



(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)



1-0034424

(51)¹⁹ C22C 38/00; H01F 1/147; C22C 38/60; (13) B
C21D 8/12

(21) 1-2019-04745

(22) 07/03/2018

(86) PCT/JP2018/008780 07/03/2018

(87) WO 2018/164185 13/09/2018

(30) 2017-042547 07/03/2017 JP

(45) 26/12/2022 417

(43) 25/12/2019 381A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008071, Japan

(72) FUJIMURA Hiroshi (JP); ICHIE Takeru (JP); NATORI Yoshiaki (JP); YASHIKI Hiroyoshi (JP).

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

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

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm, làm thành phần hóa học, tính theo % khối lượng: C: 0,0100% hoặc nhỏ hơn; Si: lớn hơn 3,0% và 5,0% hoặc nhỏ hơn; Mn: 0,1 đến 3,0%; P: 0,20% hoặc nhỏ hơn; S: 0,0018% hoặc nhỏ hơn; N: 0,0040% hoặc nhỏ hơn; Al: 0 đến 0,9%; một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0 đến 0,100%; Cr: 0 đến 5,0%; Ni: 0 đến 5,0%; Cu: 0 đến 5,0%; Ca: 0 đến 0,01%; các nguyên tố đất hiếm (REM): 0 đến 0,010%; và phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất, trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μ m hoặc lớn hơn trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng là từ 1 đến 30%, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B mà là cấu trúc tinh thể khác cấu trúc tinh thể A là 25 μ m hoặc nhỏ hơn, và độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A và độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B thỏa mãn $HvA/HvB \leq 1,000$.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, các động cơ (sau đây được gọi là các động cơ quay tốc độ cao) mà thực hiện việc quay tốc độ cao ngày càng gia tăng. Trong các động cơ quay tốc độ cao, lực ly tâm tác động lên thân quay, chẳng hạn như rôto, trở nên lớn. Tuy nhiên, độ bền cao được yêu cầu đối với các tấm thép điện mà là các vật liệu của các rôto của các động cơ quay tốc độ cao.

Ngoài ra, trong các động cơ quay tốc độ cao, dòng điện xoáy được tạo ra do đường sức từ tần số cao, hiệu quả động cơ suy giảm, và nhiệt được tạo ra. Nếu lượng nhiệt được tạo ra tăng, các nam châm bên trong rôto bị khử từ. Vì lý do này, sự hao hụt sắt thấp được yêu cầu đối với các rôto của các động cơ quay tốc độ cao. Tuy nhiên, không chỉ độ bền cao mà cả các đặc tính từ mỹ mãn được yêu cầu đối với các tấm thép điện mà là các vật liệu của các rôto.

Độ bền của các tấm thép trở nên cao do việc tăng bền dung dịch rắn, việc tăng bền kết tủa, sự tinh chế hạt, hoặc tương tự. Tuy nhiên, trong trường hợp trong đó các tấm thép được tạo ra để có độ bền cao bởi các cơ chế tăng bền này, có trường hợp trong đó các đặc tính từ có thể suy giảm. Tuy nhiên, không dễ để tạo độ bền cao và các đặc tính từ mỹ mãn tương thích với nhau trong các tấm thép điện không định hướng.

Ngoài ra, có trường hợp trong đó xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện trên các tấm thép điện không định hướng. Ví dụ, trong trường hợp trong đó các phôi để sử dụng các lõi stato cho các động cơ được cắt ra từ các tấm thép điện

không định hướng, khoảng trống được tạo ra ở phần trung tâm của mỗi phôi. Nếu các phần được cắt ra để tạo các khoảng trống của các phần trung tâm được sử dụng làm các phôi dùng cho các rôto, nghĩa là, nếu các phôi dùng cho rôto và các phôi dùng cho lõi stato được làm từ một tấm thép điện không định hướng, điều này được ưu tiên do năng suất tăng.

Như được mô tả ở trên, độ bền và tổn hao sắt thấp được đặc biệt yêu cầu đối với các phôi dùng cho các rôto. Mặt khác, các phôi cho các lõi stato không yêu cầu độ bền cao nhưng yêu cầu các đặc tính từ mỹ mãn (độ cảm ứng từ cao và tổn hao sắt thấp). Vì lý do này, trong trường hợp trong đó các phôi dùng cho các rôto và các phôi cho các lõi stato được làm từ một tấm thép điện không định hướng, các phôi được cắt ra đối với các stato cần phải được tiến hành xử lý nhiệt bổ sung và được kết tinh lại một cách đầy đủ nhằm loại bỏ biến dạng được gây ra do quy trình xử lý của tấm thép điện không định hướng được tạo ra để có độ bền cao hơn để nâng cao các đặc tính từ sau khi được đúc thành các lõi stato.

Tuy nhiên, trong tấm thép điện không định hướng mà từ đó các phôi cho các lõi stato và các phôi dùng cho các rôto được tạo ra, độ bền cao, và các đặc tính từ mỹ mãn trước và sau khi xử lý nhiệt bổ sung được yêu cầu.

Các tài liệu sáng chế từ 1 đến 7 bộc lộ các tấm thép điện không định hướng mà đạt được sự tương thích giữa độ bền cao và các đặc tính từ mỹ mãn.

Tài liệu sáng chế 1 bộc lộ tấm thép điện không định hướng chứa một hoặc hai hoặc nhiều loại của các nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Si: 3,5-7,0%, Ti: 0,05-3,0%, W: 0,05 đến 8,0%, Mo: 0,05 đến 3,0%, Mn: 0,1 đến 11,5%, Ni: 0,1 đến 20,0%, Co: 0,5 đến 20,0%, và Al: 0,5 đến 18,0%, trong khoảng mà không vượt quá 20,0%. Trong tài liệu sáng chế 1, độ bền của tấm thép được tăng cường bằng cách tăng cường hàm lượng Si và thực hiện việc

tăng bền dung dịch rã bằng Ti, W, Mo, Mn, Ni và Co, và Al.

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ phương pháp sản xuất tấm thép từ mềm độ bền cao trong đó bản chứa Si: 3,5 đến 7,0% và chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm W: 0,05 đến 9,0%, Mo: 0,05 đến 9,0%, Ti: 0,05 đến 10,0%, Mn: 0,1 đến 11,0%, Ni: 0,1 đến 20,0%, Co: 0,5 đến 20,0%, và Al: 0,5 đến 13,0% được tạo thành tấm cán nóng bằng cách cán nóng, sau đó tấm được cán nóng được tiến hành việc cán nguội để có độ dày tấm cuối cùng là từ 0,01 đến 0,35 mm, và sau đó tấm được cán nguội được tiến hành ủ trong khoảng nhiệt độ từ 800 đến 1250°C để có kích cỡ hạt tinh thể trung bình là từ 0,01 đến 5,0 mm.

Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ tấm thép điện có độ bền cao chứa C: 0,01% hoặc nhỏ hơn, Si: 2,0% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 4,0%, Al: 2,0% hoặc nhỏ hơn, và P: 0,2% hoặc nhỏ hơn và chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Mn và Ni trong khoảng $0,3\% \leq \text{Mn} + \text{Ni} < 10\%$, phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất không tránh khỏi. Trong tài liệu sáng chế 3, độ bền của tấm thép được tăng cường bằng cách việc tăng bền dung dịch rã bằng Mn và Ni.

Tài liệu sáng chế 4 bộc lộ tấm thép điện có độ bền cao chứa C: 0,04% hoặc nhỏ hơn, Si: 2,0% hoặc lớn hơn và nhỏ hơn 4,0%, Al: 2,0% hoặc nhỏ hơn, và P: 0,2% hoặc nhỏ hơn và chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Mn và Ni trong khoảng $0,3\% \leq \text{Mn} + \text{Ni} < 10\%$, một hoặc hai hoặc nhiều loại của các nguyên tố trong số Nb và Zr được kiểm soát để thỏa mãn $0,1 < (\text{Nb} + \text{Zr})/8(\text{C} + \text{N}) < 1,0$, và phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất không tránh khỏi. Trong tài liệu sáng chế 4, độ bền của tấm thép được tăng cường bằng cách việc tăng bền dung dịch rã bằng Mn và Ni, và độ tương thích giữa độ bền cao và các đặc tính từ đạt được bằng cách sử dụng các cacbonitrua, bao gồm chẳng hạn như Nb và Zr.

Tài liệu sáng chế 5 bộc lộ tấm thép điện có độ bền cao chứa, tính theo % khối lượng, C: 0,060% hoặc nhỏ hơn, Si: 0,2 đến 3,5%, Mn: 0,05 đến 3,0%, P: 0,30% hoặc nhỏ hơn, S: 0,040% hoặc nhỏ hơn, Al: 2,50% hoặc nhỏ hơn và N: 0,020% hoặc nhỏ hơn, phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất không tránh khỏi, và cấu trúc được xử lý duy trì bên trong thép.

Tài liệu sáng chế 6 bộc lộ tấm thép điện không định hướng có độ bền cao chứa, tính theo % khối lượng, C và N được giới hạn sao cho C: 0,010% hoặc nhỏ hơn và N: 0,010% hoặc nhỏ hơn và $C + N \leq 0,010\%$, và chứa Si: 1,5% hoặc lớn hơn và 5,0% hoặc nhỏ hơn, Mn: 3,0% hoặc nhỏ hơn, Al: 3,0% hoặc nhỏ hơn, P: 0,2% hoặc nhỏ hơn, S: 0,01% hoặc nhỏ hơn, và Ti: 0,05% hoặc lớn hơn và 0,8% hoặc nhỏ hơn sao cho $Ti/(C + N) \geq 16$, phần còn lại có thành phần hóa học gồm Fe và các tạp chất không tránh khỏi, và tỷ lệ của cấu trúc được khôi phục không được kết tinh lại trong tấm thép là 50% hoặc lớn hơn trong tỷ lệ diện tích.

Tài liệu sáng chế 7 bộc lộ tấm thép điện không định hướng chứa, tính theo % khối lượng, C: 0,010% hoặc nhỏ hơn, Si: lớn hơn 3,5% và 5,0% hoặc nhỏ hơn, Al: 0,5% hoặc nhỏ hơn, P: 0,20% hoặc nhỏ hơn, S: 0,002% hoặc lớn hơn và 0,005% hoặc nhỏ hơn, và N: 0,010% hoặc nhỏ hơn và chứa Mn trong khoảng mà thỏa mãn $(5,94 \times 10^{-5})/(S\%) \leq Mn \leq (4,47 \times 10^{-4})/(S\%)$ trong mối tương quan với hàm lượng S (% khối lượng), phần còn lại có thành phần hóa học gồm Fe và các tạp chất không tránh khỏi, tỷ lệ diện tích của các hạt được kết tinh lại trong phần mặt cắt ngang theo chiều cán tấm thép (phần mặt cắt ngang ND-RD) là 30% hoặc lớn hơn và 90% hoặc nhỏ hơn, và độ dài chiều cán của nhóm hạt không được kết tinh lại được ghép là 1,5 mm hoặc nhỏ hơn.

Như được thể hiện bởi các tài liệu sáng chế từ 1 đến 7 được mô tả ở trên, các tấm thép điện không định hướng với mục đích đạt được độ tương thích

giữa độ bền cao và các đặc tính từ mỹ mẫn đã được phát triển.

Tuy nhiên, trong các tấm thép điện không định hướng được bọc lộ trong các tài liệu sáng chế từ 1 đến 7, các đặc tính sau khi xử lý nhiệt bổ sung không được xem xét đến. Là kết quả của các nghiên cứu của các tác giả sáng chế, có thể thấy rằng, trong trường hợp trong đó xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện trên các tấm thép điện không định hướng được bọc lộ trong các tài liệu này, có trường hợp mà các đặc tính từ suy giảm.

Tài liệu sáng chế 8 bọc lộ tấm thép điện không định hướng với độ cảm ứng từ cao sau khi ủ giảm ứng suất, tấm thép chứa, tính theo % trọng lượng, 7,00% hoặc nhỏ hơn của Si và 0,010% hoặc nhỏ hơn của C trong thép và có kết cấu trong đó $I_{(100)}$ và $I_{(111)}$, mà là các giá trị của tỷ lệ của phần với độ sâu bằng 1/5 độ dày tấm tính từ lớp bề mặt của tấm thép trước khi ủ giảm ứng suất đối với kết cấu ngẫu nhiên với độ bền bề mặt phản chiếu các tia X trong các định hướng (100) và (111) trong mặt phẳng song song với mặt phẳng tương tự, thỏa mãn $0,50 \leq I_{(100)}/I_{(111)}$.

Tuy nhiên, sự tăng bền cao hoàn toàn không được nghiên cứu trong tài liệu sáng chế 8. Ngoài ra, trong tài liệu sáng chế 8, tổn hao sắt được đánh giá là $W_{15/50}$, và các động cơ quay tốc độ cao không được nhắm đến. Ngoài ra, cũng không rõ liệu tổn hao sắt tại tần số cao chẳng hạn như $W_{10/400}$ có mỹ mẫn sau khi ủ giảm ứng suất hay không. Ảnh hưởng của xử lý nhiệt lên các đặc tính từ thay đổi trong tấm thép được dự định cho sự tăng bền cao và tấm thép không được dự định cho sự tăng bền cao. Vì lý do này, tài liệu sáng chế 8 không đề nghị các sự cải thiện về các đặc tính từ sau khi xử lý nhiệt trong các tấm thép điện không định hướng có độ bền cao.

Như được mô tả ở trên, trong tình trạng kỹ thuật đã biết, các tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và các đặc tính từ mỹ mẫn trước và sau

khi xử lý nhiệt bổ sung không được bộc lộ.

Danh mục tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1 : Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số S60-238421

Tài liệu sáng chế 2: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số S62-112723

Tài liệu sáng chế 3: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số H2-22442

Tài liệu sáng chế 4: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số H2-8346

Tài liệu sáng chế 5: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số 2005-113185

Tài liệu sáng chế 6: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số 2007-186790

Tài liệu sáng chế 7: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số 2010-090474

Tài liệu sáng chế 8: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản, công bố lần đầu số H8-134606

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần giải quyết bởi sáng chế

Sáng chế đã được tạo ra nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên. Mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và có các đặc tính từ mỹ mãn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung, và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng.

Phương tiện giải quyết vấn đề

(1) Tấm thép điện không định hướng theo một phương án của sáng chế bao gồm, làm thành phần hóa học, tính theo % khối lượng: C: 0,0100% hoặc nhỏ hơn; Si: lớn hơn 3,0% và 5,0% hoặc nhỏ hơn; Mn: 0,1 đến 3,0%; P: 0,20% hoặc nhỏ hơn; S: 0,0018% hoặc nhỏ hơn; N: 0,0040% hoặc nhỏ hơn; Al: 0 đến 0,9%; một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0 đến 0,100%; Cr: 0 đến 5,0%; Ni: 0 đến 5,0%; Cu: 0 đến 5,0%; Ca: 0 đến 0,01%; các nguyên tố đất hiếm (REM): 0 đến 0,010%; và phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất, trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng là từ 1 đến 30%, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B mà là cấu trúc tinh thể khác cấu trúc tinh thể A là 25 μm hoặc nhỏ hơn, và độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A và độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B thỏa mãn biểu thức (a).

$$\text{HvA/HvB} \leq 1,000 \quad (\text{a})$$

(2) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục (1) nêu trên, thành phần hóa học có thể bao gồm một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Al: 0,0001 đến 0,9%; một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0,005 đến 0,100%; Cr: 0,5 đến 5,0%; Ni: 0,05 đến 5,0%; Cu: 0,5 đến 5,0%; Ca: 0,0010 đến 0,0100%; và các nguyên tố đất hiếm (REM): 0,0020 đến 0,0100% hoặc nhỏ hơn.

(3) Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo một khía cạnh khác của sáng chế là phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng được mô tả trong mục (1) bao gồm thực hiện cán nóng để sản xuất tấm thép được cán nóng sau khi bản có thành phần hóa học theo điểm 1 được gia

nhiệt đến từ 1000 đến 1200°C; thực hiện việc ủ tấm cán nóng với tốc độ gia nhiệt trung bình ở từ 750 đến 850°C là 50°C/giây hoặc cao hơn và nhiệt độ đạt được tối đa là từ 900 đến 1150°C, trên tấm thép được cán nóng; thực hiện việc cán nguội hoặc cán ấm ở mức giảm cán là 83% hoặc lớn hơn trên tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng, để sản xuất tấm thép trung gian; và thực hiện bước ủ cuối cùng với nhiệt độ đạt được tối đa là từ 700 đến 800°C và tốc độ làm mát trung bình trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là 50°C/giây hoặc cao hơn, trên tấm thép trung gian.

Hiệu quả của sáng chế

Theo các khía cạnh nêu trên của sáng chế, thu được tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và có các đặc tính từ mỹ mãn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung, và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các tác giả sáng chế đã nghiên cứu độ bền và các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng có độ bền cao nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên.

Trước tiên, hai bản mà một bản chứa, tính theo % khối lượng, C: 0,0012%, Si: 3,3%, Mn: 0,4%, Al: 0,3%, P: 0,02%, và N: 0,0016% và ngoài ra còn chứa S: 0,0021%, và bản trong đó các hàm lượng C, Si, Mn, Al, P, và N là giống như nêu trên và hàm lượng S là 0,0011% được chuẩn bị. Sau khi hai bản được gia nhiệt ở 1150°C, cán nóng được thực hiện, và các tấm thép được cán nóng có độ dày tấm là 2,0 mm được sản xuất. Ủ tấm được cán nóng được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng này. Nhiệt độ đạt được tối đa của việc ủ tấm cán nóng là 1050°C, và tốc độ gia nhiệt trung bình trong khoảng nhiệt độ từ 750 đến 850°C được thiết đặt theo hai điều kiện sau đây.

Điều kiện tốc độ gia nhiệt 1: 30°C/giây, và

Điều kiện tốc độ gia nhiệt 2: 60°C/giây

Việc tẩy gỉ được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng. Sau đó, việc cán nguội được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng, và các tấm thép được cán nguội có độ dày tấm là 0,35 mm được sản xuất. Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên các tấm thép được cán nguội tại nhiệt độ đạt được tối đa là 770°C, và các tấm thép điện không định hướng được sản xuất. Trong trường hợp này, tốc độ làm mát trung bình ở từ 700 đến 500°C sau bước ủ cuối cùng được thiết đặt theo hai điều kiện sau đây.

Điều kiện tốc độ làm mát 1: 30°C/giây, và

Điều kiện tốc độ làm mát 2: 60°C/giây

Độ bền kéo và các đặc tính từ (độ cảm ứng từ và tổn hao sắt) được đo trên các tấm thép điện không định hướng được sản xuất, hỗ trợ các phôi dùng cho các rôto.

Hơn nữa, hỗ trợ các phôi cho các lõi stato, các ví dụ được lựa chọn từ các tấm thép điện không định hướng, xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện ở 800°C trong 2 giờ trong môi trường nitơ, và các cấu trúc tinh thể trong đó các cấu trúc của các ví dụ đã phát triển đầy đủ thành các hạt được thu. Các đặc tính từ (độ cảm ứng từ và tổn hao sắt) được đo trên các ví dụ có các cấu trúc tinh thể mà đã phát triển đầy đủ thành các hạt.

Kết quả của phép đo là, trong hàm lượng S bất kỳ và dưới các điều kiện bất kỳ (điều kiện tốc độ gia nhiệt 1, điều kiện tốc độ gia nhiệt 2, điều kiện tốc độ làm mát 1, điều kiện tốc độ làm mát 2), các tấm thép điện không định hướng có độ bền kéo là 600 MPa hoặc lớn hơn, và có độ bền cao hơn so với các tấm thép điện không định hướng trong tình trạng kỹ thuật đã biết (ví dụ, tấm thép mà thường được áp dụng cho 50A230 của JISC2550). Ngoài ra, các đặc tính từ là giống như các đặc tính từ của các tấm thép điện không định hướng trong tình trạng kỹ thuật đã biết.

Tuy nhiên, các tấm thép điện không định hướng được sản xuất dưới các điều kiện bất kỳ cũng có các đặc tính là thích hợp cho các phôi dùng cho các rôto.

Trong đó, các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung, trong đó hàm lượng S là thấp, tốc độ gia nhiệt được gia tăng trong việc ủ tấm cán nóng (điều kiện tốc độ gia nhiệt 2: 60°C/giây), và tốc độ làm mát được gia tăng trong bước ủ cuối cùng (điều kiện tốc độ làm mát 2: 60°C/giây), là cao nhất. Ngược lại, các đặc tính từ, đặc biệt là độ cảm ứng từ của tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung, trong đó hàm lượng S là cao và tốc độ gia nhiệt là chậm (điều kiện tốc độ gia nhiệt 1: 30°C/giây) hoặc tốc độ làm mát là chậm trong bước ủ cuối cùng (điều kiện tốc độ làm mát 1: 30°C/giây), là thấp.

Nghĩa là, chỉ trong trường hợp trong đó hàm lượng S là thấp và tốc độ gia nhiệt trong việc ủ tấm cán nóng và tốc độ làm mát sau bước ủ cuối cùng là nhanh, các đặc tính là thích hợp cho cả các phôi dùng cho các rôto và các phôi cho các lõi stato được thu.

Các tác giả sáng chế đã thực hiện nhúng, đánh bóng, và quan sát cấu trúc ở phần mặt cắt ngang 1/4 độ dày (các phần mặt cắt ngang bao gồm các vị trí 1/4 độ dày (các vị trí t/4 khi các độ dày của các tấm thép điện không định hướng được xác định là t (đơn vị là mm) của các độ dày tấm từ các bề mặt được cán trong các phần mặt cắt ngang vuông góc với hướng cán của các tấm thép)) song song với các bề mặt được cán của các tấm thép điện không định hướng trước khi xử lý nhiệt bổ sung, mà được sản xuất dưới các điều kiện tương ứng. Kết quả là, trong các tấm thép điện không định hướng bất kỳ, vi cấu trúc là cấu trúc được trộn lẫn bao gồm cấu trúc tinh thể A mà là vùng của các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn, và cấu trúc tinh thể B có cỡ

hạt là mỗi hạt tinh thể nhỏ hơn $100\text{ }\mu\text{m}$ và cỡ hạt trung bình của $25\text{ }\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn.

Như được mô tả ở trên, trong các tấm thép điện không định hướng được sản xuất dưới các điều kiện bất kỳ, các sự khác nhau giữa các cấu trúc được quan sát với kính hiển vi quang học là nhỏ. Vì lý do này, các tấm thép điện không định hướng được xem là có gần như cùng độ bền và các đặc tính từ như trước khi xử lý nhiệt bổ sung.

Trong đó, như được mô tả ở trên, trong trường hợp trong đó các tấm thép điện không định hướng được đề cập ở trên được sản xuất dưới các điều kiện tương ứng được tiến hành xử lý nhiệt bổ sung, sự khác nhau rõ ràng xảy ra về độ cảm ứng từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung. Được xem là việc này xảy ra do sự thay đổi vật liệu, trong đó các cấu trúc được bao gồm trong cấu trúc tinh thể A trước khi xử lý nhiệt bổ sung đã phát triển do xử lý nhiệt và các định hướng tinh thể trong các tấm thép điện không định hướng tương ứng trở thành các trạng thái khác nhau cho mỗi trong số chúng. Nghĩa là, được xem là sự khác biệt xảy ra trong các định hướng tinh thể mà phát triển trong khi xử lý nhiệt bổ sung phụ thuộc vào các hàm lượng S hoặc các điều kiện sản xuất. Các tác giả sáng chế xem rằng lý do mà sự khác biệt xảy ra trong các định hướng tinh thể mà phát triển trong khi xử lý nhiệt bổ sung là sự khác biệt về cấu trúc tinh (cấu trúc chuyển vị) bên trong cấu trúc tinh thể A mà không thể phân biệt được bằng kính hiển vi quang học.

Do đó, các tác giả sáng chế đã quan sát các tấm thép điện không định hướng được sản xuất dưới các điều kiện tương ứng với kính hiển vi điện tử và các tia X. Kết quả là, trong tấm thép điện không định hướng trong đó hàm lượng S là thấp, tốc độ gia nhiệt được nâng cao ($60^{\circ}\text{C}/\text{giây}$) trong việc ủ tấm cán nóng, và tốc độ làm mát được nâng cao ($60^{\circ}\text{C}/\text{giây}$) trong bước ủ cuối

cùng, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A là từ 1 đến 30%, và độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A là bằng hoặc nhỏ hơn so với độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B. Ngược lại, trong các tấm thép điện không định hướng bất kỳ được sản xuất dưới các điều kiện khác, độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A là lớn hơn so với độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B.

Dựa vào các kết quả nêu trên, các tác giả sáng chế xem rằng tỷ lệ độ cứng HvA/HvB đã ảnh hưởng đến các sự cải thiện về các đặc tính từ bởi xử lý nhiệt bổ sung tiếp sau. Do đó, nghiên cứu ngoài ra còn được thực hiện, độ bền thích hợp được thu trước khi xử lý nhiệt bổ sung, và các cấu trúc trong đó các đặc tính từ mỹ mãn được thu khi sự phát triển hạt được xử lý bằng xử lý nhiệt bổ sung, được xác định.

Tấm thép điện không định hướng của sáng chế được hoàn thành trên cơ sở hiểu biết nêu trên chứa, làm thành phần hóa học, tính theo % khối lượng: C: 0,0100% hoặc nhỏ hơn; Si: lớn hơn 3,0% và 5,0% hoặc nhỏ hơn; Mn: 0,1 đến 3,0%; P: 0,20% hoặc nhỏ hơn; S: 0,0018% hoặc nhỏ hơn; và N: 0,0040% hoặc nhỏ hơn, và nếu cần thiết, chứa Al: 0,9% hoặc nhỏ hơn; một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0,100% hoặc nhỏ hơn; Cr: 5,0% hoặc nhỏ hơn; Ni: 5,0% hoặc nhỏ hơn; và một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Cu: 5,0% hoặc nhỏ hơn; Ca: 0,010% hoặc nhỏ hơn; và các nguyên tố đất hiếm (REM): 0,010% hoặc nhỏ hơn, phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng là từ 1 đến 30%, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B mà là cấu trúc tinh thể khác cấu trúc tinh thể A là 25 μm hoặc nhỏ hơn, và độ cứng Vickers HvA của cấu

trúc tinh thể A và độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B thỏa mãn biểu thức (1).

$$HvA/HvB \leq 1,000 \quad (1)$$

Ngoài ra, phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng của sáng chế bao gồm thực hiện cán nóng để sản xuất tấm thép được cán nóng sau khi bản có thành phần hóa học được gia nhiệt đến từ 1000 đến 1200°C; thực hiện ủ tấm được cán nóng với tốc độ gia nhiệt trung bình ở từ 750 đến 850°C là 50°C/giây hoặc cao hơn và nhiệt độ đạt được tối đa là từ 900 đến 1150°C, trên tấm thép được cán nóng; thực hiện việc cán nguội hoặc cán ấm ở mức giảm cán là 83% hoặc lớn hơn trên tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng, để sản xuất tấm thép trung gian; và thực hiện bước ủ cuối cùng với nhiệt độ đạt được tối đa là từ 700 đến 800°C và tốc độ làm mát trung bình trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là 50°C/giây hoặc cao hơn, trên tấm thép trung gian.

Sau đây, tấm thép điện không định hướng (tấm thép điện không định hướng theo phương án này) theo phương án của sáng chế và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này sẽ được mô tả chi tiết.

Tấm thép điện không định hướng

Thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng theo phương án này chứa các nguyên tố sau đây. Sau đây, % để chỉ các nguyên tố có nghĩa là "% khối lượng".

C: 0,0100% hoặc nhỏ hơn

Cacbon (C) có tác dụng tăng cường độ bền bằng cách kết tủa các cacbua. Tuy nhiên, trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, sự tăng bền cao đạt được chủ yếu bằng việc tăng bền dung dịch rắn của các nguyên tố

thay thế, chẳng hạn như Si, và sự kiểm soát tỷ lệ của cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B. Tuy nhiên, C có thể không được chứa cho sự tăng bền cao. Nghĩa là, giới hạn dưới của hàm lượng C bao gồm 0%. Tuy nhiên, do C thường được chứa một cách không thể tránh khỏi, giới hạn dưới có thể được thiết đặt để lớn hơn 0%.

Mặt khác, nếu hàm lượng C là quá cao, các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng suy giảm. Ngoài ra, khả năng gia công của tấm thép điện không định hướng theo phương án này mà là thép có hàm lượng Si cao suy giảm. Tuy nhiên, hàm lượng C là 0,0100% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng C tốt hơn là 0,0050% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,0030% hoặc nhỏ hơn.

Si: Lớn hơn 3,0% và 5,0% hoặc nhỏ hơn

Silic (Si) có tác dụng khử oxi thép. Ngoài ra, Si tăng cường độ dẫn điện của thép và giảm thiểu (cải thiện) tổn hao sắt của tấm thép điện không định hướng. Si cũng có hiệu quả tăng bền dung dịch rắn cao hơn khi so sánh với các nguyên tố tăng bền dung dịch rắn khác, chẳng hạn như Mn, Al, và Ni, mà được chứa trong tấm thép điện không định hướng. Vì lý do này, Si là hiệu quả nhất nhằm khiến sự tăng bền cao và tổn hao sắt giảm tương thích với nhau theo cách cân bằng. Hiệu quả nêu trên không được thu nếu hàm lượng Si là 3,0% hoặc nhỏ hơn. Vì lý do này, hàm lượng Si được thiết đặt để lớn hơn 3,0%.

Mặt khác, nếu hàm lượng Si là quá cao, khả năng sản xuất, đặc biệt là khả năng gia công uốn của tấm thép được cán nóng suy giảm. Ngoài ra, như sẽ được mô tả sau đây, sự suy giảm về khả năng gia công uốn có thể được giới hạn bằng cách kiểm soát một cách phù hợp cỡ hạt của tấm thép được cán nóng. Tuy nhiên, nếu hàm lượng Si vượt quá 5,0%, khả năng gia công lạnh suy giảm. Tuy nhiên, hàm lượng Si là 5,0% hoặc nhỏ hơn. Tốt hơn là, hàm lượng Si là 4,5% hoặc nhỏ hơn.

Mn: 0,1 đến 3,0%

Mangan (Mn) tăng cường độ dẫn điện của thép và giảm thiểu tổn hao sắt. Hiệu quả nêu trên không được thu nếu hàm lượng Mn là nhỏ hơn 0,1%. Ngoài ra, nếu hàm lượng Mn là nhỏ hơn 0,1%, các Mn sunfit được tạo ra tinh. Các sunfit Mn tinh ngăn cản sự dịch chuyển thành miền, hoặc ngăn cản sự phát triển hạt tinh thể trong bước sản xuất. Trong trường hợp này, độ cảm ứng từ giảm. Vì lý do này, hàm lượng Mn được thiết đặt đến 0,1% hoặc lớn hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn là 0,15% hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là 0,4%.

Mặt khác, nếu hàm lượng Mn vượt quá 3,0%, sự biến đổi austenit có nhiều khả năng xảy ra, và độ cảm ứng từ giảm. Tuy nhiên, hàm lượng Mn là 3,0% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Mn tốt hơn là 2,5% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 2,0% hoặc nhỏ hơn.

P: 0,20% hoặc nhỏ hơn

Phospho (P) tăng cường độ bền của thép bằng việc tăng bền dung dịch rắn. Tuy nhiên, nếu hàm lượng P là quá cao, P tách ra và thép hóa giòn. Tuy nhiên, hàm lượng P là 0,20% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng P tốt hơn là 0,10% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,07% hoặc nhỏ hơn.

S: 0,0018% hoặc nhỏ hơn

Lưu huỳnh (S) là tạp chất. S tạo nên các sunfit, chẳng hạn như MnS. Các sunfit ngăn cản sự dịch chuyển thành miền, và ngăn cản sự phát triển hạt tinh thể và suy giảm các đặc tính từ. Tuy nhiên, tốt hơn là hàm lượng S càng thấp càng tốt. Cụ thể là, nếu hàm lượng S vượt quá 0,0018%, các đặc tính từ suy giảm một cách đáng kể. Tuy nhiên, hàm lượng S là 0,0018% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng S tốt hơn là 0,0013% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn nữa là 0,0008% hoặc nhỏ hơn.

Trong đó, nếu việc sản xuất MnS được kiểm soát một cách thích hợp

bằng cách kiểm soát hàm lượng Mn và hàm lượng S, và các điều kiện sản xuất được mô tả sau đây, S cũng là nguyên tố mà góp phần vào sự hình thành cấu trúc dịch chuyển trong cấu trúc tinh thể A mà là hiệu quả để tránh sự suy giảm về các đặc tính từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung. Trong trường hợp trong đó hiệu quả này được thu, tốt hơn là hàm lượng S là 0,0001% hoặc lớn hơn.

N: 0,0040% hoặc nhỏ hơn

Nitơ (N) là tạp chất. N suy giảm các đặc tính từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung. Tuy nhiên, hàm lượng N là 0,0040% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng N tốt hơn là 0,0020% hoặc nhỏ hơn.

Thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng theo phương án này là dựa vào việc bao gồm các nguyên tố được mô tả ở trên, và Fe và các tạp chất mà là phần còn lại. Tuy nhiên, nếu cần thiết, thay vì một phần của Fe, một hoặc nhiều nguyên tố tùy chọn (Al, Sn, Sb, Cr, Ni, Cu, Ca, và/hoặc REM) có thể ngoài ra còn được chứa trong các khoảng được mô tả sau đây. Các giới hạn dưới là 0% do các nguyên tố tùy ý này không nhất thiết phải có mặt.

Các tạp chất có nghĩa là các chất được trộn lẫn từ một hoặc các phế liệu đóng vai trò là vật liệu thô hoặc từ môi trường sản xuất hoặc tương tự khi tấm thép điện không định hướng được sản xuất công nghiệp, các tạp chất và được cho phép trong khoảng trong đó các tạp chất không có ảnh hưởng xấu tới tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

Liên quan đến các nguyên tố tùy chọn

Al: 0 đến 0,9%

Nhôm (Al) là nguyên tố tùy chọn và có thể không có mặt. Al có tác dụng khử oxi thép, tương tự với Si. Al cũng tăng cường độ dẫn điện của thép và giảm thiểu tổn hao sắt. Trong trường hợp trong đó các hiệu quả này được thu, tốt hơn là hàm lượng Al là 0,0001% hoặc lớn hơn.

Tuy nhiên, khi so sánh với Si, Al không đóng góp vào sự tăng bền cao của thép. Hơn nữa, nếu hàm lượng Al là quá cao, khả năng gia công suy giảm. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó Al được chứa, hàm lượng Al là 0,9% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Al tốt hơn là 0,7% hoặc nhỏ hơn.

Một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0 đến 0,100%

Cả thiếc (Sn) và antimon (Sb) là các nguyên tố tùy chọn và có thể không có mặt. Sn và Sb cải thiện kết cấu của tấm thép điện không định hướng để nâng cao các đặc tính từ (ví dụ, bằng cách gia tăng các hạt tinh thể trong các định hướng mà đóng góp vào các sự cải thiện về các đặc tính từ). Trong trường hợp trong đó hiệu quả nêu trên được thu một cách hiệu quả và ổn định, tốt hơn là lượng tổng của một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb là 0,005% hoặc lớn hơn.

Tuy nhiên, nếu lượng tổng của các nguyên tố này vượt quá 0,100%, thép hóa giòn. Trong trường hợp này, trong khi sản xuất, tấm thép có thể vỡ, hoặc các khiếm khuyết bề mặt có thể được tạo ra. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó các nguyên tố này được chứa, lượng tổng của một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb là 0,100% hoặc nhỏ hơn.

Cr: 0 đến 5,0%

Crom (Cr) là nguyên tố tùy chọn và có thể không có mặt. Cr tăng cường độ dẫn điện của thép. Cụ thể là, nếu Cr được chứa cùng với Si, so sánh với các trường hợp trong đó Si và Cr được chứa độc lập, một cách tương ứng, độ dẫn điện của thép có thể được tăng cường, và tổn hao sắt có thể được giảm. Cr ngoài ra còn tăng cường khả năng sản xuất của thép có hàm lượng Si cao như trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, và cũng tăng cường độ bền chống ăn mòn. Trong trường hợp trong đó hiệu quả nêu trên

được thu một cách hiệu quả và ổn định, tốt hơn là hàm lượng Cr là 0,5% hoặc lớn hơn.

Tuy nhiên, nếu hàm lượng Cr vượt quá 5,0%, hiệu quả bị bão hòa, và chi phí trở nên cao. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó Al được chứa, hàm lượng Cr là 5,0% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Cr tốt hơn là 1,0% hoặc nhỏ hơn.

Ni: 0 đến 5,0%

Niken (Ni) tăng cường độ bền của thép bằng việc tăng bền dung dịch rắn mà không làm giảm độ bão hòa độ cảm ứng từ, và ngoài ra còn tăng cường độ dẫn điện của thép và giảm thiểu tổn hao sắt. Trong trường hợp trong đó hiệu quả nêu trên được thu một cách hiệu quả và ổn định, tốt hơn là hàm lượng Ni là 0,05% hoặc lớn hơn.

Tuy nhiên, nếu hàm lượng Ni vượt quá 5,0%, chi phí trở nên cao. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó Ni được chứa, hàm lượng Ni là 5,0% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Ni tốt hơn là 2,0% hoặc nhỏ hơn.

Cu: 0 đến 5,0%

Đồng (Cu) tăng cường độ bền của thép bằng việc tăng bền dung dịch rắn. Ngoài ra, bằng cách thực hiện xử lý hóa già tại nhiệt độ khoảng 500°C, Cu tạo nên pha kết tinh Cu tinh và tăng bền thép. Trong trường hợp hiệu quả nêu trên được thu một cách hiệu quả và ổn định, tốt hơn là hàm lượng Cu là 0,5% hoặc lớn hơn.

Tuy nhiên, nếu hàm lượng Cu vượt quá 5,0%, thép hóa giòn. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó Cu được chứa, hàm lượng Cu là 5,0% hoặc nhỏ hơn. Hàm lượng Cu tốt hơn là 2,0% hoặc nhỏ hơn.

Ca: 0 đến 0,010%

Các nguyên tố đất hiếm (REM): 0 đến 0,010%

Canxi (Ca) và REM được kết hợp với S trong thép để cố định S. Theo đó, các đặc tính từ của thép được tăng cường. Trong trường hợp hiệu quả nêu trên được thu một cách hiệu quả và ổn định, tốt hơn là hàm lượng Ca là 0,001% hoặc lớn hơn và hàm lượng REM là 0,002% hoặc lớn hơn.

Mặt khác, nếu hàm lượng Ca và hàm lượng REM vượt quá 0,010%, một cách tương ứng, hiệu quả bị bão hòa, và chi phí trở nên cao. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp trong đó Ca và REM được chứa, hàm lượng Ca là 0,010% hoặc nhỏ hơn, và hàm lượng REM là 0,010% hoặc nhỏ hơn.

REM trong phương án này có nghĩa là Sc, Y, và các lantanoid (La có số nguyên tử 57 tới Lu có số nguyên tử 71), và hàm lượng REM có nghĩa là lượng tổng của các nguyên tố này.

Vi cấu trúc của phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng

Vi cấu trúc được cấu thành từ cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B trong phần mặt cắt ngang, song song với bề mặt được cán, tại vị trí 1/4 độ dày của độ dày tấm tính từ bề mặt được cán trong tấm thép điện không định hướng được mô tả ở trên.

Trong phương án này, cấu trúc tinh thể A là vùng cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt tinh thể là 100 μm hoặc lớn hơn. Mặt khác, cấu trúc tinh thể B là vùng cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt tinh thể là nhỏ hơn 100 μm .

Cấu trúc tinh thể A là vùng mà bị mòn và biến mất bằng xử lý nhiệt bổ sung trong đó việc gia nhiệt từ từ được thực hiện. Trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán, nếu tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A là ngoài khoảng từ 1 đến 30%, khó có thể tránh sự suy giảm về các đặc tính từ khi các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung. Cơ chế chi tiết sẽ được mô tả sau đây. Hơn nữa, trong trường hợp trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc

tinh thể A là nhỏ hơn 1%, cấu trúc tinh thể B nhiều khả năng sẽ bị làm thô, và độ bền của tấm thép điện không định hướng trở nên thấp. Ngoài ra, trong trường hợp trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A vượt quá 30%, các đặc tính từ khi các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung suy giảm (hư hại). Tuy nhiên, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A là từ 1 đến 30%. Giới hạn dưới ưu tiên của tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A là 5%, và giới hạn trên ưu tiên của nó là 20%.

Trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán, trong trường hợp trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A được thiết đặt đến 1 đến 30%, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể B trở thành từ 70 đến 99%. Tuy nhiên, các đặc tính máy của tấm thép điện không định hướng theo phương án này chủ yếu được xác định bằng cấu trúc tinh thể B.

Ngoài ra, cấu trúc tinh thể B là vùng trong đó các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung trong đó việc gia nhiệt từ từ được thực hiện.

Nếu cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B là lớn hơn so với 25 μm , các đặc tính từ trước khi xử lý nhiệt bổ sung được cải thiện. Tuy nhiên, khó có thể thỏa mãn đặc tính độ bền. Ngoài ra, mặc dù cơ chế chi tiết sẽ được mô tả sau đây, nếu cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B là lớn hơn so với 25 μm , các đặc tính từ khi các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung suy giảm nhiều.

Tuy nhiên, trong phần mặt cắt ngang song song với hướng cán, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B cần phải là 25 μm hoặc nhỏ hơn. Giới hạn trên của cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B tốt hơn là 20 μm và tốt hơn nữa là 15 μm .

Trong phương án này, vi cấu trúc trong phần mặt cắt ngang, song song với bề mặt được cán, tại vị trí 1/4 độ dày của độ dày tấm tính từ bề mặt được

cán có thể là cấu trúc như nêu trên. Đó là do vi cấu trúc tại vị trí 1/4 độ dày của độ dày tấm tính từ bề mặt được cán là vi cấu trúc đại diện của tấm thép và các đặc tính của tấm thép bị ảnh hưởng nhiều.

Phương pháp đo tỷ lệ cấu trúc của cấu trúc tinh thể A và cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B

Tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A và cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B có thể được đo bằng phương pháp sau.

Ví dụ có phần mặt cắt ngang, song song với bề mặt được cán, tại vị trí 1/4 độ dày của độ dày tấm tính từ bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng được chuẩn bị bằng cách đánh bóng hoặc tương tự. Sau khi bề mặt đánh bóng (sau đây được gọi là bề mặt quan sát) của mẫu được điều chỉnh bằng việc đánh bóng điện phân, việc phân tích cấu trúc tinh thể sử dụng phương pháp nhiễu xạ tán xạ ngược tia electron (electron ray backscattering diffracting - EBSD) được thực hiện.

Bằng việc phân tích EBSD, biên của bề mặt quan sát trong đó sự sai khác định hướng tinh thể là 15° hoặc lớn hơn được xác định là biên hạt, mỗi vùng được bao quanh bởi biên hạt này được xác định là một hạt tinh thể, và vùng (vùng quan sát) bao gồm 10000 hoặc nhiều hơn các hạt tinh thể đã được quan sát thấy. Trong vùng quan sát, đường kính (đường kính tròn tương đương) khi các hạt tinh thể là vùng tương đương với vòng được xác định làm cỡ hạt. Nghĩa là, cỡ hạt có nghĩa là đường kính tròn tương đương.

Vùng bao gồm các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn được xác định là cấu trúc tinh thể A, và tỷ lệ diện tích của nó được thu. Ngoài ra, vùng (nghĩa là, cấu trúc ngoài cấu trúc tinh thể A) bao gồm các hạt tinh thể có đường kính nhỏ hơn 100 μm được xác định là cấu trúc tinh thể B, và kích cỡ hạt tinh thể trung bình của nó được thu. Các phép đo này có thể được thực hiện

một cách tương đối đơn giản bằng phép phân tích hình ảnh.

Độ cứng của cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, các độ cứng của cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B thỏa mãn biểu thức (1).

$$HvA/HvB \leq 1,000 \quad (1)$$

Nếu $HvA/HvB > 1,000$, các đặc tính từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung suy giảm.

Ở đây, "HvA" là độ cứng Vickers của cấu trúc tinh thể A tại lực thử nghiệm (tải) là 50 g, và "HvB" là độ cứng Vickers của cấu trúc tinh thể B tại lực thử nghiệm (tải) là 50 g. Các độ cứng Vickers được đo theo JIS Z 2244 (2009).

Cụ thể hơn, các độ cứng Vickers được đo bằng phương pháp được mô tả ở trên ít nhất 20 điểm bên trong vùng của cấu trúc tinh thể A, và giá trị trung bình của nó được xác định là độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A. Một cách tương tự, các độ cứng Vickers được đo bằng phương pháp được mô tả ở trên ít nhất 20 điểm bên trong vùng của cấu trúc tinh thể B, và giá trị trung bình của nó được xác định là độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B.

Mặt khác, do khó có thể tạo HvA/HvB nhỏ hơn 0,900, HvA/HvB có thể được thiết đặt đến 0,900 hoặc lớn hơn. Giới hạn dưới của HvA/HvB có thể được thiết đặt đến 0,950 hoặc 0,970 hoặc lớn hơn.

Định nghĩa của vi cấu trúc

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, như được mô tả ở trên, vi cấu trúc trong phần mặt cắt ngang, song song với bề mặt được cán, tại vị trí 1/4 độ dày của độ dày tấm tính từ bề mặt được cán được kiểm soát "cấu trúc tinh thể A", "cấu trúc tinh thể B", và "tỷ lệ của các độ cứng của các cấu trúc tinh thể này" là trong các khoảng được xác định trước. Các dấu hiệu

này sẽ được mô tả sau đây. Trong phần mô tả sau đây, cũng có chi tiết về các phần chưa được giải quyết, và một số cơ chế của các phần chưa được giải quyết được suy ra.

“Cấu trúc tinh thể A” trong phương án này thường không có sự khác biệt đáng kể với vùng, mà không bị làm mòn bởi “các hạt được kết tinh lại”, nghĩa là, “cấu trúc không kết tinh lại”, với sự quan sát bằng kính hiển vi quang học. Tuy nhiên, cấu trúc tinh thể A được khôi phục đầy đủ bằng bước ủ cuối cùng và đặc biệt mềm. Vì lý do này, cấu trúc tinh thể A là khác với “cấu trúc không kết tinh lại” thông thường. Nếu việc đánh giá được thực hiện phụ thuộc vào lượng biến dạng được tích lũy (ví dụ, giá trị IQ) bởi EBSD, cấu trúc tinh thể A là gần hơn với cấu trúc kết tinh lại so với cấu trúc không kết tinh lại.

Tuy nhiên, trong phương án này, “cấu trúc tinh thể A” được xác định phân biệt với cấu trúc không kết tinh lại thông thường.

“Cấu trúc tinh thể B” trong phương án này là vùng tương tự với “cấu trúc kết tinh lại” trong đó các tinh thể với sự khác biệt định hướng lớn với ma trận được tạo ra và được phát triển do việc tạo mầm từ cấu trúc được xử lý. Tuy nhiên, vùng mà không bị mòn bởi các hạt được kết tinh lại cũng được bao gồm trong cấu trúc tinh thể B trong phương án này. Tuy nhiên, “cấu trúc tinh thể B” trong phương án này được xác định phân biệt với “cấu trúc kết tinh lại” đơn giản.

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này được tạo khác biệt ở chỗ độ cứng của “cấu trúc tinh thể A” là bằng hoặc nhỏ hơn so với độ cứng của “cấu trúc tinh thể B” (nghĩa là, biểu thức (1) được thỏa mãn).

Ngoài ra, tấm thép điện không định hướng theo phương án này cũng có dấu hiện về sự phân bố kích thước hạt. Như được thấy rõ từ phần định nghĩa nêu trên, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B là cực kỳ nhỏ như 25 μm

hoặc nhỏ hơn, ngoại trừ cấu trúc tinh thể A cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn, mà có mặt đến đến 30%. Điều này có nghĩa là các hạt tinh thể với cỡ trung bình khoảng 30 đến 90 μm là có thể có mặt trong vi cấu trúc. Nghĩa là, trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, sự phân bố cỡ hạt tinh thể được gọi là các hạt đôi.

Thông thường, ví dụ, nếu sự phân bố cỡ hạt là sự phân bố bình thường, trong cấu trúc tinh thể mà đạt được độ phát triển hạt sao cho cỡ hạt 100 μm xuất hiện đạt được, số lượng tương đối lớn của các hạt tinh thể đến vài chục micromet cũng xuất hiện, và cỡ hạt trung bình là khoảng 50 μm .

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này, trong đó cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B được trộn lẫn theo tỷ lệ được xác định trước và tỷ lệ độ cứng HvA/HvB thỏa mãn biểu thức (1), có độ bền và các đặc tính từ mỹ mãn trong trường hợp trong đó tấm được sử dụng mà không thực hiện xử lý nhiệt bổ sung (trong trường hợp trong đó được xem là sử dụng như các phôi dùng cho các rôto). Mặt khác, trong trường hợp trong đó tấm được tiến hành xử lý nhiệt bổ sung và được sử dụng (trong trường hợp trong đó được xem là sử dụng như các phôi cho các lõi stato), tổn hao sắt được cải thiện và sự suy giảm về độ cảm ứng từ được giới hạn, khi các hạt tinh thể được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung.

Liên quan đến biểu thức (2)

Trong tấm thép điện không định hướng được mô tả ở trên, độ cảm ứng từ của tấm thép điện không định hướng trước khi xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện được xác định là $BA(T)$. Hơn nữa, độ cảm ứng từ của tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung trong đó tốc độ gia nhiệt là từ 100°C/giờ, nhiệt độ đạt được tối đa là 800°C, và thời gian duy trì ở 800°C là 2 giờ được thực hiện được xác định là $BB(T)$. Trong trường hợp này, trong tấm

thép điện không định hướng theo phương án này, các độ cảm ứng từ BA và BB thỏa mãn biểu thức (2) sau đây.

$$BB/BA \geq 0,980 \quad (2)$$

BB/BA tốt hơn là 0,985 hoặc lớn hơn và tốt hơn nữa là 0,990 hoặc lớn hơn. Mặc dù giới hạn trên của BB/BA không bị giới hạn cụ thể, việc không xảy ra sự suy giảm đặc tính do xử lý nhiệt bổ sung (nghĩa là, $BB/BA = 1,000$) là chuẩn mực tiêu. Tuy nhiên, cũng có trường hợp trong đó, do xử lý nhiệt bổ sung, các hạt có các định hướng mà ưu tiên đối với các đặc tính từ phát triển một cách ưu tiên, và do đó BB/BA vượt quá 1,000. Tuy nhiên, ngay cả trong trường hợp này, BB/BA hiếm khi vượt quá 1,015.

Tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ đạt được tối đa, và thời gian duy trì như được mô tả ở trên là các ví dụ của các điều kiện xử lý nhiệt bổ sung. Đối với các điều kiện, các giá trị được xem xét là đại diện như các điều kiện cho việc ủ giảm ứng suất mà hiện đang được thực hiện ứng dụng được sử dụng. Tuy nhiên, hiệu quả hạn chế sự suy giảm về độ cảm ứng từ bởi xử lý nhiệt bổ sung trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này cũng có thể được xác nhận ngay cả trong các khoảng rộng hơn, mà không bị giới hạn bởi các giá trị này trong tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ đạt được tối đa, và thời gian duy trì. Ví dụ, các hiệu quả thu được trong các khoảng trong đó tốc độ gia nhiệt là từ 30 đến 500°C/giờ, nhiệt độ đạt được tối đa là từ 750 đến 850°C, và thời gian duy trì ở 750°C hoặc lớn hơn là từ 0,5 đến 100 giờ.

Trong xử lý nhiệt bổ sung, thông thường, khi so sánh với bước ủ cuối cùng trong đó xử lý nhiệt được thực hiện ở nhiệt độ cao trong khoảng thời gian được kéo dài để khiến các hạt phát triển, việc gia nhiệt được thực hiện ở tốc độ chậm, và xử lý nhiệt được thực hiện trong khoảng thời gian được kéo dài để khiến các hạt phát triển.

Do bước ủ cuối cùng thông thường được thực hiện tại tốc độ gia nhiệt là khoảng $10^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ ($36000^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$), nhiệt độ tại mức này có thể được thể hiện như giới hạn trên của tốc độ gia nhiệt của xử lý nhiệt bổ sung. Tuy nhiên, nếu việc ủ giảm ứng suất của lõi thông thường được xem xét đến, việc gia nhiệt ở tốc độ cao như vậy là khó. Ngoài ra, trong trường hợp trong đó tốc độ gia nhiệt là quá nhanh, cũng có e ngại rằng việc gia nhiệt trở nên không đều. Tuy nhiên, tốc độ gia nhiệt của xử lý nhiệt bổ sung là $500^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$ hoặc thấp hơn.

Mặt khác, với tốc độ gia nhiệt thấp quá mức, khó có thể tạo hạt phát triển đặc trưng với tâm thép điện không định hướng theo phương án này như sẽ được mô tả sau đây. Vì lý do này, giới hạn dưới của tốc độ gia nhiệt của xử lý nhiệt bổ sung là $30^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$.

Đối với nhiệt độ đạt được tối đa và thời gian duy trì, xét đến các điều kiện thông thường của việc ủ giảm ứng suất, nhiệt độ đạt được tối đa là từ 750 đến 850°C , và thời gian duy trì ở 750°C hoặc lớn hơn là từ $0,5$ đến 100 giờ.

Trong phương án này, lý do vì sao sự suy giảm về các đặc tính từ khi các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung có thể được giới hạn bằng cách kiểm soát tỷ lệ của cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B, tỷ lệ của các độ cứng của cấu trúc tinh thể A và cấu trúc tinh thể B được kiểm soát không nhất thiết phải rõ ràng, nhưng được giả định là như sau đây.

Trong tấm thép điện không định hướng cần được nhắm đến trong phương án này, lượng nitơ (N) và lượng của cacbon (C) mà tạo thành chất xâm nhập (các kết tủa) trong thép được giảm đến các mức cực kỳ thấp. Các kết tủa này cần được tạo ra trong thép là các kết tủa tinh trong đó cỡ hạt là từ $1,0\text{ }\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn, và nhiều kết tủa với cỡ $0,2\text{ }\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn cũng được tạo ra. Các kết tủa tinh như vậy, ví dụ, các kết tủa tinh có cỡ hạt là $0,2\text{ }\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn

ảnh hưởng đến các đặc tính từ hoặc tương tự.

Trong trường hợp trong đó các kết tủa tinh có mặt trong thép, các dịch chuyển được chốt có ít khả năng biến mất do các kết tủa, hoặc các vùng (vùng mật độ chuyển dịch cao) trong đó các chuyển dịch được tích lũy có nhiều khả năng được tạo ra (có nhiều khả năng duy trì) xung quanh các kết tủa.

Thông thường, được nói là các tinh thể có các định hướng ngẫu nhiên có nhiều khả năng được tạo ra do sự kết tinh lại từ mật độ chuyển dịch cao xung quanh các kết tủa. Tuy nhiên, trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, như sẽ được mô tả sau đây, xử lý nhiệt nhẹ (xử lý bước ủ cuối cùng) được thực hiện trên tấm thép trung gian sau khi cán nguội hoặc cán ấm, và cấu trúc tinh thể A còn lại trong tấm thép sau bước ủ cuối cùng. Trong trường hợp trong đó các kết tủa xuất hiện trong cấu trúc tinh thể A, khi xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện bằng việc gia nhiệt từ từ sau và việc kết tinh lại được xử lý, việc phát triển của các định hướng tinh thể, mà không được ưu tiên cho các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng, được thúc đẩy.

Ngược lại, trong trường hợp trong đó các quy trình kết tinh lại bằng cách xử lý nhiệt bổ sung trong việc gia nhiệt từ từ, được xem là, nếu cấu trúc dịch chuyển (cấu trúc được khôi phục lại) bên trong cấu trúc tinh thể A trước khi xử lý nhiệt bổ sung là cấu trúc tinh thể đồng nhất (hoặc cấu trúc hai chiều giống lưới) trong đó việc tạo thành của các vùng mật độ chuyển dịch cao được gây ra do các kết tủa hoặc tương tự được giới hạn, các định hướng được ưu tiên cho độ cảm ứng từ phát triển trong xử lý nhiệt bổ sung tiếp theo, và độ cảm ứng từ tương đối cao được thu.

Nếu các cấu trúc dịch chuyển của cấu trúc tinh thể A là các cấu trúc ô đồng nhất, tỷ lệ (HvA/HvB) của độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A và độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B thỏa mãn biểu thức (1). Nghĩa

là, cấu trúc tinh thể A mà tạo nên cấu trúc ô trong đó cấu trúc dịch chuyển là đồng nhất hoặc cấu trúc hai chiều đơn giản trở nên mềm hơn so với cấu trúc không kết tinh lại mà tạo nên các vùng mật độ chuyển dịch cao phức tạp xung quanh các kết tủa. Trong trường hợp này, sự suy giảm về các đặc tính từ được giới hạn sau khi xử lý nhiệt bổ sung.

Tuy nhiên, trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, biểu thức (1) được xác định là chỉ số thể hiện rằng cấu trúc dịch chuyển của cấu trúc tinh thể A là cấu trúc ô đồng nhất.

Phương pháp sản xuất

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng được mô tả ở trên sẽ được mô tả. Phương pháp sản xuất sẽ được mô tả sau đây là ví dụ về phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Tuy nhiên, tấm thép điện không định hướng theo phương án này có thể được sản xuất bởi các phương pháp sản xuất ngoài phương pháp sản xuất sẽ được mô tả sau đây.

Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo phương án này bao gồm cán nóng bản để sản xuất tấm thép được cán nóng (bước cán nóng); thực hiện ủ (ủ tấm được cán nóng) trên tấm thép được cán nóng (bước ủ tấm cán nóng); thực hiện cán nguội hoặc cán ấm trên tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng (bước cán nguội hoặc bước cán ấm), để sản xuất tấm thép trung gian, và thực hiện bước ủ cuối cùng trên tấm thép trung gian (bước ủ cuối cùng). Sau đây, các bước tương ứng sẽ được mô tả.

Bước cán nóng

Trong bước cán nóng, tấm thép được cán nóng được sản xuất bằng cách cán nóng bản.

Bản được sản xuất bằng phương pháp đã được biết rộng rãi. Ví dụ, thép

nóng chảy được sản xuất bằng bộ biến đổi hoặc lò điện. Thép nóng chảy được sản xuất được tiến hành tinh chế lần hai bằng bằng phương tiện khử khí hoặc tương tự và được thu như thép nóng chảy có hợp phần hóa học nêu trên. Bản được đúc bằng phương pháp đúc liên tục hoặc phương pháp tạo khối sử dụng thép nóng chảy. Bản đúc có thể được tạo khối.

Việc cán nóng được thực hiện trên bản được chuẩn bị bằng bước nêu trên. Nhiệt độ gia nhiệt bản ưu tiên trong bước cán nóng là từ 1000 đến 1200°C. Nếu nhiệt độ gia nhiệt bản vượt quá 1200°C, các hạt tinh thể bị làm thô trong bản trước khi cán nóng. Như trong thành phần hóa học của tấm thép điện không định hướng theo phương án này, cấu trúc của tấm thép với hàm lượng Si cao có pha đơn ferit từ trạng thái của bản. Ngoài ra, trong lịch sử nhiệt trong bước cán nóng, cấu trúc không chuyển đổi. Vì lý do này, nếu nhiệt độ gia nhiệt bản là quá cao, các hạt tinh thể nhiều khả năng sẽ bị làm thô, và cấu trúc được xử lý thô (cấu trúc phẳng) nhiều khả năng sẽ duy trì một cách dễ dàng sau khi cán nóng. Cấu trúc phẳng thô ít có khả năng biến mất hơn do sự kết tinh lại trong bước ủ tấm cán nóng mà là bước tiếp theo của bước cán nóng. Trong việc ủ cấu trúc tấm cán nóng, nếu cấu trúc phẳng thô duy trì, cấu trúc cần có của tấm thép điện không định hướng theo phương án này không được thu ngay cả nếu bước tiếp theo được ưu tiên. Tuy nhiên, giới hạn trên của nhiệt độ gia nhiệt bản là 1200°C.

Mặt khác, nếu nhiệt độ gia nhiệt bản là quá thấp, khả năng gia công của bản trở nên thấp, và hiệu quả sản xuất trong cơ cấu cán nóng thông thường suy giảm. Tuy nhiên, giới hạn dưới của nhiệt độ gia nhiệt bản là 1000°C.

Giới hạn trên của nhiệt độ gia nhiệt bản tốt hơn là 1180°C và tốt hơn nữa là 1160°C. Giới hạn dưới của nhiệt độ gia nhiệt bản tốt hơn là 1050°C và tốt hơn nữa là 1100°C.

Các điều kiện cán nóng có thể là các điều kiện đã được biết đến rộng rãi.

Bước ủ tấm cán nóng

Trong bước ủ tấm cán nóng, việc ủ (ủ tấm được cán nóng) được thực hiện trên tấm thép được cán nóng được sản xuất bởi bước cán nóng. Nhờ đó, trong cấu trúc của tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng, tỷ lệ kết tinh lại được thiết đặt đến 95% hoặc lớn hơn, và cỡ hạt trung bình của các hạt được kết tinh lại được thiết đặt để lớn hơn 50 μm . Nếu tỷ lệ kết tinh lại là nhỏ hơn 95% hoặc cỡ hạt trung bình của các hạt được kết tinh lại là 50 μm hoặc nhỏ hơn, cấu trúc tinh thể của sản phẩm được tích lũy trong $\{111\}$ và các đặc tính từ là kém.

Nhằm thu được cấu trúc của tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng như nêu trên, trong bước ủ tấm cán nóng, tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ giữa 750 đến 850°C và nhiệt độ đạt được tối đa T_{max} , trong số các điều kiện gia nhiệt, là như sau đây.

Tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ giữa 750 đến 850°C: 50°C/giây hoặc cao hơn

Trong bước gia nhiệt các tấm thép được cán nóng trong việc ủ tấm cán nóng, tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ trong khoảng 750 đến 850°C là 50°C/giây hoặc cao hơn. Nếu tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ được thiết đặt đến 50°C/giây hoặc cao hơn như gia nhiệt nhanh, sự kết tinh lại và sự phát triển hạt có thể được bắt đầu với mật độ chuyển dịch trong cấu trúc phẳng sau khi cán nóng được duy trì cao. Trong trường hợp này, cấu trúc phẳng có thể được khiến biến mất một cách dễ dàng. Ngoài ra, sự kết tinh lại được bắt đầu với mật độ chuyển dịch được duy trì cao theo cách này, và cấu trúc trong đó các hạt được phát triển sau đó trở thành cấu trúc cần có của tấm thép điện không định hướng theo phương án này bằng bước cán nguội hoặc cán ấm và

bước ủ cuối cùng sẽ được thực hiện sau đó.

Nếu tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ là quá thấp, trong cấu trúc phẳng, các quy trình khôi phục trước khi bắt đầu sự kết tinh lại, hoặc sự kết tinh lại được hoàn tất theo cách được gọi là "kết tinh lại in-situ". Trong trường hợp này, theo sự quan sát bằng kính hiển vi quang học, sự khác biệt với việc được tiến hành gia nhiệt nhanh là không rõ ràng. Tuy nhiên, các hạt tinh thể được tạo thành bằng cách khôi phục hoặc kết tinh lại in-situ có sự khác biệt về định hướng tinh thể so với các hạt tinh thể được tạo ra bởi sự kết tinh lại. Vì lý do này, nếu tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ là quá thấp, cấu trúc sau khi ủ tấm thép được cán nguội và kết tinh lại không trở thành cấu trúc cần có của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Không cần thiết phải giới hạn giới hạn trên của tốc độ gia nhiệt, và giới hạn trên của dung lượng phương tiện trở thành giới hạn trên thực chất của tốc độ gia nhiệt.

Ngay cả nếu cấu trúc phẳng được kết tinh lại ngay sau khi ủ tấm cán nóng, do cấu trúc phẳng được tạo ra mà không trải qua bất kỳ biến đổi nào, sự tích tụ trong các định hướng mà là đặc biệt như các định hướng tinh thể dễ dàng trở nên mạnh. Vì lý do này, đây trở thành yếu tố mà các đặc tính từ khi các hạt được phát triển bằng xử lý nhiệt bổ sung theo cách gia nhiệt từ từ suy giảm ngay cả nếu cấu trúc phẳng trải qua bước cán nguội hoặc cán ấm ưu tiên, và bước ủ cuối cùng ưu tiên tiếp sau.

Giới hạn dưới của khoảng nhiệt độ trong đó tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ trên được áp dụng tốt hơn là 600°C và tốt hơn nữa là 450°C tại điểm việc khôi phục cấu trúc bắt đầu. Giới hạn trên của khoảng nhiệt độ ở đó tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ nêu trên được áp dụng tốt hơn là 900°C và tốt hơn nữa là 950°C . Nghĩa là, tốt nhất là tốc độ gia nhiệt trung bình giữa 450 đến 950°C là $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn.

Nhiệt độ đạt được tối đa Tmax: 900 đến 1150°C

Nhiệt độ đạt được tối đa Tmax trong việc ủ tấm cán nóng là từ 900 đến 1150°C. Nếu nhiệt độ đạt được tối đa Tmax là quá thấp, 95% hoặc lớn hơn của cấu trúc kết tinh lại không được thu, các đặc tính từ của sản phẩm cuối suy giảm. Mặt khác, nếu nhiệt độ đạt được tối đa Tmax là quá cao, các cấu trúc hạt kết tinh lại bị làm thô, và có nhiều khả năng sẽ bị nứt và vỡ trong bước tiếp theo, và sản lượng giảm một cách đáng kể.

Thời gian xử lý nhiệt của việc ủ tấm cán nóng không bị giới hạn cụ thể. Thời gian xử lý nhiệt là 20 giây đến 4 phút.

Bước cán nguội hoặc cán ấm

Việc cán nguội hoặc cán ấm được thực hiện trên tấm thép được cán nóng sau bước ủ tấm cán nóng. Ở đây, cán ấm có nghĩa là bước trong đó việc cán được thực hiện với tấm thép được cán nóng được gia nhiệt đến từ 150 đến 600°C.

Tốt hơn là độ giảm cán trong việc cán nguội hoặc cán ấm là 83% hoặc lớn hơn. Ở đây, độ giảm cán (%) được xác định bằng biểu thức sau.

Độ giảm cán (%) = $(1 - \text{Độ dày tấm của tấm thép được cán nóng trung gian sau bước cán nguội hoặc cán ấm cuối cùng} / \text{Độ dày tấm của tấm thép trung gian trước khi bắt đầu bước cán nguội hoặc cán ấm thứ nhất}) \times 100$

Nếu độ giảm cán là nhỏ hơn 83%, các lượng của nhân kết tinh lại mà được yêu cầu đối với bước ủ cuối cùng mà là bước tiếp theo là không đạt yêu cầu. Trong trường hợp này, khó để kiểm soát trạng thái phân tán của cấu trúc tinh thể A một cách phù hợp. Nếu độ giảm cán là 83% hoặc lớn hơn, lượng đầy đủ của các nhân kết tinh lại có thể được đảm bảo. Được xem rằng các nhân kết tinh lại được phân tán và được tăng bằng cách thêm lực đủ trong việc cán nguội hoặc cán ấm. Tấm thép trung gian được sản xuất bởi bước nêu trên.

Bước ủ cuối cùng

Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên tấm thép trung gian được sản xuất bởi bước cán nguội hoặc cán ấm. Các điều kiện của bước ủ cuối cùng là như sau đây.

Nhiệt độ đạt được tối đa (nhiệt độ ủ): từ 700 đến 800°C

Trong trường hợp trong đó nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng là nhỏ hơn 700°C, sự kết tinh lại không được xử lý một cách đầy đủ. Trong trường hợp này, các đặc tính từ của tấm thép điện không định hướng suy giảm. Hơn nữa, trong trường hợp trong đó bước ủ cuối cùng được thực hiện bằng việc ủ liên tục, hiệu quả của việc hiệu chỉnh hình dạng tấm của tấm thép điện không định hướng không được thu một cách đầy đủ. Mặt khác, nếu nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng vượt quá 800°C, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A trở thành nhỏ hơn 1%, và độ bền của tấm thép điện không định hướng giảm.

Từ quan điểm thực hiện đầy đủ việc gia nhiệt để thu được cấu trúc mong muốn mà không hạ thấp hiệu quả sản xuất, tốt hơn là thời gian ngâm tại nhiệt độ đạt được tối đa là từ 1 đến 50 giây.

Tốc độ làm mát trung bình CR₇₀₀₋₅₀₀ trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C: 50°C/giây hoặc cao hơn

Được xem là tốc độ làm mát trung bình CR₇₀₀₋₅₀₀ trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là liên quan đến sự tạo thành của cấu trúc dịch chuyển của cấu trúc tinh thể A của tấm thép điện không định hướng. Nếu tốc độ làm mát trung bình CR₇₀₀₋₅₀₀ là nhỏ hơn 50°C/giây, sự phân tán dịch chuyển trong cấu trúc tinh thể A trở thành không đều và do đó, tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Trong trường hợp này, sự phát triển của các định hướng tinh thể trong xử lý nhiệt bổ sung được ngăn chặn, và các đặc tính từ sau khi xử lý nhiệt bổ

sung suy giảm. Mặt khác, nếu tốc độ làm mát trung bình $CR_{700-500}$ là $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ hoặc cao hơn, điều này thúc đẩy sự đồng nhất hóa của việc phân tán của các sự dịch chuyển trong các cấu trúc tinh thể A, chẳng hạn như việc trùng hợp của các sự dịch chuyển của các kết tủa hoặc sự cố định của cấu trúc ô cuối cùng, và tốt hơn là tác động lên sự phát triển của các định hướng tinh thể trong $\{100\}$ và trong vùng lân cận của nó mà góp phần vào các sự cải thiện trong các đặc tính từ trong xử lý nhiệt bổ sung. Giới hạn dưới của tốc độ làm mát trung bình $CR_{700-500}$ tốt hơn là $100^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ và tốt hơn nữa là $200^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Nếu tốc độ làm mát trung bình $CR_{700-500}$ vượt quá $500^{\circ}\text{C}/\text{giây}$, có lo ngại rằng gradien nhiệt độ theo chiều dọc của tấm thép có thể trở nên quá lớn và tấm thép sẽ bị biến dạng. Do đó, giới hạn trên ưu tiên của tốc độ làm mát trung bình $CR_{700-500}$ là $500^{\circ}\text{C}/\text{giây}$.

Tấm thép điện không định hướng theo phương án này được sản xuất bằng các bước nêu trên.

Trong phương pháp sản xuất được mô tả ở trên, độ dày tấm của tấm thép điện không định hướng được thiết đặt để độ dày tấm cuối cùng trong một bước cán nguội hoặc cán ấm sau bước ủ tấm cán nóng.

Bước phủ cách điện

Trong phương pháp sản xuất nêu trên, bước (bước phủ cách điện) để tạo ra lớp phủ cách điện trên bề mặt của tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng nhằm giảm tổn hao sắt có thể ngoài ra còn được thực hiện. Bước phủ cách điện có thể được thực hiện bằng phương pháp đã biết thông thường. Nhằm đảm bảo khả năng đục lỗ ưu việt, tốt hơn là để tạo ra màng phủ hữu cơ chứa nhựa. Trong đó, trong trường hợp trong đó sự tăng cường được đặt lên khả năng hàn, tốt hơn là tạo lớp phủ bán vô cơ hoặc vô cơ.

Các thành phần vô cơ là, ví dụ, các thành phần trên cơ sở axit dicromic-

axit boric, axit phosphoric, silica, và tương tự. Các thành phần hữu cơ là, ví dụ, các nhựa thông thường trên cơ sở các acrylic, acrylic styren, acrylic silic, silicon, polyeste, epoxy, và flo. Trong trường hợp trong đó khả năng sơn được đánh giá, tốt hơn là nhựa là nhựa loại nhũ tương. Lớp phủ cách điện mà thể hiện hiệu quả liên kết bằng cách gia nhiệt và/hoặc điều áp có thể được thực hiện. Lớp phủ cách điện có hiệu quả liên kết là, ví dụ, các nhựa trên cơ sở các acrylic, phenol, epoxy, và melamin.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Sau đây, các khía cạnh của sáng chế sẽ được mô tả cụ thể hơn bằng các ví dụ. Các phương án này là các ví dụ để xác nhận các hiệu quả của sáng chế, và không giới hạn sáng chế.

Bước sản xuất

Các bản có các thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 được chuẩn bị.

Bảng 1

Loại thép	Các thành phần hóa học (Đơn vị là % khối lượng và phần còn lại là Fe và các tạp chất)													
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Sn	Sb	Cr	Ni	Cu	Ca	REM
A	0,0012	3,2	0,6	0,01	0,0007	0,7	0,0018	-	-	-	-	-	-	-
B	0,0012	3,2	0,6	0,01	<u>0,0024</u>	0,7	0,0016	-	-	-	-	-	-	-
C	0,0011	3,5	0,4	0,04	0,0015	0,003	0,0023	-	-	-	-	-	-	-
D	0,0008	3,5	0,4	0,04	<u>0,0033</u>	0,004	0,0024	-	-	-	-	-	-	-
E	0,0016	3,1	1,0	0,02	0,0005	0,9	0,0014	0,04	-	-	-	-	-	-
F	0,0011	3,1	1,0	0,02	<u>0,0030</u>	0,9	0,0011	0,04	-	-	-	-	-	-
G	0,0007	3,3	2,1	0,01	0,0003	-	0,0014	-	-	-	-	0,6	-	-
H	0,0012	3,3	2,1	0,01	<u>0,0022</u>	-	0,0011	-	-	-	-	0,08	-	-
I	0,0013	3,1	0,2	0,01	0,0013	0,3	0,0014	-	-	-	-	-	0,002	-
J	0,0014	3,1	0,2	0,01	<u>0,0024</u>	0,3	0,0011	-	-	-	-	-	0,004	-
K	0,0091	3,1	0,2	0,01	0,0014	0,3	0,0012	-	-	-	-	-	-	-
L	0,0015	4,8	0,1	0,01	0,0011	0,002	0,0013	-	-	-	-	-	-	-
M	0,0019	3,2	0,2	0,01	0,0012	0,6	0,0012	-	0,012	-	-	-	-	-
N	0,0017	3,2	0,2	0,01	0,0013	0,3	0,0011	-	-	0,7	-	-	-	-
O	0,0013	3,2	0,2	0,01	0,0012	0,6	0,0014	-	-	-	0,1	-	-	-

P	0,0015	3,2	0,2	0,01	0,0013	0,6	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003
Q	<u>0,0150</u>	3,2	0,2	0,01	0,0011	0,3	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	0,0013	<u>2,8</u>	0,2	0,01	0,0012	0,7	0,0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0,0011	3,2	<u>3,4</u>	0,01	0,0015	0,3	0,0013	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Các tấm thép được cán nóng có độ dày tấm là 2,2 mm được sản xuất bằng cách gia nhiệt các bản có các thành phần hóa học được thể hiện trong bảng 1 tại các nhiệt độ gia nhiệt bản được thể hiện trong bảng 2 và thực hiện cán nóng. Các nhiệt độ kết thúc FT (°C) và các nhiệt độ cuộn CT (°C) trong khi cán nóng là như được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2

Thứ nghiệm số	Loại thép	Điều kiện cán				Bước ủ cuối cùng	Sau bước ủ cuối cùng								Sau khi xử lý nhiệt bổ sung			Ghi chú	Thép theo sáng chế	Thép theo sáng chế	Thép theo sáng chế
		Điều kiện gia nhiệt bản (°C)	FT (°C)	CT (°C)	Độ dày tấm kết thúc (mm)		Nhiệt độ đạt được tối đa (°C)	Tỷ lệ diện tích cấu trúc tinh thể A (%)	Cỡ hạt trung bình cấu trúc tinh thể B (μm)	HvA HvB	HvA/ HvB	TS (MPa)	Độ cảm ứng từ BA (T)	Độ cảm ứng từ BB (T)	BB/BA (W/kg)	W _{10/400} (W/kg)					
1-1	A	1080	920	610	2,2	750	5	13	233	235	0,991	640	1,67	20,5	1,66	0,994	12,1				
1-2	A	1130	930	600	2,2	750	7	12	233	236	0,987	644	1,67	20,6	1,66	0,994	12,3				
1-3	A	1180	895	620	2,2	750	9	12	234	236	0,992	647	1,67	20,9	1,66	0,994	12,3				

1-4	A	1210	895	615	2,2	750	9	13	238	237	1,004	650	1,67	21,8	1,62	0,970	12,7	Thép so sánh
1-5	A	1240	905	620	2,2	750	15	14	239	236	1,013	650	1,67	22,3	1,61	0,964	13,1	Thép so sánh
1-6	A	1150	910	605	2,2	810	0	20	-	231	-	590	1,67	19,9	1,66	0,994	12,3	Thép so sánh
1-7	B	1080	905	610	2,2	750	7	13	235	239	0,983	660	1,66	20,6	1,66	1,000	12,6	Thép so sánh
1-8	B	1130	915	630	2,2	750	7	14	236	239	0,987	655	1,66	20,6	1,66	1,000	12,6	Thép so sánh
1-9	B	1180	920	630	2,2	750	8	12	236	239	0,987	654	1,66	20,7	1,65	0,994	12,8	Thép so sánh
1-10	B	1210	895	605	2,2	750	11	12	240	238	1,008	657	1,66	21,9	1,61	0,970	13,1	Thép so sánh
1-11	B	1240	910	620	2,2	750	16	12	242	239	1,013	658	1,66	22,7	1,60	0,964	13,2	Thép so sánh
1-12	B	1150	920	630	2,2	810	0	20	-	230	-	593	1,66	19,7	1,65	0,994	13,1	Thép so sánh
1-13	G	1150	895	620	2,2	750	19	10	257	261	0,985	695	1,66	18,8	1,67	1,006	12,4	Thép theo sáng chế
1-14	H	1150	905	620	2,2	750	21	9	258	263	0,981	677	1,67	18,5	1,62	0,970	12,7	Thép so sánh

1-15	I	1150	900	630	2,2	740	19	16	227	230	0,987	647	1,67	18,9	1,69	1,012	11,9	Thép theo sáng chế
1-16	J	1150	900	615	2,2	740	24	14	229	232	0,987	647	1,67	18,9	1,63	0,976	12,6	Thép so sánh
1-17	K	1160	900	600	2,2	750	8	14	230	233	0,987	649	1,67	22,5	1,66	0,994	12,5	Thép theo sáng chế
1-18	L	1160	920	600	2,2	750	15	14	256	258	0,992	756	1,65	19,8	1,65	1,000	11,6	Thép theo sáng chế
1-19	M	1170	890	600	2,2	750	10	13	236	237	0,996	645	1,66	21,5	1,65	0,994	12,1	Thép theo sáng chế
1-20	N	1170	890	610	2,2	750	18	14	239	241	0,992	651	1,65	21,4	1,65	1,000	12,3	Thép theo sáng chế
1-21	O	1170	890	600	2,2	750	10	14	237	239	0,992	645	1,66	21,5	1,65	0,994	12,1	Thép theo sáng chế
1-22	P	1170	900	600	2,2	750	7	14	229	232	0,987	646	1,66	21,6	1,65	0,994	12,2	Thép theo sáng chế
1-23	A	1080	920	610	2,2	750	2	13	233	235	0,991	650	1,67	20,5	1,65	0,988	12,2	Thép theo sáng chế
1-24	Q	1170	900	620	2,2	750	8	14	228	230	0,991	642	1,66	23,5	1,63	0,982	14,5	Thép so sánh
1-25	R	1170	900	600	2,2	750	10	14	205	206	0,995	580	1,68	21,1	1,66	0,988	12,2	Thép so sánh

1-26	S	1160	900	550	2,2	750	1	12	224	224	1,000	642	1,66	22,5	1,62	0,976	16,5	Thép so sánh
------	---	------	-----	-----	-----	-----	---	----	-----	-----	-------	-----	------	------	------	-------	------	-----------------

Việc ủ tấm cán nóng được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng được sản xuất. Trong việc ủ tấm cán nóng, các tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ trong khoảng nhiệt độ từ 750 đến 850°C là 50°C/giây trong các thử nghiệm số bất kỳ. Hơn nữa, các nhiệt độ đạt được tối đa là 900°C, và các thời gian giữ là 2 phút.

Các tấm thép trung gian được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nguội đối với các thử nghiệm số 1-1 đến 1-22 và các thử nghiệm số 1-24 đến 1-26 và cán ấm cho 200°C trong thử nghiệm số 1-23, đối với các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng. Các độ giảm cán trong việc cán nguội là 88% trong các thử nghiệm số bất kỳ. Các tấm thép trung gian (các tấm thép được cán nguội) có độ dày tấm là 0,27 mm được sản xuất bằng bước nêu trên.

Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên các tấm thép trung gian. Các nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng là như được thể hiện trong bảng 2, và các thời gian giữ là 30 giây trong các thử nghiệm số bất kỳ. Ngoài ra, các tốc độ làm nguội trung bình $CR_{700-500}$ trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là 100°C/giây trong các thử nghiệm số bất kỳ.

Các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng được phủ bằng các màng cách điện đã biết chứa các hợp chất vô cơ trên cơ sở axit phosphoric và hợp chất hữu cơ trên cơ sở epoxy. Các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số tương ứng được sản xuất bằng bước nêu trên. Kết quả của phép phân tích kiểm tra các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các thành phần hóa học là như được thể hiện trong bảng 1.

Thử nghiệm đánh giá

Các thử nghiệm đánh giá tiếp theo được thực hiện trên các tấm thép điện không định hướng được sản xuất của các thử nghiệm số tương ứng.

Thử nghiệm đánh giá đối với tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng

Thử nghiệm phép đo cấu trúc tinh thể

Các ví dụ bao gồm các phần mặt cắt ngang song song với các bề mặt được cán của các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng của các thử nghiệm số tương ứng được lấy. Các phần mặt cắt ngang nêu trên được xác định như các phần mặt cắt ngang tại các vị trí 1/4 độ rộng của các độ dày tấm theo hướng độ dày tấm từ các bề mặt. Các bề mặt mẫu tương đương với các phần mặt cắt ngang được xác định như các bề mặt quan sát.

Sau khi các bề mặt quan sát của các ví dụ được điều chỉnh bằng cách đánh bóng điện phân, việc phân tích cấu trúc tinh thể sử dụng phương pháp nhiễu xạ tán xạ ngược tia electron (EBSD) được thực hiện. Bằng cách phân tích EBSD, các biên của các bề mặt quan sát trong đó sự sai khác định hướng tinh thể là 15° hoặc lớn hơn được xác định là các biên hạt, mỗi vùng được bao xung quanh bởi mỗi biên hạt được xác định là một hạt tinh thể, và các vùng (các vùng quan sát) bao gồm 10000 hoặc lớn hơn các hạt tinh thể được xác định như các vùng quan sát. Trong các vùng quan sát, đường kính (đường kính tròn tương đương) của vòng có diện tích tương đương với diện tích của mỗi hạt tinh thể được xác định là cỡ hạt của mỗi hạt tinh thể.

Vùng cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn được xác định là cấu trúc tinh thể A, và tỷ lệ diện tích (%) của nó được thu. Ngoài ra, vùng cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là nhỏ hơn 100 μm được xác định là cấu trúc tinh thể B, và kích cỡ hạt tinh thể trung bình (μm) của nó được thu. Các phép đo này được thu bằng cách phân tích ảnh của các vùng quan sát.

Độ cứng của cấu trúc tinh thể

Các thử nghiệm độ cứng Vickers theo JIS Z 2244 (2009) được thực hiện

tại hai mươi điểm bất kỳ bên trong vùng của cấu trúc tinh thể A. Lực thử nghiệm (tải) là 50 g. Giá trị trung bình của các độ cứng Vickers thu được được xác định là độ cứng HvA của cấu trúc tinh thể A.

Một cách tương tự, các thử nghiệm độ cứng Vickers theo JIS Z 2244 (2009) được thực hiện tại hai mươi điểm bất kỳ bên trong vùng của cấu trúc tinh thể B. Lực thử nghiệm là 50 g. Giá trị trung bình của các độ cứng Vickers thu được được xác định là độ cứng HvB của cấu trúc tinh thể B.

Thử nghiệm kéo

Các mẫu thử nghiệm kéo JIS No. 5 được xác định trong JIS Z 2241 (2011) được làm từ các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số tương ứng. Các phần song song của các mẫu thử nghiệm kéo là song song với hướng cán của các tấm thép điện không định hướng. Sử dụng các mẫu thử nghiệm kéo được tạo ra, các thử nghiệm kéo được thực hiện ở nhiệt độ bình thường trong môi trường theo JIS Z 2241 (2011), và các độ bền kéo TS (MPa) được thu.

Thử nghiệm đánh giá đặc tính từ

Các mẫu thử nghiệm Epstein, mà được cắt ra theo hướng cán (hướng L) và hướng vuông góc với hướng cán (hướng C), một cách tương ứng, từ các tấm thép điện không định hướng theo JIS C 2550-1 (2011) của các thử nghiệm số tương ứng, được chuẩn bị. Các đặc tính từ (độ cảm ứng từ B_{50} và tổn hao sắt $W_{10/400}$) được thu bằng cách thực hiện các phương pháp thử nghiệm bằng thép điện theo JIS C 2550-1 (2011) và 2550-3 (2011) trên các mẫu thử nghiệm Epstein. Độ cảm ứng từ B_{50} thu được bằng thử nghiệm chính trước khi xử lý nhiệt bổ sung được xác định là độ cảm ứng từ $BA(T)$.

Thử nghiệm đánh giá đặc tính từ trong tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung

Các mẫu thử nghiệm Epstein, mà được cắt ra theo hướng cán (hướng L) và hướng vuông góc với hướng cán (hướng C), một cách tương ứng, từ các tấm thép điện không định hướng theo JIS C 2550-1 (2011) của các thử nghiệm số tương ứng, được chuẩn bị. Xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện trên các mẫu thử nghiệm Epstein trong môi trường nitơ, với tốc độ gia nhiệt là 100°C/giờ, nhiệt độ đạt được tối đa là 800°C, và thời gian duy trì tại nhiệt độ đạt được tối đa là 800°C là 2 giờ.

Các đặc tính từ (độ cảm ứng từ B_{50} và tổn hao sắt $W_{10/400}$) được thu theo JIS C 2550-1 (2011) và 2550-3 (2011) trên các mẫu thử nghiệm Epstein của sau khi xử lý nhiệt bổ sung. Độ cảm ứng từ B_{50} thu được bằng thử nghiệm chính sau khi xử lý nhiệt bổ sung được xác định là độ cảm ứng từ BB(T).

Kết quả thử nghiệm

Các kết quả thu được bằng thử nghiệm đánh giá nêu trên được thử nghiệm trong bảng 2.

Các thành phần hóa học của các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số 1-1 đến 1-3, 1-13, 1-15, và 1-17 đến 1-23 là phù hợp, và các điều kiện sản xuất cũng là phù hợp. Kết quả là, các tỷ lệ diện tích của các cấu trúc tinh thể A là 1 đến 30%, và các cỡ hạt trung bình của các cấu trúc tinh thể B là 25 μm hoặc nhỏ hơn. Hơn nữa, các tỷ lệ (HvA/HvB) của độ cứng HvA của mỗi cấu trúc tinh thể A tới các độ cứng HvB của mỗi cấu trúc tinh thể B là 1,000 hoặc nhỏ hơn. Các độ bền kéo TS là 600 MPa hoặc lớn hơn, và độ cứng ưu việt được thể hiện.

Hơn nữa, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là 1,65T hoặc lớn hơn, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ là nhỏ hơn 12,5 W/kg, và các đặc tính từ mỹ mãn được thu. Hơn nữa, tỷ lệ (BB/BA) của mỗi độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung với mỗi độ cảm ứng từ BA trong khi xử lý nhiệt bổ sung là

0,980 hoặc lớn hơn, và sự suy giảm về độ cảm ứng từ được giới hạn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung.

Trong đó, các nhiệt độ gia nhiệt bản là quá cao trong các thử nghiệm số 1-4 và 1-5. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Trong các thử nghiệm số 1-6, thành phần hóa học là phù hợp và các nhiệt độ gia nhiệt bản cũng là phù hợp. Tuy nhiên, nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng vượt quá 800°C. Vì lý do này, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A trở thành nhỏ hơn 1%, và độ bền kéo TS là thấp tới nhỏ hơn 600 MPa.

Các hàm lượng S đều là quá cao trong các thử nghiệm số 1-7 đến 1-12, 1-14, và 1-16. Vì lý do này, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ là lớn hơn so với 12,5 W/kg. Các nhiệt độ gia nhiệt bản cũng là quá cao các thử nghiệm số 1-10 và 1-11. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Trong các thử nghiệm số 1-24, hàm lượng C là nằm ngoài khoảng của sáng chế. Kết quả là, độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và tổn hao sắt $W_{10/400}$ là lớn hơn so với 12,5 W/kg.

Trong các thử nghiệm số 1-25, hàm lượng Si là nằm ngoài khoảng của sáng chế. Kết quả là, sự tăng bền cao đầy đủ không thể đạt được.

Trong các thử nghiệm số 1-26, hàm lượng Mn là nằm ngoài khoảng của sáng chế. Kết quả là, độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, tổn hao sắt $W_{10/400}$ là lớn hơn so với 12,5 W/kg, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Ví dụ 2

Các bản của các loại thép A, B, C, và D trong bảng 1 được chuẩn bị. Các tấm thép được cán nóng được sản xuất bằng cách gia nhiệt các bản được chuẩn bị ở nhiệt độ gia nhiệt bản là 1120°C và thực hiện việc cán nóng. Các nhiệt độ kết thúc FT trong khi cán nóng là từ 890 đến 920°C, và các nhiệt độ cuộn CT là từ 590 tới 630°C.

Việc ủ tấm cán nóng được thực hiện trong các điều kiện được thể hiện trong bảng 3 trên các tấm thép được cán nóng được sản xuất. Các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng được thực hiện được tẩy gỉ. Các tấm thép trung gian (các tấm thép được cán nguội) có độ dày tấm là 0,27 mm được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nguội ở mức giảm cán là 88% trên các tấm thép được cán nóng sau việc tẩy gỉ.

Ngoài ra, các ví dụ được lựa chọn từ các phần của các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng, các vi cấu trúc đã được quan sát trong các phần mặt cắt ngang vuông góc với hướng cán, và các tỷ lệ kết tinh lại và các cỡ hạt trung bình của các hạt được kết tinh lại đã được quan sát.

Cụ thể là, mỗi tỷ lệ kết tinh lại được xác định bằng tỷ lệ của phần ngoại trừ vùng xuất hiện màu đen bằng sự khắc ăn mòn natal khi mỗi cấu trúc hiển vi quang học đã được quan sát. Ngoài ra, đối với cỡ hạt trung bình của các hạt được kết tinh lại, thu được bằng cách đo độ dài đoạn trung bình bằng phương pháp phân đoạn, sử dụng ảnh vi cấu trúc trong đó tất cả các độ dài nằm bên trong trường nhìn, và nhân độ dài đoạn trung bình được đo với 1,13 được xác định là cỡ hạt. Trong trường hợp đó, các phân đoạn được tạo ra song song với hướng độ dày tấm, và số lượng các phân đoạn được xác định sao cho số lượng các điểm ở đó các biên hạt và các phân đoạn giao nhau vượt quá 200.

Kết quả là, trong các thử nghiệm số 2-3, 2-4, và 2-12, các tỷ lệ kết tinh lại là 95% hoặc lớn hơn, và các cỡ hạt trung bình của các hạt được kết tinh lại là

lớn hơn 50 μm . Ngược lại, trong các thử nghiệm số 2-1, tỷ lệ kết tinh lại là 93%.

Bảng 3

Thứ nghị số	Loại thép	Điều kiện ủ tấm cán		Bước ủ cuối cùng	Sau bước ủ cuối cùng								Sau khi xử lý nhiệt bổ sung			Ghi chú	
		HR ₇₅₀₋₈₅₀ (°C/giây)	Nhiệt độ đạt được tối đa (°C)	Thời gian giữ (min)	Nhiệt độ đạt được tối đa (°C)	Tỷ lệ diện tích cấu trúc tinh thể A	Cỡ hạt trung bình cấu trúc tinh thể B	HvA	HvB	HvA/HvB	TS (MPa)	Độ cảm ứng từ BA (T)	Độ cảm ứng từ BB (T)	BB/BA	W _{10/400} (W/kg)		
						(%)	(μm)										
2-1	A	20	980	0,5	750	8	14	239	238	1,004	635	1,67	21,5	1,62	0,970	12,8	Thép so sánh
2-2	A	40	980	0,5	750	7	14	240	238	1,008	638	1,67	21,6	1,61	0,964	12,6	Thép so sánh

2-3	A	60	980	0,5	750	2	12	234	238	0,983	642	1,67	20,4	1,66	0,994	12,1	Thép theo sáng chế
2-4	A	80	980	0,5	750	3	13	234	238	0,983	645	1,67	20,3	1,65	0,988	12,0	Thép theo sáng chế
2-5	A	50	980	0,5	840	0	26	-	233	-	587	1,67	19,4	1,66	0,994	12,5	Thép so sánh
2-6	B	20	980	0,5	750	9	13	242	238	1,017	636	1,67	22,1	1,62	0,970	12,7	Thép so sánh
2-7	B	40	980	0,5	750	6	13	241	238	1,013	637	1,67	21,8	1,62	0,970	12,9	Thép so sánh
2-8	B	60	980	0,5	750	2	13	236	238	0,992	645	1,67	20,7	1,66	0,994	12,6	Thép so sánh
2-9	B	80	980	0,5	750	2	12	235	238	0,987	649	1,67	20,6	1,65	0,988	12,5	Thép so sánh
2-10	B	50	980	0,5	840	0	27	-	233	-	576	1,67	19,3	1,66	0,994	12,7	Thép so sánh
2-11	C	30	980	0,5	750	10	13	240	238	1,008	642	1,66	21,5	1,61	0,970	13,2	Thép so sánh

2-12	C	70	980	0,5	750	2	14	236	238	0,992	640	1,66	20,8	1,65	0,994	12,3	Thép theo sáng chế
2-13	D	30	980	0,5	750	8	13	240	238	1,008	639	1,66	21,4	1,60	0,964	13,5	Thép so sánh
2-14	D	70	980	0,5	750	3	13	235	238	0,987	638	1,65	20,6	1,64	0,994	13,6	Thép so sánh
2-15	A	60	980	0,5	840	1	26	234	234	1,000	585	1,67	19,2	1,66	0,994	12,4	Thép so sánh

Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên các tấm thép trung gian. Các nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng là như được thể hiện trong bảng 3. Tất cả các thời gian giữ là 30 giây. Tất cả các tốc độ làm mát trung bình CR₇₀₀₋₅₀₀ là 100°C/giây.

Các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng được phủ bằng các màng cách điện đã biết chứa các hợp chất vô cơ trên cơ sở axit phosphoric và hợp chất hữu cơ trên cơ sở epoxy. Các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số tương ứng được sản xuất bằng bước nêu trên. Kết quả của phép phân tích kiểm tra, các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các thành phần hóa học là như được thể hiện trong bảng 1.

Thử nghiệm đánh giá

Đối với các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các tỷ lệ diện tích (%) của các cấu trúc tinh thể A, các kích cỡ hạt tinh thể trung bình (μm) của các cấu trúc tinh thể B, các độ cứng Vickers HvA của các cấu trúc tinh thể A, các độ cứng Vickers HvB của các cấu trúc tinh thể B, các độ bền kéo TS (MPa), và các độ cảm ứng từ BA và các tổn hao sắt $W_{10/400}$ trước khi xử lý nhiệt bổ sung được thu bằng cùng phương pháp như của ví dụ 1.

Hơn nữa, các đặc tính từ (các độ cảm ứng từ BB và các tổn hao sắt $W_{10/400}$) của các tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung được thu bằng cùng phương pháp như của ví dụ 1.

Kết quả thử nghiệm

Các kết quả thu được được thể hiện trong bảng 3.

Các thành phần hóa học của các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số 2-3, 2-4, và 2-12 là phù hợp, và các điều kiện sản xuất cũng là phù hợp. Kết quả là, các tỷ lệ diện tích của các cấu trúc tinh thể A là từ 1 đến

30%, và các cỡ hạt trung bình của các cấu trúc tinh thể B là 25 μm hoặc nhỏ hơn. Hơn nữa, các tỷ lệ (HvA/HvB) của độ cứng HvA của mỗi cấu trúc tinh thể A với các độ cứng HvB của mỗi cấu trúc tinh thể B là 1,000 hoặc nhỏ hơn. Vì lý do này, các độ bền kéo TS là 600 MPa hoặc lớn hơn, và độ cứng ưu việt được thể hiện.

Hơn nữa, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là 1,65T hoặc lớn hơn, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ là nhỏ hơn 12,5 W/kg, và các đặc tính từ mỹ mãn được thu. Hơn nữa, tỷ lệ (BB/BA) của mỗi độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung với mỗi độ cảm ứng từ BA trong khi xử lý nhiệt bổ sung là 0,980 hoặc lớn hơn, và sự suy giảm về độ cảm ứng từ được giới hạn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung.

Trong đó, trong các thử nghiệm số 2-1, 2-2, và 2-11, các tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ là nhỏ hơn 50°C/giây. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Trong các thử nghiệm số 2-5, nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng vượt quá 800°C. Vì lý do này, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A trở thành nhỏ hơn 1%, và độ bền kéo TS là thấp tới nhỏ hơn 600 MPa.

Hàm lượng S là cao trong các thử nghiệm số 2-6 đến 2-10, 2-13, và 2-14. Vì lý do này, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ là 12,5 W/kg hoặc lớn hơn. Hơn nữa, trong các thử nghiệm số 2-6 và 2-7, các tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ là nhỏ hơn 50°C/giây. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Hơn nữa, trong các thử nghiệm số 2-11, tốc độ gia nhiệt trung bình HR_{750-}

$_{850}$ là nhỏ hơn $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Vì lý do này, tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Trong các thử nghiệm số 2-15, nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng vượt quá 800°C . Vì lý do này, cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B trở nên lớn hơn so với $25\text{ }\mu\text{m}$, và độ bền kéo TS là thấp tới nhỏ hơn 600 MPa.

Ví dụ 3

Các bản của thép các loại từ C đến F trong bảng 1 được chuẩn bị. Các tấm thép được cán nóng được sản xuất bằng cách gia nhiệt các bản được chuẩn bị ở nhiệt độ gia nhiệt bản là 1180°C và thực hiện việc cán nóng. Các nhiệt độ kết thúc FT trong khi cán nóng là từ 890 đến 920°C , và các nhiệt độ cuộn CT là từ 590 tới 630°C .

Việc ủ tấm cán nóng được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng được sản xuất. trong việc ủ tấm cán nóng, các tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ trong khoảng nhiệt độ từ 750 đến 850°C là $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$ trong các thử nghiệm số bất kỳ. Hơn nữa, các nhiệt độ đạt được tối đa là 900°C , và các thời gian duy trì là 2 phút.

Các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng được thực hiện được tẩy gỉ. Các tấm thép trung gian (các tấm thép được cán nguội) có độ dày tấm là $0,25\text{ mm}$ được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nguội ở mức giảm cán là 87% trên các tấm thép được cán nóng sau việc tẩy gỉ.

Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên các tấm thép trung gian. Các nhiệt độ ủ (các nhiệt độ đạt được tối đa), các thời gian giữ, và các tốc độ làm nguội trung bình $CR_{700-500}$ trong bước ủ cuối cùng là như được thể hiện trong bảng 4.

Các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng được phủ bằng các màng cách điện đã biết chứa các hợp chất vô cơ trên cơ sở axit

phosphoric và hợp chất hữu cơ trên cơ sở epoxy. Các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số tương ứng được sản xuất bằng bước nêu trên. Kết quả của phép phân tích kiểm tra các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các thành phần hóa học là như được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 4

Thứ nghiệm số	Loại thép	Điều kiện bước ủ cuối cùng			Sau bước ủ cuối cùng							Sau khi xử lý nhiệt bổ sung			Ghi chú
		Nhiệt độ đạt được tối đa (°C)	Thời gian giữ (min)	CR ₇₀₀₋₅₀₀ (°C/s)	Tỷ lệ diện tích cấu trúc tinh thể A (%)	Cỡ hạt trung bình cấu trúc tinh thể B (μm)	HvA	HvB	HvA/ HvB	TS (MPa)	Độ cảm ứng từ BA (T)	Độ cảm ứng từ BB (T)	BB/ BA	W _{10/400} (W/kg)	
3-1	C	750	0,5	20	8	12	237	236	1,004	648	1,66	19,3	0,970	10,7	Thép so sánh
3-2	C	750	0,5	40	8	13	238	237	1,004	649	1,66	19,3	0,964	10,8	Thép so sánh
3-3	C	750	0,5	70	4	13	232	236	0,983	648	1,66	18,3	0,994	9,6	Thép theo sáng chế
3-4	C	750	0,5	110	3	13	233	236	0,987	646	1,66	18,4	0,994	9,7	Thép theo sáng chế
3-5	C	830	0,5	50	0	21	-	230	-	595	1,66	17,5	0,994	10,6	Thép so sánh
3-6	D	750	0,5	20	9	12	241	237	1,017	647	1,66	19,8	0,970	10,9	Thép so sánh

3-7	D	750	0,5	40	10	13	240	237	1,013	648	1,66	19,7	1,61	0,970	11,1	Thép so sánh
3-8	D	750	0,5	70	2	13	235	237	0,992	646	1,66	18,5	1,65	0,994	11,1	Thép so sánh
3-9	D	750	0,5	110	3	13	234	237	0,987	648	1,66	18,4	1,65	0,994	11,1	Thép so sánh
3-10	D	830	0,5	50	0	22	-	229	-	593	1,66	17,6	1,65	0,994	11,2	Thép so sánh
3-11	E	750	0,5	40	7	14	242	238	1,017	645	1,66	19,9	1,59	0,958	10,6	Thép so sánh
3-12	E	750	0,5	80	3	14	235	238	0,987	646	1,66	18,3	1,65	0,994	9,8	Thép theo sáng chế
3-13	F	750	0,5	40	7	13	241	236	1,021	645	1,66	20,2	1,60	0,964	11,1	Thép so sánh
3-14	F	750	0,5	80	2	13	233	237	0,983	645	1,65	18,2	1,64	0,994	11,2	Thép so sánh

Thử nghiệm đánh giá

Đối với các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các tỷ lệ diện tích (%) của các cấu trúc tinh thể A, các kích cỡ hạt tinh thể trung bình (μm) của các cấu trúc tinh thể B, các độ cứng Vickers HvA của các cấu trúc tinh thể A, các độ cứng Vickers HvB của các cấu trúc tinh thể B, các độ bền kéo TS (MPa), và các độ cảm ứng từ BA và các tổn hao sắt $W_{10/400}$ trước khi xử lý nhiệt bổ sung được thu bằng cùng phương pháp như trong ví dụ 1.

Hơn nữa, các đặc tính từ (các độ cảm ứng từ BB và các tổn hao sắt $W_{10/400}$) của các tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung được thu bằng cùng phương pháp như trong ví dụ 1.

Kết quả thử nghiệm

Các kết quả thu được được thể hiện trong bảng 4.

Các thành phần hóa học của các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số 3-3, 3-4, và 3-12 là phù hợp, và các điều kiện sản xuất cũng là phù hợp. Kết quả là, các tỷ lệ diện tích của các cấu trúc tinh thể A là 1 đến 30%, và các cỡ hạt trung bình của các cấu trúc tinh thể B là 25 μm hoặc nhỏ hơn. Hơn nữa, các tỷ lệ (HvA/HvB) của độ cứng HvA của mỗi cấu trúc tinh thể A với các độ cứng HvB của mỗi cấu trúc tinh thể B là 1,000 hoặc nhỏ hơn. Vì lý do này, các độ bền kéo TS là 600 MPa hoặc lớn hơn và độ cứng ưu việt được thể hiện.

Hơn nữa, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là 1,65T hoặc lớn hơn, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ là 10,0 W/kg hoặc nhỏ hơn, và các đặc tính từ mỹ mãn được thu. Hơn nữa, tỷ lệ (BB/BA) của mỗi độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung với mỗi độ cảm ứng từ BA trong khi xử lý nhiệt bổ sung là 0,980 hoặc lớn hơn, và sự suy giảm về độ cảm ứng từ được giới hạn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung.

Trong đó, trong các thử nghiệm số 3-1, 3-2, và 3-11, các thành phần hóa học là phù hợp, nhưng các tốc độ làm nguội trung bình $CR_{700-500}$ là nhỏ hơn $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980. Ngoài ra, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ giảm đến chỉ tới giá trị lớn hơn $10,0 \text{ W/kg}$, và các hiệu quả của xử lý nhiệt bổ sung không được thể hiện một cách đầy đủ.

Trong các thử nghiệm số 3-5, nhiệt độ đạt được tối đa trong bước ủ cuối cùng vượt quá 800°C . Vì lý do này, tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A trở thành nhỏ hơn 1%, và độ bền kéo TS là thấp tới nhỏ hơn 600 MPa.

Các hàm lượng S là cao trong các thử nghiệm số 3-6 đến 3-10, 3-13, và 3-14. Vì lý do này, các tổn hao sắt $W_{10/400}$ vượt quá $10,0 \text{ W/kg}$.

Hơn nữa, trong các thử nghiệm số 3-6, 3-7, và 3-13, các tốc độ làm nguội trung bình $CR_{700-500}$ là nhỏ hơn $50^{\circ}\text{C}/\text{giây}$. Vì lý do này, các tỷ lệ độ cứng HvA/HvB vượt quá 1,000. Kết quả là, các độ cảm ứng từ BB sau khi xử lý nhiệt bổ sung là thấp tới nhỏ hơn 1,65T, và BB/BA cũng trở thành nhỏ hơn 0,980.

Ví dụ 4

Các bản của thép loại A trong bảng 1 được chuẩn bị. Trong các thử nghiệm số 4-1 đến 4-5, các tấm thép được cán nóng được sản xuất bằng cách gia nhiệt các bản được chuẩn bị ở nhiệt độ gia nhiệt bản là 1180°C và thực hiện việc cán nóng. Mặt khác, trong các thử nghiệm số 4-6 đến 4-9, các nhiệt độ gia nhiệt bản là 1240°C và vượt quá 1200°C .

Trong các thử nghiệm số bất kỳ, các nhiệt độ kết thúc FT trong khi cán nóng là từ 890 đến 920°C , và các nhiệt độ cuộn CT là 590 tới 630°C .

Việc ủ tấm cán nóng được thực hiện trên các tấm thép được cán nóng

được sản xuất. Trong việc ủ tấm cán nóng, các tốc độ gia nhiệt trung bình $HR_{750-850}$ trong khoảng nhiệt độ từ 750 đến 850°C là 60°C/giây trong các thử nghiệm số 4-1 đến 4-5 và là 30°C/giây trong các thử nghiệm số 4-6 đến 4-9. Hơn nữa, trong các thử nghiệm số bất kỳ, các nhiệt độ đạt được tối đa là 900°C, và các thời gian giữ là 2 phút.

Các tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng được thực hiện được tẩy gỉ. Các tấm thép trung gian (các tấm thép được cán nguội) có độ dày tấm là 0,25 mm được sản xuất bằng cách thực hiện việc cán nguội ở mức giảm cán là 87% trên các tấm thép được cán nóng sau việc tẩy gỉ.

Bước ủ cuối cùng được thực hiện trên các tấm thép trung gian. Trong bước ủ cuối cùng, các nhiệt độ đạt được tối đa của các thử nghiệm khác ngoại trừ thử nghiệm số 4-1 là 750°C, và nhiệt độ đạt được tối đa là 840° chỉ trong các thử nghiệm số 4-1. Ngoài ra, các thời gian giữ của các thử nghiệm số bất kỳ là 30 giây. Ngoài ra, tốc độ làm mát trung bình $CR_{700-500}$ trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là 100°C/giây trong các thử nghiệm số 4-1 đến 4-5 và là 40°C/giây trong các thử nghiệm số 4-6 đến 4-9.

Các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng được phủ bằng các màng cách điện đã biết chứa các hợp chất vô cơ trên cơ sở axit phosphoric và hợp chất hữu cơ trên cơ sở epoxy. Các tấm thép điện không định hướng của các thử nghiệm số tương ứng được sản xuất bằng bước nêu trên. Kết quả của phép phân tích kiểm tra các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các thành phần hóa học là như được thể hiện trong bảng 1.

Thử nghiệm đánh giá

Đối với các tấm thép điện không định hướng sau bước ủ cuối cùng, các tỷ lệ diện tích (%) của các cấu trúc tinh thể A, các kích cỡ hạt tinh thể trung bình (μm) của các cấu trúc tinh thể B, các độ cứng Vickers HvA của các cấu trúc

tinh thể A, các độ cứng Vickers HvB của các cấu trúc tinh thể B, các độ bền kéo TS (MPa), và các độ cảm ứng từ BA và các tổn hao sắt $W_{10/400}$ trước khi xử lý nhiệt bổ sung được thu bằng cùng phương pháp như trong ví dụ 1.

Thử nghiệm đánh giá đặc tính từ trong tấm thép điện không định hướng sau khi xử lý nhiệt bổ sung

Các mẫu thử nghiệm Epstein, mà được cắt ra theo hướng cán (hướng L) và hướng vuông góc với hướng cán (hướng C), một cách tương ứng, từ các tấm thép điện không định hướng theo JIS C 2550-1 (2011) của các thử nghiệm số tương ứng, được chuẩn bị. Xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện trên các mẫu thử nghiệm Epstein trong môi trường nitơ, tại các tốc độ gia nhiệt ($^{\circ}\text{C}/\text{giờ}$), các nhiệt độ đạt được tối đa ($^{\circ}\text{C}$), và các thời gian giữ (giờ) ở 800°C , mà được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5

Thử nghiệm số	Loại thép	Sau bước ủ cuối cùng							Điều kiện xử lý bổ sung			Sau khi xử lý nhiệt bổ sung			Ghi chú	
		Cấu trúc tinh thể A	Cỡ hạt trung bình cấu trúc tinh thể B (μm)	HvA	HvB	HvA/HvB	TS (MPa)	Độ cảm ứng từ BA (T)	W _{10/400} (W/kg)	Tốc độ gia nhiệt (°C/giờ)	Nhiệt độ đạt được tối đa (°C)	Thời gian giữ ở 800°C (giờ)	Độ cảm ứng từ BB (T)	BB/BA		W _{10/400} (W/kg)
4-1	A	0	26	-	235	-	576	1,67	17,6	100	800	2	1,66	0,994	10,1	Thép so sánh
4-2	A	10	14	234	238	0,983	645	1,67	18,7	50	800	2	1,65	0,988	9,2	Thép theo sáng chế
4-3										100	800	2	1,68	1,006	9,2	
4-4										500	800	2	1,67	1,000	9,2	
4-5									36000	800	800	2	1,66	0,994	9,4	
4-6	A	10	13	242	239	1,013	648	1,67	18,8	50	800	2	1,62	0,970	9,3	Thép so sánh
4-7										100	800	2	1,63	0,976	9,2	
4-8										500	800	2	1,63	0,976	9,3	
4-9									36000	800	800	2	1,66	0,994	9,4	

Các đặc tính từ (độ cảm ứng từ B_{50} và tổn hao sắt $W_{10/400}$) được thu bằng cách thực hiện các phương pháp thử nghiệm bằng thép điện theo JIS C 2550-1 (2011) và 2550-3 (2011) trên các mẫu thử nghiệm Epstein sau khi xử lý nhiệt bổ sung. Độ cảm ứng từ B_{50} thu được bằng thử nghiệm chính sau khi xử lý nhiệt bổ sung được xác định là độ cảm ứng từ $BB(T)$.

Kết quả thử nghiệm

Các kết quả thu được được thể hiện trong bảng 5.

Các thành phần hóa học của các tấm thép điện không định hướng như được ủ cuối cùng là các nguyên liệu đối với các thử nghiệm số 4-2 đến 4-5 là phù hợp, và các điều kiện sản xuất cũng là phù hợp. Kết quả là, các tỷ lệ diện tích của các cấu trúc tinh thể A là từ 1 đến 30%, và các cỡ hạt trung bình của các cấu trúc tinh thể B là 25 μm hoặc nhỏ hơn. Hơn nữa, các tỷ lệ (HvA/HvB) của độ cứng HvA của mỗi cấu trúc tinh thể A với các độ cứng HvB của mỗi cấu trúc tinh thể B là 1,000 hoặc nhỏ hơn. Các độ bền kéo TS là 600 MPa hoặc lớn hơn và độ cứng ưu việt được thể hiện.

Hơn nữa, các thử nghiệm số 4-3 đến 4-5 trong đó các nguyên liệu nêu trên được tiến hành xử lý nhiệt bổ sung trong các điều kiện thích hợp thể hiện rằng các độ cảm ứng từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung là có thể so sánh với các độ cảm ứng từ trước khi xử lý nhiệt bổ sung, hoặc có các đặc tính được cải thiện. Mặc dù thử nghiệm số 4-2 có tốc độ gia nhiệt của xử lý nhiệt bổ sung thấp hơn và độ cảm ứng từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung giảm so với các thử nghiệm số từ 4-3 đến 4-5 khác, BB/BA là 0,980 hoặc lớn hơn, và sự suy giảm về độ cảm ứng từ có thể được giới hạn đầy đủ.

Mặt khác, trong các tấm thép điện không định hướng mà là các vật liệu của các thử nghiệm số từ 4-6 đến 4-9 và là được ủ cuối cùng trong đó các điều

kiện sản xuất là không phù hợp, trong trường hợp trong đó xử lý nhiệt bổ sung được thực hiện tại tốc độ gia nhiệt chậm, sự suy giảm về độ cảm ứng từ sau khi xử lý nhiệt bổ sung là đáng kể, và BB/BA là nhỏ hơn 0,980. Từ các kết quả trên có thể thấy rằng, trong các nguyên liệu nêu trên, tốc độ gia nhiệt trong xử lý nhiệt bổ sung cần phải là như tốc độ gia nhiệt nhanh như bước ủ liên tục nhằm ngăn chặn sự suy giảm về độ cảm ứng từ, và sự suy giảm trong độ cảm ứng từ là không tránh khỏi trong việc ủ giảm ứng suất mà được thực hiện thực tế. Ngoài ra, trong tất cả các nguyên liệu, các tổn hao sắt giảm đến mức tương xứng với sự phát triển hạt và việc loại bỏ biến dạng bởi xử lý nhiệt bổ sung.

Theo trên, phương án của sáng chế đã được mô tả. Tuy nhiên, phương án được mô tả ở trên chỉ đơn thuần là các ví dụ để tiến hành sáng chế. Ngoài ra, sáng chế không bị giới hạn ở phương án nêu trên, và có thể được cải biến khác nhau và được tiến hành mà không chệch khỏi phạm vi của sáng chế.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Theo sáng chế, tấm thép điện không định hướng có độ bền cao và có các đặc tính từ mỹ mãn ngay cả sau khi xử lý nhiệt bổ sung, và phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng được thu. Tấm thép điện không định hướng của sáng chế có thể được áp dụng rộng rãi cho các ứng dụng yêu cầu độ bền cao và các đặc tính từ mỹ mãn. Cụ thể là, sáng chế là thích hợp cho các ứng dụng của các bộ phận mà có các động cơ dẫn động của các bộ tạo tuốc bin, các xe điện, và các xe lai, và các rôto của các máy quay tốc độ cao, chẳng hạn như các động cơ cho các công cụ máy, như các ví dụ điển hình, và có ứng suất lớn tác dụng lên đó. Ngoài ra, sáng chế là thích hợp cho các ứng dụng trong đó các nguyên liệu rôto và các nguyên liệu stato của các động cơ quay tốc độ cao được tạo ra từ cùng các tấm thép.

Đơn này hưởng quyền ưu tiên từ đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản số

2017-042547, nộp ngày 07/03/2017, nội dung của đơn ưu tiên được kết hợp ở đây bằng cách viện dẫn.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng bao gồm, làm thành phần hóa học, tính theo % khối lượng:

C: 0,0100% hoặc nhỏ hơn;

Si: lớn hơn 3,0% và 5,0% hoặc nhỏ hơn;

Mn: 0,1 đến 3,0%;

P: 0,20% hoặc nhỏ hơn;

S: 0,0018% hoặc nhỏ hơn;

N: 0,0040% hoặc nhỏ hơn;

Al: 0 đến 0,9%;

một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0 đến 0,100%;

Cr: 0 đến 5,0%;

Ni: 0 đến 5,0%;

Cu: 0 đến 5,0%;

Ca: 0 đến 0,01%;

các nguyên tố đất hiếm (REM): 0 đến 0,010%; và

phần còn lại bao gồm Fe và các tạp chất,

trong đó tỷ lệ diện tích của cấu trúc tinh thể A cấu thành từ các hạt tinh thể có cỡ hạt là 100 μm hoặc lớn hơn trong phần mặt cắt ngang song song với bề mặt được cán của tấm thép điện không định hướng là từ 1 đến 30%,

trong đó cỡ hạt trung bình của cấu trúc tinh thể B mà là cấu trúc tinh thể khác cấu trúc tinh thể A là 25 μm hoặc nhỏ hơn, và

trong đó độ cứng Vickers HvA của cấu trúc tinh thể A và độ cứng Vickers HvB của cấu trúc tinh thể B thỏa mãn biểu thức (1):

$$HvA/HvB \leq 1,000 \quad (1)$$

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

trong đó thành phần hóa học chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm:

Al: 0,0001 đến 0,9%;

một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm Sn và Sb: 0,005 đến 0,100%;

Cr: 0,5 đến 5,0%;

Ni: 0,05 đến 5,0%;

Cu: 0,5 đến 5,0%;

Ca: 0,0010 đến 0,0100%; và

các nguyên tố đất hiếm (REM): 0,0020 đến 0,0100% hoặc nhỏ hơn.

3. Phương pháp sản xuất tấm thép điện không định hướng theo điểm 1, bao gồm các bước:

thực hiện cán nóng để sản xuất tấm thép được cán nóng sau khi bản có thành phần hóa học theo điểm 1 được gia nhiệt từ 1000 đến 1200°C;

thực hiện việc ủ tấm cán nóng với tốc độ gia nhiệt trung bình ở từ 750 đến 850°C là 50°C/giây hoặc cao hơn và nhiệt độ đạt được tối đa là từ 900 đến 1150°C, trên tấm thép được cán nóng;

thực hiện việc cán nguội hoặc cán ấm ở mức giảm cán là 83% hoặc lớn hơn trên tấm thép được cán nóng sau khi ủ tấm cán nóng, để sản xuất tấm thép trung gian; và

thực hiện bước ủ cuối cùng với nhiệt độ đạt được tối đa là từ 700 đến 800°C và tốc độ làm mát trung bình trong khoảng nhiệt độ từ 700 đến 500°C là 50°C/giây hoặc cao hơn, trên tấm thép trung gian.