REM, trong thùng rót ở áp suất khí quyển để điều chỉnh nồng độ T.Ca trong thép nóng chảy bằng 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng sao cho trị số của biểu

thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, bằng 0,4 hoặc lớn hơn. Các ví dụ về phương pháp bổ sung hợp kim chứa Ca bao gồm phương pháp phun và phương pháp dùng bộ cấp dây được phủ sắt.

Ở đây, đối với nồng độ T.Ca trong thép nóng chảy mà hợp phần hóa học của nó đã được điều chỉnh, điều cần thiết là trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, bằng 0,4 hoặc lớn hơn, và tốt hơn là trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng (T.Ca/REM), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của hai cấu tử trong thép, là 1,0 hoặc lớn hơn. Các ví dụ về phương pháp hiệu quả để thỏa mãn các yêu cầu như này bao gồm phương pháp mà trong đó có sự gia tăng về lượng hợp kim chứa Ca được bổ sung vào thép nóng chảy, phương pháp mà trong đó lượng T.O trong thép được giảm đi bằng cách xử lý khử khí chân không trong thời gian hợp lý sau khi đã thực hiện khử oxy bằng cách sử dụng Si, và phương pháp mà trong đó nồng độ S trong thép nóng chảy được giảm xuống 0,0025% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn bằng cách thực hiện sự khử lưu huỳnh đối với gang nóng chảy hoặc thép nóng chảy. Ngoài ra, các ví dụ về phương pháp hiệu quả để cải thiện tỷ lệ hiệu suất của Ca trong thép nóng chảy và để ức chế sự cuốn theo N từ không khí của khí quyển bao gồm phương pháp mà trong đó không khí bị ngăn chặn bằng cách đậy nắp lên thùng rót và thổi khí trơ chẳng hạn như khí agon vào trong thép nóng chảy khi hợp kim chứa Ca được bổ sung.

Sau đó, thép nóng chảy này được đúc liên tục bằng cách sử dụng máy đúc liên tục để sản xuất ra phôi tấm có độ dày được xác định trước và độ dài được xác định trước. Ở đây, phôi tấm có độ dày được xác định trước và độ dài được xác định trước cũng có thể được sản xuất bằng cách sử dụng phương pháp đúc thỏi-cán phôi tấm, và sáng chế không nhất thiết phủ nhận phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng bằng cách sử dụng phương pháp đúc thỏi-cán phôi tấm.

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

Phôi tấm được mô tả ở trên được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật

điện không định hướng được trải qua việc cán nóng để thu được tấm thép được cán nóng. Trong quá trình cán nóng, tốt hơn là nhiệt độ gia nhiệt lại cho phôi tấm (slab reheating temperature - SRT) là từ 1000°C đến 1250°C. Trong trường hợp mà trong đó nhiệt độ gia nhiệt lại cho phôi tấm này là cao hơn 1250°C, có sự giảm đi về hiệu quả kinh tế do sự tăng tổn hao năng lượng, và có thể có các vấn đề trong quá trình sản xuất chẳng hạn như sự võng xuống của phôi tấm do sự giảm độ bền ở nhiệt độ-cao của phôi tấm. Mặt khác, trong trường hợp mà SRT thấp hơn 1000°C, sẽ khó có thể thực hiện việc cán nóng do sự tăng khả năng chống biến dạng nóng. Việc cán nóng sau khi việc gia nhiệt lại đã được thực hiện có thể được thực hiện trong các điều kiện bình thường.

Tốt hơn là độ dày tấm thép được cán nóng, mà được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nóng, là từ 1,5 mm đến 2,8 mm theo quan điểm về việc đạt được năng suất thỏa đáng. Trong trường hợp mà trong đó độ dày là tấm thép là nhỏ hơn 1,5 mm, có sự gia tăng về số lượng các vấn đề trong quá trình cán xảy ra khi việc cán nóng được thực hiện. Mặt khác, không ưu tiên độ dày lớn hơn 2,8 mm, bởi vì điều này gây ra sự suy giảm về kết cấu do sự giảm chiều dày do cán tăng lên quá mức khi thực hiện việc cán nguội. Tốt hơn nữa là độ dày tấm thép được cán nóng là từ 1,7 mm đến 2,4 mm.

Mặc dù việc ủ tấm thép được cán nóng sau quá trình cán nóng có thể được thực hiện hoặc được bỏ qua, nhưng sẽ có lợi khi việc ủ như này được bỏ qua theo quan điểm về việc giảm chi phí sản xuất. Ở đây, trong trường hợp mà việc ủ tấm thép được cán nóng được bỏ qua, tốt hơn là nhiệt độ cuộn sau quá trình cán nóng là 550°C hoặc cao hơn. Điều này là bởi vì, trong trường hợp mà nhiệt độ cuộn là thấp hơn 550°C, vì hiệu quả tự ủ của tấm thép được cán nóng ở trạng thái được cuộn lại là không đủ, có thể có trường hợp mà sự tái kết tinh đủ không xảy ra trong tấm thép trước quá trình cán nguội, điều này dẫn đến xảy ra việc tạo ra gợn sóng và giảm mật độ từ thông. Trong trường hợp mà việc ủ tấm thép được cán nóng được bỏ qua, tốt hơn nữa là nhiệt độ cuộn sau quá trình cán nóng là 600°C hoặc cao hơn.

Mặt khác, trong trường hợp mà việc ủ tấm thép được cán nóng được thực hiện, tốt hơn là nhiệt độ ngâm trong quá trình ủ tấm thép được cán nóng là từ 900°C đến 1150°C. Điều này là bởi vì cấu trúc tế vi được cán được giữ lại trong trường hợp mà nhiệt độ ngâm là thấp hơn 900°C, điều này dẫn đến tác dụng cải thiện các đặc tính từ là không đủ. Mặt

khác, trong trường hợp mà nhiệt độ ngâm cao hơn 1150°C, vì có sự gia tăng về đường kính hạt tinh thể, sự nứt vỡ có xu hướng xảy ra trong quá trình cán nguội, và có bất lợi về mặt kinh tế. Ở đây, không cần phải nói rằng nhiệt độ cuộn có thể là 550°C hoặc cao hơn, ngay cả trong trường hợp mà việc ủ tấm thép được cán nóng được thực hiện.

Tấm thép được cán nóng được mô tả ở trên sau quá trình cán nóng hoặc sau quá trình ủ tấm thép được cán nóng được trải qua cán nguội một lần, hai lần, hoặc nhiều lần với quá trình ủ được xen giữa các giai đoạn mà trong đó việc cán nguội được thực hiện để thu được tấm thép được cán nguội có độ dày cuối cùng. Lúc này, để làm tăng mật độ từ thông, việc được gọi là cán ấm, trong đó tốt hơn là việc cán thực hiện lên tấm thép mà nhiệt độ của nó được tăng tới khoảng 200°C. Ngoài ra, mặc dù không có sự giới hạn cụ thể về độ dày (độ dày cuối cùng) của tấm thép được cán nguội, tốt hơn là độ dày là từ 0,10 mm đến 0,60 mm. Điều này là bởi vì có sự suy giảm về năng suất trong trường hợp mà độ dày là nhỏ hơn 0,10 mm. Mặt khác, trong trường hợp mà độ dày là lớn hơn 0,60 mm, hiệu quả giảm tổn hao sắt là không đủ. Để tăng hiệu quả giảm tổn hao sắt, tốt hơn nữa là độ dày (độ dày cuối cùng) của tấm thép được cán nguội là từ 0,10 mm đến 0,35 mm.

Tấm thép được cán nguội được mô tả ở trên sau quá trình cán nguội được trải qua việc ủ hoàn thiện bằng cách sử dụng phương pháp ủ liên tục. Tốt hơn là nhiệt độ ngâm trong quá trình ủ hoàn thiện này là 700°C đến 1150°C. Trong trường hợp mà trong đó nhiệt độ ngâm là thấp hơn 700°C, vì sự tái kết tinh tiến triển không đủ, không thể đạt được các đặc tính từ tốt, và không thể nhận thấy được hiệu quả hiệu chỉnh hình dạng do ủ liên tục. Mặt khác, trong trường hợp mà nhiệt độ ngâm cao hơn 1150°C, vì có sự gia tăng về tổn hao năng lượng, nên có sự giảm về hiệu suất về kinh tế.

Để giảm thêm tổn hao sắt, tốt hơn là màng cách điện được tạo ra bằng cách thực hiện phủ nung lên trên bề mặt của tấm thép được mô tả ở trên, mà đã được trải qua việc ủ hoàn thiện. Ở đây, trong trường hợp mà cần phải đạt được khả năng đục lỗ tốt, tốt hơn là màng cách điện như này là màng hữu cơ chứa nhựa. Ngoài ra, trong trường hợp mà khả năng hàn được coi là quan trọng, tốt hơn là màng cách điện như này là màng bán hữu cơ hoặc màng vô cơ.

Như được mô tả ở trên, theo sáng chế, bằng cách kiểm soát trị số của biểu thức

phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,4 hoặc lớn hơn, sự tạo thành của các bao thể gốc sulfua bị kéo dài trong thép bị cản trở, và có thể kiểm soát các bao thể gốc oxit trong thép để có hình thái không bị kéo dài dạng hạt. Với điều này, có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mật độ từ thông cao và tổn hao sắt thấp và có nồng độ Al thấp vì vậy nó ưu việt về hiệu quả tái chế sắt phế liệu.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Trong quá trình sản xuất phôi tấm thép mà có các quá trình bao gồm "lò chuyển, máy khử khí chân không RH, việc bổ sung hợp kim Ca-Si bằng cách sử dụng bộ cấp dây, và máy đúc liên tục" trong dây truyền sản xuất thương mại có công suất gia nhiệt là loại khoảng 200 tấn xét theo trọng lượng của thép nóng chảy mỗi lần nạp, thử nghiệm đã được thực hiện theo cách mà trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử trong thép, đó là, T.Ca, REM, T.O, và S, đã được thay đổi bằng cách thay đổi các nồng độ của các cấu tử trong thép. Hợp kim chứa REM đã được bổ sung sau khi đã thực hiện khử oxy bằng cách sử dụng Si khi việc tinh luyện được thực hiện bằng cách sử dụng máy khử khí chân không RH. Các hợp phần hóa học trong các điều kiện thử nghiệm khác nhau được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1

	Hợp phần hóa học của thép (% theo khối lượng)											
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	N	T.Ca	T.O	REM	(T.Ca+ REM)/(T.O+S)	T.Ca/REM
Ví dụ 1	0,0018	1,64	0,38	0,07	0,0021	0,0008	0,0021	0,0021	0,0051	0,0029	0,69	0,72
Ví dụ 2	0,0016	1,68	0,41	0,07	0,0025	0,0009	0,0018	0,0026	0,0045	0,0015	0,59	1,73
Ví dụ 3	0,0020	1,62	0,38	0,07	0,0022	0,0012	0,0020	0,0036	0,0043	0,0019	0,85	1,89
Ví dụ 4	0,0018	2,04	0,92	0,07	0,0016	0,0011	0,0016	0,0013	0,0038	0,0025	0,70	0,52
Ví dụ 5	0,0023	2,00	0,89	0,07	0,0017	0,0013	0,0020	0,0038	0,0041	0,0014	0,90	2,71
Ví dụ 6	0,0026	2,49	1,19	0,07	0,0018	0,0016	0,0019	0,0045	0,0036	0,0010	1,02	4,50
Ví dụ 7	0,0021	2,58	1,10	0,07	0,0018	0,0012	0,0019	0,0034	0,0033	0,0028	1,22	1,21
Ví dụ 8	0,0023	2,52	1,12	0,07	0,0019	0,0013	0,0020	0,0011	0,0034	0,0033	0,83	0,33
Ví dụ 9	0,0017	3,03	1,30	0,07	0,0020	0,0010	0,0019	0,0020	0,0030	0,0022	0,84	0,91
Ví dụ 10	0,0019	3,01	1,35	0,07	0,0016	0,0013	0,0019	0,0033	0,0032	0,0020	1,10	1,67
Ví dụ 11	0,0023	3,06	1,31	0,07	0,0021	0,0015	0,0020	0,0043	0,0030	0,0026	1,35	1,67
Ví dụ 12	0,0018	3,52	1,48	0,07	0,0017	0,0010	0,0018	0,0024	0,0026	0,0015	0,91	1,60
Ví dụ 13	0,0015	3,55	1,45	0,07	0,0019	0,0011	0,0016	0,0022	0,0029	0,0029	1,07	0,75
Ví dụ 14	0,0021	3,51	1,51	0,07	0,0014	0,0013	0,0018	0,0041	0,0027	0,0019	1,46	2,16
Ví dụ so sánh 1	0,0015	1,66	0,41	0,07	0,0025	0,0009	0,0018	0,0011	0,0046	0,0012	0,32	0,92
Ví dụ so sánh 2	0,0018	2,02	0,91	0,07	0,0018	0,0009	0,0016	0,0015	0,0040	0,0005	0,34	3,00
Ví dụ so sánh 3	0,0016	2,55	1,19	0,07	0,0022	0,0010	0,0019	0,0009	0,0035	0,0012	0,37	0,75
Ví dụ so sánh 4	0,0018	3,00	1,35	0,07	0,0016	0,0011	0,0019	0,0010	0,0033	0,0004	0,29	2,50
Ví dụ so sánh 5	0,0020	3,54	1,45	0,07	0,0029	0,0009	0,0016	0,0021	0,0031	0,0002	0,38	10,50

Các phôi tấm thép, mà đã thu được bằng cách thực hiện quá trình đúc liên tục, đã được gia nhiệt đến nhiệt độ là 1050°C đến 1130°C và sau đó được trải qua việc cán nóng để thu được các tấm thép được cán nóng có độ dày là 2,3 mm. Lúc này, nhiệt độ cuộn là 680°C trong tất cả các trường hợp. Các tấm thép được cán nóng thu được đã được trải qua tẩy gỉ và tiếp theo là cán nguội để thu được các tấm thép được cán nguội có độ dày cuối cùng là 0,50 mm, các tấm thép được cán nguội được trải qua việc ủ hoàn thiện trong điều kiện nhiệt độ ngâm là 1000°C, và các tấm thép được ủ đã được bọc lại bằng các màng cách điện bằng cách thực hiện phủ nung để thu được các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (các tấm thép thành phẩm).

Mặt cắt (mặt-L) song song với hướng cán của tấm thép thành phẩm thu được như được mô tả ở trên đã được quan sát thấy bằng kính hiển vi quét điện tử (scanning electron microscope - SEM) để phân tích các hợp phần hóa học của 100 bao thể gốc oxit hoặc nhiều hơn. Từ các trị số trung bình được tính từ các trị số thu được thông qua phân tích, trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ của CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit, và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit, đã được tính.

Ngoài ra, đường kính hạt tinh thể trung bình của tấm thép thành phẩm được mô tả ở trên đã được xác định. Đường kính hạt tinh thể trung bình đã được suy ra bằng cách xác định diện tích mặt cắt trung bình của các hạt tinh thể bằng cách sử dụng phương pháp so sánh hoặc phương pháp chặn được quy định theo tiêu chuẩn JIS G 0552 "Methods of ferrite grain determination test for steel" (Các phương pháp kiểm tra xác định hạt ferit cho thép), và bằng cách định rõ đường kính tròn tương đương của diện tích thu được làm đường kính hạt tinh thể trung bình. Hơn nữa, các mẫu thử Epstein đã được lấy theo hướng cán và theo hướng vuông góc với hướng cán của tấm thép thành phẩm được mô tả ở trên để xác định mật độ từ thông B_{50} (mật độ từ thông dưới điều kiện lực từ hóa là 5000 A/m) và tổn hao sắt $W_{15/50}$ (tổn hao sắt khi được kích thích dưới các điều kiện của mật độ từ

thông là 1,5 T và tần số là 50 Hz) theo tiêu chuẩn JIS C 2552.

Các kết quả phân tích của các bao thể được mô tả ở trên và các kết quả xác định của đường kính hạt tinh thể trung bình, mật độ từ thông B_{50}, và tổn hao sắt $W_{15/50}$ được thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2

	Biểu thức phân số quan hệ nồng độ đối với bao thể		Đường kính hạt tinh thể trung bình sau khi ủ hoàn thiện (μm)	Đặc tính từ của tấm thép	
	$(C+R)^{(Chú\ ý\ 1)}/(C+R+S+A)$	$A^{(Chú\ ý\ 2)}/(C+R+S+A)$		Tổn hao sắt $W_{15/50}$ (W/kg)	Mật độ từ thông B_{50} (T)
Ví dụ 1	0,62	0,07	50	2,87	1,708
Ví dụ 2	0,51	0,17	46	2,85	1,710
Ví dụ 3	0,63	0,09	66	2,79	1,718
Ví dụ 4	0,58	0,12	55	2,78	1,717
Ví dụ 5	0,61	0,11	71	2,67	1,723
Ví dụ 6	0,67	0,06	78	2,54	1,729
Ví dụ 7	0,72	0,06	93	2,50	1,728
Ví dụ 8	0,61	0,08	64	2,64	1,725
Ví dụ 9	0,59	0,10	65	2,53	1,731
Ví dụ 10	0,70	0,05	84	2,42	1,735
Ví dụ 11	0,76	0,02	103	2,37	1,737
Ví dụ 12	0,60	0,11	70	2,36	1,736
Ví dụ 13	0,66	0,07	82	2,40	1,733
Ví dụ 14	0,73	0,03	111	2,26	1,742
Ví dụ so sánh 1	0,41	0,24	27	3,56	1,669
Ví dụ so sánh 2	0,39	0,25	29	3,42	1,676
Ví dụ so sánh 3	0,35	0,28	30	3,28	1,681
Ví dụ so sánh 4	0,34	0,30	24	3,16	1,688
Ví dụ so sánh 5	0,42	0,23	32	3,11	1,691

(Chú ý 1) (C + R)/(C + R + S + A) ; {(% theo khối lượng CaO) + (% theo khối lượng REM oxit)}/{(% theo khối lượng CaO) +
(% theo khối lượng REM oxit) + (% theo khối lượng SiO_2) +
(% theo khối lượng Al_2O_3)}

(Chú ý 2) A/(C + R + S + A) ; (% theo khối lượng Al_2O_3)/{(% theo khối lượng CaO) + (% theo khối lượng REM oxit) +
(% theo khối lượng SiO_2) + (% theo khối lượng Al_2O_3)}

Như được chỉ ra trên Bảng 2, rõ ràng các tấm thép, mà phù hợp với sáng chế, (Các ví dụ từ 1 đến 14) có tổn hao sắt thấp được biểu thị bởi tổn hao sắt $W_{15/50}$ là 2,87 W/kg hoặc nhỏ hơn, mật độ từ thông hợp lý được biểu thị bởi mật độ từ thông B_{50} là 1,708 T hoặc lớn hơn, điều này có nghĩa là các ví dụ có các đặc tính từ ưu việt. Ngược lại, rõ ràng là các đặc tính từ các tấm thép của các ví dụ so sánh từ 1 đến 5, mà đã không phù hợp với sáng chế, là kém về tổn hao sắt $W_{15/50}$ và/hoặc mật độ từ thông B_{50}.

Ví dụ 2

Bằng cách sử dụng quá trình tương tự để sản xuất phôi tấm thép như trong trường hợp của Ví dụ 1, các phôi tấm thép có các hợp phần hóa học được thể hiện trên Bảng 3, mà phù hợp với sáng chế, đã được sản xuất. Tuy nhiên, các điều kiện sản xuất đã được phân loại thành hai nhóm theo thời điểm bổ sung hợp kim chứa REM, nghĩa là, hợp kim đã được bổ sung trong máy khử khí chân không RH sau khi đã thực hiện khử oxy bằng cách sử dụng Si trong một trường hợp, và hợp kim này đã được bổ sung trước hợp kim chứa Ca được bổ sung sau khi xử lý trong máy khử khí chân không RH đã được thực hiện trong trường hợp kia.

Bảng 3

	Hợp phần hóa học của thép (% theo khối lượng)												Thời điểm bổ sung hợp kim chứa REM
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	N	T.Ca	T.O	REM	(T.Ca+REM)/(T.O+S)	T.Ca/REM	
Ví dụ 21	0,0017	1,60	0,48	0,07	0,0022	0,0010	0,0020	0,0021	0,0046	0,0024	0,66	0,88	trong khi xử lý RH và sau khi khử oxy bằng cách sử dụng Si
Ví dụ 22	0,0020	1,99	0,91	0,07	0,0016	0,0013	0,0021	0,0028	0,0041	0,0031	1,04	0,90	trong khi xử lý RH và sau khi khử oxy bằng cách sử dụng Si
Ví dụ 23	0,0024	2,55	1,12	0,07	0,0017	0,0015	0,0018	0,0046	0,0036	0,0018	1,21	2,56	trong khi xử lý RH và sau khi khử oxy bằng cách sử dụng Si
Ví dụ 24	0,0018	3,54	1,40	0,07	0,0020	0,0009	0,0017	0,0034	0,0030	0,0020	1,09	1,67	trong khi xử lý RH và sau khi khử oxy bằng cách sử dụng Si
Ví dụ 25	0,0017	1,66	0,42	0,07	0,0021	0,0008	0,0019	0,0015	0,0046	0,0028	0,64	0,54	sau khi xử lý RH và trước khi thêm Ca
Ví dụ 26	0,0021	2,03	0,87	0,07	0,0014	0,0016	0,0020	0,0038	0,0041	0,0041	1,44	0,93	sau khi xử lý RH và trước khi thêm Ca
Ví dụ 27	0,0022	2,50	1,16	0,07	0,0019	0,0010	0,0020	0,0043	0,0036	0,0009	0,95	4,78	sau khi xử lý RH và trước khi thêm Ca
Ví dụ 28	0,0021	2,98	1,31	0,07	0,0018	0,0009	0,0018	0,0030	0,0030	0,0014	0,92	2,14	sau khi xử lý RH và trước khi thêm Ca

Các phôi tấm thép thu được được làm thành các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng (các tấm thép thành phẩm) bằng cách sử dụng phương pháp giống như trong trường hợp của Ví dụ 1. Đối với các tấm thép thành phẩm này, bằng cách sử dụng phương pháp giống như trong trường hợp của Ví dụ 1, trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit, và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit, đã được tính, và đường kính hạt tinh thể trung bình, mật độ từ thông B_{50}, và tổn hao sắt $W_{15/50}$ đã được xác định.

Các kết quả phân tích của các bao thể được mô tả ở trên và các kết quả xác định của đường kính hạt tinh thể trung bình, mật độ từ thông B_{50}, và tổn hao sắt $W_{15/50}$ được thể hiện trên Bảng 4.

Bảng 4

	Biểu thức phân số quan hệ nồng độ đối với bao thể		Đường kính hạt tinh thể trung bình sau khi ủ thép hoàn thiện (μm)	Đặc tính từ của tấm thép	
	$(C+R)^{(Chú\ ý\ 1)}/(C+R+S+A)$	$A^{(Chú\ ý\ 2)}/(C+R+S+A)$		Tổn hao sắt $W_{15/50}$ (W/kg)	Mật độ từ thông B_{50} (T)
Ví dụ 21	0,58	0,13	48	2,62	1,716
Ví dụ 22	0,68	0,09	73	2,44	1,723
Ví dụ 23	0,71	0,05	85	2,29	1,732
Ví dụ 24	0,66	0,06	77	2,06	1,745
Ví dụ 25	0,52	0,15	42	2,90	1,708
Ví dụ 26	0,75	0,02	88	2,61	1,726
Ví dụ 27	0,64	0,09	58	2,42	1,731
Ví dụ 28	0,63	0,08	59	2,44	1,730

(Chú ý 1) (C + R)/(C + R + S + A) ; {(% theo khối lượng CaO) + (% theo khối lượng REM oxit)}/{(% theo khối lượng CaO) + (% theo khối lượng REM oxit) + (% theo khối lượng SiO_2) + (% theo khối lượng Al_2O_3)}

(Chú ý 2) A/(C + R + S + A) ; (% theo khối lượng Al_2O_3)/{(% theo khối lượng CaO) + (% theo khối lượng REM oxit) + (% theo khối lượng SiO_2) + (% theo khối lượng Al_2O_3)}

Như được chỉ ra trên Bảng 4, rõ ràng là các tấm thép, mà đã được sản xuất bằng cách bổ sung hợp kim chứa REM trong khi xử lý trong máy khử khí chân không RH sau khi sự khử oxy đã được thực hiện bằng cách sử dụng Si (các Ví dụ từ 21 đến 24), có tổn hao sắt thấp được biểu thị bởi tổn hao sắt $W_{15/50}$ là 2,62 W/kg hoặc nhỏ hơn, mật độ từ thông cao được biểu thị bởi mật độ từ thông B_{50} là 1,716 T hoặc lớn hơn, điều này có nghĩa là các ví dụ như này có các đặc tính từ ưu việt khi so sánh với các tấm thép, mà đã sản xuất bằng cách bổ sung hợp kim chứa REM trước khi hợp kim chứa Ca được bổ sung sau khi xử lý trong máy khử khí chân không RH đã được thực hiện (các Ví dụ từ 25 đến 28).

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có

hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al (nhôm tan được trong axit - acid soluble aluminum): 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca (tổng lượng canxi- total calcium): 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O (tổng lượng oxy- total oxygen): 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM (kim loại đất hiếm-Rare earth metal): 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được,

trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử bao gồm T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,83 hoặc lớn hơn, và

trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit tồn tại trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là 0,50 hoặc lớn hơn, và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit là 0,20 hoặc nhỏ hơn.

2. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có

hợp phần hóa học chứa C: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, Si: 1,5% theo khối lượng đến 5,0% theo khối lượng, Mn: 0,2% theo khối lượng đến 3,0% theo khối lượng, sol.Al: 0,0030% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, S: 0,0050% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, N: 0,0040% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, T.Ca: 0,0010% theo khối lượng đến 0,0080% theo khối lượng, T.O: 0,0100% theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, REM: 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, ít nhất một trong số nhóm nguyên tố A đến nhóm nguyên tố C dưới đây, và phần còn lại

là Fe và các tạp chất không thể tránh được,

trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng ((T.Ca + REM)/(T.O + S)), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của bốn cấu tử bao gồm T.Ca, REM, T.O, và S, bằng 0,83 hoặc lớn hơn, và

trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ ((% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit)/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho các nồng độ CaO và các oxit REM có liên quan đến các bao thể gốc oxit tồn tại trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng là 0,50 hoặc lớn hơn, và trị số của biểu thức phân số quan hệ nồng độ (% theo khối lượng Al_2O_3/(% theo khối lượng CaO +% theo khối lượng REM oxit +% theo khối lượng SiO_2 +% theo khối lượng Al_2O_3)), mà là biểu thức quan hệ cho nồng độ Al_2O_3 có liên quan đến các bao thể gốc oxit là 0,20 hoặc nhỏ hơn, trong đó

nhóm A chỉ gồm một hoặc cả hai thành phần được chọn từ các thành phần Sn và Sb, mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,1% theo khối lượng,

nhóm B chỉ gồm Mg có lượng là 0,0001% theo khối lượng đến 0,0050% theo khối lượng, và

nhóm C chỉ gồm một, hai, hoặc tất cả các thành phần được chọn từ Cu, Ni, và Cr, mỗi thành phần có lượng là 0,01% theo khối lượng đến 0,5% theo khối lượng.

3. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trị số của biểu thức phân số quan hệ khối lượng (T.Ca/REM), mà là biểu thức quan hệ cho các khối lượng của hai cấu tử bao gồm T.Ca và REM, là 1,0 hoặc lớn hơn.

4. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2, trong đó đường kính hạt tinh thể trung bình của cấu trúc kim tương là 40μm hoặc lớn hơn,

5. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 3, trong đó đường kính hạt tinh thể trung bình của cấu trúc kim tương là 40μm hoặc lớn hơn.

6. Phương pháp sản xuất phôi tấm được sử dụng làm nguyên liệu cho tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2,

trong quá trình tinh luyện thép nóng chảy, mà đã được rút ra từ lò chuyển hoặc lò hồ quang điện, bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không, bổ sung hợp kim chứa Ca

vào thép nóng chảy được tinh luyện, và đúc liên tục thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa Ca, bằng cách sử dụng máy đúc liên tục để thu được phôi tấm,

phương pháp này bao gồm:

bổ sung Si có tính kim loại hoặc hợp kim chứa Si vào thép nóng chảy trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không để khử oxy cho thép nóng chảy bằng cách sử dụng Si;

bổ sung hợp kim chứa REM vào thép nóng chảy, mà đã được khử oxy bằng cách sử dụng Si, trong khi thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không hoặc sau khi kết thúc thực hiện tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không; và

bổ sung hợp kim chứa Ca vào thép nóng chảy mà đã được bổ sung hợp kim chứa REM, trong thùng rót.