



(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)



1-0027082

(51)⁷ C22C 38/00; H01F 41/02; H01F 1/16; (13) B
C21D 8/12; C22C 38/60

(21) 1-2015-03526

(22) 08/04/2014

(86) PCT/JP2014/060164 08/04/2014

(87) WO 2014/168136 A1 16/10/2014

(30) 2013-081078 09/04/2013 JP

(45) 25/01/2021 394

(43) 25/01/2016 334A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

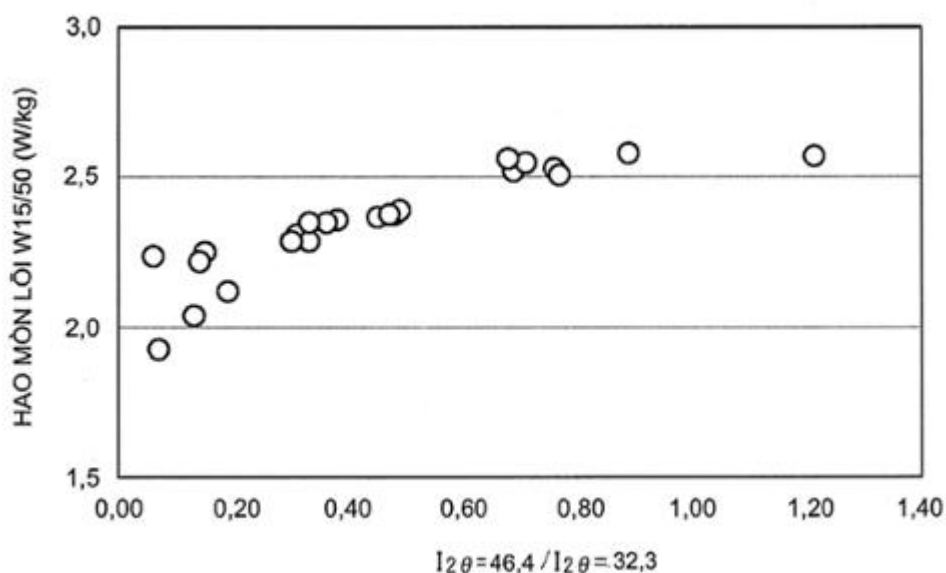
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan

(72) KATAOKA Takashi (JP); ARITA Yoshihiro (JP); TAKAHASHI Fumiaki (JP);
KUROSAKI Yousuke (JP).

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

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

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng và phương pháp sản xuất tấm thép này. Tấm thép kỹ thuật điện chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng: C: từ 0,0001% đến 0,01%; Si: từ 0,05% đến 7,0%; Mn: từ 0,01% đến 3,0%; Al: từ 0,0020% đến 3,0%; S: từ 0,0001% đến 0,1%; P: từ 0,0010% đến 0,15%; N: từ 0,0010% đến 0,01%; Cu: từ 0,01% đến 5,0%; và phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất, trong đó $I_{2\theta=46,4}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lục giác được thể hiện ở $2\theta=46,4^\circ$ và $I_{2\theta=32,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lập phương được thể hiện ở $2\theta=32,3^\circ$, mà thu được nhờ sự nhiễu xạ tia X của lượng dư chiết do điện phân, thỏa mãn $I_{2\theta=46,4}/I_{2\theta=32,3} \leq 0,5$.



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 của thiết bị điện và phương pháp sản xuất tấm thép này, và cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao mòn lõi rất tốt và phương pháp sản xuất tấm thép này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sử dụng làm vật liệu lõi của các loại động cơ khác nhau dùng cho các thiết bị điện hạng nặng, các thiết bị gia dụng, và tương tự. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được phân loại trên thị trường theo mức độ hao mòn lõi, và được phân loại theo các dấu hiệu thiết kế của các động cơ hoặc các biến áp. Hiện nay, từ quan điểm tiết kiệm năng lượng, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có nhu cầu cao về giảm tiếp mức độ hao mòn lõi và gia tăng mật độ từ thông.

Nói chung, khi các chất kết tủa mịn có mặt ở trong tấm thép, thì sự phát triển hạt trong khi ủ được làm chậm lại, và mức độ hao mòn lõi bị suy giảm. Cụ thể là, Cu mà được kết hợp một cách bắt buộc vào tấm thép tạo ra Cu sulfua, và Cu sulfua mịn ức chế sự phát triển hạt của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng. Kết quả là, mức độ hao mòn lõi bị suy giảm. Ngoài ra, Cu sulfua mịn mà có mặt trong tấm thép gây ra sự suy giảm tổn hao do từ trễ. Sự suy giảm tổn hao do từ trễ cũng gây ra sự suy giảm về hao mòn lõi.

Ở đây, theo giải pháp kỹ thuật liên quan, nhằm mục đích làm cải thiện mức độ hao mòn lõi của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, các phương pháp chẳng hạn như kiểm soát kết tủa của sulfua trong khi cán nóng, phương pháp làm giảm lượng sulfua nhờ sự khử lưu huỳnh, và sự ức chế kết tủa của Cu sulfua nhờ việc làm nguội nhanh sau khi bước ủ kết thúc đã được đề xuất.

Ví dụ, trong tài liệu sáng chế 1, phương pháp kiểm soát trạng thái phân tán của Cu sulfua thành trạng thái được ưu tiên đối với các đặc tính từ của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, tức là, mức độ hao mòn lõi và mật độ từ thông bằng cách giữ phôi tấm chứa Cu với lượng 0,2% hoặc nhỏ hơn trong khoảng từ 900°C đến 1100°C trong thời gian 30 phút hoặc lâu hơn, sau đó giữ tấm này ở nhiệt độ cao hơn 1150°C và tiếp đó bắt đầu cán, và giới hạn tốc độ làm nguội trong khi hoàn thành cán nóng tới 50°C/giây hoặc thấp hơn được bộc lộ. Tuy nhiên, trong phương pháp này, có các vấn đề về năng suất, chẳng hạn như sự gia tăng tải trọng cán do sự giảm nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm và khó kiểm soát nghiêm ngặt tốc độ làm nguội.

Trong tài liệu sáng chế 2, phương pháp tránh sự tạo thành các chất kết tủa mịn bằng cách bổ sung CaSi vào thép nóng chảy cho đến khi hoàn tất bước đúc để điều chỉnh lượng S tới 0,005% hoặc nhỏ hơn, gia nhiệt phôi tấm đến nhiệt độ là 1000°C hoặc cao hơn và sau đó cán nóng phôi tấm, và cuộn ở khoảng nhiệt độ cụ thể được bộc lộ. Trong phương pháp này, thép có độ tinh khiết cao là thiết yếu. Tuy nhiên, không thể tránh được sự tạo thành Cu sulfua mịn do Cu được kết hợp ở mức không thể tránh khỏi. Do đó, có vấn đề là các đặc tính từ suy giảm do sự kết hợp của Cu.

Ngoài ra, trong tài liệu sáng chế 3, kỹ thuật ngăn chặn sự kết tủa của Cu sulfua bằng cách thực hiện sự làm nguội nhanh từ khoảng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 500°C đến 600°C tới 300°C ở tốc độ làm nguội từ 10°C/giây đến 50°C/giây sau khi bước ủ kết thúc được bộc lộ. Tuy nhiên, thực tế là Cu sulfua được kết tủa ngay cả trong khi làm nguội ở tốc độ làm nguội là 50°C/giây hoặc cao hơn là đã biết trong các tài liệu phi sáng chế 1 và 2, và tương tự. Tức là, trong kỹ thuật của tài liệu sáng chế 3 trong đó sự làm nguội được thực hiện ở tốc độ làm nguội là 10°C/giây đến 50°C/giây, khó có thể ngăn chặn hoàn toàn sự kết tủa của Cu sulfua.

Trong các tài liệu sáng chế từ 4 đến 6, kỹ thuật trong đó sự tăng cường các đặc tính từ được mong đợi bằng cách ngăn chặn tốc độ làm nguội sau khi bước ủ kết thúc được bộc lộ. Tuy nhiên, trong phương pháp này, có thể không khiến cho Cu sulfua trở nên vô hại.

Tài liệu kỹ thuật trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2010-174376

Tài liệu sáng chế 2: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số H10-183244

Tài liệu sáng chế 3: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số H09-302414

Tài liệu sáng chế 4: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2011-006721

Tài liệu sáng chế 5: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2006-144036

Tài liệu sáng chế 6: Công bố đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số 2003-113451

Tài liệu phi sáng chế

Tài liệu phi sáng chế 1: CAMP-ISIJ Vol.25 (2012), p1080

Tài liệu phi sáng chế 2: CAMP-ISIJ Vol.22 (2009), p1284

Tài liệu phi sáng chế 3: J. Flux Growth Vol.5 (2010), p48

Tài liệu phi sáng chế 4: Materials Transactions Vol.53 (2012), P645

Tài liệu phi sáng chế 5: Tetsu-to-Hagane Vol.83 (1997), p479

Tài liệu phi sáng chế 6: Tetsu-to-Hagane Vol.92 (2006), p609

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Sáng chế được hoàn thành nhằm khắc phục các vấn đề nêu trên, và mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao mòn lõi rất tốt và phương pháp sản xuất tấm thép này mà không làm tăng chi phí hoặc giảm năng suất bằng cách tạo thành Cu sulfua vô hại và tăng cỡ hạt.

Phương tiện giải quyết vấn đề

Để khắc phục các nhược điểm nêu trên, theo sáng chế, hiệu quả của các thành phần hóa học và các điều kiện sản xuất của tấm thép đến mối tương quan giữa trạng thái của sulfua và mức độ hao mòn lõi được kiểm tra lặp lại. Kết quả là, đã phát hiện ra rằng có trường hợp trong đó các tấm thép kỹ thuật điện không định hướng thu được dưới các điều kiện sản xuất khác nhau có mức độ hao mòn lõi khác nhau đáng kể thậm chí mặc dù các cỡ hoặc các mật độ số lượng của sulfua, cho đến nay được biết là ảnh hưởng đến mức độ hao mòn lõi, ở cùng mức. Ở đây, các tác giả sáng chế đã tiến hành kiểm tra chi tiết hơn về hình thái học và cấu trúc của sulfua, và phát hiện ra khả năng là sự khác nhau về mức độ hao mòn lõi có thể được gây ra do sự khác nhau về cấu trúc nguyên tử của Cu sulfua, và cụ thể là, khả năng là sự nhất quán giữa mạng tinh thể của Fe là pha sơ cấp và Cu sulfua có thể ảnh hưởng đến chuyển động thành miền từ tính. Sáng chế đã được hoàn thành dựa vào các phát hiện mô tả trên đây, và được tóm tắt ở các mục từ (1) đến (8) sau.

(1) Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một khía cạnh của sáng chế chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng: C: từ 0,0001% đến 0,01%; Si: từ 0,05% đến 7,0%; Mn: từ 0,01% đến 3,0%; Al: từ 0,0020% đến 3,0%; S: từ 0,0001% đến 0,1%; P: từ 0,0010% đến 0,15%; N: từ 0,0010% đến 0,01%; Cu: từ 0,01% đến 5,0%; và phần còn lại gồm Fe và các tạp chất, trong đó $I_{2\theta=46,4}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lục giác được thể hiện ở $2\theta=46,4^\circ$ và $I_{2\theta=32,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lập phương được thể hiện ở $2\theta=32,3^\circ$, mà thu được nhờ sự nhiễu xạ tia X của lượng dư chiết do điện phân, thỏa mãn biểu thức 1 sau đây:

$$I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3} \leq 0,5 \quad \text{biểu thức 1.}$$

(2) Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục (1), trong đó lượng Cu, tính theo % khối lượng, được biểu thị là [%Cu] và lượng S, tính theo % khối lượng, được biểu thị là [%S], [%Cu] và [%S] có thể thỏa mãn $[\%Cu] / [\%S] \geq 2,5$.

(3) Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2), trong

đó tấm thép này có thể chứa 0,5 miếng/ μm^3 đến 50 miếng/ μm^3 sulfua chứa Cu và có đường kính nằm trong khoảng từ 5nm đến 500nm.

(4) Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một khía cạnh khác của sáng chế, là phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3), và phương pháp này bao gồm các bước: cán nóng được thực hiện trên phôi tấm để thu được tấm thép đã được cán nóng; ủ tấm thép đã được cán nóng; tẩy gỉ tấm thép đã được cán nóng; thực hiện cán nguội trên tấm thép đã được cán nóng để thu được tấm thép đã được cán nguội; và ủ tấm thép đã được cán nguội, trong đó, trong bước ủ tấm thép đã được cán nguội, sau khi tấm thép đã được cán nguội được giữ ở nhiệt độ $T1^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 2 sau đây, đến 1530°C trong thời gian 30 giây đến 3600 giây, khi tốc độ làm nguội trung bình từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến $T2^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 3, được biểu thị là CR1, tính theo đơn vị $^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ và tốc độ làm nguội trung bình từ $T2^{\circ}\text{C}$ đến $T3^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 4, được biểu thị là CR2, tính theo đơn vị $^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, tấm thép đã được cán nguội được làm nguội đến khoảng nhiệt độ $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn sao cho CR1 và CR2 thỏa mãn các biểu thức 5, 6 và 7:

$$T1 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 273 \quad \text{biểu thức 2}$$

$$T2 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 323 \quad \text{biểu thức 3}$$

$$T3 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 473 \quad \text{biểu thức 4}$$

$$CR1 > CR2 \quad \text{biểu thức 5}$$

$$5 \leq CR1 \leq 500 \quad \text{biểu thức 6}$$

$$0,5 \leq CR2 \leq 50 \quad \text{biểu thức 7}$$

trong đó $[\%Cu]$ là lượng Cu tính theo % khối lượng và $[\%S]$ là lượng S tính theo % khối lượng.

(5) Phương pháp sản xuất thép điện không định hướng theo mục (4), trong đó CR1 có thể còn thỏa mãn biểu thức 8 sau đây:

$CR1 > 20$ biểu thức 8.

(6) Phương pháp sản xuất thép điện không định hướng theo mục (4) hoặc (5), trong đó $CR2$ có thể còn thỏa mãn biểu thức 9 sau đây:

$CR2 \leq 20$ biểu thức 9.

(7) Phương pháp sản xuất thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (4) đến (6), trong đó phương pháp này có thể còn bao gồm các bước: tiếp theo bước ủ tấm thép đã được cán nguội, giữ tấm thép đã được cán nguội ở khoảng nhiệt độ nằm trong khoảng từ $T2^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn đến $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn trong thời gian 30 giây hoặc lâu hơn làm bước ủ bổ sung.

(8) Phương pháp sản xuất thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (4) đến (7), trong đó trong bước ủ tấm thép đã được cán nóng, tấm thép đã được cán nóng có thể được làm nguội sao cho $CR3$ mà là tốc độ làm nguội trung bình nằm trong khoảng từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến nhiệt độ phòng là $15^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn.

Hiệu quả của sáng chế

Theo các khía cạnh khác của sáng chế, thậm chí khi sự tinh khiết cao, sự giảm nhiệt độ gia nhiệt ủ tấm, sự tối ưu hóa các điều kiện cán nóng, và tương tự không được thực hiện trên tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, vẫn có thể khiến cho Cu sulfua mịn trở nên vô hại. Theo đó, có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao mòn lõi rất tốt.

Ngoài ra, theo các khía cạnh khác của sáng chế, các đặc tính (mật độ từ thông, khả năng gia công, và tương tự) ngoài mức độ hao mòn lõi, được yêu cầu bởi tấm thép kỹ thuật điện định hướng hạt, có thể được đảm bảo là ở cùng mức hoặc mức cao hơn vật liệu trong giải pháp kỹ thuật đã biết.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là đồ thị thể hiện mối tương quan giữa $I_{20=46,4} / I_{20=32,3}$ và mức độ hao mòn lõi.

Fig.2 là lưu đồ thể hiện ví dụ về quy trình sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo một phương án.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án của sáng chế (cũng có thể được gọi là tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này) và phương pháp sản xuất tấm thép này sẽ được mô tả chi tiết. Tất cả các % của các lượng là % khối lượng.

C: từ 0,0001% đến 0,01%

C gây ra sự suy giảm đáng kể về hao mòn lõi thông qua sự hóa già từ tính. Do đó, giới hạn trên của lượng C là 0,01%. Từ quan điểm cải thiện mức độ hao mòn lõi, lượng C tốt hơn là 0,0020% hoặc nhỏ hơn. Mặt khác, khi lượng C nhỏ hơn 0,0001%, thì mật độ từ thông bị suy giảm. Do đó, để đảm bảo mật độ từ thông đầy đủ, thì giới hạn dưới của lượng C là 0,0001%. Lượng C tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0015%, và tốt hơn nữa là nằm trong khoảng từ 0,0007 đến 0,0010%.

Si: từ 0,05% đến 7,0%

Lượng Si nằm trong khoảng từ 0,05% đến 7,0% để cân bằng giữa sự đảm bảo hao mòn lõi và đặc tính di chuyển tấm. Khi lượng Si nhỏ hơn 0,05%, thì không thể thu được mức độ hao mòn lõi tốt. Mặt khác, khi lượng Si là lớn hơn 7,0%, tấm thép trở nên bị giòn, và đặc tính di chuyển tấm trong khi quy trình sản xuất bị hư hỏng đáng kể. Lượng Si tốt hơn là nằm trong khoảng từ 2,3% đến 3,5%, tốt hơn nữa từ 2,9% đến 3,3%, và còn tốt hơn nữa từ 3,0% đến 3,2%.

Mn: từ 0,01% đến 3,0%

Mn phản ứng với S và tạo ra sulfua, và do vậy là nguyên tố quan trọng trong sáng chế. Trong trường hợp mà Mn có mặt trong thép, MnS được kết tủa và do vậy nhiệt độ chuyển của cấu trúc tinh thể của Cu sulfua bị giảm. Trong trường hợp này, Cu sulfua có cấu trúc lập phương ít có khả năng được tạo thành. Do đó,

giới hạn trên của lượng Mn là 3,0%. Mặt khác, khi lượng Mn nhỏ hơn 0,01%, thì tấm thép trở nên bị giòn trong khi cán nóng. Do đó, giới hạn dưới của lượng Mn là 0,01%. Lượng Mn tốt hơn từ 0,05% đến 2,0%, và tốt hơn nữa từ 0,1% đến 1,0%.

Al: từ 0,0020% đến 3,0%

Al được hòa tan trong thép, dẫn đến điện trở của thép được tăng lên và mức độ hao mòn lõi được giảm. Do đó, để cải thiện mức độ hao mòn lõi (giảm mức độ hao mòn lõi), việc tăng lượng Al trong thép là có lợi. Tuy nhiên, thép nóng chảy có lượng Al cao gây ra sự suy giảm về khả năng vận hành trong quá trình đúc và do vậy gây ra sự giòn của tấm thép. Do đó, giới hạn trên của lượng Al là 3,0%. Mặt khác, khi lượng Al thấp, thì AlN mà tăng tốc sự phát triển hạt trong tấm thép không được tạo ra đầy đủ, và TiN mịn mà cản trở sự phát triển hạt được tạo ra thay vì AlN, dẫn đến sự suy giảm đáng kể về mật độ từ thông. Do đó, giới hạn dưới của lượng Al là 0,0020%. Lượng Al tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,1% đến 2,0%, và tốt hơn nữa từ 1,0% đến 1,5%.

S: từ 0,0001% đến 0,1%

Lượng S liên quan trực tiếp đến lượng sulfua. Khi lượng S là quá mức, S có mặt trong thép ở dạng dung dịch rắn, và thép trở nên bị giòn trong khi cán nóng. Do đó, giới hạn trên của lượng S là 0,1%. Mặt khác, khi lượng S nhỏ hơn 0,0001%, khoảng nhiệt độ kết tủa (khoảng nhiệt độ nằm trong khoảng từ T2°C đến T3°C, mà sẽ được mô tả sau đây) của Cu sulfua (lập phương) được giảm đáng kể hơn nhiệt độ phát triển hạt của tấm thép, và do vậy không thu được tác dụng cải thiện mức độ hao mòn lõi. Do đó, giới hạn dưới của lượng S là 0,0001%. Lượng S tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,01% đến 0,05%, và tốt hơn nữa từ 0,02% đến 0,03%.

P: từ 0,0010% đến 0,15%

P có tác dụng gia tăng độ cứng của tấm thép và tăng cường đặc tính tạo phiôi. Ngoài ra, một lượng nhỏ của P có tác dụng cải thiện mật độ từ thông. Để thu được tác dụng này, giới hạn dưới của lượng P là 0,0010%. Ở đây, khi lượng P dư,

thì mật độ từ thông bị suy giảm, và do vậy giới hạn trên của lượng P là 0,15%. Lượng P tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,005% đến 0,1%, và tốt hơn nữa từ 0,01% đến 0,07%.

N: từ 0,0010% đến 0,01%

N là nguyên tố mà tạo ra nitrua với Ti và tương tự. Khi lượng N là quá mức, thì kết tủa của nitrua chẳng hạn như TiN được tăng lên, và nitrua này cản trở sự phát triển hạt. Do đó, giới hạn trên của lượng N là 0,01%. Ở đây, một lượng nhỏ của N được chứa ngăn chặn sự kết tủa của TiC mịn, và do vậy thu được hiệu quả đẩy nhanh sự phát triển hạt của tấm thép. Do đó, nhằm mục đích đảm bảo mật độ từ thông đầy đủ, giới hạn dưới của lượng N là 0,0010%. Lượng N tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,0030% đến 0,0080%, tốt hơn nữa là từ 0,0040% đến 0,0080%, và còn tốt hơn nữa là từ 0,0050% đến 0,0070%.

Cu: từ 0,01% đến 5,0%

Cu là nguyên tố mà tạo ra sulfua như Mn, và là nguyên tố đặc biệt quan trọng. Khi lượng Cu là quá cao, thì Cu được hòa tan trong tấm thép, và dung dịch rắn Cu gây ra sự giòn của tấm thép trong quá trình cán nóng. Do đó, giới hạn trên của lượng Cu là 5,0%. Mặt khác, để cho phép Cu sulfua được kết tủa trước MnS trong quá trình cán nóng, nhiệt độ tạo ra Cu sulfua cần phải là nhiệt độ cao, và giới hạn dưới của lượng Cu cần phải là 0,01%. Lượng Cu tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,1% đến 1,5%, và tốt hơn nữa là từ 0,8% đến 1,2%.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này về cơ bản chứa các thành phần hóa học mô tả ở trên, và phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất. Tuy nhiên, nhằm mục đích tăng cường hơn nữa các đặc tính từ, sự tăng cường về các đặc tính chẳng hạn như độ bền, độ chịu ăn mòn, và các đặc tính môi cần thiết của chi tiết cấu trúc, và sự tăng cường về các đặc tính đúc hoặc các đặc tính di chuyển tấm, và việc nâng cao năng suất bằng cách sử dụng mảnh nhỏ hoặc tương tự, một lượng nhỏ của các nguyên tố như Mo, W, In, Sn, Bi, Sb, Ag, Te, Ce, V, Cr,

Co, Ni, Se, Re, Os, Nb, Zr, Hf, và Ta có thể được chứa với tổng lượng là 0,5% hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, khi các nguyên tố này được kết hợp với lượng là 0,5% hoặc nhỏ hơn, hiệu quả của phương án này không bị ảnh hưởng. Các nguyên tố mà tạo ra các sulfua như Mg, Ca, Zn, và Ti ảnh hưởng đến nhiệt độ dung dịch rắn của Cu sulfua, và do đó tổng lượng của các nguyên tố này tốt hơn là 0,2% hoặc nhỏ hơn.

Tiếp đến, trạng thái của Cu sulfua mà là yếu tố kiểm soát quan trọng trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này sẽ được mô tả.

Các tác giả đã phát hiện ra rằng có ít nhất hai loại cấu trúc là cấu trúc của Cu sulfua được chứa trong tấm thép. Một là cấu trúc lập phương, và cấu trúc kia là cấu trúc lục giác (cấu trúc đóng gói kín hình lục giác). Cấu trúc lập phương có pha ổn định, và cấu trúc lục giác có pha nửa bền.

Khó để loại bỏ hoàn toàn sự có mặt của sulfua trong tấm thép. Do đó, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, S được phép để kết tủa một cách chủ động làm Cu sulfua và Cu sulfua kết tủa được kiểm soát để chủ yếu chứa sulfua có cấu trúc lập phương, bởi vậy tránh được sự suy giảm về hao mòn lõi. Do đó, sự kiểm soát cấu trúc tinh thể của Cu sulfua là rất quan trọng.

Trong phương án này, ví dụ, khi sử dụng nhiễu xạ tia X (X-ray diffraction, XRD) được thực hiện trên dư lượng chiết điện phân của tấm thép, $I_{2\theta=46,4}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua (lục giác) ở $2\theta=46,4\pm 2^\circ$ và $I_{2\theta=32,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua (lập phương) ở $2\theta=32,3\pm 2^\circ$ được kiểm soát để thỏa mãn biểu thức 1 sau đây.

$$I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3} \leq 0,5 \quad \text{biểu thức 1}$$

Như được thể hiện trên Fig.1, khi $I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3}$ bị giảm, mức độ hao mòn lõi được cải thiện.

Giới hạn dưới của $I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3}$ không cần phải được giới hạn cụ thể. Tuy nhiên, trong trường hợp trong đó Cu sulfua có cấu trúc lục giác không có mặt,

$I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3}$ trở thành 0, và giá trị này có thể là giới hạn dưới.

Ngoài ra, trong phương án này, Cu sulfua (hình lục giác) biểu thị Cu sulfua có cấu trúc lục giác, và Cu sulfua (lập phương) biểu thị Cu sulfua có cấu trúc lập phương. Ngoài ra, sự nhận dạng các đỉnh nhiễu xạ có thể được đối chiếu bằng cách sử dụng JCPDS-CARD mà là cơ sở dữ liệu của các lưới tinh thể. Ví dụ, Cu sulfua (lục giác) có thể được nhận dạng bằng cách sử dụng JCPDS-CARD: 00-023-0958 hoặc tương tự, và Cu sulfua (lập phương) có thể được nhận dạng bằng cách sử dụng JCPDS-CARD: 00-024-0051 hoặc tương tự. Ngoài ra, trong Cu sulfua trong sắt, tỷ lệ liên kết hóa học của S với Cu được thay đổi trong khoảng từ 1:1 đến 2:1 do dung dịch rắn của các nguyên tử Fe hoặc Mn, và tương tự. Do đó, 2θ có biên dạng lỗi là $\pm 2^\circ$. Nói chung, cường độ nhiễu xạ XRD là độ cao từ nền đến đỉnh của phổ. Cường độ nhiễu xạ XRD (cường độ đỉnh) trong phương án này cũng thu được bằng cách loại bỏ nền sử dụng phần mềm được mô tả trong các tài liệu phi sáng chế 3 và 4.

Có lo ngại rằng FeS mịn hoặc MnS mịn mà là sulfua khác với Cu sulfua có thể gây ra sự suy giảm về hao mòn lõi. Do đó, tốt hơn là Cu sulfua được phép kết tủa một cách chủ động bằng cách tăng đầy đủ lượng Cu tương ứng với lượng S. Cụ thể, khi lượng Cu được biểu thị là [%Cu] và lượng S được biểu thị là [%S] tính theo % khối lượng, tốt hơn là lượng Cu và lượng Mn được kiểm soát để thỏa mãn $[\%Cu] / [\%S] \geq 2,5$. $120 \geq [\%Cu] / [\%S] > 40$ được ưu tiên hơn, và $70 > [\%Cu] / [\%S] > 50$ được ưu tiên hơn nữa.

Hơn nữa, khi lượng Mn được biểu thị là [%Mn] tính theo % khối lượng, trường hợp trong đó $([\%Cu] \times [\%Mn]) / [\%S] \geq 2$ được thỏa mãn được ưu tiên hơn nữa từ quan điểm cải thiện mức độ hao mòn lõi. Lý do tại sao mức độ hao mòn lõi được cải thiện bằng cách thỏa mãn $([\%Cu] \times [\%Mn]) / [\%S] \geq 2$ là không rõ ràng. Tuy nhiên, các tác giả sáng chế nghĩ rằng lý do là việc tạo ra Cu sulfua (lập phương) có xu hướng được thúc đẩy nhờ hiệu quả của Mn. $([\%Cu] \times [\%Mn]) /$

$[\%S] \geq 15$ được ưu tiên hơn.

Ngoài ra, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, để cải thiện hơn nữa mức độ hao mòn lõi, tốt hơn là sulfua mà chứa Cu và có đường kính nằm trong khoảng từ 5nm đến 500nm có mặt trong tấm thép với mật độ số lượng trên mỗi đơn vị diện tích là $0,5 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$ đến $50 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$. Khi mật độ số lượng của sulfua là nhỏ hơn $0,5 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$, hiệu quả không thể thu được một cách đầy đủ. Do đó, mật độ số lượng của sulfua tốt hơn $0,5 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$ hoặc cao hơn. Mặt khác, khi mật độ số lượng là cao hơn $50 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$, các đặc tính phát triển hạt bị suy giảm, và do vậy có lo ngại về sự suy giảm của mật độ từ thông. Do đó, giới hạn trên của mật độ số lượng tốt hơn là $50 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$. Để cải thiện một cách tin cậy mức độ hao mòn lõi, mật độ số lượng của sulfua tốt hơn là nằm trong khoảng từ $0,5 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$ đến $1,0 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$, và tốt hơn nữa là nằm trong khoảng từ $0,5 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$ đến $0,7 \text{ miếng}/\mu\text{m}^3$. Việc quan sát các kết tủa chứa sulfua mô tả trên đây có thể được thực hiện trên tấm thép có bề mặt bị ăn mòn với kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope, SEM) hoặc kính hiển vi điện tử chuyển (transmission electron microscope, TEM) theo phương pháp sao tách hoặc phương pháp màng mỏng. Nói chung, Cu sulfua là cực mịn (ví dụ, nhỏ hơn 5nm). Tuy nhiên, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, cấu trúc tinh thể của Cu sulfua chủ yếu là lập phương, và do vậy sulfua trở thành thô. Do đó, đường kính của Cu sulfua có thể được kiểm soát để nằm trong khoảng từ 5nm đến 500nm. Về mức độ hao mòn lõi, đường kính Cu sulfua được ưu tiên nằm trong khoảng từ 50nm đến 300nm, và đường kính Cu sulfua được ưu tiên hơn là nằm trong khoảng từ 100nm đến 200nm.

Cu sulfua cần phải chứa chủ yếu sulfua có cấu trúc lập phương làm cấu trúc tinh thể của nó, và do vậy cường độ nhiễu xạ tia X thu được bằng XRD có thể thỏa mãn $I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3} \leq 0,5$ như được mô tả ở trên. Mặt khác, trong trường hợp trong đó Cu sulfua được quan sát trực tiếp bằng kính hiển vi, tốt hơn là hầu hết Cu sulfua

quan sát được có cấu trúc lập phương, tức là, tỷ lượng theo thể tích của Cu sulfua có cấu trúc lập phương là 50% hoặc cao hơn toàn bộ Cu sulfua. Tỷ lượng theo thể tích của Cu sulfua có cấu trúc lập phương tốt hơn nữa là 66,7%, và còn tốt hơn nữa là 80%. Ở đây, Cu sulfua bao gồm không chỉ các kết tủa của một mình Cu sulfua, mà cả các kết tủa được kết tủa phối hợp với các sulfua, các oxit hoặc các cacbua khác chẳng hạn như MnS và TiS. Hơn nữa, cũng có các kết tủa trong đó các nguyên tử kim loại như Mn hoặc Fe được hòa tan trong Cu sulfua, như Cu(Mn)S hoặc Cu(Fe)S.

Trong trường hợp trong đó Cu sulfua kết tủa với MnS làm các kết tủa hỗn hợp, theo sự nhiễu xạ tia X (XRD) được thực hiện bằng cách sử dụng dư lượng chiết điện phân, tốt hơn là $I_{2\theta=34,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Mn sulfua (lập phương) ở $2\theta=34,3^\circ$ và $I_{2\theta=32,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua (lập phương) ở $2\theta=32,3^\circ$ thỏa mãn các điều kiện của biểu thức 1-2 sau đây.

$$0,001 < I_{2\theta=32,3} / I_{2\theta=34,3} < 10 \quad \text{biểu thức 1-2}$$

Tốt hơn là thỏa mãn $0,02 < I_{2\theta=32,3} / I_{2\theta=34,3} < 5$, và tốt hơn nữa là thỏa mãn $0,05 < I_{2\theta=32,3} / I_{2\theta=34,3} < 1,5$.

Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được ưu tiên theo phương án này sẽ được mô tả.

Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này có thể được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nóng, ủ tấm cán nóng, cán nguội, ủ kết thúc, và tương tự trên phôi tấm mà được làm nóng chảy trong bộ chuyển đổi và được tiến hành đúc liên tục, theo cùng cách như tấm thép kỹ thuật điện điển hình.

Trong bước cán nóng, bất kể phương pháp cán nóng chẳng hạn như cán nóng trực tiếp hoặc cán nóng liên tục và nhiệt độ gia nhiệt phôi tấm, có thể thu được hiệu quả cải thiện mức độ hao mòn lõi. Trong bước cán nguội, bất kể phương pháp cán nguội chẳng hạn như cán nguội được thực hiện hai lần hoặc nhiều hơn hoặc cán ấm và giảm cán nguội, hiệu quả cải thiện mức độ hao mòn lõi có thể thu

được. Ngoài các quy trình này, quy trình tạo hình màng cách nhiệt, quy trình khử cacbua, và tương tự cũng có thể được thực hiện. Ngoài ra, không có vấn đề thậm chí khi tấm thép kỹ thuật điện không định hướng được sản xuất không bằng quy trình điển hình, mà còn các quy trình sử dụng phôi tấm mỏng mà không cán nóng, quy trình sử dụng phôi tấm mỏng theo phương pháp đóng rắn làm nguội nhanh hoặc phương pháp đúc liên tục.

Tuy nhiên, trong trường hợp thu được tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, trong quá trình ủ kết thúc, điều quan trọng là phải trải qua lịch sử nhiệt được mô tả như sau. Nghĩa là, điều quan trọng là (A) cho phép tổng lượng Cu sulfua được hòa tan trong quá trình ủ kết thúc, và (B) giảm lượng thời gian giữ ở khoảng nhiệt độ trong đó các sulfua khác với Cu sulfua có cấu trúc lập phương được kết tủa và tăng lượng thời gian giữ ở khoảng nhiệt độ trong đó Cu sulfua có cấu trúc lập phương [Cu sulfua (lập phương)] được kết tủa.

Trong phương án này, ba nhiệt độ $T1^{\circ}\text{C}$, $T2^{\circ}\text{C}$, và $T3^{\circ}\text{C}$ mà được mô tả bên dưới có các ý nghĩa quan trọng. $T1^{\circ}\text{C}$ là nhiệt độ dung dịch rắn của Cu sulfua thu được bằng cách tính toán, $T2^{\circ}\text{C}$ là nhiệt độ bắt đầu kết tủa của Cu sulfua có cấu trúc lập phương thu được bằng cách tính toán, và $T3^{\circ}\text{C}$ là nhiệt độ giới hạn dưới, tại đó Cu sulfua có cấu trúc lập phương được kết tủa, thu được bằng cách tính toán.

$$T1 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 273 \quad \text{biểu thức 2}$$

$$T2 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 323 \quad \text{biểu thức 3}$$

$$T3 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 473 \quad \text{biểu thức 4}$$

Trong đó [%Cu] là lượng Cu tính theo % khối lượng, và [%S] là lượng S tính theo % khối lượng.

Sau đây, phương pháp kiểm soát sulfua trên cơ sở các nhiệt độ này sẽ được mô tả.

Trước tiên, (A): cho phép tổng lượng Cu sulfua được hòa tan trong quá trình ủ kết thúc sẽ được mô tả.

Trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, tổng lượng Cu sulfua có thể được hòa tan bằng cách giữ tấm thép ở $T1^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn mà là nhiệt độ dung dịch rắn được tính toán của Cu sulfua trong thời gian 30 giây hoặc lâu hơn. Khi nhiệt độ giữ là thấp hơn $T1^{\circ}\text{C}$, Cu sulfua không thể được hòa tan một cách đầy đủ, Cu sulfua có cấu trúc lục giác hoặc có mạng tinh thể bị suy giảm do sự cán nguội duy trì và có ảnh hưởng ngược đến mức độ hao mòn lõi, nên không được ưu tiên. Ở đây, có thể có trường hợp trong đó các sulfua như TiS được hòa tan và được kết tủa mịn trong quá trình làm nguội sao cho sự phát triển hạt trong tấm thép được ngăn chặn và mật độ từ thông và mức độ hao mòn lõi của nó bị suy giảm. Do đó, nhiệt độ giữ tại đó Cu sulfua được hòa tan một cách tin cậy và sự hòa tan của các sulfua khác được tránh càng nhiều càng tốt, tốt hơn là $T1 + 30^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn và $T1 + 200^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn, và tốt hơn nữa là $T1 + 50^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn và $T1 + 100^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn. Ở đây, khi nhiệt độ của tấm thép trở nên cao hơn điểm nóng chảy của nó, tấm thép không thể di chuyển, và do vậy giới hạn trên của $T1$ là 1530°C .

Ngoài ra, khi thời gian giữ là ngắn hơn 30 giây, sự hòa tan không tiến triển đầy đủ. Để cho phép Cu sulfua được hòa tan một cách tin cậy hơn, tốt hơn là thời gian giữ là 35 giây hoặc lâu hơn. Mặt khác, khi sự gia nhiệt được thực hiện trong khoảng thời gian dài, có khả năng là các sulfua khác như TiS có tốc độ kết tủa thấp có thể được tạo ra và lượng Cu sulfua (lập phương) được tạo ra mà hiệu quả trong việc cải thiện mức độ hao mòn lõi có thể được giảm. Do đó, nhiệt độ giữ (thời gian giữ ở nhiệt độ $T1^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn) tốt hơn là 3600 giây hoặc ngắn hơn, và tốt hơn nữa là 300 giây hoặc ngắn hơn.

Tiếp đến, (B): giảm lượng thời gian để giữ ở khoảng nhiệt độ trong đó các sulfua khác với Cu sulfua có cấu trúc lập phương được kết tủa và tăng lượng thời gian để giữ ở khoảng nhiệt độ trong đó Cu sulfua có cấu trúc lập phương được kết tủa sẽ được mô tả.

Trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, hiệu quả cải thiện mức độ hao mòn lõi thu được bằng cách cho phép một lượng lớn Cu sulfua có cấu trúc lập phương mà là cấu trúc ổn định ở nhiệt độ thấp và do vậy tăng tỷ lệ của Cu sulfua có cấu trúc lập phương [Cu sulfua (lập phương)] với tổng lượng sulfua.

Để gia tăng tỷ lệ của Cu sulfua (lập phương), dung dịch rắn S cần phải được kết tủa là Cu sulfua (lập phương) nhiều nhất có thể. Vì lý do này, điều quan trọng là tránh được sự kết tủa của các sulfua khác với Cu sulfua trong quá trình làm nguội nhiều nhất có thể bằng cách làm nguội nhanh khoảng nhiệt độ từ nhiệt độ dung dịch rắn $T1^{\circ}\text{C}$ của Cu sulfua tới nhiệt độ bắt đầu kết tủa $T2^{\circ}\text{C}$ của Cu sulfua (lập phương) và cho phép Cu sulfua (lập phương) được kết tủa một cách đầy đủ bằng cách giữ tấm thép trong khoảng nhiệt độ kết tủa của Cu sulfua (lập phương) giữa $T2^{\circ}\text{C}$ và $T3^{\circ}\text{C}$ trong lượng thời gian nhất định.

Cụ thể là, khi tốc độ làm nguội trung bình từ nhiệt độ dung dịch rắn $T1^{\circ}\text{C}$ của Cu sulfua tới nhiệt độ bắt đầu kết tủa $T2^{\circ}\text{C}$ của Cu sulfua (lập phương) được biểu thị là $CR1$ ($^{\circ}\text{C}/\text{giây}$) và tốc độ làm nguội trung bình từ $T1^{\circ}\text{C}$ tới khoảng nhiệt độ kết tủa của Cu sulfua (lập phương) giữa $T2^{\circ}\text{C}$ và $T3^{\circ}\text{C}$ được biểu thị là $CR2$ ($^{\circ}\text{C}/\text{giây}$), tấm thép được làm nguội đến nhiệt độ $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn để thỏa mãn các biểu thức từ 5 đến 7 sau đây.

$$CR1 > CR2 \quad \text{biểu thức 5}$$

$$5 \leq CR1 \leq 500 \quad \text{biểu thức 6}$$

$$0,5 \leq CR2 \leq 50 \quad \text{biểu thức 7}$$

Nguyên nhân của sự suy giảm về hao mòn lõi là sự kết tủa của FeS mịn, MnS mịn, và Cu sulfua mịn có cấu trúc lục giác [Cu sulfua mịn (lục giác)]. Các kết tủa này được kết tủa ở khoảng nhiệt độ giữa nhiệt độ của dung dịch rắn $T1^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ bắt đầu kết tủa $T2^{\circ}\text{C}$ của Cu sulfua (lập phương). Do đó, tốc độ làm nguội trung bình $CR1$ từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến $T2^{\circ}\text{C}$ được thiết đặt ở $5^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn. Khi

CR1 thấp hơn $5^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, sự kết tủa của FeS mịn, MnS mịn, và Cu sulfua mịn (lục giác) không thể tránh được một cách đầy đủ. Để làm tăng thêm nữa mức độ hao mòn lõi, CR1 tốt hơn là cao hơn $20^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, tốt hơn nữa là cao hơn $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, và còn tốt hơn nữa là cao hơn $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$.

Mặt khác, khó có thể thiết đặt CR1 cao hơn $500^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ do các phương tiện, và do vậy giới hạn trên của nó có thể là $500^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Giới hạn trên được ưu tiên của CR1 là $300^{\circ}\text{C}/\text{giây}$.

Ngoài ra, lượng lớn Cu sulfua (lập phương) được cho phép kết tủa bằng cách giữ tấm thép ở khoảng nhiệt độ kết tủa được mô tả ở trên của Cu sulfua (lập phương) giữa $T2^{\circ}\text{C}$ và $T3^{\circ}\text{C}$ trong khoảng thời gian nhất định hoặc lâu hơn. Bởi vậy, thậm chí khi FeS mịn, MnS mịn, và Cu sulfua mịn (lục giác) có mặt, ảnh hưởng ngược của nó có thể bị hủy bỏ. Do cần lượng thời gian nhất định để kết tủa Cu sulfua (lập phương), điều quan trọng là thiết đặt tốc độ làm nguội trung bình CR2 từ $T2^{\circ}\text{C}$ đến $T3^{\circ}\text{C}$ là $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc thấp hơn. Khi CR2 cao hơn $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, lượng thời gian dừng ở khoảng nhiệt độ kết tủa là không đầy đủ, và lượng Cu sulfua kết tủa (lập phương) là không đầy đủ. Để đảm bảo lượng kết tủa đầy đủ, CR2 tốt hơn từ $20^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc thấp hơn, tốt hơn nữa là $10^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc thấp hơn, và còn tốt hơn nữa là $5^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc nhỏ hơn.

Mặt khác, khi CR2 thấp hơn $0,5^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, năng suất bị suy giảm, nên không được ưu tiên. Do đó, giới hạn dưới của CR2 là $0,5^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Giới hạn dưới của CR2 tốt hơn là $1^{\circ}\text{C}/\text{giây}$.

Ngoài ra, khi CR1 thấp hơn CR2, các kết tủa chủ yếu chứa Cu sulfua mịn (lục giác), FeS mịn, và MnS mịn có ảnh hưởng ngược đến mức độ hao mòn lõi, mà không được ưu tiên.

Trong phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, từ quan điểm giữ ở khoảng nhiệt độ kết tủa của Cu sulfua (lập phương), việc ủ kết thúc có thể được thực hiện hai lần hoặc nhiều hơn. Ví dụ, như

được mô tả ở trên, tấm thép có thể cũng được tiến hành ủ kết thúc trước tiên ở $T1^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn, được làm nguội tạm thời đến $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn, và sau đó được giữ ở khoảng nhiệt độ giữa $T2^{\circ}\text{C}$ và $T3^{\circ}\text{C}$ trong thời gian 30 giây làm bước ủ kết thúc thứ hai (ủ bổ sung). Bằng cách thực hiện việc ủ bổ sung, lượng thời gian mà tấm thép giữ ở $T2^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn đến $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn có thể được tăng lên, và do vậy có thể thu được mức độ hao mòn lõi tốt. Khoảng nhiệt độ được ưu tiên hơn của việc ủ bổ sung là nằm trong khoảng từ $T2 - 30^{\circ}\text{C}$ đến $T3 + 30^{\circ}\text{C}$, và khoảng nhiệt độ được ưu tiên hơn nữa là từ $T2 - 50^{\circ}\text{C}$ đến $T3 + 50^{\circ}\text{C}$.

Thời gian ngâm (thời gian giữ) ở khoảng nhiệt độ $T2^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn và $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn tốt hơn là 35 giây hoặc lâu hơn và 3600 giây hoặc ngắn hơn, và tốt hơn từ 35 giây hoặc lâu hơn và 300°C hoặc thấp hơn.

Ngoài ra, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, như được mô tả ở trên, là hữu hiệu khi hòa tan tạm thời tổng lượng các kết tủa Cu trong quá trình ủ kết thúc. Xét đến trạng thái của Cu sulfua trước khi ủ kết thúc, một lượng lớn Cu sulfua được kết tủa trong khi làm nguội trong quá trình cán nóng. Khi Cu sulfua là Cu sulfua mịn (lục giác) trong pha nửa bền, tổng lượng Cu sulfua được hòa tan nhanh chóng trong khi ủ kết thúc, mà được ưu tiên. Để cho phép Cu sulfua trước khi ủ kết thúc là Cu sulfua mịn (lục giác) trong pha nửa bền, tốt hơn là tổng lượng Cu sulfua được hòa tan bằng cách gia nhiệt tấm thép đến $T1^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn trong quá trình ủ tấm đã cán nóng sau quá trình cán nóng và tấm thép được làm nguội ở CR3 là $15^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn khi tốc độ làm nguội từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến nhiệt độ phòng được biểu thị là CR3. CR3 tốt hơn nữa là $30^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn, và còn tốt hơn nữa là $60^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn.

Hơn nữa, tấm thép được tiến hành gia nhiệt chậm ở tốc độ tăng nhiệt độ trung bình là $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc thấp hơn trong khi ủ kết thúc, và do vậy Cu sulfua được hòa tan một cách dễ dàng hơn, mà là được ưu tiên.

Ở đây, nhiệt độ phòng biểu thị $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ được quy định trong JIS C 2556.

Fig.2 là lưu đồ thể hiện ví dụ về quy trình sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này.

Nói chung, do các kết tủa trở thành thô, độ dịch chuyển thành miền từ tính do các kết tủa bị giảm và mức độ hao mòn lõi được cải thiện. Ngoài ra, khi mạng không khớp giữa các kết tủa và mặt phân cách của thép được ngăn chặn, sự dịch chuyển theo thành miền từ tính trở nên trôi chảy và mức độ hao mòn lõi được cải thiện. trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, Cu sulfua được biến đổi để có cấu trúc lập phương mà là hệ thống tinh thể ổn định bằng cách giữ tấm thép trong khoảng nhiệt độ định trước giữa $T_2^{\circ}\text{C}$ đến $T_3^{\circ}\text{C}$ được mô tả trên đây. Cu sulfua (lập phương) có sự nhất quán tốt với giao diện của thép, có tốc độ phát triển cao, và do vậy dễ dàng bị hóa thô. Kết quả là, trong tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo phương án này, được cho rằng sự dịch chuyển theo thành miền từ tính trở nên dễ dàng và mức độ hao mòn lõi tốt được thể hiện.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Thỏi có các thành phần được thể hiện trong bảng 1 được làm nóng chảy trong chân không, và thỏi được gia nhiệt đến nhiệt độ 1150°C và được cán nóng ở nhiệt độ hoàn thành cán nóng là 875°C và nhiệt độ cuộn là 630°C , nhờ đó tạo ra tấm thép đã được cán nóng có độ dày tấm là 2,0mm. Tấm thép đã được cán nóng được tiến hành ủ tấm được cán nóng, được tẩy gỉ, và được cán nguội ở tỷ lệ giảm cán là 75%, nhờ đó tạo ra tấm thép đã được cán nguội có độ dày tấm là 0,50 mm. Các việc xử lý nhiệt được thực hiện trên các vật liệu thử nghiệm và các trạng thái kết tủa của các kết tủa quan sát được được thể hiện trong bảng 2, và các đặc tính từ (mật độ từ thông và mức độ hao mòn lõi) của mỗi trong số các tấm thép thu được được thể hiện trong bảng 3. Các kết quả đánh giá mức độ hao mòn lõi được đánh giá là VG là rất tốt, G là tốt, F là hiệu quả, và B đối với mức trong giải pháp kỹ

thuật đã biết cũng được thể hiện trong bảng 3.

Ngoài ra, sự đánh giá các đặc tính từ được thực hiện trên cơ sở JIS C 2550:2000. Về mức độ hao mòn lõi, W15/50 (W/kg) được đánh giá. W15/50 là mức độ hao mòn lõi ở tần số là 50Hz và ở mật độ từ thông tối đa là 1,5T. Ngoài ra, mật độ từ thông được đánh giá bằng cách sử dụng B50. B50 biểu thị mật độ từ thông ở cường độ từ trường là 5000 A/m. Ngoài ra, giá trị đích tối thiểu của B50 được thiết đặt tới 1,65 T như trong giải pháp kỹ thuật đã biết.

Tiêu chí đánh giá mức độ hao mòn lõi của các ví dụ là như sau.

VG (Rất tốt): $W15/50 \text{ (W/kg)} < 2,28$

G (Tốt): $2,28 \leq W15/50 \text{ (W/kg)} < 2,36$

F (Bình thường): $2,36 \leq W15/50 \text{ (W/kg)} < 2,50$

B (Kém): $2,50 \leq W15/50 \text{ (W/kg)}$

Các mẫu mà các đặc tính từ của chúng không thể đo được do sự gãy khi cán nóng hoặc gãy khi cán nguội cũng được đánh giá là B (Kém).

Ngoài ra, đối với nhiễu xạ tia X, chỉ các chất lẫn mà được thu gom bằng bộ lọc bằng phương pháp dư tách cặn nói chung được mô tả trong các tài liệu phi sáng chế 4 và 5 được sử dụng làm các mẫu phân tích. Phép đo XRD được thực hiện bởi sự nhiễu xạ tia X góc rộng sử dụng các tia Cu-K α được mô tả trong các tài liệu phi sáng chế 4 và 6 làm các mẫu dò.

Ngoài ra, để quan sát kết tủa, bề mặt vuông góc với hướng cán của tấm thép được khắc ăn mòn và được đo nhờ quan sát bằng SEM. Tại thời điểm này, sau khi mười trường nhìn $100\mu\text{m}^2$ được quan sát, bề mặt được đánh bóng khoảng $20\mu\text{m}$, và sau đó mười trường nhìn $100\mu\text{m}^2$ được quan sát. Thử nghiệm này được lặp lại năm lần.

Bảng 1

(% khối lượng)

Loại thép	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	N	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)
A	0,0024	3,11	0,03	0,016	0,017	0,51	1,131	0,0026	812,4	762,4	612,4
B	0,0024	3,11	0,03	0,016	0,020	0,51	0,045	0,0026	651,3	601,3	451,3
C	0,0024	3,11	1,15	0,016	0,021	0,51	0,095	0,0026	686,2	636,2	486,2
D	0,0024	3,11	0,03	0,016	0,003	0,51	0,008	0,0026	547,6	497,6	347,6
E	0,0030	2,53	0,33	0,0011	0,009	1,01	0,65	0,0033	762,3	712,3	562,3
F	0,0019	1,51	0,05	0,015	0,015	0,67	0,78	0,0070	786,9	736,9	586,9
G	0,0012	0,52	0,85	0,002	0,008	0,006	0,56	0,0035	751,1	701,1	551,1

Các thành phần mà ở bên ngoài các khoảng quy định được gạch chân.

Phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất.

Bảng 2

Số sản xuất	Loại thép	[%Cu]/[%S]	Ủ kết thúc thứ nhất		Tốc độ làm nguội trung bình sau khi bước ủ kết thúc			Ủ kết thúc thứ hai		Ủ tẩm được cán nóng		Tốc độ làm nguội sau khi ủ tẩm được cán nóng	$I_{20=46,4}/I_{20=32,3}$	Mật độ số lượng (Miếng/ μm^3)
			Nhiệt độ giữ ($^{\circ}\text{C}$)	Thời gian giữ (giờ)	CR1 ($^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$)	CR2 ($^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$)	CR1 > CR2	Nhiệt độ giữ ($^{\circ}\text{C}$)	Thời gian giữ (giờ)	Nhiệt độ giữ ($^{\circ}\text{C}$)	Thời gian giữ (giờ)	CR3 ($^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$)		
1	A	66,5	1000	30	24	5	OK	-	-	1050	30	10	0,25	1,13
2	B	2,3	1000	30	24	5	OK	-	-	1050	30	10	0,41	0,75
3	A	66,5	1000	30	10	5	OK	-	-	1050	30	10	0,20	1,03
4	C	4,5	1000	30	10	5	OK	-	-	1050	30	10	0,24	1,11
5	A	66,5	1000	30	24	22	OK	-	-	1050	30	10	0,25	0,88
6	A	66,5	1000	30	24	22	OK	700	60	1050	30	20	0,20	1,12
7	A	66,5	1000	30	52	5	OK	700	60	1050	30	18	0,17	0,95
8	A	66,5	1000	30	105	5	OK	700	60	1050	30	23	0,15	0,72
9	A	66,5	1000	30	10	25	NG	-	-	1050	30	10	0,87	0,33
10	A	66,5	1000	30	10	25	NG	700	60	1050	30	10	0,67	0,30
11	A	66,5	1000	30	10	25	NG	-	-	1050	30	20	0,56	0,44
12	D	2,7	1000	30	24	5	OK	400	120	1050	30	20	1,33	0,24
13	E	72,2	950	30	24	5	OK	-	-	1000	30	10	0,23	1,02
14	E	72,2	950	30	10	25	NG	-	-	1000	30	10	0,80	0,48
15	F	52,0	850	30	24	5	OK	-	-	950	30	10	0,23	1,16
16	F	52,0	850	30	10	25	NG	-	-	950	30	10	0,73	0,33
17	G	70,0	820	30	24	5	OK	-	-	-	-	-	0,26	1,19
18	G	70,0	820	30	10	25	NG	-	-	-	-	-	0,97	0,33

Các mục mà ở bên ngoài các khoảng được quy định được gạch chân.

Bảng 3

SỐ SẢN XUẤT	CƯỜNG ĐỘ TỪ THÔNG B50 (T)	HAO TỶ LỖI W15/50 (W/kg)	ĐÁNH GIÁ	LƯU Ý
1	1,70	2,25	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
2	1,67	2,38	F	THÉP THEO SÁNG CHẾ
3	1,69	2,29	G	THÉP THEO SÁNG CHẾ
4	1,71	2,24	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
5	1,68	2,31	G	THÉP THEO SÁNG CHẾ
6	1,71	2,26	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
7	1,70	2,22	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
8	1,70	2,20	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
9	1,63	2,67	B	THÉP SO SÁNH
10	1,65	2,67	B	THÉP SO SÁNH
11	1,64	2,67	B	THÉP SO SÁNH
12	1,61	2,99	B	THÉP SO SÁNH
13	1,71	2,34	VG	THÉP THEO SÁNG CHẾ
14	1,69	2,92	B	THÉP SO SÁNH
15	1,73	2,47	F	THÉP THEO SÁNG CHẾ
16	1,70	3,18	B	THÉP SO SÁNH
17	1,79	2,49	F	THÉP THEO SÁNG CHẾ
18	1,77	4,83	B	THÉP SO SÁNH

Ví dụ 2

Thỏi có các thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 4 được làm nóng chảy trong chân không, và thỏi được gia nhiệt đến 1150°C và được cán nóng ở nhiệt độ hoàn thành cán nóng là 850°C , nhờ đó tạo ra tấm thép đã được cán nóng có độ dày tấm là 2,3 mm. Tấm thép đã được cán nóng được tiến hành ủ tấm cán nóng, được tiến hành tẩy gỉ, và được cán nguội ở tỷ lệ giảm cán là 85%, nhờ đó tạo ra tấm thép đã được cán nguội có độ dày tấm là 0,5 mm. Sau đó, việc ủ kết thúc được thực hiện ở nhiệt độ giữ là $T1 + 50^{\circ}\text{C}$ trong thời gian giữ là 45 giây. Sau đó, việc làm nguội lò được thực hiện sao cho các tốc độ làm nguội trung bình giữa $T1^{\circ}\text{C}$ và $T2^{\circ}\text{C}$ và giữa $T2^{\circ}\text{C}$ và $T3^{\circ}\text{C}$ lần lượt là $35^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ và $15^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Các kết quả nhiễu xạ tia X, các trạng thái kết tủa của các kết tủa, các đặc tính từ (mật độ từ thông và mức độ hao mòn lõi), độ giòn, và toàn bộ các kết quả đánh giá được thể hiện trong bảng 5.

Liên quan đến chiều xạ tia X, phép đo các đặc tính từ, và phép đo các kết tủa, cùng các đánh giá như trong ví dụ 1 được tiến hành. Hơn nữa, trong ví dụ này, thử nghiệm uốn lặp lại được thực hiện trên cơ sở JIS C 2550:2000 để đánh giá khả năng gia công. Trong trường hợp có gãy xuất hiện với một lần uốn, các đặc tính gia công là không đầy đủ và được đánh giá là không đạt, và mức tại đó không có gãy xuất hiện sau hai lần uốn được đánh giá là đạt (ĐẠT).

Ngoài ra, trong trường hợp trong đó mẫu bị gãy trong thử nghiệm uốn lặp lại, mẫu được đánh giá là B bất kể mức độ hao mòn lõi, và sự đánh giá hao mòn lõi được thực hiện chỉ trên các mẫu mà đã đạt thử nghiệm uốn lặp lại. Ngoài ra, liên quan đến các mẫu mà không thể được tiến hành thử nghiệm uốn lặp lại do gãy trong khi cán hoặc tương tự, các kết quả thử nghiệm của nó được biểu thị là “-”.

Bảng 4

Loại thép	(% khối lượng)								(°C)		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	N	T1	T2	T3
H1	0,0002	2,89	0,03	0,003	0,004	0,049	0,09	0,0034	647	597	447
H2	0,0002	2,88	0,04	0,002	0,061	0,047	0,12	0,0033	724	674	524
H3	0,009	2,88	0,02	0,004	0,022	0,043	0,07	0,0082	674	624	474
H4	0,0008	1,32	0,04	0,063	0,007	0,06	0,08	0,0059	654	604	454
H5	0,0017	6,98	0,04	0,0034	0,0091	0,082	0,03	0,0023	620	570	420
H6	0,0018	2,86	0,01	0,116	0,0075	0,076	0,08	0,0026	657	607	457
H7	0,0018	3,32	2,99	0,123	0,0062	0,053	0,08	0,0074	649	599	449
H8	0,0016	3,31	0,01	0,113	0,0063	0,051	0,08	0,0023	650	600	450
H9	0,0017	3,29	2,97	0,12	0,0059	0,055	0,07	0,0022	645	595	445
H10	0,0017	2,85	0,05	0,0012	0,0072	0,034	0,04	0,0037	627	577	427
H11	0,0016	3,31	0,09	0,148	0,009	1,24	0,05	0,0026	642	592	442
H12	0,0018	2,87	0,02	0,003	0,0002	0,053	0,06	0,0026	568	518	368
H13	0,0004	2,85	0,02	0,134	0,098	0,041	1,33	0,0082	879	829	679
H14	0,0016	2,98	0,04	0,129	0,041	0,0021	1,11	0,0028	838	788	638
H15	0,0016	3,32	0,55	0,0029	0,0074	2,99	0,06	0,0019	642	592	442
H16	0,0004	3,33	0,03	0,074	0,0021	0,034	0,01	0,0021	549	499	349
H17	0,0016	2,89	0,02	0,121	0,0081	0,068	4,91	0,0025	883	833	683
H18	0,0014	2,88	0,02	0,121	0,091	0,068	4,9	0,0027	971	921	771
H19	0,0016	2,89	0,02	0,116	0,0003	0,071	0,01	0,0023	517	467	317
H20	0,0017	3,11	0,02	0,0042	0,0079	1,73	0,03	0,0011	615	565	415
H21	0,0016	2,87	0,02	0,126	0,0081	0,049	0,06	0,0098	644	594	444
H22	0,0006	3,22	1,24	0,08	0,018	0,78	0,73	0,0044	788	738	588
H23	0,0009	3,12	0,35	0,03	0,021	1,13	1,18	0,0062	821	771	621
h1	<u><0,0001</u>	3,01	0,05	0,12	0,005	0,045	0,12	0,0055	664	614	464
h2	<u>0,022</u>	3,16	0,03	0,005	0,017	0,0027	0,17	0,0073	709	659	509
h3	0,0012	<u>0,047</u>	0,03	0,002	0,019	0,077	0,23	0,0012	727	677	527
h4	0,0016	<u>7,11</u>	0,03	0,123	0,012	0,021	0,06	0,0021	653	603	453
h5	0,0017	3,32	<u>0,007</u>	0,11	0,018	0,034	0,12	0,0026	694	644	494
h6	0,0013	3,21	<u>3,03</u>	0,12	0,017	0,056	0,16	0,0034	706	656	506
h7	0,0014	3,44	0,03	<u>0,0008</u>	0,019	0,075	2,12	0,0026	855	805	655
h8	0,0014	3,18	0,03	<u>0,151</u>	0,016	0,045	1,97	0,0022	845	795	645
h9	0,0016	3,09	0,04	0,118	<u><0,0001</u>	0,098	0,84	0,0045	664	614	464
h10	0,0013	3,11	0,03	0,127	<u>0,123</u>	0,043	2,56	0,0026	933	883	733
h11	0,0016	3,27	0,06	0,106	0,012	<u>0,0019</u>	2,12	0,0019	840	790	640
h12	0,0016	3,23	0,02	0,129	0,011	<u>3,15</u>	1,15	0,0026	800	750	600
h13	0,0013	3,21	0,04	0,104	0,002	0,021	<u>0,007</u>	0,0077	536	486	336
h14	0,0016	2,91	0,05	0,098	0,012	0,022	<u>5,11</u>	0,0029	899	849	699
h15	0,001	3,01	0,03	0,111	0,014	0,056	0,55	<u>0,0006</u>	765	715	585
h16	0,0015	3,12	0,04	0,138	0,012	0,017	0,78	<u>0,011</u>	781	731	581

Phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất.

Các thành phần mà ở bên ngoài các khoảng được quy định được gạch chân.

Bảng 5

Số sản xuất	Loại thép	$I_{20=46,4}/I_{20=32,3}$	[%Cu]/[%S]	Mật độ số lượng		$I_{20=32,3}/I_{20=34,3}$	Hao mòn lõi W15/50(W/kg)	Mật độ từ thông B50(T)	Khả năng gia công		Đánh giá	Ghi chú
				(Miếng/ μm^3)	(Miếng/ μm^3)				Thử nghiệm uốn lặp lại			
201	H1	0,44	23	1,67		7,21	2,40	1,69	ĐẠT		F	
202	H2	0,48	2	1,56		6,84	2,49	1,69	ĐẠT		F	
203	H3	0,36	3	2,34		5,64	2,32	1,68	ĐẠT		G	
204	H4	0,09	12	0,52		8,11	2,07	1,72	ĐẠT		VG	
205	H5	0,45	4	3,18		7,88	2,40	1,65	ĐẠT		F	
206	H6	0,47	11	1,12		8,10	2,33	1,67	ĐẠT		G	
207	H7	0,31	12	1,20		0,01	2,17	1,68	ĐẠT		VG	
208	H8	0,33	12	1,18		12,34	2,41	1,69	ĐẠT		F	
209	H9	0,33	12	1,21		<0,001	2,42	1,70	ĐẠT		F	
210	H10	0,34	6	1,55		7,21	2,32	1,68	ĐẠT		G	
211	H11	0,29	6	1,98		0,01	2,25	1,68	ĐẠT		VG	
212	H12	0,18	280	0,88		8,34	2,28	1,69	ĐẠT		G	
213	H13	0,38	14	9,48		6,11	2,36	1,70	ĐẠT		F	
214	H14	0,09	27	0,67		7,12	2,11	1,71	ĐẠT		VG	
215	H15	0,17	8	0,92		0,01	2,17	1,68	ĐẠT		VG	
216	H16	0,39	5	3,27		8,96	2,37	1,66	ĐẠT		F	
217	H17	0,43	606	41,30		5,79	2,36	1,67	ĐẠT		F	
218	H18	0,43	606	51,70		7,99	2,46	1,67	ĐẠT		F	
219	H19	0,43	606	0,41		6,45	2,47	1,71	ĐẠT		F	
220	H20	0,28	4	1,10		6,33	2,25	1,66	ĐẠT		VG	
221	H21	0,43	8	1,21		7,11	2,40	1,68	ĐẠT		F	
222	H22	0,19	41	0,86		1,81	1,99	1,70	ĐẠT		VG	
223	H23	0,05	56	0,69		0,07	1,92	1,70	ĐẠT		VG	
224	h1	0,43	24	1,10		8,11	2,68	1,54	ĐẠT		B	
225	h2	0,33	10	2,13		9,45	2,76	1,68	ĐẠT		B	
226	h3	0,39	12	1,06		8,31	3,11	1,73	ĐẠT		B	
227	h4	-	5	-		-	-	-	-		B	
228	h5	-	7	-		-	-	-	-		B	
229	h6	2,10	9	14,40		<0,001	2,65	1,68	ĐẠT		B	
230	h7	0,33	112	0,91		8,01	2,77	1,50	ĐẠT		B	
231	h8	0,17	123	1,23		7,78	2,73	1,55	ĐẠT		B	
232	h9	1,80	>5200	0,67		6,54	2,69	1,66	ĐẠT		B	
233	h10	-	21	-		-	-	-	-		B	
234	h11	0,32	177	1,20		8,12	2,71	1,52	ĐẠT		B	
235	h12	0,46	105	0,77		8,91	2,41	1,69	GÂY Ở MỘT LẦN		B	
236	h13	12,20	4	0,31		5,42	2,67	1,64	ĐẠT		B	
237	h14	0,40	426	17,30		5,63	2,46	1,67	GÂY Ở MỘT LẦN		B	
238	h15	0,25	39	1,10		7,47	2,65	1,48	ĐẠT		B	
239	h16	0,35	65	0,78		8,34	2,72	1,51	ĐẠT		B	

Ví dụ 3

Thỏi có cùng các thành phần như loại thép số H23 được thể hiện trong bảng 4 được gia nhiệt đến 1100°C và được cán nóng ở nhiệt độ hoàn thiện là 850°C và nhiệt độ cuộn là 630°C , nhờ đó tạo ra tấm được cán nóng có độ dày tấm là 2,0 mm. Tấm được cán nóng được tiến hành ủ kết thúc dưới các điều kiện được thể hiện trong bảng 5, và được tiến hành ủ tấm được cán nóng ở nhiệt độ 1000°C trong thời gian 120 giây trong một số ví dụ. Các điều kiện sản xuất khác, các kết quả nhiễu xạ tia X, các trạng thái kết tủa của các kết tủa, và các kết quả đánh giá của các đặc tính từ (mật độ từ thông và mức độ hao mòn lõi) được thể hiện trong bảng 6. Về nhiễu xạ tia X, phép đo các đặc tính từ, và phép đo các kết tủa, cùng các đánh giá như trong ví dụ 1 được tiến hành.

Bảng 6

Số sản xuất	Loại thép	Nhiệt độ được tính toán			Ủ kết thúc thứ nhất			Tốc độ làm nguội trung bình sau khi bước ủ kết thúc			Ủ kết thúc thứ hai		Tốc độ làm nguội sau khi ủ tám được cán nóng		Mất độ lượng	Đặc tính từ		ĐÁNH GIÁ	LƯU Ý
		(°C)	T1	T2	T3	(°C)	Nhiệt độ giữ	(giờ)	CR1	CR2	CR1 > CR2	Nhiệt độ giữ (°C)	Thời gian giữ (giờ)	CR3	(Miếng /μm ³)	Hao mòn lõi W15/50 (W/kg)	Mất độ từ thông B50(T)		
23A	H23	821	771	621	621	822	33	34	17	OK	-	-	-	0,48	2,12	2,38	1,68	F	
23B	H23	821	771	621	621	843	31	35	15	OK	-	-	-	0,49	1,91	2,39	1,69	F	
23C	H23	821	771	621	621	845	34	21	17	OK	-	-	-	0,45	1,88	2,37	1,67	F	
23D	H23	821	771	621	621	841	32	42	19	OK	-	-	-	0,47	1,72	2,38	1,68	F	
23E	H23	821	771	621	621	839	33	38	16	OK	-	-	-	0,38	1,66	2,36	1,69	F	
23F	H23	821	771	621	621	841	32	45	7	OK	622	33	-	0,36	1,34	2,35	1,68	G	
23G	H23	821	771	621	621	856	34	41	12	OK	769	34	43	0,15	0,80	2,25	1,70	VG	
23H	H23	821	771	621	621	832	33	39	2	OK	753	31	-	0,31	1,12	2,31	1,68	G	
23I	H23	821	771	621	621	912	32	34	16	OK	-	-	16	0,33	1,55	2,29	1,67	G	
23J	H23	821	771	621	621	843	33	29	14	OK	730	32	16	0,33	1,23	2,35	1,69	G	
23K	H23	821	771	621	621	835	3490	40	15	OK	634	310	21	0,06	0,66	2,24	1,69	VG	
23L	H23	821	771	621	621	832	38	39	17	OK	-	-	-	0,30	1,32	2,29	1,67	G	
23M	H23	821	771	621	621	844	34	93	15	OK	696	38	-	0,19	0,83	2,12	1,70	VG	
23N	H23	821	771	621	621	846	34	298	17	OK	-	-	61	0,14	0,85	2,22	1,69	VG	
23O	H23	821	771	621	621	1052	406	52	8	OK	669	3540	32	0,13	0,88	2,04	1,71	VG	
23P	H23	821	771	621	621	997	118	112	3	OK	711	129	71	0,07	0,67	1,93	1,69	VG	
23a	H23	821	771	621	621	819	120	185	4	OK	687	45	64	0,89	1,86	2,58	1,68	B	
23b	H23	821	771	621	621	885	29	302	2	OK	701	45	67	1,21	2,14	2,57	1,69	B	
23c	H23	821	771	621	621	876	120	17	33	NG	717	45	68	0,76	2,20	2,53	1,67	B	
23d	H23	821	771	621	621	855	120	3	2	OK	750	40	63	0,77	2,17	2,51	1,68	B	
23e	H23	821	771	621	621	861	120	98	53	OK	750	40	63	0,69	1,54	2,52	1,69	B	
23f	H23	821	771	621	621	855	120	2	31	NG	720	40	62	0,71	1,81	2,55	1,68	B	
23g	H23	821	771	621	621	861	120	16	52	NG	750	40	64	0,68	1,93	2,56	1,69	B	

Theo các ví dụ từ 1 đến 3 mô tả trên đây, trong trường hợp trong đó các thành phần hóa học và phương pháp sản xuất được ưu tiên như trong các số sản xuất từ 1 đến 8, 12, 114, 16, 18, 201 đến 223, và 23A đến 23P, thấy rằng tỷ lệ của Cu sulfua (lập phương) thỏa mãn sáng chế và do đó có thể thu được tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao mòn lõi rất tốt. Mặt khác, trong trường hợp trong đó bất kỳ trong số các thành phần hóa học và phương pháp sản xuất nằm ngoài phạm vi của sáng chế, không thể thu được mức độ hao mòn lõi đầy đủ, và do vậy không thể thu được các đặc tính cơ bản cần thiết của tấm thép kỹ thuật điện không định hướng. Mặt khác, như trong các số sản xuất 227, 228, và 233, gây xuất hiện trong khi cán, và các đặc tính từ, XRD (nhiều xạ tia X), và các mật độ số lượng không thể được đánh giá.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Theo sáng chế, thậm chí khi sự tinh khiết cao, thì sự giảm nhiệt độ gia nhiệt phơi tấm, sự tối ưu hóa các điều kiện cán nóng, và tương tự không được thực hiện trên tấm thép kỹ thuật điện không định hướng, vẫn có thể khiến cho Cu sulfua mịn trở nên vô hại. Theo đó, có thể tạo ra tấm thép kỹ thuật điện không định hướng có mức độ hao mòn lõi rất tốt.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng:

C: từ 0,0001% đến 0,01%;

Si: từ 0,05% đến 7,0%;

Mn: từ 0,01% đến 3,0%;

Al: từ 0,0020% đến 3,0%;

S: từ 0,0001% đến 0,1%;

P: từ 0,0010% đến 0,15%;

N: từ 0,0010% đến 0,01%;

Cu: từ 0,01% đến 5,0%; và

tùy ý Mo, W, In, Sn, Bi, Sb, Ag, Te, Ce, V, Cr, Co, Ni, Se, Re, Os, Nb, Zr, Hf, và Ta với tổng lượng khoảng 0,5% hoặc nhỏ hơn; và

tùy ý Mg, Ca, Zn, và Ti, trong đó tổng các lượng Mg, Ca, Zn, và Ti là 0,2% hoặc nhỏ hơn; và

phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất,

trong đó $I_{2\theta=46,4}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lục giác được thể hiện ở $2\theta=46,4^\circ$ và $I_{2\theta=32,3}$ mà là cường độ nhiễu xạ của Cu sulfua có cấu trúc lập phương được thể hiện ở $2\theta=32,3^\circ$, mà thu được nhờ sự nhiễu xạ tia X của lượng dư chiết do điện phân, thỏa mãn biểu thức 1 sau đây:

$$I_{2\theta=46,4} / I_{2\theta=32,3} \leq 0,5 \quad \text{biểu thức 1.}$$

2. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1,

trong đó khi lượng Cu, tính theo % khối lượng, được biểu thị là [%Cu] và

lượng S, tính theo % khối lượng, được biểu thị là [%S], [%Cu] và [%S] thỏa mãn $[\%Cu] / [\%S] \geq 2,5$.

3. Tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 1 hoặc 2,

trong đó từ 0,5 miếng/ μm^3 đến 50 miếng/ μm^3 sulfua chứa Cu và có đường kính nằm trong khoảng từ 5 nm đến 500 nm được chứa.

4. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, phương pháp bao gồm các bước:

cán nóng được thực hiện trên phôi tấm để thu được tấm thép đã được cán nóng;

ủ tấm thép đã được cán nóng;

tẩy gỉ tấm thép đã được cán nóng;

cán nguội được thực hiện trên tấm thép đã được cán nóng để thu được tấm thép đã được cán nguội; và

ủ tấm thép đã được cán nguội,

trong đó trong bước ủ tấm thép đã được cán nguội, sau khi tấm thép đã được cán nguội được giữ ở nhiệt độ $T1^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 2 sau đây, đến 1530°C trong thời gian từ 30 giây đến 3600 giây, khi tốc độ làm nguội trung bình từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến $T2^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 3, được biểu thị là CR1, tính theo đơn vị $^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ và tốc độ làm nguội trung bình từ $T2^{\circ}\text{C}$ đến $T3^{\circ}\text{C}$, mà được thể hiện trong biểu thức 4, được biểu thị là CR2, tính theo đơn vị $^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, tấm thép đã được cán nguội này được làm nguội tới khoảng nhiệt độ là $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn sao cho CR1 và CR2 thỏa mãn các biểu thức 5, 6 và 7:

$$T1 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 273 \quad \text{biểu thức 2}$$

$$T2 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 323 \quad \text{biểu thức 3}$$

$$T3 = 17000 / (14 - \log_{10}([\%Cu]^2 \times [\%S])) - 473 \quad \text{biểu thức 4}$$

$CR1 > CR2$ biểu thức 5

$5 \leq CR1 \leq 500$ biểu thức 6

$0,5 \leq CR2 \leq 50$ biểu thức 7

trong đó [%Cu] là lượng Cu tính theo % khối lượng và [%S] là lượng S, tính theo % khối lượng.

5. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 4,

trong đó CR1 còn thỏa mãn biểu thức 8 sau đây:

$CR1 > 20$ biểu thức 8.

6. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm 4 hoặc 5,

trong đó CR2 còn thỏa mãn biểu thức 9 sau đây:

$CR2 \leq 20$ biểu thức 9.

7. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 4 đến 6, trong đó phương pháp này còn bao gồm:

tiếp theo bước ủ tấm thép đã được cán nguội, giữ tấm thép đã được cán nguội trong khoảng nhiệt độ $T2^{\circ}\text{C}$ hoặc thấp hơn đến $T3^{\circ}\text{C}$ hoặc cao hơn trong thời gian từ 30 giây hoặc lâu hơn làm bước ủ bổ sung.

8. Phương pháp sản xuất tấm thép kỹ thuật điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 4 đến 7,

trong đó trong bước ủ tấm thép đã được cán nóng, tấm thép đã được cán nóng này được làm nguội sao cho CR3, mà là tốc độ làm nguội trung bình từ $T1^{\circ}\text{C}$ đến nhiệt độ phòng là 15°C/giây hoặc cao hơn.

FIG. 1

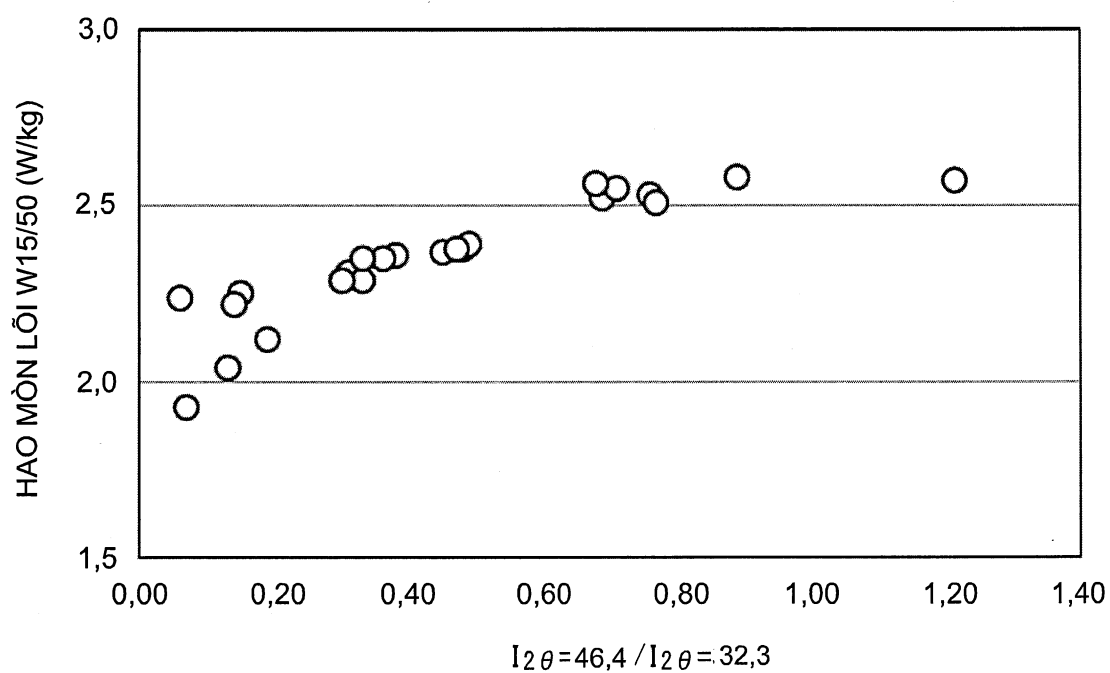


FIG. 2

