



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0043573

(51)^{2020.01} C22C 38/00; H01F 1/147; C22C 38/60; (13) B
C21D 8/12

(21) 1-2021-05673

(22) 20/03/2019

(86) PCT/JP2019/011833 20/03/2019

(87) WO2020/188812 A1 24/09/2020

(45) 25/02/2025 443

(43) 27/12/2021 405A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

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

(72) TAKAHASHI Masaru (JP); ICHIE Takeru (JP); MURAKAWA Tesshu (JP);
MATSUI Shinichi (JP); MURAKAMI Fuminobu (JP).

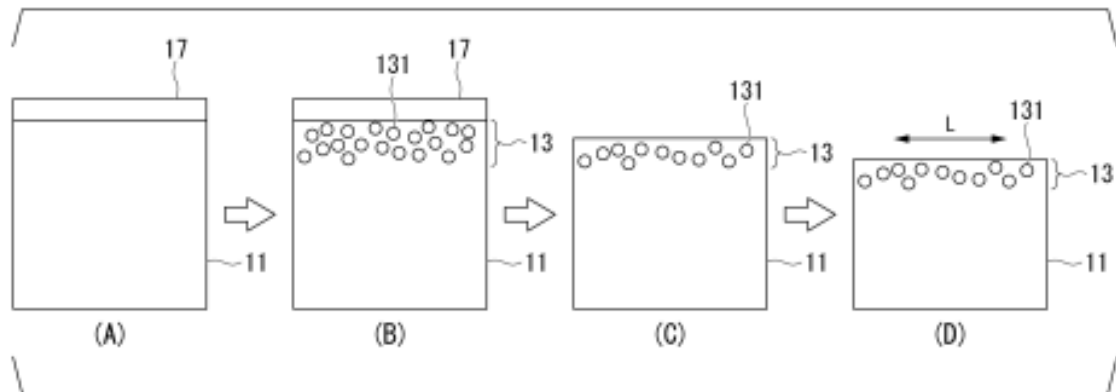
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) TẤM THÉP ĐIỆN KHÔNG ĐỊNH HƯỚNG

(21) 1-2021-05673

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện. Tấm thép silic bao gồm lớp oxy hóa bên trong chứa SiO_2 trên bề mặt của chúng, độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 0,10 đến 5,0 μm , và độ cứng Vickers của lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 1,15 đến 1,5 lần so với độ cứng Vickers ở vùng trung tâm độ dày.

FIG. 3



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tấm thép điện không định hướng chủ yếu được sử dụng cho các vật liệu lõi đối với thiết bị điện và có độ bền mỏi và các đặc tính từ rất tốt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, trong lĩnh vực thiết bị điện, đặc biệt là các máy điện quay, các máy biến áp kích thước nhỏ và trung bình, các linh kiện điện, và thiết bị tương tự trong đó tấm thép điện không định hướng được sử dụng cho các vật liệu lõi của chúng, rất có nhu cầu tăng hiệu suất và giảm kích thước, vì phong trào bảo tồn môi trường toàn cầu được thể hiện bởi việc giảm điện năng toàn cầu, tiết kiệm năng lượng, giảm phát xạ CO₂, và tương tự. Theo tình hình xã hội, cần phải cải thiện đặc tính đối với tấm thép điện không định hướng.

Nói chung, động cơ bao gồm stato và rôto. Trong những năm gần đây, động cơ nam châm vĩnh cửu bên trong (interior permanent magnet motor, IPM) (dưới đây, được gọi là “động cơ IPM”) trong đó các nam châm vĩnh cửu được chứa bên trong rôto chủ yếu được sử dụng làm động cơ dẫn động cho các xe chạy bằng điện, các xe hybrid chạy bằng điện, và phương tiện tương tự, và sự phát triển công nghệ của chúng được tiến hành để đạt hiệu quả cao hơn, công suất cao hơn, tốc độ quay cao hơn, và kích thước nhỏ hơn.

Để cải thiện hiệu suất của động cơ IPM, cần đưa stato lại gần các nam châm vĩnh cửu ở bên trong rôto, và vì vậy, cần giảm khoảng cách từ biên bên ngoài của lõi rôto đến các nam châm vĩnh cửu ở bên trong rôto. Mặt khác, khi đang được quay, lực ly tâm gây ra bởi các nam châm vĩnh cửu quay được đặt vào biên bên ngoài của lõi rôto, và do đó lực này tăng khi quay với tốc độ cao. Vì vậy, độ bền của phần nằm giữa biên bên ngoài của lõi rôto và rãnh đối với các nam châm vĩnh cửu (dưới đây, được gọi là “phần cầu”), đặc biệt là độ bền mỏi, là rất quan trọng. Chẳng hạn, dựa vào các vấn đề nêu trên, các kỹ thuật dưới đây được bộc lộ.

Tài liệu sáng chế 1 bộc lộ kỹ thuật để tăng độ bền của bản thân tấm thép điện được sử dụng cho lõi rôto. Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ kỹ thuật để thực hiện bước hóa cứng khi gia công nguội và hóa cứng do tôi để tăng cứng phần đã xác định trước, vì

phần cần được tăng cứng trong lõi rôto là phần cầu như đã nêu trên. Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ kỹ thuật để gia cường rôto từ phía bên ngoài bằng đai và tương tự, để tăng độ bền của toàn bộ lõi rôto.

Tuy nhiên, kỹ thuật của tài liệu sáng chế 1 có nhược điểm ở chỗ khả năng đột dập của phần trống của lõi rôto kém đi vì độ bền của bản thân tấm thép điện tăng lên. Sự giảm khả năng đột dập làm giảm độ chính xác của phần trống khi được đột dập, giảm tốc độ đột dập, phá hủy khuôn đột dập, hoặc vấn đề tương tự. Kỹ thuật của tài liệu sáng chế 2 làm tăng chi phí vì cần đến một quy trình phụ thêm chỉ để tăng cứng phần cầu khi sản xuất lõi rôto. Hơn nữa, kỹ thuật của tài liệu sáng chế 3 làm tăng chi phí vì cần đến đai để gia cường rôto từ phía bên ngoài.

Do đó, mong muốn phát triển kỹ thuật để gia tăng độ bền, đặc biệt là độ bền mỏi, của phần đã xác định trước mà không làm tăng độ bền của bản thân tấm thép điện và không cần bổ sung quy trình phụ thêm.

Như đã nêu trên, lực ly tâm gây ra bằng cách quay động cơ được đặt lặp đi lặp lại vào phần cầu của lõi rôto, và vì vậy, cần tăng độ bền mỏi ở phần cầu. Là một phương pháp điển hình để cải thiện độ bền mỏi, có một phương pháp để hóa cứng bề mặt của (tấm) thép.

Là phương pháp để hóa cứng bề mặt, chẳng hạn, có phương pháp làm tăng cứng biến đổi bản thân thép được thể hiện bằng cách tôi và phương pháp tương tự, phương pháp tăng cứng kết tủa để tạo ra pha thứ hai bằng cách nitrua hóa, cacbua hóa, và phương pháp tương tự, và phương pháp hóa cứng khi gia công nguội để tạo ra biến dạng bằng cách tăng bền bằng gia công phun bi và phương pháp tương tự. Tuy nhiên, đối với phương pháp nêu trên, quy trình phụ thêm là cần thiết.

Trước đây, đối với tấm thép điện không định hướng, kỹ thuật đồng thời cải thiện cả độ bền mỏi và các đặc tính từ mà không cần bổ sung quy trình phụ thêm đã được thiết lập.

Tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản (đã cấp bằng)
số 5000136

Tài liệu sáng chế 2: Công bố Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản (đã cấp bằng) số 4160469

Tài liệu sáng chế 3: Công bố lần thứ nhất của đơn yêu cầu cấp Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản số 2013-115899

Tài liệu sáng chế 4: Công bố Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản (đã cấp bằng) số 3307897

Tài liệu sáng chế 5: Công bố Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản (đã cấp bằng) số 4116748

Tài liệu sáng chế 6: Công bố Bằng độc quyền sáng chế Nhật Bản (đã cấp bằng) số 4116749

Tài liệu phi sáng chế

Tài liệu phi sáng chế 1: Tetsu-to-Hagane, Vol.66 (1980), No.7, p1000-p1009

Tài liệu phi sáng chế 2: Materia, Vol.50 (2011), No.3, p126-p128

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật cần được giải quyết

Sáng chế đã được thực hiện khi xét đến các tình huống nêu trên. Mục đích của sáng chế là đồng thời cải thiện cả độ bền mỏi và các đặc tính từ mà không cần bổ sung quy trình phụ thêm vào phương pháp sản xuất thông thường đối với tấm thép điện không định hướng. Cụ thể, mục đích của sáng chế là đề xuất tấm thép điện không định hướng có độ bền mỏi và các đặc tính từ rất tốt và chi phí cũng rất tốt.

Cách thức giải quyết vấn đề

Để giải quyết vấn đề nêu trên, các tác giả sáng chế đã thực hiện sự nghiên cứu kỹ lưỡng để tạo ra lớp bề mặt được hóa cứng cho tấm thép silic là tấm thép nền của tấm thép điện không định hướng bằng cách sử dụng các quy trình sản xuất tấm thép điện không định hướng. Kết quả là, đã phát hiện ra rằng, lớp oxy hóa bên trong được tạo ra trên bề mặt của tấm thép silic bằng cách phối hợp thuận lợi các thành phần thép và các điều kiện sản xuất, bề mặt được hóa cứng bằng cách kiểm soát độ cứng của lớp oxy hóa bên trong, và do đó, độ bền mỏi có thể được gia tăng.

Ở đây, như được bộc lộ trong các tài liệu sáng chế từ 4 đến 6, khi độ dày của lớp

oxy hóa bên trong được làm dày lên, tổn hao do sắt ở tần số cao bị ảnh hưởng xấu. Vì vậy, các tác giả sáng chế đã thực hiện sự nghiên cứu kỹ lưỡng sao cho các oxit trong lớp oxy hóa bên trong và độ dày của lớp oxy hóa bên trong được kiểm soát, độ cứng của lớp oxy hóa bên trong được kiểm soát, và do đó, độ bền mỏi và các đặc tính từ được cải thiện đồng thời.

Kết quả là, đã phát hiện ra rằng, bằng cách thực hiện việc xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng đối với tấm thép có thành phần thép được điều chỉnh và bằng cách kiểm soát các điều kiện của quá trình xử lý bảo toàn nhiệt một cách chính xác, có thể kiểm soát các oxit trong lớp oxy hóa bên trong và độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong, và có thể kiểm soát độ cứng của lớp oxy hóa bên trong. Cụ thể là, đã phát hiện ra rằng có thể thu được tấm thép điện không định hướng trong đó độ bền mỏi và các đặc tính từ được cải thiện đồng thời mà không cần bổ sung quy trình phụ thêm.

Khía cạnh của sáng chế như sau.

(1) Tấm thép điện không định hướng theo một khía cạnh của sáng chế, trong đó tấm thép này bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện, khác biệt ở chỗ:

tấm thép silic này chứa, làm thành phần hóa học, % khối lượng,

Si với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 2,00 đến 4,00%,

Al với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 3,00%,

Mn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 2,00%,

C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

P với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,050%,

S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%,

N với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%,

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%,

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 0 đến 1,00%

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%,

kim loại đất hiếm (REM, Rare Earth Metal) với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%,

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%,

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%, và

phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất,

khi quan sát mặt cắt ngang có hướng cắt song song với hướng độ dày và khi vùng trung tâm có độ dày nằm trong khoảng từ $\frac{5}{8}$ đến $\frac{3}{8}$ của tấm thép silic, độ cứng Vickers trong vùng trung tâm nằm trong khoảng từ 120 đến 300Hv, và

khi quan sát mặt cắt ngang, tấm thép silic bao gồm lớp oxy hóa bên trong chứa SiO_2 trên bề mặt của chúng, độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 0,10 đến 5,0 μm , và độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 1,15 đến 1,5 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm.

(2) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục (1), tấm thép silic có thể chứa, làm thành phần hóa học, % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%,

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,00%, và

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%.

(3) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục (1) hoặc (2), tấm thép silic có thể chứa, làm thành phần hóa học, % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

REM (kim loại đất hiếm, Rare Earth Metal) với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%,

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%, và

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%.

(4) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (3), độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong có thể lớn hơn hoặc bằng 155Hv.

(5) Trong tấm thép điện không định hướng theo mục bất kỳ trong số các mục từ (1) đến (4), độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong có thể lớn hơn hoặc bằng 0,55 μm .

Tác dụng của sáng chế

Theo các khía cạnh nêu trên của sáng chế, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng có độ bền mỏi và các đặc tính từ rất tốt và chi phí cũng rất tốt.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là hình minh họa mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng theo phương án của sáng chế.

Fig.2 là sơ đồ công nghệ minh họa phương pháp sản xuất đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

Fig.3 là hình minh họa mặt cắt ngang thể hiện trạng thái mà lớp oxy hóa bên trong được tạo ra trong tấm thép nền đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, phương án được ưu tiên của sáng chế được mô tả chi tiết. Tuy nhiên, sáng chế không bị giới hạn chỉ ở cấu tạo được bộc lộ trong phương án này, và các biến thể khác có thể xảy ra mà không đi trệch khỏi khía cạnh của sáng chế. Ngoài ra, phạm vi giới hạn như được mô tả dưới đây bao gồm giới hạn dưới và giới hạn trên của chúng. Tuy nhiên, giá trị được biểu hiện bởi cụm từ “lớn hơn” hoặc “nhỏ hơn” không bao gồm trong phạm vi giới hạn này. “%” của lượng của các nguyên tố tương ứng biểu thị “% khối lượng”.

Trước tiên, các lý do hạn chế liên quan đến thành phần hóa học của tấm thép silic là tấm thép nền đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này (dưới đây, nó có thể được gọi là "tấm thép điện theo sáng chế") được giải thích.

Thành phần hóa học của tấm thép silic

Theo phương án này, tấm thép silic chứa, làm thành phần hóa học, các nguyên tố cơ bản, các nguyên tố tùy ý nếu cần, và phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất.

Theo phương án này, Si, Al, và Mn là các nguyên tố cơ bản (các nguyên tố hợp kim chính) trong thành phần hóa học của tấm thép silic.

Si với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 2,00 đến 4,00%

Si (silic) là nguyên tố có tác dụng làm giảm tổn hao do dòng xoáy bằng cách tăng

điện trở, và do đó làm giảm tổn hao do sắt. Hơn nữa, Si là nguyên tố có tác dụng cải thiện độ bền kéo và độ bền mỏi bằng cách làm tăng tỷ số giới hạn chảy trên giới hạn bền của tấm thép nhờ sự làm bền chất tan. Hơn nữa, như được giải thích dưới đây, Si là nguyên tố cần thiết để tạo ra SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong và để hóa cứng bề mặt của tấm thép.

Khi hàm lượng Si nhỏ hơn hoặc bằng 2,00%, khó thu được tác dụng nêu trên và khó hóa cứng lớp oxy hóa bên trong. Vì vậy, hàm lượng Si cần phải lớn hơn 2,00%. Hàm lượng Si tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 2,10%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 2,30%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 2,60%. Mặt khác, khi hàm lượng Si lớn hơn 4,00%, mật độ từ thông giảm, khả năng thực hiện bước cán nguội và tương tự bị kém đi, và chi phí sản xuất tăng lên. Vì vậy, hàm lượng Si cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 4,00%. Hàm lượng Si tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 3,70%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 3,40%.

Al với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 3,00%

Cũng như Si, Al (nhôm) là nguyên tố có tác dụng làm giảm tổn hao do dòng xoáy bằng cách làm tăng điện trở, và do đó làm giảm tổn hao do sắt. Tuy nhiên, Al là nguyên tố có tác dụng tăng độ cứng nhỏ so với tác dụng tăng độ cứng của Si. Hơn nữa, Al là nguyên tố có tác dụng cải thiện mật độ từ thông bằng cách tăng B_{50}/B_s là tỷ số của mật độ từ thông B_{50} với mật độ từ thông bão hòa B_s .

Khi hàm lượng Al nhỏ hơn 0,10%, sẽ không thu được đủ tác dụng bổ sung. Vì vậy, hàm lượng Al cần phải lớn hơn hoặc bằng 0,10%. Hàm lượng Al tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,30%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,50%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,60%. Mặt khác, khi hàm lượng Al lớn hơn 3,00%, mật độ từ thông giảm vì mật độ từ thông bão hòa giảm, và độ bền kéo và độ bền mỏi giảm vì tỷ số giới hạn chảy trên giới hạn bền giảm. Vì vậy, hàm lượng Al cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 3,00%. Hàm lượng Al tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 2,70%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 2,40%.

Mn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 2,00%

Mn (mangan) là nguyên tố có tác dụng làm giảm tổn hao do dòng xoáy bằng cách tăng điện trở và có tác dụng ngăn chặn sự hình thành của cấu trúc $\{111\} \langle 112 \rangle$ không mong muốn đối với các đặc tính từ.

Khi hàm lượng Mn nhỏ hơn 0,10%, sẽ không thu được đủ tác dụng bổ sung. Vì vậy, hàm lượng Mn cần phải lớn hơn hoặc bằng 0,10%. Hàm lượng Mn tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,15%, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,20%, còn tốt hơn nữa là lớn hơn 0,60%, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,70%. Mặt khác, khi hàm lượng Mn lớn hơn 2,00%, sự phát triển hạt trong quá trình ủ bị ngăn chặn, và tổn hao do sắt bị xấu đi. Vì vậy, hàm lượng Mn cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 2,00%. Hàm lượng Mn tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1,70%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 1,50%.

Theo phương án này, tấm thép silic chứa các tạp chất làm thành phần hóa học. Các tạp chất tương ứng với các nguyên tố bị nhiễm bẩn trong quá trình sản xuất công nghiệp của thép từ quặng và phế liệu được sử dụng làm nguyên liệu thô của thép, hoặc từ môi trường của quá trình sản xuất. Chẳng hạn, các tạp chất là các nguyên tố như C, P, S, và N. Được ưu tiên là các tạp chất được hạn chế như sau để đạt được đủ các tác dụng của phương án này. Hơn nữa, vì được ưu tiên là lượng của các tạp chất tương ứng thấp, không cần giới hạn giới hạn dưới của các tạp chất tương ứng, và giới hạn dưới có thể bằng 0%.

C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%

C (cacbon) là nguyên tố tạp chất làm xấu đi tổn hao do sắt và gây ra sự già hóa từ. Khi hàm lượng C lớn hơn 0,003%, tổn hao do sắt xấu đi, và sự già hóa từ xảy ra quá mức. Vì vậy, hàm lượng C cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%. Hàm lượng C tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0020%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0010%. Giới hạn dưới của nó là 0%. Tuy nhiên, khó kiểm soát hàm lượng về 0% vì công nghệ sản xuất. Giới hạn dưới trong thực tế của nó gần như bằng 0,0001%.

P với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,050%

Mặc dù P (phospho) có thể góp phần cải thiện độ bền kéo, P là nguyên tố tạp chất làm giòn tấm thép. Khi hàm lượng P lớn hơn 0,050%, tấm thép bao gồm Si với hàm lượng lớn hơn hoặc bằng 2,00% trở nên giòn đáng kể. Vì vậy, hàm lượng P cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,050%. Hàm lượng P tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,030%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,020%. Giới hạn dưới của nó là 0%. Tuy nhiên, khó kiểm soát hàm lượng về 0% vì công nghệ sản xuất. Giới hạn dưới trong thực tế của nó gần như bằng 0,002%.

S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%

S (lưu huỳnh) là nguyên tố tạp chất tạo ra các sulfua mịn như MnS, và vì vậy, ngăn chặn sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng. Khi hàm lượng S lớn hơn 0,005%, sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng bị ngăn chặn đáng kể. Vì vậy, hàm lượng S cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%. Hàm lượng S tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,003%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,002%. Giới hạn dưới của nó là 0%. Tuy nhiên, khó kiểm soát hàm lượng về 0% vì công nghệ sản xuất. Giới hạn dưới trong thực tế của nó gần như bằng 0,0003%.

N với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%

N (nitơ) là nguyên tố tạp chất tạo ra các nitrua mịn như AlN, và vì vậy, ngăn chặn sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng. Khi hàm lượng N lớn hơn 0,005%, sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng bị ngăn chặn đáng kể. Vì vậy, hàm lượng N cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%. Hàm lượng N tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,003%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,002%. Giới hạn dưới của nó là 0%. Tuy nhiên, khó kiểm soát hàm lượng về 0% vì công nghệ sản xuất. Giới hạn dưới trong thực tế của nó gần như bằng 0,0005%.

Theo phương án này, tấm thép silic có thể chứa nguyên tố tùy ý ngoài các nguyên tố cơ bản và các tạp chất đã mô tả ở trên. Chẳng hạn, để thay thế phần Fe là phần cân bằng đã mô tả ở trên, dưới dạng nguyên tố tùy ý, tấm thép có thể chứa Sn, Cu, Sb, REM, Ca, và Mg. Các nguyên tố tùy ý có thể được chứa nếu cần. Vì vậy, giới hạn dưới của nguyên tố tùy ý không cần giới hạn, và giới hạn dưới có thể bằng 0%. Hơn nữa, ngay cả khi nguyên tố tùy ý có thể được chứa dưới dạng các tạp chất, các tác dụng nêu trên không bị ảnh hưởng.

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 1,00%

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%

Sn (thiếc), Cu (đồng), và Sb (antimon) là các nguyên tố có tác dụng ngăn chặn sự hình thành của cấu trúc {111} <112> không mong muốn đối với các đặc tính từ, ngăn chặn sự oxy hóa của bề mặt thép tấm, và kiểm soát sự phát triển hạt để đồng đều. Ngoài ra, Sn, Cu, và Sb là các nguyên tố có tác dụng kiểm soát một cách thuận lợi độ dày của lớp oxy hóa bên trong đối với tấm thép cán nóng.

Khi hàm lượng Sn lớn hơn 0,40%, khi hàm lượng Cu lớn hơn 1,00%, hoặc khi hàm lượng Sb lớn hơn 0,40%, tác dụng bổ sung này bảo hòa, sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng bị ngăn chặn, và tấm thép trở nên giòn trong quá trình cán nguội vì sự giảm khả năng gia công. Vì vậy, hàm lượng Sn cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%, hàm lượng Cu cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 1,00%, và hàm lượng Sb cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%. Hàm lượng Sn tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,20%. Hàm lượng Cu tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,60%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%. Hàm lượng Sb tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,20%.

Các giới hạn dưới của Sn, Cu, và Sb không bị giới hạn cụ thể, và có thể bằng 0%. Để thu được một cách thuận lợi các tác dụng nêu trên, hàm lượng Sn có thể lớn hơn hoặc bằng 0,02%, hàm lượng Cu có thể lớn hơn hoặc bằng 0,10%, và hàm lượng Sb có thể lớn hơn hoặc bằng 0,02%. Hàm lượng Sn tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,03%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,05%. Hàm lượng Cu tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,20%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,30%. Hàm lượng Sb tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,03%, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,05%.

Theo phương án này, được ưu tiên là tấm thép silic chứa, làm thành phần hóa học, % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%,

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,00%, và

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%.

REM với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%

REM (kim loại đất hiếm, Rare Earth Metal), Ca (canxi), và Mg (magie) là các nguyên tố có tác dụng cố định S dưới dạng sulfua hoặc các oxysulfua, ngăn chặn sự kết tủa mìn của MnS và tương tự, và thúc đẩy sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng.

Khi REM, Ca, và Mg vượt quá 0,0400%, các sulfua hoặc các oxysulfua được hình thành quá mức, và sự kết tinh lại và sự phát triển hạt trong quá trình ủ cuối cùng bị

ngăn chặn. Vì vậy, hàm lượng REM, hàm lượng Ca, và hàm lượng Mg cần nhỏ hơn hoặc bằng 0,0400% tương ứng. Các hàm lượng tương ứng tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0300% và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 0,0200%.

Các giới hạn dưới của hàm lượng REM, hàm lượng Ca, và hàm lượng Mg không bị giới hạn cụ thể, và có thể bằng 0%. Tốt hơn là, hàm lượng REM, hàm lượng Ca, và hàm lượng Mg có thể lớn hơn hoặc bằng 0,0005% để thu được các tác dụng nêu trên. Các hàm lượng tương ứng tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 0,0010% và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,0050%.

Theo phương án này, được ưu tiên là tấm thép silic chứa, làm thành phần hóa học, theo % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

REM với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%,

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%, và

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%.

Ở đây, REM chỉ ra tổng cộng 17 nguyên tố gồm Sc, Y và họ lantan, và là ít nhất một nguyên tố trong số chúng. Hàm lượng REM nêu trên tương ứng với tổng hàm lượng của ít nhất một trong số các nguyên tố này. Trong công nghiệp, kim loại hiếm được bổ sung dưới dạng họ lantan.

Thành phần thép như được mô tả ở trên có thể được đo bằng các phương pháp phân tích thông thường đối với thép. Chẳng hạn, thành phần thép có thể được đo bằng cách sử dụng phổ kế phát xạ nguyên tử plasma ghép nối cảm ứng (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES). Ngoài ra, C và S có thể được đo bằng phương pháp hấp thụ hồng ngoại sau khi đốt cháy, N có thể được đo bằng phương pháp đo độ dẫn nhiệt sau khi nóng chảy trong dòng khí trơ, và O có thể được đo bằng, chẳng hạn, phương pháp hấp thụ hồng ngoại không tán sắc sau khi nóng chảy trong dòng khí trơ.

Thành phần hóa học nêu trên là thành phần hóa học của tấm thép silic. Khi tấm thép điện không định hướng cần làm mẫu đo có lớp phủ cách điện và tương tự trên bề mặt, thành phần hóa học nêu trên thu được sau khi loại bỏ lớp phủ.

Là phương pháp loại bỏ lớp phủ cách điện và tương tự của tấm thép điện không định hướng, chẳng hạn, phương pháp sau đây được lấy ví dụ. Trước tiên, tấm thép điện

không định hướng có lớp phủ cách điện và tương tự được nhúng chìm trong dung dịch natri hydroxit trong nước, dung dịch axit sulfuric trong nước, và dung dịch axit nitric trong nước theo thứ tự này. Tấm thép sau khi nhúng chìm được rửa. Cuối cùng, tấm thép được làm khô bằng không khí nóng. Do đó, có thể thu được tấm thép silic mà từ đó lớp phủ cách điện được loại bỏ.

Tiếp theo, liên quan đến tấm thép điện không định hướng theo phương án này, lớp oxy hóa bên trong của tấm thép silic được giải thích.

Fig.1 là hình minh họa mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Khi quan sát mặt cắt ngang có hướng cắt song song với hướng độ dày, tấm thép điện không định hướng 1 theo phương án này bao gồm tấm thép silic 11, và lớp phủ cách điện 15 được sắp xếp trên tấm thép silic 11. Tấm thép silic bao gồm lớp oxy hóa bên trong 13 trên bề mặt của nó. Lớp oxy hóa bên trong 13 bao gồm SiO_2 131. Ở đây, lớp oxy hóa bên trong là vùng tại đó pha oxit của Si và nguyên tố tương tự được phân tán ở dạng các hạt hoặc các lớp ở bên trong tấm thép silic.

SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong

Lớp oxy hóa bên trong bao gồm SiO_2 . Theo phương án này, bằng cách kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong và bằng cách kiểm soát độ cứng của lớp oxy hóa bên trong, có thể thu được tác dụng cải thiện độ bền mỏi.

Để kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong, tấm thép cần chứa Si với hàm lượng lớn hơn 2,00%. Ngoài ra, việc xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng cần được kiểm soát một cách thuận lợi.

Độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong

Độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong: nằm trong khoảng từ 0,10 đến 5,0 μm

Khi độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong nhỏ hơn 0,10 μm , khó thu được tác dụng cải thiện độ bền mỏi. Vì vậy, độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong cần phải lớn hơn hoặc bằng 0,10 μm . Độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong tốt hơn là lớn hơn 0,5 μm , tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,55 μm , còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,6 μm , còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 0,7 μm , và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 1,0 μm . Mặt khác, khi độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong lớn hơn 5,0 μm , các đặc tính từ, cụ thể là tổn hao do sắt, bị xấu đi. Vì vậy, độ dày trung

biên của lớp oxy hóa bên trong cần phải nhỏ hơn hoặc bằng $5,0\mu\text{m}$. Độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng $4,0\mu\text{m}$, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng $3,0\mu\text{m}$.

Độ cứng Vickers

Theo phương án này, độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong được kiểm soát để cao hơn độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép. Cụ thể là, theo phương án này, độ bền mới được cải thiện không phải bằng cách tăng độ cứng của bản thân tấm thép điện mà chỉ bằng cách tăng độ cứng của vùng đã xác định trước.

Độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép

Độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép: nằm trong khoảng từ 120 đến 300Hv

Khi quan sát mặt cắt ngang có hướng cắt song song với hướng độ dày, vùng trung tâm có độ dày nằm trong khoảng từ $5/8$ đến $3/8$ của tấm thép silic. Khi độ cứng Vickers trong vùng trung tâm nhỏ hơn 120Hv, không thu được độ bền mới đủ. Vì vậy, độ cứng Vickers trong vùng trung tâm cần phải lớn hơn hoặc bằng 120Hv. Độ cứng Vickers trong vùng trung tâm tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 150Hv, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 170Hv.

Mặt khác, khi độ cứng Vickers trong vùng trung tâm lớn hơn 300Hv, toàn bộ tấm thép trở nên quá cứng, và khả năng đột dập bị kém đi. Vì vậy, độ cứng Vickers trong vùng trung tâm cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 300Hv. Độ cứng Vickers trong vùng trung tâm tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 270Hv, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 250Hv.

Ở đây, có thể kiểm soát độ cứng Vickers trong vùng trung tâm bằng cách làm bền dung dịch rắn của Si, Al, và Mn vào Fe và bằng kích thước hạt sau bước ủ cuối cùng. Hàm lượng Si, hàm lượng Al, và hàm lượng Mn có thể được xác định, và kích thước hạt sau bước ủ cuối cùng có thể được xác định, phụ thuộc vào các đặc tính từ cần thiết, khả năng gia công cần thiết trong quá trình cán nguội, chi phí sản xuất, và tương tự. Ở đây, kích thước hạt ảnh hưởng đến các đặc tính từ, đặc biệt là tổn hao do sắt.

Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong

Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong: lớn hơn hoặc bằng 1,15 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm

Có thể tăng độ bền mỏi bằng cách kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong và bằng cách kiểm soát độ cứng của lớp oxy hóa bên trong. Cụ thể là, theo phương án này, độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong cao hơn độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép.

Khi độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong nhỏ hơn 1,15 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm, khó thu được đủ tác dụng cải thiện độ bền mỏi. Vì vậy, độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong lớn hơn hoặc bằng 1,15 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm. Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 1,20 lần, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 1,25 lần.

Giới hạn trên của độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong không bị giới hạn đặc biệt đối với việc cải thiện độ bền mỏi. Giá trị lớn nhất đáng kể của độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong có thể bằng 1,5 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm.

Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong cần phải lớn hơn hoặc bằng 1,15 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm, và vì vậy, có thể lớn hơn hoặc bằng 138Hv. Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 155Hv, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 180Hv, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 200Hv. Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 400Hv, và tốt hơn nữa là nhỏ hơn hoặc bằng 300Hv.

Việc quan sát cấu trúc vi mô và đo độ cứng của lớp oxy hóa bên trong và vùng trung tâm của tấm thép silic được giải thích ở trên có thể được thực hiện bằng các phương pháp quan sát và đo thông thường. Chẳng hạn, phương pháp sau đây có thể được sử dụng.

Các mẫu được cắt ra từ tấm thép điện không định hướng sao cho hướng cắt song song với hướng độ dày (cụ thể là, các mẫu được cắt sao cho mặt cắt ngang song song với hướng độ dày và vuông góc với hướng cán). Cấu trúc mặt cắt ngang của mặt cắt ngang được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope, SEM) ở độ phóng đại tại đó mỗi lớp được bao gồm trong trường nhìn quan sát được. Chẳng hạn, khi quan sát bằng hình ảnh hợp phần điện tử phản xạ (COMP image), có thể suy ra pha cấu thành trong cấu trúc mặt cắt ngang. Chẳng hạn, trong hình ảnh COMP, tấm thép silic có thể được phân biệt là màu sáng, SiO_2 trong lớp oxy hóa bên trong là

màu sẫm, và lớp phủ cách điện là màu trung gian. Nếu cần, pha cấu thành có thể được xác định chi tiết bằng cách phân tích định lượng thành phần hóa học bằng cách sử dụng phương pháp phổ tán sắc năng lượng tia X (energy dispersive X-ray spectroscopy, SEM-EDX).

Hơn nữa, có thể xác định liệu có hoặc không có lớp oxy hóa bên trong được bao gồm trên diện tích bề mặt của tấm thép silic bằng SEM và SEM-EDX. Cụ thể là, xác nhận được rằng liệu có hoặc không có vùng tại đó SiO_2 được quan sát được bao gồm từ mặt phân cách giữa tấm thép silic và lớp phía trên của nó theo hướng chiều sâu của tấm thép silic. SiO_2 có thể được xác định dưới dạng chất kết tủa trong đó tỷ lệ nguyên tử của Si và O xấp xỉ 1:2 trong trường nhìn quan sát được bởi EDX. Chẳng hạn, trong trường nhìn quan sát được, đường thẳng dọc theo hướng độ dày được đặt là đường chuẩn, và sau đó, xác nhận được rằng liệu có hoặc không có vùng tại đó SiO_2 quan sát được được bao gồm trên đường chuẩn. Khi vùng tại đó SiO_2 quan sát được được bao gồm trong tấm thép silic, vùng này được đánh giá là lớp oxy hóa bên trong. Hơn nữa, đoạn thẳng (chiều dài) của vùng này trên đường chuẩn có thể được đánh giá là độ dày của lớp oxy hóa bên trong.

Độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong có thể được xác định như sau. Vùng khoảng 100 μm hoặc lớn hơn theo hướng phẳng trong tấm thép được quan sát bằng cách sử dụng SEM. Mười đường hoặc nhiều hơn trong số các đường chuẩn nêu trên được đặt ở các khoảng cách đều nhau, và độ dày của lớp oxy hóa bên trong được đo trên mỗi đường chuẩn. Giá trị trung bình của các độ dày thu được của lớp oxy hóa bên trong được coi là độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong.

Ở đây, khi cần quan sát một vùng vi mô nhỏ hơn độ phân giải không gian của SEM để nhận biết SiO_2 hoặc để xác định độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong, kính hiển vi điện tử truyền qua (transmission electron microscope, TEM) có thể được sử dụng.

Độ cứng Vickers có thể được đo dựa trên phương pháp được bộc lộ trong JIS Z 2244 : 2009. Khi độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong được đo, một vết lõm để đo độ cứng Vickers cần phải nằm trong lớp oxy hóa bên trong. Trong trường hợp này, tải trọng đo tốt hơn là nằm trong khoảng từ $9,8 \times 10^{-5}$ đến $9,8 \times 10^{-2}\text{N}$.

Độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong có thể được đo theo độ dày của lớp

oxy hóa bên trong, và có thể được đo chính xác khi tải trọng được thiết lập một cách thích hợp sao cho kích thước lớn nhất của vết lõm được sử dụng nằm trong độ dày của lớp oxy hóa bên trong. Để đo chính xác độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong, tải trọng có thể lớn hơn khoảng tải trọng nêu trên.

Để đo độ cứng Vickers, kích thước vết lõm thường được đo bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học. Để đo chính xác độ cứng Vickers, kích thước vết lõm có thể được đo ở độ phóng đại lớn hơn hoặc bằng 1000 lần bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử như SEM.

Mặt khác, được ưu tiên là độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép được đo bằng tải trọng giống như tải được sử dụng để đo độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong. Trong trường hợp này, kích thước vết lõm nhỏ so với kích thước hạt của tấm thép. Vì vậy, được ưu tiên là vết lõm được sử dụng cách xa biên hạt, và sau đó kích thước vết lõm được đo.

Trong phép đo độ cứng Vickers được quy định trong JIS, tải trọng đo được cung cấp từ 1gf ($9,8 \times 10^{-2}\text{N}$). Tuy nhiên, khi độ cứng Vickers được đo, được ưu tiên là tải được kiểm soát chính xác, được giảm, và được thiết lập để kích thước vết lõm trở nên nằm trong lớp oxy hóa bên trong. Ở đây, khi cần quan sát vùng vi mô nhỏ hơn độ phân giải không gian của kính hiển vi quang học hoặc SEM để đo độ cứng Vickers, giá trị độ cứng được đo bởi phương pháp sử dụng vết lõm nano có thể được chuyển đổi thành độ cứng Vickers.

Tiếp theo, phương pháp sản xuất đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này được giải thích.

Fig.2 là sơ đồ công nghệ minh họa phương pháp sản xuất đối với tấm thép điện không định hướng theo phương án này. Theo phương án này, tấm thép silic thu được bằng cách đúc thép nóng chảy có thành phần được điều chỉnh, bằng cách được cán nóng, bằng cách được xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng, bằng cách được tẩy gỉ, bằng cách được cán nguội, và sau đó bằng cách được ủ cuối cùng. Hơn nữa, tấm thép điện không định hướng thu được bằng cách tạo ra lớp phủ cách điện trên tấm thép silic.

Sự hình thành của lớp oxy hóa bên trong được giải thích. Fig.3 là hình minh họa mặt cắt ngang thể hiện trạng thái mà lớp oxy hóa bên trong được tạo ra trong tấm thép

nền. Fig.3(A) thể hiện trạng thái sau khi cán nóng, Fig.3(B) thể hiện trạng thái sau khi xử lý bảo toàn nhiệt, Fig.3(C) thể hiện trạng thái sau khi tẩy gỉ, và Fig.3(D) thể hiện trạng thái sau khi cán nguội.

Như được thể hiện trên Fig.3(A), bằng cách cán nóng, lớp oxy hóa bên ngoài 17 được tạo ra trên bề mặt của tấm thép nền 11. Sau đó, như được thể hiện trên Fig.3(B), bằng cách xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng, oxy khuếch tán từ lớp oxy hóa bên ngoài 17 vào tấm thép nền 11, và lớp oxy hóa bên trong 13 được tạo ra. Ở thời điểm này, được ưu tiên là kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 131 trong lớp oxy hóa bên trong 13 bằng cách kiểm soát các điều kiện của quá trình xử lý bảo toàn nhiệt.

Sau đó, như được thể hiện trên Fig.3(C), bằng cách tẩy gỉ, lớp oxy hóa bên ngoài 17 trên bề mặt của tấm thép nền 11 được loại bỏ. Ở thời điểm này, để cải thiện các đặc tính từ, một phần của lớp oxy hóa bên trong 13 có thể được loại bỏ bằng cách tẩy gỉ, và do đó, độ dày của lớp oxy hóa bên trong 13 có thể được kiểm soát. Hơn nữa, như được thể hiện trên Fig.3(D), bằng cách cán nguội, lớp oxy hóa bên trong 13 trên bề mặt của tấm thép nền 11 được mở rộng theo hướng cán L. Sau khi cán nguội, lớp oxy hóa bên trong 13 có thể còn lại. Theo cách khác, khi của lớp oxy hóa bên trong 13 quá dày, một phần của lớp oxy hóa bên trong 13 có thể được loại bỏ bằng cách tẩy gỉ, và do đó, độ dày của lớp oxy hóa bên trong 13 có thể được kiểm soát.

Sau đó, chẳng hạn, quá trình ủ cuối cùng được thực hiện trong môi trường khí bao gồm nitơ và hydro, sự kết tinh lại và sự phát triển hạt được diễn ra trong tấm thép nền, và do đó, có thể thu được tấm thép silic trong đó lớp oxy hóa bên trong chứa SiO_2 được chứa trên bề mặt của chúng.

Lớp phủ cách điện có thể được tạo ra trên bề mặt của tấm thép silic. Nói chung, lớp phủ cách điện này là lớp phủ được gọi là lớp phủ bán hữu cơ. Chẳng hạn, lớp phủ thường bao gồm axit cromic và nhựa hữu cơ được bộc lộ trong tài liệu phi sáng chế 1 hoặc lớp phủ bao gồm phosphat và nhựa hữu cơ được bộc lộ trong tài liệu phi sáng chế 2. Lượng lớp phủ cách điện tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,1 đến 5gm^{-2} ở mỗi một phía.

Trong tấm thép điện không định hướng theo phương án này, tấm thép silic bao gồm lớp oxy hóa bên trong, lớp oxy hóa bên trong này bao gồm SiO_2 , độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 0,10 đến $5,0\mu\text{m}$, độ cứng Vickers trong

vùng trung tâm của tấm thép nằm trong khoảng từ 120 đến 300Hv, và độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 1,15 đến 1,5 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm.

Thép silic có các dấu hiệu nêu trên có thể được sản xuất bằng phương pháp sau đây chẳng hạn.

Cán nóng

Mẫu đúc có thành phần hóa học đã được điều chỉnh được gia nhiệt và cán nóng. Ở thời điểm này, để ngăn chặn sự xấu đi của tổn hao do sắt gây ra bởi sự hòa tan chất rắn và kết tủa các sulfua và chất tương tự trong thép, nhiệt độ gia nhiệt cần phải nhỏ hơn hoặc bằng 1200°C. Hơn nữa, để bảo đảm nhiệt độ cuối cùng lớn hơn hoặc bằng 900°C, nhiệt độ gia nhiệt cần phải lớn hơn hoặc bằng 1080°C.

Khi nhiệt độ cuối cùng của quá trình cán nóng thấp, khả năng gia công nóng bị kém đi, và độ chính xác độ dày theo hướng ngang của tấm thép bị kém đi. Vì vậy, giới hạn dưới của nhiệt độ cuối cùng cần phải bằng 900°C. Mặt khác, khi nhiệt độ cuối cùng của quá trình cán nóng lớn hơn 1000°C, cấu trúc {100} có lợi cho các đặc tính từ giảm xuống. Vì vậy, giới hạn trên của nhiệt độ cuối cùng cần phải bằng 1000°C.

Để tạo ra một cách chính xác lớp oxy hóa bên trong trong quá trình xử lý bảo toàn nhiệt sau khi cán nóng, được ưu tiên là tạo ra lớp oxy hóa bên ngoài có độ dày lớn hơn hoặc bằng 1μm trên bề mặt của tấm thép cán nóng trong quá trình cán nóng. Sự hình thành của lớp oxy hóa bên ngoài có thể được kiểm soát bằng nhiệt độ, thời gian giữ, và thông số tương tự của quá trình cán nóng.

Xử lý bảo toàn nhiệt

Tấm thép cán nóng được xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng. Trong quá trình xử lý bảo toàn nhiệt, các hạt được làm thô để kích thước hạt lớn hơn hoặc bằng 20μm. Hơn nữa, oxy được chứa trong lớp oxy hóa bên ngoài tạo ra trên bề mặt của tấm thép cán nóng khuếch tán vào trong tấm thép cán nóng, và do đó, lớp oxy hóa bên trong được tạo ra.

Lớp oxy hóa bên trong được tạo ra bằng cách khuếch tán oxy vào trong tấm thép trong quá trình xử lý bảo toàn nhiệt. Ở thời điểm này, nguồn oxy là lớp oxy hóa bên ngoài được tạo ra trong quá trình cán nóng, cụ thể là lớp oxy hóa bên ngoài chủ yếu bao

gồm manhetit và vustit, hematit, hoặc loại tương tự.

Trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng, tấm thép cán nóng được xử lý bảo toàn nhiệt trong các điều kiện như môi trường khí với áp suất riêng phần của oxy lớn hơn hoặc bằng 10^{-15} Pa, khoảng nhiệt độ là nhỏ hơn hoặc bằng 850°C và lớn hơn hoặc bằng 700°C , và thời gian là lớn hơn hoặc bằng 10 phút và nhỏ hơn hoặc bằng 3 giờ. Kết quả là, có thể tạo ra lớp oxy hóa bên trong trong đó SiO_2 được kết tủa mịn và dày đặc, và có thể kiểm soát một cách thuận lợi độ cứng của lớp oxy hóa bên trong.

Khi nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt lớn hơn 850°C , độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong được làm dày lên. Kết quả là, độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong lớn hơn $5,0\mu\text{m}$ ngay cả sau khi cán nguội, và vì vậy, quá trình tẩy gỉ để giảm độ dày của lớp oxy hóa bên trong có thể bị quá tải. Hơn nữa, khi nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt lớn hơn 850°C , khó kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 . Vì vậy, nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 850°C . Mặt khác, để kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 , mặc dù hàm lượng Si trong thép ảnh hưởng đến trạng thái, nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 700°C , tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 750°C , và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 800°C .

Thời gian bảo toàn nhiệt tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 10 phút, để làm thô các hạt đến lớn hơn hoặc bằng $20\mu\text{m}$ trong tấm thép cán nóng. Hơn nữa, để kết tủa mịn và dày đặc SiO_2 , thời gian bảo toàn nhiệt tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 10 phút, tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 20 phút, và còn tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 30 phút. Mặt khác, giới hạn trên của thời gian bảo toàn nhiệt không bị giới hạn đặc biệt. Tuy nhiên, khi thời gian bảo toàn nhiệt là quá dài, các biên hạt trở nên giòn gần bề mặt của tấm thép, và sau đó các vết nứt và gãy có xu hướng xuất hiện trong quá trình tẩy gỉ và cán nguội sau đó. Vì vậy, thời gian bảo toàn nhiệt tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 3 giờ.

Để làm môi trường khí trong quá trình xử lý bảo toàn nhiệt, áp suất riêng phần của oxy tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 10^{-15} Pa. Môi trường khí tốt hơn là môi trường khí hỗn hợp gồm khí trơ như nitơ.

Ở đây, được ưu tiên là lớp oxy hóa bên ngoài lớn hơn hoặc bằng $1\mu\text{m}$ được tạo ra trong quá trình cán nóng, và sau đó, quá trình xử lý bảo toàn nhiệt được thực hiện sao cho bề mặt của tấm thép không được lộ ra trong môi trường khí của quá trình xử lý bảo toàn nhiệt. Chẳng hạn, quá trình xử lý bảo toàn nhiệt được thực hiện sau khi cuộn tấm

thép cán nóng. Trong trường hợp này, vì các bề mặt tấm được tiếp xúc với nhau ngoại trừ bề mặt ngoài cùng của cuộn, nó ngăn chặn một cách thuận lợi việc bề mặt của tấm thép bị lộ ra trong môi trường khí của quá trình xử lý bảo toàn nhiệt.

Khi tấm thép chứa Sn, Cu, hoặc Sb, các nguyên tố này ngăn không tạo ra và phát triển lớp oxy hóa bên trong, và vì vậy, có thể tăng nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt nằm trong khoảng nêu trên. Trong trường hợp này, có thể làm thô kích thước hạt một cách thuận lợi, trong lúc ngăn chặn sự phát triển quá mức của lớp oxy hóa bên trong. Hơn nữa, khi tấm thép chứa Sn, Cu, hoặc Sb, bằng cách kiểm soát nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt đến lớn hơn hoặc bằng 800°C , có thể cải thiện một cách thuận lợi mật độ từ thông, trong lúc tạo ra lớp oxy hóa bên trong với độ dày thuận lợi.

Tuy nhiên, khi nhiệt độ của quá trình bảo toàn nhiệt cao quá mức ngay cả khi tấm thép chứa Sn, Cu, hoặc Sb, các đặc tính từ có thể được cải thiện, nhưng lớp oxy hóa bên trong có thể quá dày. Trong trường hợp này, lượng tẩy gỉ có thể được kiểm soát trong quá trình xử lý tẩy gỉ, và do đó, độ dày của lớp oxy hóa bên trong có thể được kiểm soát một cách thích hợp.

Cơ chế để Sn, Cu, và Sb được chứa trong thép ngăn không cho tạo ra và phát triển lớp oxy hóa bên trong được cho là như sau. Các nguyên tố này phân tách giữa lớp oxy hóa bên ngoài và thép, và do đó, ngăn chặn được sự khuếch tán của oxy chứa trong lớp oxy hóa bên ngoài vào trong tấm thép.

Theo kỹ thuật thông thường, tấm thép cán nóng sau khi cán nóng được làm nguội đến gần nhiệt độ trong phòng, và sau đó, quá trình ủ tấm thép cán nóng được thực hiện trong khoảng nhiệt độ từ 800 đến 1000°C trong khoảng 1 phút bằng cách gia nhiệt lại tấm thép. Mặt khác, theo phương án này, để kiểm soát một cách thuận lợi lớp oxy hóa bên trong, tấm thép cán nóng trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng được xử lý bảo toàn nhiệt trong các điều kiện nêu trên. Hơn nữa, tấm thép sau khi xử lý bảo toàn nhiệt được làm nguội đến gần nhiệt độ trong phòng, và sau đó, được tẩy gỉ và cán nguội mà không cần thực hiện quá trình ủ tấm thép cán nóng.

Tẩy gỉ

Tấm thép nền sau quá trình xử lý bảo toàn nhiệt được tẩy gỉ. Lượng tẩy gỉ (mức hao hụt trọng lượng sau khi tẩy gỉ) được kiểm soát phụ thuộc vào trạng thái của lớp oxy hóa bên ngoài và lớp oxy hóa bên trong trên bề mặt của tấm thép và phụ thuộc vào các

điều kiện của axit được sử dụng để tẩy gỉ như loại, nồng độ, và nhiệt độ. Trong quá trình tẩy gỉ, lớp oxy hóa bên ngoài được hòa tan, và lớp oxy hóa bên trong được làm mỏng đến độ dày đã xác định trước.

Chẳng hạn, là phương pháp để kiểm soát lượng tẩy gỉ ở mức nhỏ, phương pháp rút ngắn thời gian tẩy gỉ, giảm nhiệt độ của dung dịch tẩy gỉ, hoặc bổ sung chất ức chế tẩy gỉ hiện có sẵn trên thị trường (polyamin hoặc chất tương tự) là có hiệu quả. Chẳng hạn, chất ức chế tẩy gỉ bao gồm chủ yếu polyamin, và polyme của nó có tính chất được hấp thu dễ dàng trên các cặp điện tử không dùng chung của các nguyên tử sắt. Polyme bám dính vào bề mặt của tấm thép, diện tích tiếp xúc với axit được giảm, và vì vậy, mức độ tẩy gỉ được giảm xuống. Axit formic và chất tương tự được biết đến là các chất phụ gia làm tăng tác dụng nêu trên.

Mặt khác, là phương pháp kiểm soát lượng tẩy gỉ ở mức lớn, phương pháp kéo dài thời gian tẩy gỉ, tăng nhiệt độ của dung dịch tẩy gỉ, hoặc bổ sung chất tăng tốc tẩy gỉ hiện có sẵn trên thị trường (natri thiosulfat hoặc chất tương tự) là có hiệu quả. Chất tăng tốc tẩy gỉ bao gồm chất chelat hóa đối với các nguyên tử sắt, và có tính chất dễ tạo ra liên kết phối trí với ion sắt. Khi chất tăng tốc tẩy gỉ được bao gồm, sắt hòa tan trong dung dịch tẩy gỉ được chelat hóa. Kết quả là, nồng độ của các ion sắt được hòa tan trong dung dịch tẩy gỉ không tăng một cách dễ dàng, mức độ hòa tan sắt không giảm, và quá trình tẩy gỉ diễn ra.

Cán nguội

Tấm thép nền sau khi tẩy gỉ được cán nguội. Để cải thiện mật độ từ thông, mức giảm của quá trình cán nguội tốt hơn là nằm trong khoảng từ 50 đến 90%. Mức giảm của quá trình cán nguội là mức giảm tích lũy của quá trình cán nguội và thu được bằng công thức (độ dày của tấm thép trước khi cán nguội - độ dày của tấm thép sau khi cán nguội) ÷ độ dày của tấm thép trước khi cán nguội × 100. Cần xác định mức giảm của quá trình cán nguội khi xét đến độ dày của sản phẩm cuối cùng, khả năng gia công lạnh, và tương tự.

Quá trình ủ cuối cùng

Tấm thép nền sau khi cán nguội được ủ cuối cùng. Quá trình ủ cuối cùng là quá trình tái kết tinh tấm thép cán nguội và kiểm soát kích thước hạt, để cải thiện các đặc tính từ, đặc biệt là để cải thiện mật độ từ thông và tổn hao do sắt. Môi trường khí là rất

quan trọng cho quá trình ủ cuối cùng. Vì các đặc tính từ xấu đi khi tấm thép bị oxy hóa, nồng độ oxy trong môi trường khí đối với quá trình ủ cuối cùng tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng vài chục ppm.

Tốt hơn nếu khí của môi trường khí là nitơ hoặc argon, và hydro có thể được trộn nếu cần để ngăn chặn sự oxy hóa của tấm thép. Ở đây, khi nồng độ hydro tăng quá mức, lớp oxy hóa bên trong bị giảm xuống, và SiO_2 mịn cải thiện độ bền môi bị giảm xuống.

Nhiệt độ quá trình ủ cuối cùng tốt hơn là lớn hơn hoặc bằng 700°C trong đó sự kết tinh lại của tấm thép xảy ra. Khi nhiệt độ quá trình ủ cuối cùng quá thấp, sự kết tinh lại trở nên không đủ. Mặt khác, khi nhiệt độ quá trình ủ cuối cùng quá cao, SiO_2 mịn được chứa trong lớp oxy hóa bên trong phát triển, và vì vậy, không thu được tác dụng cải thiện độ bền môi. Vì vậy, nhiệt độ quá trình ủ cuối cùng tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 1150°C .

Lớp phủ cách điện được tạo ra đối với tấm thép silic sau quá trình ủ cuối cùng. Chẳng hạn, lớp phủ cách điện có thể là lớp phủ bao gồm axit cromic và nhựa hữu cơ hoặc lớp phủ bao gồm phosphat và nhựa hữu cơ. Lượng của lớp phủ cách điện tốt hơn là nằm trong khoảng từ $0,1$ đến 5gm^{-2} ở mỗi một phía.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, các tác dụng của khía cạnh của sáng chế được mô tả chi tiết dựa vào các ví dụ sau đây. Tuy nhiên, điều kiện trong các ví dụ là điều kiện lấy ví dụ được sử dụng để xác nhận khả năng thực hiện được và các tác dụng của sáng chế, nên sáng chế không bị giới hạn ở điều kiện lấy ví dụ này. Sáng chế có thể sử dụng các loại điều kiện khác nhau miễn là các điều kiện này không đi trệch khỏi phạm vi của sáng chế và có thể đạt được mục đích của sáng chế.

Ví dụ 1

Thép nóng chảy có thành phần đã được điều chỉnh được đúc, và sau đó, tấm thép silic được sản xuất bằng cách kiểm soát các điều kiện sản xuất trong mỗi quy trình. Các thành phần hóa học được thể hiện trong các bảng 1 và 2, và các điều kiện sản xuất được thể hiện trong các bảng 3 và 4. Trong quá trình sản xuất nêu trên, quá trình cán nóng được thực hiện trong các điều kiện sao cho nhiệt độ gia nhiệt bằng 1180°C và nhiệt độ của phía ra của quá trình cán cuối cùng bằng 970°C , và tấm thép cán nóng với độ dày bằng $2,0\text{mm}$ được sản xuất. Ở thời điểm này, lớp với độ dày khoảng $10\mu\text{m}$ chủ yếu gồm

có Fe_3O_4 được tạo ra trên bề mặt dưới dạng lớp oxy hóa bên ngoài.

Tấm thép cán nóng thu được trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng được đưa đi xử lý bảo toàn nhiệt trong môi trường khí tại đó áp suất riêng phần của oxy lớn hơn hoặc bằng 10^{-15}Pa ở nhiệt độ và thời gian thể hiện trong các bảng 3 và 4. Do đó, các hạt được phát triển đến lớn hơn hoặc bằng $20\mu\text{m}$, và lớp oxy hóa bên trong được tạo ra. Ở đây, mẫu được mô tả là "ủ tấm thép cán nóng" trong cột "xử lý bảo toàn nhiệt" trong bảng 4 được làm nguội đến nhiệt độ trong phòng mà không xử lý bảo toàn nhiệt trong quá trình làm nguội sau khi cán nóng, và sau đó, quá trình ủ tấm thép cán nóng được thực hiện trong môi trường khí gồm 100% nitơ ở 800°C trong 60 giây.

Tấm thép được xử lý bảo toàn nhiệt hoặc ủ tấm thép đã cán nóng sau khi cán nóng được đưa đi tẩy gỉ bằng cách được nhúng chìm trong 30 giây trong axit clohydric (10% khối lượng) ở 85°C và bao gồm các chất phụ gia (0,05% khối lượng) thể hiện trong các bảng 3 và 4. Tấm thép sau khi tẩy gỉ được đưa đi cán nguội với mức giảm của quá trình cán nguội là 75% để thu được tấm thép cán nguội với độ dày bằng 0,5mm. Tấm thép cán nguội được đưa đi ủ cuối cùng ở 1000°C trong 30 giây trong môi trường khí gồm 10% hydro và 90% nitơ. Ở thời điểm này, điểm sương của môi trường khí nêu trên bằng -30°C . Hơn nữa, đối với tấm thép silic sau bước ủ cuối cùng, lớp phủ cách điện trên cơ sở phosphat với độ dày trung bình bằng $1\mu\text{m}$ được tạo ra.

Sau đó, các đặc tính từ (B_{50} và $W_{15/50}$), độ bền mỏi, độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong, và độ cứng Vickers trong vùng trung tâm của tấm thép được đo. Các kết quả được thể hiện trong các bảng 5 và 6.

Các đặc tính từ (B_{50} và $W_{15/50}$)

Mẫu hình vuông với chiều dài cạnh bằng 55mm được cắt và lấy ra từ tấm thép điện không định hướng đã được sản xuất, và sau đó B_{50} và $W_{15/50}$ được đo bằng máy kiểm tra tấm đơn (single sheet tester, SST), ở đây B_{50} cho biết mật độ từ thông theo đơn vị T (tesla) khi tấm thép được kích thích dưới cường độ từ trường bằng 5000A/m, và $W_{15/50}$ cho biết tổn hao do sắt khi tấm thép được kích thích trong các điều kiện 50Hz và mật độ từ thông bằng 1,5T.

Các tiêu chuẩn đánh giá B_{50}

Có thể chấp nhận: lớn hơn hoặc bằng 1,65T

Không thể chấp nhận: nhỏ hơn 1,65T

Các tiêu chuẩn đánh giá $W_{15/50}$

Có thể chấp nhận: nhỏ hơn hoặc bằng 3,0W/kg

Không thể chấp nhận: lớn hơn 3,0W/kg

Độ bền mỏi

Từ tấm thép điện không định hướng đã được sản xuất, một mẫu tương ứng với mẫu số 5 được quy định trong Phụ lục B của JIS Z 2241: 2011 được lấy ra bằng cách gia công bằng phóng điện dọc theo hướng cán của tấm thép, và thử nghiệm mỏi được thực hiện trong các điều kiện sau đây. Thử nghiệm được thực hiện trong đó tỷ lệ ứng suất được giữ không đổi và do đó các ứng suất tối thiểu và tối đa được thay đổi. Các điều kiện ứng suất trong đó hai mẫu hoặc nhiều hơn trong ba mẫu không bị đứt gãy bởi hai triệu thao tác lặp lại được xác định, và ứng suất trung bình ((ứng suất tối thiểu + ứng suất tối đa) ÷ 2) được xác định là độ bền mỏi.

Thử nghiệm mỏi được thực hiện trong các điều kiện sao cho ứng suất trung bình bằng $\pm 10\text{MPa}$ trong mỗi bước, các điều kiện ứng suất trong đó hai mẫu hoặc nhiều hơn trong ba mẫu không bị đứt gãy bởi hai triệu thao tác lặp lại được xác định, và độ bền trung bình ở thời điểm đó được xác định là độ bền mỏi.

Các điều kiện thử nghiệm

Phương pháp thử nghiệm: Thử nghiệm tạo xung từng phần

Tỷ lệ ứng suất: 0,05

Tần số: 20Hz

Số lần lặp: 2 triệu

Số lượng mẫu: 3 mảnh ở mỗi ứng suất

Các tiêu chuẩn đánh giá độ bền mỏi

Có thể chấp nhận: ứng suất trung bình lớn hơn hoặc bằng 200MPa

Không thể chấp nhận: ứng suất trung bình nhỏ hơn 200MPa

Phân tích độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong và chất kết tủa trong lớp oxy hóa bên trong

Mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng đã được sản xuất được đánh bóng, ảnh vi mô SEM được chụp bằng cách sử dụng hình ảnh hợp phần điện tử phản xạ ở độ phóng đại 1000 lần, và diện tích khoảng lớn hơn hoặc bằng $100\mu\text{m}$ theo hướng phẳng trong tấm thép được quan sát đối với mặt trước và mặt sau của tấm thép. Theo sự cần thiết, mặt cắt ngang của tấm thép điện không định hướng đã được sản xuất được quan sát bằng TEM.

Việc quan sát cấu trúc vi mô và đo độ cứng của lớp oxy hóa bên trong và vùng trung tâm của tấm thép silic được thực hiện dựa trên phương pháp nêu trên. Đối với độ dày của lớp oxy hóa bên trong, giá trị trung bình được tính bằng cách sử dụng các độ dày ở 20 vị trí. Đối với độ cứng Vickers, 10 vết lõm được tạo ra bằng tải trọng đo $0,03\text{gf}$ ($2,94 \times 10^{-3}\text{N}$) trên mỗi trong số lớp oxy hóa bên trong và vùng trung tâm, chiều dài đường chéo của mỗi vết lõm (hình kim cương) được đo bởi SEM, và giá trị trung bình được tính bằng cách sử dụng các độ cứng Vickers ở 10 vị trí. Theo sự cần thiết, giá trị độ cứng được đo bằng cách phương pháp vết lõm nano được chuyển hóa thành độ cứng Vickers.

Các thành phần hóa học của các tấm thép silic đã sản xuất được thể hiện trong các bảng 1 và 2, và các điều kiện sản xuất và các kết quả đánh giá được thể hiện trong các bảng 3 đến 6. Ở đây, các thành phần hóa học của các tấm thép silic gần giống như các thành phần hóa học của các thép nóng chảy. Trong các bảng này, giá trị được gạch dưới cho biết ngoài khoảng của sáng chế. Hơn nữa, trong các bảng này, “-” đối với thành phần hóa học của tấm thép silic cho biết rằng không có nguyên tố hợp kim nào được bổ sung một cách có chủ ý.

Như được thể hiện trong các bảng 1 đến 6, các ví dụ theo sáng chế từ số B1 đến B26, thành phần hóa học của tấm thép silic, lớp oxy hóa bên trong, và vùng trung tâm của tấm thép được kiểm soát một cách thuận lợi, và do đó các đặc tính từ và độ bền mỗi là rất tốt đối với tấm thép điện không định hướng. Cụ thể là, trong các ví dụ theo sáng chế từ số B1 đến B26, có thể thu được tấm thép điện không định hướng rất tốt về các đặc tính từ và độ bền mỗi mà không cần bổ sung quy trình phụ thêm để hóa cứng bề mặt.

Mặt khác, như được thể hiện trong các bảng 2, 4, và 6, trong các ví dụ so sánh từ số b1 đến b14, ít nhất một trong số thành phần hóa học của tấm thép silic, lớp oxy hóa bên trong, và vùng trung tâm của tấm thép không được kiểm soát một cách thuận lợi, và do đó ít nhất một trong số các đặc tính từ và độ bền mỗi không được thỏa mãn đối với

tâm thép điện không định hướng.

Bảng 1

Đang 1

Thép số	Thành phần hóa học của tấm thép silic (theo đơn vị % khối lượng, phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất)												
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Sn	Sb	REM	Ca	Mg
A1	0,0028	3,0	0,19	0,02	0,0015	0,30	0,0025	-	-	-	-	-	-
A2	0,0022	2,1	0,59	0,04	0,0014	1,15	0,0022	-	-	-	-	-	-
A3	0,0021	3,9	0,21	0,03	0,0013	0,20	0,0023	-	-	-	-	-	-
A4	0,0023	3,0	0,11	0,02	0,0013	0,32	0,0025	-	-	-	-	-	-
A5	0,0022	2,2	1,95	0,01	0,0010	0,16	0,0020	-	-	-	-	-	-
A6	0,0021	3,0	0,18	0,04	0,0012	0,30	0,0021	-	-	-	-	-	-
A7	0,0022	3,0	0,22	0,02	0,0050	0,30	0,0023	-	-	-	-	-	-
A8	0,0023	3,0	0,21	0,02	0,0012	0,12	0,0023	-	-	-	-	-	-
A9	0,0018	2,2	0,22	0,03	0,0012	2,95	0,0021	-	-	-	-	-	-
A10	0,0021	3,0	0,21	0,02	0,0014	0,30	0,0048	-	-	-	-	-	-
A11	0,0024	3,0	0,20	0,02	0,0012	0,31	0,0022	0,20	-	-	-	-	-
A12	0,0023	3,0	0,19	0,02	0,0010	0,29	0,0021	-	0,05	-	-	-	-
A13	0,0021	3,0	0,21	0,02	0,0011	0,29	0,0021	-	-	0,03	-	-	-
A14	0,0021	3,0	0,21	0,02	0,0025	0,31	0,0023	-	-	-	0,0050	-	-
A15	0,0023	3,0	0,20	0,03	0,0026	0,30	0,0020	-	-	-	-	0,0040	0,0030
A16	0,0020	3,0	0,20	0,03	0,0026	0,28	0,0018	-	-	-	-	-	-
A17	0,0016	3,0	0,31	0,01	0,0008	0,29	0,0013	-	-	0,03	-	0,0015	-
A18	0,0015	3,0	0,29	0,01	0,0009	0,31	0,0011	-	0,03	-	0,003	-	-
A19	0,0026	2,7	0,20	0,04	0,0018	0,28	0,0020	-	-	-	-	-	-
A20	0,0019	2,1	0,19	0,02	0,0010	0,33	0,0023	0,50	0,30	-	-	-	-

Bảng 2

Đang z

Thép số	Thành phần hóa học của tám thép silic (theo đơn vị % khối lượng, phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất)												
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Sn	Sb	REM	Ca	Mg
A21	0,0010	3,0	0,20	0,01	0,0015	0,29	0,0020	-	-	-	-	-	-
A22	0,0021	3,0	0,19	0,01	0,0015	0,29	0,0019	0,10	-	-	-	-	-
A23	0,0024	3,0	0,21	0,02	0,0012	0,31	0,0018	-	0,02	-	-	-	-
A24	0,0023	3,0	0,20	0,01	0,0014	0,28	0,0020	-	-	0,02	-	-	-
A25	0,0021	3,0	0,19	0,02	0,0044	0,31	0,0022	-	-	-	-	-	-
A26	0,0023	3,0	0,21	0,03	0,0046	0,28	0,0019	-	-	-	-	-	-
a1	0,0035	2,5	0,19	0,02	0,0016	0,30	0,0021	-	-	-	-	-	-
a2	0,0022	1,8	0,18	0,02	0,0015	1,50	0,0023	-	-	-	-	-	-
a3	0,0021	4,3	0,21	0,02	0,0015	0,20	0,0022	-	-	-	-	-	-
a4	0,0023	2,5	0,08	0,01	0,0015	0,40	0,0021	-	-	-	-	-	-
a5	0,0018	3,1	2,20	0,01	0,0017	0,21	0,0016	-	-	-	-	-	-
a6	0,0022	3,0	0,19	0,07	0,0012	0,31	0,0019	-	-	-	-	-	-
a7	0,0023	3,0	0,35	0,02	0,0060	0,18	0,0018	-	-	-	-	-	-
a8	0,0025	3,0	0,50	0,02	0,0015	0,08	0,0020	-	-	-	-	-	-
a9	0,0024	2,3	0,20	0,02	0,0015	3,10	0,0020	-	-	-	-	-	-
a10	0,0020	3,1	0,21	0,02	0,0014	0,20	0,0056	-	-	-	-	-	-
a11	0,0024	2,4	0,17	0,02	0,0015	0,31	0,0023	-	-	-	-	-	-
a12	0,0026	3,0	0,19	0,03	0,0017	0,29	0,0019	-	-	-	-	-	-
a13	0,0025	2,9	0,20	0,02	0,0020	0,30	0,0020	-	-	-	-	-	-
a14	0,0023	2,9	0,20	0,02	0,0020	0,30	0,0020	-	-	-	-	-	-

Bảng 3

Thử nghiệm số	Thép số	Xử lý bảo toàn nhiệt			Chất phụ gia của quá trình xử lý tẩy gỉ
		Bảo toàn nhiệt	Nhiệt độ °C	Thời gian phút	
B1	A1	Bảo toàn nhiệt	850	10	Polyamin + axit formic
B2	A2	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
B3	A3	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B4	A4	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
B5	A5	Bảo toàn nhiệt	770	10	Polyamin + axit formic
B6	A6	Bảo toàn nhiệt	850	10	Polyamin + axit formic
B7	A7	Bảo toàn nhiệt	800	10	Polyamin + axit formic
B8	A8	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
B9	A9	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B10	A10	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
B11	A11	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B12	A12	Bảo toàn nhiệt	730	10	Polyamin + axit formic
B13	A13	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
B14	A14	Bảo toàn nhiệt	730	10	Polyamin + axit formic
B15	A15	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B16	A16	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B17	A17	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B18	A18	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B19	A19	Bảo toàn nhiệt	850	170	Natri thiosulfat
B20	A20	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic

Bảng 4

Thứ nghiem số	Thép số	Xử lý bảo toàn nhiệt			Chất phụ gia của quá trình xử lý tẩy gỉ
		Bảo toàn nhiệt	Nhiệt độ °C	Thời gian phút	
B21	A21	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
B22	A22	Bảo toàn nhiệt	830	10	Polyamin + axit formic
B23	A23	Bảo toàn nhiệt	830	10	Polyamin + axit formic
B24	A24	Bảo toàn nhiệt	830	10	Polyamin + axit formic
B25	A25	Bảo toàn nhiệt	800	20	Polyamin + axit formic
B26	A26	Bảo toàn nhiệt	800	30	Polyamin + axit formic
b1	a1	Ủ tấm thép cán nóng	800	1	Polyamin + axit formic
b2	a2	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
b3	a3	Bảo toàn nhiệt	680	10	Polyamin + axit formic
b4	a4	Bảo toàn nhiệt	650	10	Polyamin + axit formic
b5	a5	Bảo toàn nhiệt	800	10	Polyamin + axit formic
b6	a6	Bảo toàn nhiệt	850	10	Polyamin + axit formic
b7	a7	Bảo toàn nhiệt	800	10	Polyamin + axit formic
b8	a8	Bảo toàn nhiệt	750	10	Polyamin + axit formic
b9	a9	Bảo toàn nhiệt	700	10	Polyamin + axit formic
b10	a10	Bảo toàn nhiệt	750	10	Natri thiosulfat
b11	a11	Bảo toàn nhiệt	690	10	Polyamin + axit formic
b12	a12	Bảo toàn nhiệt	860	10	Polyamin + axit formic
b13	a13	Bảo toàn nhiệt	800	1	Polyamin + axit formic
b14	a14	Bảo toàn nhiệt	720	8	Polyamin + axit formic

Bảng 5

Thứ nghiệm số	Thép số	Lớp oxy hóa bên trong		Độ cứng Vickers			Mật độ từ thông B ₅₀ T	Tổn hao do sắt W _{15/50} W/kg	Độ bền mỗi MPa	Ghi chú
		Độ dày trung bình μm	Sự có mặt của SiO ₂	Lớp oxy hóa bên trong Hv	Vùng trung tâm Hv	Tỷ lệ độ cứng				
B1	A1	0,15	Có	200	170	1,18	1,71	2,5	210	Ví dụ theo sáng chế
B2	A2	0,6	Có	190	150	1,27	1,70	2,3	200	Ví dụ theo sáng chế
B3	A3	0,4	Có	250	215	1,16	1,69	2,2	220	Ví dụ theo sáng chế
B4	A4	0,8	Có	205	170	1,21	1,71	2,2	210	Ví dụ theo sáng chế
B5	A5	2,0	Có	180	140	1,29	1,71	2,2	200	Ví dụ theo sáng chế
B6	A6	4,8	Có	200	170	1,18	1,69	2,5	200	Ví dụ theo sáng chế
B7	A7	2,0	Có	210	170	1,24	1,71	2,5	210	Ví dụ theo sáng chế
B8	A8	0,6	Có	210	175	1,20	1,68	2,4	210	Ví dụ theo sáng chế
B9	A9	0,5	Có	235	195	1,21	1,65	2,4	230	Ví dụ theo sáng chế
B10	A10	1,0	Có	210	170	1,24	1,71	2,5	210	Ví dụ theo sáng chế
B11	A11	0,5	Có	210	170	1,24	1,72	2,1	210	Ví dụ theo sáng chế
B12	A12	1,0	Có	220	175	1,26	1,72	2,0	210	Ví dụ theo sáng chế
B13	A13	2,0	Có	225	170	1,32	1,72	2,1	220	Ví dụ theo sáng chế
B14	A14	1,2	Có	215	170	1,26	1,72	1,9	220	Ví dụ theo sáng chế
B15	A15	0,6	Có	210	170	1,24	1,72	1,9	210	Ví dụ theo sáng chế
B16	A16	0,8	Có	215	175	1,23	1,72	1,9	210	Ví dụ theo sáng chế
B17	A17	0,5	Có	210	170	1,24	1,73	1,8	210	Ví dụ theo sáng chế
B18	A18	0,5	Có	215	175	1,23	1,73	1,8	210	Ví dụ theo sáng chế
B19	A19	0,6	Có	200	170	1,18	1,73	1,8	230	Ví dụ theo sáng chế
B20	A20	0,3	Có	141	122	1,16	1,71	1,9	200	Ví dụ theo sáng chế

Bảng 6

Thử nghiệm số	Thép số	Lớp oxy hóa bên trong			Độ cứng Vickers			Mật độ từ thông B_{50} T	Tổng hao do sắt $W_{15/50}$ W/kg	Độ bền môi MPa	Ghi chú
		Độ dày trung bình μm	Sự có mặt của SiO_2	Lớp oxy hóa bên trong	Lớp oxy hóa bên trong Hv	Vùng trung tâm Hv	Tỷ lệ độ cứng				
B21	A21	0,3	Có		210	150	1,40	1,72	1,8	210	Ví dụ theo sáng chế
B22	A22	0,8	Có		220	170	1,29	1,74	1,9	220	Ví dụ theo sáng chế
B23	A23	1,2	Có		230	175	1,31	1,74	1,8	220	Ví dụ theo sáng chế
B24	A24	2,2	Có		235	170	1,38	1,74	1,9	230	Ví dụ theo sáng chế
B25	A25	2,2	Có		220	170	1,29	1,70	2,5	230	Ví dụ theo sáng chế
B26	A26	2,5	Có		235	175	1,34	1,71	2,4	240	Ví dụ theo sáng chế
b1	a1	0,2	Có		145	140	1,04	1,64	3,1	150	Ví dụ so sánh
b2	a2	0,2	Có		130	118	1,10	1,68	3,1	150	Ví dụ so sánh
b3	a3	2,0	Có		300	245	1,22	1,59	3,4	240	Ví dụ so sánh
b4	a4	0,08	Có		150	130	1,15	1,65	3,2	150	Ví dụ so sánh
b5	a5	5,3	Có		215	185	1,16	1,63	3,2	230	Ví dụ so sánh
b6	a6	1,2	Có		210	175	1,20	1,71	2,5	150	Ví dụ so sánh
b7	a7	1,8	Có		205	165	1,24	1,71	3,2	210	Ví dụ so sánh
b8	a8	3,3	Có		200	170	1,18	1,65	3,1	210	Ví dụ so sánh
b9	a9	2,5	Có		235	200	1,18	1,59	3,4	190	Ví dụ so sánh
b10	a10	0	Không		190	165	1,15	1,71	3,1	150	Ví dụ so sánh
b11	a11	0,6	Có		130	125	1,04	1,71	2,6	150	Ví dụ so sánh
b12	a12	5,8	Có		200	154	1,30	1,72	2,4	170	Ví dụ so sánh
b13	a13	0,5	Có		155	150	1,03	1,69	2,5	150	Ví dụ so sánh
b14	a14	0,6	Có		150	145	1,03	1,68	2,7	160	Ví dụ so sánh

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Theo các khía cạnh nêu trên của sáng chế, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng có độ bền mỏi và các đặc tính từ rất tốt và chi phí cũng rất tốt. Do đó, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng thích hợp làm các vật liệu lõi đối với thiết bị điện, đặc biệt là thích hợp làm các vật liệu lõi đối với các máy điện quay, các máy biến áp kích thước nhỏ và trung bình, các linh kiện điện, và tương tự, và đặc biệt là thích hợp làm lõi rôto của động cơ IPM. Ngoài ra, có thể tạo ra tấm thép điện không định hướng đáp ứng đủ yêu cầu là hiệu suất cao hơn của thiết bị điện, tốc độ quay cao hơn của các máy điện quay, và kích thước nhỏ hơn của các máy điện quay. Do đó, sáng chế có khả năng áp dụng công nghiệp đáng kể.

Danh sách ký hiệu tham chiếu

- 1 tấm thép điện không định hướng
- 11 tấm thép silic (tấm thép nền)
- 13 lớp oxy hóa bên trong
- 131 SiO_2
- 15 lớp phủ cách điện
- 17 lớp oxy hóa bên ngoài
- L hướng cán

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép điện không định hướng, trong đó tấm thép này bao gồm tấm thép silic và lớp phủ cách điện, khác biệt ở chỗ:

tấm thép silic chứa các thành phần hóa học theo % khối lượng như sau:

Si với hàm lượng nằm trong khoảng từ lớn hơn 2,00 đến 4,00%,

Al với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 3,00%,

Mn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 2,00%,

C với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,0030%,

P với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,050%,

S với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%,

N với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,005%,

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%,

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 1,00%,

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,40%,

REM (kim loại đất hiếm, Rare Earth Metal) với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%,

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%,

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 0,0400%, và

phần còn lại gồm có Fe và các tạp chất,

khi quan sát mặt cắt ngang có hướng cắt song song với hướng độ dày và khi vùng trung tâm có độ dày nằm trong khoảng từ 5/8 đến 3/8 tấm thép silic, độ cứng Vickers trong vùng trung tâm nằm trong khoảng từ 120 đến 300Hv, và

khi quan sát mặt cắt ngang, tấm thép silic bao gồm lớp oxy hóa bên trong chứa SiO_2 trên bề mặt của chúng, độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 0,10 đến 5,0 μm , và độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong nằm trong khoảng từ 1,15 đến 1,5 lần so với độ cứng Vickers trong vùng trung tâm.

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

trong đó tấm thép silic chứa thành phần hóa học theo % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

Sn với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%,

Cu với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,10 đến 1,00%, và

Sb với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,02 đến 0,40%.

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

trong đó tấm thép silic chứa thành phần hóa học theo % khối lượng, ít nhất một nguyên tố được chọn từ nhóm gồm có:

REM với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%,

Ca với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%, và

Mg với hàm lượng nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,0400%.

4. Tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3,

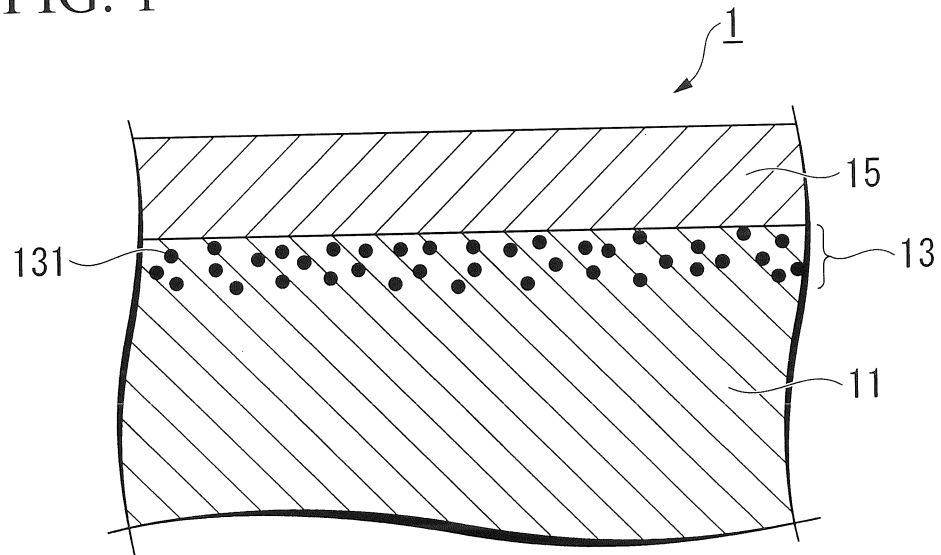
trong đó độ cứng Vickers trong lớp oxy hóa bên trong lớn hơn hoặc bằng 155Hv.

5. Tấm thép điện không định hướng theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4,

trong đó độ dày trung bình của lớp oxy hóa bên trong lớn hơn hoặc bằng 0,55 μ m.

1/3

FIG. 1



2/3

FIG. 2

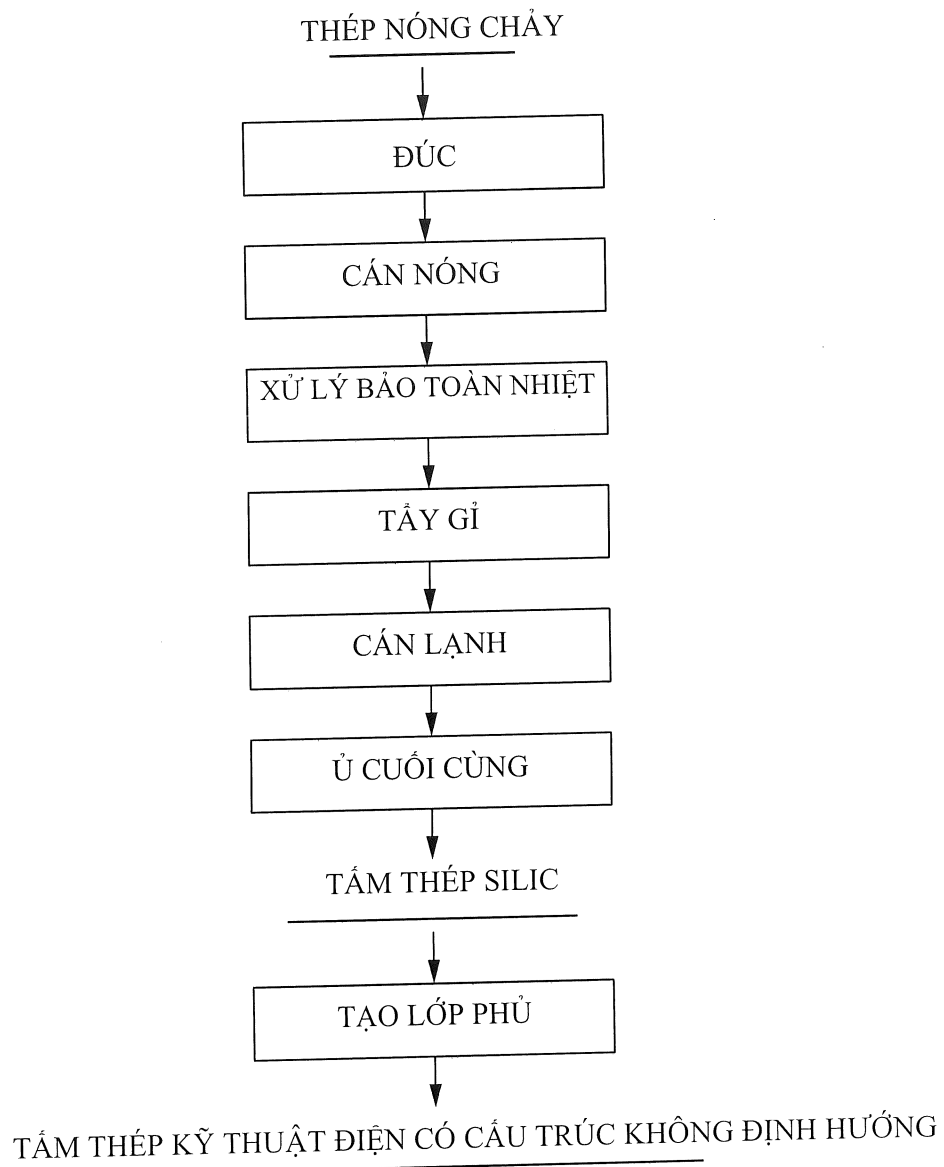


FIG. 3

