



(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)



1-0038527

(51)⁷ C21D 8/12

(13) B

(21) 1-2019-04951

(22) 24/01/2018

(86) PCT/CN2018/074023 24/01/2018

(87) WO2018/177007 04/10/2018

(30) 201710187566.3 27/03/2017 CN

(45) 25/01/2024 430

(43) 30/01/2020 382A

(73) BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD. (CN)

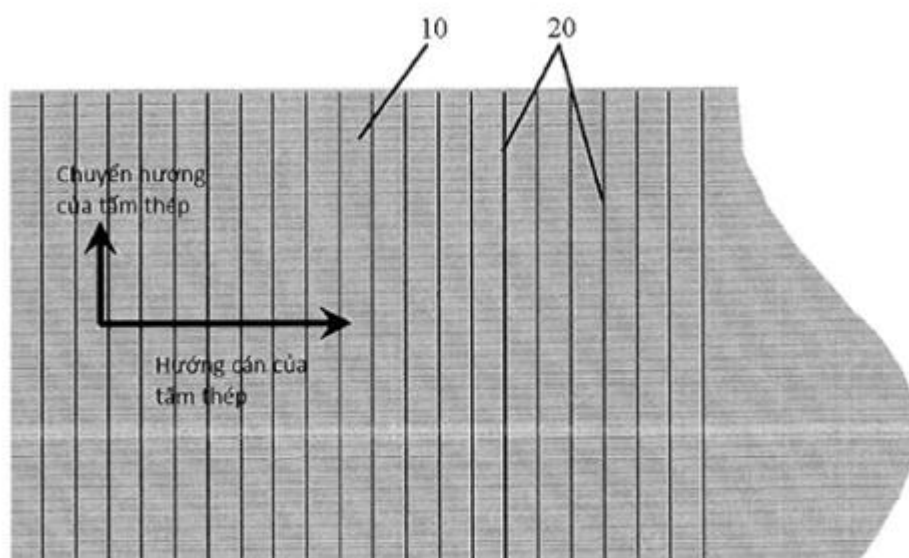
885 Fujin Road, Baoshan District Shanghai 201900 (CN)

(72) ZHAO, Zipeng (CN); LI, Guobao (CN); YANG, Yongjie (CN); WU, Meihong (CN);
MA, Changsong (CN); JI, Yaming (CN); LING, Chen (CN); XIE, Weiyong (CN);
GUO, Jianguo (CN).

(74) Công ty TNHH ASL LAW (ASL LAW CO.,LTD)

(54) THÉP SILIC ĐỊNH HƯỚNG HẠT ĐƯỢC KHẮC BẰNG LAZE CHỊU XỬ LÝ
NHIỆT GIẢM ỨNG SUẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT CHÚNG

(57) Sáng chế đề cập đến thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất và phương pháp sản xuất chúng. Các rãnh thẳng (20) song song được tạo ra trên một hoặc cả hai mặt của thép silic định hướng hạt (10) bằng cách khắc laze. Các rãnh thẳng (20) vuông góc với, hoặc theo một góc với hướng cán của tấm thép. Chiều cao tối đa của cạnh nhô ra của rãnh thẳng (20) không quá 5 μm , và chiều cao tối đa của phần bắn tung trong vùng không khắc giữa các rãnh thẳng (20) liền kề không quá 5 μm , và tỷ lệ diện tích chiếm bởi các phần bắn tung trong vùng lân cận của các rãnh thẳng không vượt quá 5%. Thép có chi phí sản xuất thấp, và hiệu ứng khắc của thép thành phẩm được giữ lại trong quá trình xử lý nhiệt giảm ứng suất. Thép thích hợp cho sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thép silic định hướng hạt và phương pháp sản xuất chúng, và cụ thể là thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất và phương pháp sản xuất chúng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, các vấn đề năng lượng và môi trường toàn cầu ngày càng trở nên nổi bật và nhu cầu bảo tồn năng lượng và giảm tiêu thụ đang gia tăng trên toàn thế giới. Do đó, tiêu chuẩn tiêu thụ năng lượng của thiết bị thường được nâng lên ở các quốc gia nhằm giảm mức tiêu thụ năng lượng phản ứng của các loại thiết bị khác nhau. Hiện nay, máy biến áp, là thành phần cơ bản của hệ thống truyền tải điện, chiếm khoảng 40% tổn thất của hệ thống truyền tải điện. Lõi sắt được sản xuất bằng cách cán hoặc cuộn thép silic định hướng hạt có mức tiêu thụ năng lượng phản ứng chiếm khoảng 20% tổng tổn thất trong điều kiện làm việc. Tổn thất lõi sắt thường được gọi là tổn thất sắt. Điều này có thể được thấy là việc giảm tổn thất sắt của thép silic định hướng hạt có ý nghĩa lớn đối với nền kinh tế quốc gia và bảo vệ môi trường.

Thép silic định hướng hạt là vật liệu sắt từ, được đặt tên theo định hướng hạt bên trong $\{110\}<001>$ của nó rất phù hợp với hướng cán thép silic vào tấm thép. Thép silic định hướng hạt được sử dụng rộng rãi trong sản xuất máy biến áp để truyền tải điện vì độ thấm từ tốt nhất theo hướng $\{110\}<001>$. Độ thấm từ của thép silic định hướng hạt thường đặc trưng bởi B8, tức là mật độ từ thông của tấm thép silic ở từ trường kích thích 800 A/m, tính bằng đơn vị T. Tổn thất sắt thường đặc trưng bởi P17/50, tức là năng lượng điện không hiệu quả được tiêu thụ bởi từ hóa khi mật độ từ thông trong tấm thép silic đạt 1,7T tại trường kích thích AC 50 Hz, tính bằng đơn vị W/kg. Nói chung, B8 và P17/50 đặc trưng cho các tính chất cơ bản của thép silic định hướng hạt trong các điều kiện hoạt động của máy biến áp.

Quy trình sản xuất thép silic định hướng hạt thông thường như sau.

Vật liệu thép có hàm lượng silic nhất định phải chịu quá trình luyện sắt, luyện thép, đúc liên tục và sau đó trải qua quá trình cán nóng. Tiếp theo, cán nguội đơn hoặc cán nguội kép với xử lý nhiệt trung gian được thực hiện để cán vật liệu thép đến độ dày mong muốn. Sau đó, xử lý nhiệt khử cacbon được thực hiện để thu được tấm thép kết tinh lại sơ cấp có màng oxit trên bề mặt của nó. Sau đó, tấm thép được bao phủ với lớp phân tách dựa trên MgO trên bề mặt, và chịu xử lý nhiệt nhiệt độ cao trong 20 giờ trở lên, tạo thành tấm thép silic định hướng hạt có cấu trúc kết tinh lại thứ cấp. Sau đó, kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt được thực hiện, lớp phủ được áp dụng và quy trình sấy khô được thực hiện, tạo ra thép silic định hướng hạt hoàn thiện. Thép silic

định hướng hạt có đặc tính cảm ứng từ cao và tổn thất sắt thấp, và cụ thể thích hợp để sản xuất lõi sắt biến áp.

Sự tổn thất sắt của thép silic định hướng hạt bao gồm ba phần: tổn thất độ trễ, tổn thất dòng điện xoáy và tổn thất dòng điện xoáy bất thường. Tổn thất độ trễ là tổn thất năng lượng gây ra bởi độ trễ từ trong đó sự thay đổi cường độ cảm ứng từ nằm sau sự thay đổi của cường độ từ trường. Độ trễ từ được gây ra bởi sự cản trở chuyển động của vách vùng từ trong quá trình từ hóa và khử từ do các yếu tố như tạp chất, khuyết tinh thể và ứng suất bên trong vật liệu. Tổn thất dòng điện xoáy là tổn thất năng lượng gây ra bởi dòng điện xoáy và liên quan đến độ dẫn điện và độ dày của tấm thép silic, trong đó dòng điện xoáy gây ra bởi lực điện động cục bộ bằng cách thay đổi từ thông trong quy trình từ hóa. Tổn thất dòng điện xoáy bất thường là tổn thất năng lượng gây ra bởi sự khác biệt về cấu trúc vùng từ tính khi tấm thép silic bị từ hóa, và bị ảnh hưởng chủ yếu bởi chiều rộng của vùng từ.

Cấu trúc vùng từ bên trong các hạt của thép silic định hướng hạt được hình thành do sự tương tác của từ hóa tự phát và trường khử từ. Các mô men từ của các nguyên tử bên trong một vùng từ được sắp xếp theo cùng hướng, do đó các tinh thể vĩ mô thể hiện chất sắt từ. Trong trường hợp không có từ trường bên ngoài, các vùng từ của thép silic định hướng hạt chủ yếu là vùng từ trường 180° không song song. Độ rộng của một vùng từ tính thường có thể ở mức hàng chục micron hoặc thậm chí là milimét. Lớp chuyển tiếp gồm vài chục đến hàng trăm lớp nguyên tử tồn tại giữa các vùng từ tính liền kề, được đặt tên là vách vùng từ. Trong quá trình từ hóa, mô men từ được quay bởi trường bên ngoài, và sự di chuyển của vách vùng từ làm cho các vùng từ liền kề bị sát nhập lẫn nhau, từ đó nhận ra chức năng dẫn từ. Tinh sạch vùng từ (ví dụ, giảm độ rộng của vùng từ) có hiệu quả có thể làm giảm tổn thất dòng điện xoáy bất thường, và là phương pháp quan trọng để giảm tổn thất sắt của tấm thép silic, và cũng là một trong những hướng phát triển chính của công nghệ thép silic định hướng hạt.

Kỹ thuật khắc bề mặt của thép silic định hướng hạt để tinh chỉnh các vùng từ để giảm tổn thất sắt có thể được chia thành hai loại theo tác dụng của khắc. Một loại là kỹ thuật khắc không có khả năng chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất. Trong kỹ thuật này, vùng ứng suất nhiệt tuyến tính được hình thành trên bề mặt ở khoảng thời gian nhất định bằng tia laze, chùm tia plasma, tia điện tử hoặc tương tự gây ra các vùng từ xung quanh khu vực, do đó làm giảm độ rộng của vùng từ 180° và đạt được mục đích giảm tổn thất sắt. Theo phương pháp như vậy, hiệu ứng sàng lọc của các vùng từ biến mất cùng với việc loại bỏ ứng suất nhiệt tại vết nứt sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất, và tổn thất sắt sau đó trở về mức ban đầu. Do đó, phương pháp này chỉ có thể được sử dụng trong sản xuất máy biến thế lõi sắt nhiều lớp mà không cần xử lý nhiệt giảm ứng suất. Một loại khác là kỹ thuật khắc có khả năng chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất. Các phương tiện kỹ thuật hiện được báo cáo là ăn mòn cơ học, điện hóa, chùm tia laze và các loại tương tự. Giải pháp kỹ thuật nói chung bao gồm: hình thành vùng biến dạng

tuyến tính trên bề mặt thép silic định hướng hạt để phân phối lại năng lượng bên trong, do đó làm giảm độ rộng của vùng từ 180° và giảm tổn thất sắt. Tổn thất thép silic định hướng hạt được tạo ra do phương pháp không hồi phục sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất. Do đó, phương pháp như vậy có thể được áp dụng để sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt đòi hỏi phải xử lý nhiệt giảm ứng suất. Máy biến áp lõi sắt cắt tận dụng tối đa tính ưu việt của tính chất từ của thép silic định hướng hạt theo hướng cán, và có lợi thế rõ ràng về sự tổn thất và tiếng ồn, vì vậy nó được người dùng ưa chuộng. Thép silic định hướng hạt có khả năng chống xử lý nhiệt giảm ứng suất đặc biệt thích hợp để sản xuất các loại máy biến áp như vậy và là hướng phát triển công nghệ.

Trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US4770720, vùng biến dạng tế vi được hình thành trên bề mặt thép silic bằng phương tiện áp suất cơ học. Các hạt nhỏ được hình thành dưới vùng biến dạng sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất. Hiệu ứng tinh sạch của các vùng từ được tạo ra do sự định hướng của các hạt tinh thể nhỏ khác với định hướng của chất nền.

Trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US7,063,780, hiệu ứng ăn mòn chịu nhiệt đạt được bằng phương pháp ăn mòn điện phân. Thứ nhất, tấm thép silic định hướng hạt có lớp màng dưới được xử lý thẳng bằng tia laze để bóc lớp màng dưới, và lớp chất nền kim loại được phơi ra trong vùng. Sau đó, tấm thép silic định hướng hạt được ngâm trong chất điện phân để tạo thành cặp điện cực giữa tấm thép silic và điện cực Platin. Chất nền được khắc điện hóa bằng cách luân phiên kiểm soát các thay đổi dương và âm trong thế điện cực để vùng tạo thành các rãnh thẳng gần như hình chữ nhật.

Trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US7,045,025, bề mặt của tấm thép silic trước hoặc sau khi kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt phải chịu gia nhiệt thẳng cục bộ bằng cách sử dụng chùm tia laze để tạo thành vùng nóng chảy lại. Vật liệu phủ và một phần của chất nền kim loại được nóng chảy, làm mát và đóng rắn để tạo thành vùng nóng chảy lại, và tổn thất sắt của tấm thép silic được giảm bằng cách kiểm soát độ rộng và độ sâu của vùng nóng chảy lại.

Trong bằng sáng chế Trung Quốc CN102941413A, phương pháp khắc laze nhiều lần được sử dụng để kiểm soát chính xác độ sâu và độ rộng của các rãnh và để giảm tổn thất sắt của tấm thép silic từ 8% trở lên. Trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US20130139932, các rãnh có độ sâu nhất định được hình thành trên bề mặt thép silic bằng cách kiểm soát mật độ năng lượng của chùm tia laze. Các vùng tinh thể cân bằng được hình thành tại các rãnh làm giảm kích thước của các hạt kết tinh lại thứ cấp, và do đó các vùng từ tính được tinh sạch.

Trong kỹ thuật khắc chịu nhiệt của thép silic định hướng hạt, một loạt các rãnh hoặc biến dạng được hình thành trên bề mặt của tấm thép bằng phương tiện nhất định để tinh sạch các từ trường và giảm tổn thất sắt. Do sự có mặt của các rãnh hoặc biến dạng không thay đổi do xử lý nhiệt, hiệu quả giảm tổn thất sắt không biến mất trong

quá trình xử lý nhiệt giảm ứng suất, và do đó kỹ thuật này đặc biệt phù hợp để sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt.

Sản xuất hiệu quả và chi phí thấp của thép silic định hướng hạt chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất là vấn đề phổ biến đối với các nhà sản xuất thép. Điểm mấu chốt của nó là rất khó để có được cả các đặc điểm vi mô của các rãnh khắc và sản xuất hàng loạt vĩ mô.

Kỹ thuật khắc chịu nhiệt thông thường bằng phương pháp điện hóa có quy trình phức tạp và mức độ ô nhiễm hóa học nhất định. Hơn nữa, hình dạng và độ sâu của các rãnh ít kiểm soát hơn và rất khó để có được tấm thép silic định hướng hạt có tính chất từ tính ổn định và đồng nhất. Các giải pháp kỹ thuật hình thành các rãnh bằng cách áp lực cơ học là cực kỳ đòi hỏi trên các cuộn răng. Hơn nữa, độ cứng cao của lớp lót magiê silicat trên bề mặt thép silic định hướng hạt làm cho các cuộn răng bị mòn nhanh chóng, dẫn đến chi phí sản xuất hàng loạt cao. Phương pháp hình thành các rãnh bằng nhiều lần quét laze đòi hỏi độ chính xác đặt lặp lại cao, dẫn đến khó khăn trong việc sản xuất dòng chảy. Phương pháp hình thành các rãnh hoặc các khu vực nóng chảy lại bằng phương pháp nóng chảy bằng laze có xu hướng tạo ra các phần nhô ra và phần bắn tung giống như miệng núi lửa ở và gần cạnh của các rãnh, dẫn đến giảm hệ số cán mỏng của các tấm thép silicon. Và máy biến áp được chế tạo theo phương pháp có nguy cơ vỡ giữa các tấm trong quá trình hoạt động.

Thép silic định hướng hạt được đặt tên cho các hạt tinh thể bên trong của nó có cùng hướng. Thép silic định hướng hạt là tấm thép điện có hàm lượng silic nhất định và hướng từ hóa dễ dàng về cơ bản giống như hướng cán của quá trình sản xuất. Bên trong tấm thép, có các vùng 180° giống hoặc ngược với hướng từ hóa dễ dàng của các hạt. Trong quá trình từ hóa AC, các cực từ trong tấm thép nhận ra sự quay nhanh bởi sự chuyển động của vách vùng từ giữa các vùng từ liền kề. Do đó, tấm thép có độ thấm từ tốt, và máy biến áp làm từ tấm thép có độ thấm từ cao và tổn thất sắt thấp.

Đó là mong muốn trong công nghệ thép silic để liên tục giảm tổn thất sắt của vật liệu thép silic. Hiện tại có hai tuyến đường kỹ thuật để giảm tổn thất sắt của tấm thép silic. Trong một giải pháp kỹ thuật, bằng phương pháp luyện kim, tổn thất sắt được giảm bằng cách kiểm soát cấu trúc kết tinh lại thứ cấp và tăng mức độ định hướng, và hướng từ hóa dễ dàng của các hạt tinh thể phù hợp nhất có thể với hướng cán thép silic vào tấm thép, nghĩa là giảm góc lệch của hướng hạt. Cách khác là giảm tổn thất sắt bằng cách giảm độ rộng của vùng từ, nghĩa là tinh sạch các vùng từ. Việc tinh sạch các vùng từ có thể làm giảm sự tổn thất dòng điện xoáy bất thường của thép silic định hướng hạt. Vùng ứng suất nhiệt tuyến tính cực nhỏ vuông góc với hướng cán được áp dụng cho bề mặt của thép silic định hướng hạt thành phẩm bằng tia laze hoặc tia điện tử hoặc tương tự, như được mô tả trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US42,442,260 B2, Bằng sáng chế Hoa Kỳ US5,241,151 và tương tự. Ứng suất dẫn đến vùng từ 90° vuông góc với hướng cán trong vùng lân cận, do đó độ rộng của vùng từ

180° bị giảm, do đó làm giảm tổn thất sắt của thép silic định hướng hạt. Những sản phẩm này đã được sử dụng rộng rãi trong sản xuất máy biến thế lõi sắt nhiều lớp.

Với nhu cầu tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường ngày càng tăng, máy biến áp lõi sắt cắt đang dần được ưa chuộng trên thị trường. Các tấm thép silicon của lõi sắt cắt được chế tạo bằng cách cán theo hướng cán thép silic vào tấm thép, và các tính chất từ của thép silic định hướng hạt theo hướng cán được sử dụng đầy đủ. Do đó, so với lõi sắt nhiều lớp, lõi sắt cắt có ưu điểm là tổn thất thấp, tiếng ồn thấp, không lãng phí cắt, và tương tự, và đặc biệt thích hợp để sản xuất máy biến áp tiết kiệm năng lượng vừa và nhỏ. Tuy nhiên, ứng suất bên trong tạo ra trong lõi sắt trong quá trình cuộn dây làm giảm sự tổn thất sắt của tấm thép silic. Do đó, lõi sắt phải được xử lý để xử lý nhiệt giảm ứng suất. Quy trình xử lý nhiệt giảm ứng suất thường như sau: trong môi trường bảo vệ, nhiệt độ được duy trì ở 800°C trở lên trong 2 giờ trở lên để phục hồi hoàn toàn sự sai lệch bên trong của vật liệu, và ứng suất bên trong được loại bỏ hoàn toàn, và các tính chất từ của tấm thép silic là tối ưu. Đối với tấm thép silic định hướng hạt trong đó các vùng từ được tinh sạch bằng cách sử dụng tia laze hoặc tia điện tử thông thường để tạo ra các vùng ứng suất tuyến tính, hiệu ứng sàng lọc của các vùng từ sẽ biến mất cùng với việc loại bỏ ứng suất sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất. Do đó, tấm thép silic định hướng hạt như vậy không thể được sử dụng để sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt.

Để duy trì hiệu ứng tinh sạch của các vùng từ sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất, kỹ thuật tinh sạch vùng từ chống lại quy trình xử lý nhiệt giảm ứng suất đã được phát triển. Trong kỹ thuật, các rãnh có hình dạng nhất định được hình thành trên bề mặt của tấm thép silic bằng phương pháp khắc hóa học hoặc áp suất cơ học. Các cực từ tự do được tạo ra tại các rãnh phân phối lại năng lượng vật chất, làm giảm độ rộng của vùng từ và giảm tổn thất sắt. Do các rãnh không thay đổi trong quy trình xử lý nhiệt giảm ứng suất, tấm thép silic định hướng hạt được sản xuất bởi loại công nghệ này có thể được áp dụng để sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt. Loại công nghệ này được gọi chung là công nghệ khắc chịu nhiệt.

Các kỹ thuật khắc chịu nhiệt hiện có cho các ứng dụng thương mại là phương pháp khắc hóa học và phương pháp điểm cơ học. Do quy trình sản xuất phương pháp khắc hóa học liên quan đến các phản ứng hóa học, nên phương pháp này có tính đồng nhất của rãnh và khả năng kiểm soát quy trình, và gây ô nhiễm nhất định cho môi trường. Đối với giải pháp kỹ thuật hình thành vùng biến dạng bằng áp suất cơ học, do vật liệu thép silic có độ cứng cao và các rãnh có kích thước nhỏ, giải pháp kỹ thuật có yêu cầu cao về độ cứng của thiết bị cơ khí và độ chính xác gia công. Trong Bằng sáng chế Hoa Kỳ số US7,045,025, các vùng nóng chảy được hình thành bằng cách xử lý bằng laze. Do điểm nóng chảy cao và độ dẫn nhiệt cao của kim loại, các phần nhô ra giống như miệng núi lửa được hình thành ở các cạnh của rãnh do sự nóng chảy của kim loại, và phần lắng đọng dính được hình thành bằng cách làm mát và phục hồi sau

khi khí hóa kim loại sẽ được sản xuất trong vùng lân cận, giảm hệ số cán mỏng của tấm thép silic và tăng nguy cơ vỡ giữa các tấm trong quá trình bảo dưỡng máy biến áp. Trong bằng sáng chế của Trung Quốc CN102941413A, vấn đề giảm yếu tố cán màng do các phần bắn tung được khắc phục bằng nhiều điểm laze. Tuy nhiên, hiệu quả của việc lắp lại điểm thấp và việc đặt lắp lại là khó khăn, dẫn đến khó sản xuất hàng loạt sử dụng dây chuyền lắp ráp công nghiệp.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích theo sáng chế là đề cập đến tấm thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất và phương pháp sản xuất chúng. Tấm thép có chi phí sản xuất thấp, và hiệu ứng khắc của tấm thép thành phẩm được giữ lại trong quá trình xử lý nhiệt giảm ứng suất. Cụ thể, tấm thép thích hợp cho sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt.

Để đạt được mục đích trên, giải pháp kỹ thuật theo sáng chế như sau.

Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất, trong đó các rãnh thẳng song song được tạo ra trên một hoặc cả hai mặt của thép silic định hướng hạt bằng cách khắc laze, trong đó các rãnh thẳng vuông góc với, hoặc theo một góc với hướng cán thép silic vào tấm thép; chiều cao tối đa của cạnh nhô ra của rãnh thẳng không quá 5 μm , và chiều cao tối đa của phần bắn tung trong vùng không khắc giữa các rãnh thẳng liền kề không quá 5 μm , và tỷ lệ diện tích chiếm bởi các phần bắn tung trong vùng lân cận của các rãnh thẳng không vượt quá 5%.

Tốt hơn là, chiều cao của phần bắn tung trong vùng không khắc giữa các rãnh thẳng liền kề không quá 2 μm , và tỷ lệ diện tích chiếm bởi các phần bắn tung trong vùng lân cận của các rãnh thẳng không vượt quá 2,5%.

Tốt hơn là, độ nhám đường R_a của đường trung tâm ở dưới cùng của các rãnh thẳng không quá 2,1 μm .

Tốt hơn là, độ nhám đường R_a của đường trung tâm ở dưới cùng của các rãnh thẳng không quá 0,52 μm .

Tốt hơn là, rãnh thẳng gần như hình tam giác, hình thang, hình bán nguyệt hoặc hình elip.

Tốt hơn là, góc giữa rãnh thẳng và hướng cán của thép silic vào tấm thép là 0~30°.

Tốt hơn là, rãnh thẳng có chiều rộng từ 5 đến 300 μm và độ sâu từ 5 đến 60 μm , và khoảng cách giữa các rãnh thẳng liền kề là từ 1 đến 10 mm.

Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo sáng chế, bao gồm bước làm nóng chảy, đổ khuôn liên tục,

cán nóng, cán nóng đơn, hoặc cán nóng kép với xử lý nhiệt trung gian, xử lý nhiệt khử cacbon, xử lý nhiệt nhiệt độ cao, tạo ra thép silic định hướng hạt hoàn thiện bằng cách kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt, và áp lớp cách điện, trong đó phương pháp còn bao gồm bước khắc laze, được thực hiện trước khi xử lý nhiệt khử cacbon, hoặc trước hoặc sau khi kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt; khắc laze bao gồm các bước sau:

- 1) tạo ra lớp màng bảo vệ trên bề mặt của thép silic định hướng hạt;
- 2) khắc laze bề mặt của thép silic định hướng hạt để tạo ra một loạt rãnh thẳng vuông góc với hoặc theo một góc tới hướng cán của thép silic vào tấm thép;
- 3) làm sạch bề mặt thép silic định hướng hạt để loại bỏ lớp màng bảo vệ, và làm khô.

Tốt hơn là, lớp màng bảo vệ được tạo ra từ bột oxit kim loại, và có độ ẩm từ 0,3 % trọng lượng đến 5,5 % trọng lượng.

Tốt hơn là, lớp màng bảo vệ có độ dày từ 1,0 μm đến 13,0 μm .

Tốt hơn là, bột oxit kim loại không tan trong nước và là một loại bột hoặc kết hợp một vài loại bột và tỷ lệ các hạt có đường kính hạt từ 500 μm trở lên trong bột là 10% theo thể tích hoặc ít hơn.

Tốt hơn là, bột oxit kim loại là một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ, Al_2O_3 , ZnO hoặc ZrO .

Tốt hơn là, nguồn bơm tạo ra laze được sử dụng trong bước khắc laze là một hoặc nhiều laze CO_2 , laze rắn, và laze sợi quang, và laze là liên tục hoặc xung.

Tốt hơn là, laze trong bước khắc laze có mật độ công suất I không nhỏ hơn $1,0 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, và mật độ năng lượng trung bình e_0 từ 0,8 J/mm^2 đến 8,0 J/mm^2 , và tỷ lệ a của mật độ năng lượng trung bình so với độ dày của lớp màng bảo vệ là từ 0,6 đến 7,0.

Ngoài ra, phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo sáng chế, bao gồm bước làm nóng chảy, đổ khuôn liên tục, cán nóng, cán nóng đơn, hoặc cán nóng kép với xử lý nhiệt trung gian, xử lý nhiệt khử cacbon, phủ lớp tách MgO trên bề mặt của tấm thép, xử lý nhiệt nhiệt độ cao, và tạo ra thép silic định hướng hạt hoàn thiện bằng cách kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt và áp lớp cách điện, trong đó khắc laze được thực hiện sau khi xử lý nhiệt khử cacbon để tạo ra một loạt rãnh thẳng trên bề mặt của thép silic định hướng hạt vuông góc với hoặc theo một góc tới hướng cán của thép silic vào tấm thép.

Các sáng chế nghiên cứu chi tiết về sự khuếch tán nhiệt trong quá trình khắc laze dưới các trạng thái bề mặt khác nhau của các tấm thép silic và phương pháp ngăn chặn sự nóng chảy và phân bắn tung từ dính vào và tích tụ gần các rãnh. Các nhà sáng chế đã đề xuất một cách sáng tạo phương pháp trong đó thép silic định hướng hạt được

khác chịu nhiệt được sản xuất bằng cách phủ lớp màng bảo vệ trên bề mặt của thép silic định hướng hạt, khắc lazer và sau đó làm sạch. Trong phương pháp theo sáng chế, các rãnh ổn định và có thể kiểm soát có thể được hình thành bằng cách quét lazer một lần, các vùng từ được tinh sạch và tổn thất sắt giảm đi mà không làm suy giảm đáng kể hệ số cán mỏng, và hiệu quả của việc giảm tổn thất sắt không biến mất sau khi xử lý nhiệt giảm ứng suất. Các nhà sáng chế đã quan sát qua kính hiển vi hình ảnh tốc độ cao rằng các phần nhô ra ở cạnh rãnh là do sự nóng chảy và tích tụ của một phần kim loại do sự truyền nhiệt trong quá trình khắc lazer. Ngoài ra, các phần bắn tung gần các rãnh được hình thành bằng cách làm nguội nhanh kim loại hoặc plasma trong điều kiện thanh lọc và ngưng tụ trên bề mặt của tấm thép silic. Các nhà sáng chế đã thu được giải pháp kiểm soát các cạnh nhô ra của các rãnh bằng phương pháp khắc lazer sau khi áp lớp màng bảo vệ. Hình 2 minh họa tác động của phần nhô ra trên cạnh của các rãnh trên hệ số cán mỏng, và mục tiêu theo sáng chế. Khi chiều cao của các cạnh nhô ra vượt quá 5 μm , hệ số cán mỏng được giảm xuống 95% hoặc ít hơn, không đáp ứng các yêu cầu của quy trình sản xuất lõi sắt máy biến áp. Do đó, cần kiểm soát chiều cao của các phần nhô ra trên cạnh rãnh là 5 μm hoặc nhỏ hơn.

Hình 3 minh họa chiều cao của các phần bắn tung giữa các rãnh liền kề, tỷ lệ diện tích chiếm diện tích của các phần bắn tung, và phạm vi của hệ số cán mỏng theo yêu cầu của sáng chế. Khi chiều cao của các phần bắn tung hình thành giữa các rãnh liền kề không vượt quá 5 μm và tỷ lệ các phần bắn tung trên đơn vị diện tích không vượt quá 5,0%, hệ số cán mỏng của tấm thép silic định hướng hạt có thể được duy trì ở mức 95% trở lên. Đặc biệt, khi chiều cao của các phần bắn tung không vượt quá 2 μm và tỷ lệ của các phần bắn tung trên đơn vị diện tích không vượt quá 2,5%, hệ số cán mỏng của tấm thép silic có thể được duy trì ở mức 96% trở lên, nên ưu tiên trong các sáng chế hiện nay.

Cần lưu ý rằng để ngăn chặn sự phân chia giữa các tấm hoặc tăng tiếng ồn do phần bắn tung hoặc nhô ra trong quá trình bảo dưỡng máy biến áp, cả chiều cao của các cạnh nhô ra và chiều cao của các phần bắn tung trong sáng chế đều đề cập đến chiều cao tối đa, thay vì chiều cao trung bình.

Ngoài ra, độ nhám đường R_a của đường tâm ở đáy của rãnh có ảnh hưởng quan trọng đến tính đồng nhất của các tính chất từ của tấm thép silic thành phẩm. Độ nhám đường R_a của đường trung tâm càng lớn trong đáy rãnh, sự dao động về tính chất từ giữa các tấm càng lớn. Lý do cho hiện tượng này là sự không đồng đều ở đáy của các rãnh gây ra sự khác biệt về hiệu quả thẩm từ ở các vị trí khác nhau. Trong các rãnh, phần nông hơn có độ thẩm từ cao hơn, trong khi phần sâu hơn có độ thẩm từ thấp hơn do rò rỉ từ thông. Ngoài ra, độ thẩm từ không đồng đều gây ra sự phân bố trường năng lượng bị rối loạn bên trong vật liệu, và một số lượng lớn các vùng từ không 180° được tạo ra gần các rãnh, do đó không thể cải thiện tổn thất sắt. Hình 4 minh họa độ lệch chuẩn của tổn thất sắt P17/50 giữa các tấm thép silic tăng khi R_a tăng. Khi R_a vượt quá

2,1 μm , độ lệch chuẩn của P17/50 giữa các tấm thép silic tăng nhanh và vượt quá 0,034 W/kg, làm tăng đáng kể độ không đảm bảo về hiệu suất của máy biến áp được sản xuất. Do đó, cần kiểm soát độ gồ ghề của đường trung tâm ở đáy của các rãnh là 2,1 μm hoặc nhỏ hơn. Cụ thể, khi R_a nhỏ hơn 0,52 μm , dao động của P17/50 nhỏ hơn 0,013 W/kg, và tính đồng nhất tốt, được ưu tiên trong sáng chế.

Các phần nhô ra và phần bắn tung ở trên của các rãnh và sự không đồng đều ở dưới cùng của các rãnh đều là những hiện tượng không thể tránh khỏi do sự nóng chảy hoặc khuếch tán không thể tránh khỏi khi tia laze làm bay hơi vật liệu bị mài mòn. Bằng cách điều chỉnh năng lượng laze và độ dày, độ ẩm và các thông số kích thước hạt của lớp màng bảo vệ, sáng chế đã kiểm soát hiệu quả các phần nhô ra và phần bắn tung trên cạnh rãnh cho đến khi chúng biến mất hoàn toàn, thu được các rãnh đồng nhất và giảm đáng kể tổn thất sắt.

Phương pháp đưa lớp màng bảo vệ trước khi khắc laze theo sáng chế có thể làm giảm đủ khả năng khuếch tán nhiệt được tạo ra trong quá trình khắc laze. Hơn nữa, đối với các phần bắn tung không thể tránh khỏi, vì chúng chỉ ngưng tụ trên bề mặt của lớp màng, chúng được loại bỏ cùng với việc loại bỏ lớp màng trong quá trình làm sạch tiếp theo, do đó giảm thiểu sự hình thành các phần bắn tung bề mặt. Hiệu quả của việc khắc sau khi áp lớp màng bảo vệ được thể hiện trong hình 7. Các rãnh của tấm thép silic định hướng hạt thu được sau khi làm sạch tiếp theo như trong hình 8. Có thể thấy rằng các rãnh có độ phẳng cao, và không có xỉ hoặc phần bắn tung hình thành do sự khuếch tán nhiệt gần đó. Thép silic định hướng hạt có thể được sử dụng để sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt.

Để giảm hiệu quả khuếch tán nhiệt trong quá trình khắc, vật liệu lớp màng bảo vệ cần phải có tính dẫn nhiệt tốt và hiệu quả hấp thụ tốt trên laze để cải thiện đủ hiệu quả cắt bỏ trong quá trình khắc laze. Các tác giả sáng chế đã xác định các thông số liên quan để vận hành hoàn toàn lớp màng bảo vệ bằng nghiên cứu chi tiết, bao gồm các thành phần chính, độ ẩm của lớp màng bảo vệ và phân bố kích thước của các hạt tạo thành lớp màng bảo vệ.

Các nghiên cứu của các nhà sáng chế đã chỉ ra rằng độ ẩm trong lớp màng bảo vệ có ảnh hưởng trực tiếp đến các phần nhô ra ở cạnh rãnh. Điều này là do trong quá trình khắc laze, sự hóa hơi và bay hơi của độ ẩm trong lớp màng bảo vệ sẽ lấy đi nhiệt, cung cấp kênh định hướng để dẫn nhiệt, giảm hoặc thậm chí loại bỏ sự khuếch tán nhiệt về phía cạnh của các rãnh đỡ trong suốt quá trình khắc, giảm lớp nóng chảy ở các cạnh, do đó hình thành hình thái rãnh thống nhất và kiểm soát được. Tuy nhiên, độ ẩm quá mức gây ra quá trình oxy hóa nhiệt độ cao của chất nền trong quá trình cắt bỏ, dẫn đến suy giảm tính chất từ và khó kiểm soát độ dày của lớp màng trong quá trình phủ cán hoặc phun. Các nhà sáng chế đã xác định thông qua các thí nghiệm rằng độ ẩm có tỷ lệ phần trăm trọng lượng không dưới 0,3% góp phần vào sự khuếch tán nhiệt ra bên ngoài qua lớp màng bảo vệ để tạo thành các rãnh có thể kiểm soát được. Độ ẩm có tỷ

lệ phần trăm trọng lượng không quá 5,5% có thể kiểm soát hiệu quả quá trình oxy hóa ở nhiệt độ cao do khắc laze. Cần lưu ý rằng độ ẩm trong lớp màng bảo vệ theo sáng chế có thể tồn tại ở trạng thái không có nước hoặc nước tinh thể. Khi độ ẩm có mặt ở bất kỳ dạng nào ở trên, phần trăm trọng lượng đề cập đến phần trăm trọng lượng của độ ẩm. Khi cả nước tự do và nước tinh thể có trong lớp màng bảo vệ, phần trăm trọng lượng đề cập đến tổng phần trăm trọng lượng của hai loại độ ẩm.

Lớp màng bảo vệ được sử dụng trong sáng chế trước khi ăn mòn được hình thành bằng cách phủ cán hoặc phun bột oxit kim loại không tan trong nước. Tỷ lệ các hạt có đường kính từ 500 μm trở lên không được vượt quá 10%. Lý do là các kích thước khác nhau của các hạt có hiệu ứng tán xạ khác nhau đối với ánh sáng laze, điều này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả cắt bỏ của phương pháp khắc laze. Khi tỷ lệ các hạt có đường kính từ 500 μm trở lên hoặc vượt quá 10%, hiệu ứng tán xạ của lớp màng bảo vệ trên ánh sáng laze là đáng chú ý và hiệu quả của quá trình cắt laze thấp, dẫn đến hình thành các phần nhô ra ở rìa của các rãnh do nhiệt nóng chảy. Do đó, đối với các hạt của vật liệu lớp màng bảo vệ được sử dụng trong sáng chế, yêu cầu tỷ lệ các hạt có đường kính từ 500 μm trở lên không vượt quá 10%.

Lớp màng bảo vệ được sử dụng theo sáng chế trước khi khắc laze được hình thành như sau: bột oxit kim loại được phân tán trong nước, sau đó khuấy ở tốc độ cao để tạo thành dạng nhão; chất nhão được áp dụng cho bề mặt của đai thép bằng cách cán phủ hoặc phun, và sấy khô ở nhiệt độ 200°C hoặc cao hơn. Các nhà sáng chế đã xác định thông qua các thí nghiệm rằng oxit kim loại không tan trong nước có độ phân tán tốt trong nước sau khi khuấy tốc độ cao, và do đó có thể bám dính một cách hiệu quả vào bề mặt của thép silic và mang theo lượng nước tự do hoặc tinh thể nước nhất định, góp phần vào sự khuếch tán nhiệt ra bên ngoài trong quá trình khắc laze, từ đó hình thành các rãnh ghi có hình dạng tốt. Cụ thể, oxit kim loại không tan trong nước tốt hơn là oxit kim loại kiềm thổ, Al_2O_3 , ZnO hoặc ZrO .

Tốt hơn là, mật độ công suất I của laze được sử dụng trong sáng chế phải cao hơn $1,0 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$. Mật độ công suất I của laze được xác định như sau:

$$I = \frac{P}{S}$$

trong đó, P là công suất đầu ra của laze, và S là diện tích của điểm chứa 96% năng lượng chùm tia trở lên.

Hình 5 minh họa mối quan hệ giữa mật độ công suất I của laze và tỷ lệ cải thiện tổn thất sắt và hệ số cán mỏng sau khi khắc theo sáng chế. Khi mật độ công suất I là $1,0 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, cả tỷ lệ tổn thất sắt và hệ số cán mỏng thay đổi đáng kể. Lý do là, mật độ công suất I nhỏ hơn $1,0 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, bề mặt của tấm thép có tốc độ hấp thụ thấp đối với laze trong quá trình khắc laze và phần lớn năng lượng laze bị phản xạ, làm cho vùng nóng trên bề mặt không đạt được nhiệt độ hóa hơi. Do đó, các rãnh chủ yếu được

hình thành bằng cách nóng chảy, và nóng chảy được hình thành trên các cạnh của rãnh, và cuối cùng các cạnh nhô ra được hình thành. Các cạnh nhô ra được hình thành bằng cách nóng chảy lại và ngưng tụ lớp màng bảo vệ và vật liệu chân đỡ, và không thể được loại bỏ bằng cách tiếp tục làm sạch. Khi mật độ công suất I là $1,0 \times 10^6$ W/cm² trở lên, phương pháp khắc laser chủ yếu phụ thuộc vào quá trình khí hóa, tốc độ hấp thụ ánh sáng được cải thiện đáng kể và hiệu quả khắc được cải thiện đáng kể. Các vật liệu bốc hơi được đưa ra khỏi khu vực khắc do khí thanh lọc và hệ thống thu gom bụi. Một lượng nhỏ cặn còn lại gần các rãnh và được loại bỏ cùng với lớp màng bảo vệ trong quá trình làm sạch tiếp theo, thu được các rãnh có thể kiểm soát hình dạng. Do đó, sáng chế yêu cầu mật độ công suất của laser là $1,0 \times 10^6$ W/cm² hoặc hơn.

Ngoài ra, các nhà sáng chế cũng đã nghiên cứu chi tiết mối tương quan giữa năng lượng của tia laser tới và tính chất từ của sản phẩm cuối cùng. Nó đã được tìm thấy rằng năng lượng của laser sự cố có liên quan chặt chẽ đến tính chất từ của sản phẩm cuối cùng. Tổng năng lượng của laser nhận được trên đơn vị diện tích được biểu thị bằng mật độ năng lượng của laser e_0 . Công thức định nghĩa của e_0 là:

$$e_0 = \frac{D_y P}{V_s S}$$

trong đó, D_y biểu thị độ dài của điểm dọc theo hướng quét, và V_s là tốc độ quét của laser.

Khi mật độ năng lượng của laser quá thấp, tức là, ít hơn 0,8 J/mm², vật liệu bị bóc ra bởi sự cắt bỏ bằng laser quá nhỏ để đạt được hiệu quả của việc tinh sạch vùng từ tính. Khi mật độ năng lượng của laser quá cao, tức là, cao hơn 8,0 J/mm², năng lượng laser quá mức được đưa vào. Kết quả là, một mặt, độ sâu của các rãnh được hình thành quá sâu, dẫn đến giảm cảm ứng từ. Mặt khác, khả năng kiểm soát của các rãnh bị suy giảm, đáy không phẳng và có khả năng hình thành các phần nhô ra trên cạnh do nóng chảy.

Hơn nữa, các nhà sáng chế đã thu được giải pháp kỹ thuật để kết hợp mật độ năng lượng của laser với lớp màng trên bề mặt để tối ưu hóa tính chất từ của thép silic định hướng hạt bằng nghiên cứu thử nghiệm lặp đi lặp lại. Cụ thể, mục đích tối ưu hóa hiệu ứng ăn mòn đạt được bằng cách kiểm soát tỷ lệ giữa mật độ năng lượng của laser và độ dày của lớp màng trên bề mặt. Hình 6 minh họa tác dụng thuận lợi theo sáng chế, ví dụ là thép silic định hướng hạt 0,23 mm. Khi tỷ lệ a giữa mật độ năng lượng của laser và độ dày của lớp màng trên bề mặt nhỏ hơn 0,6, P17/50 không được cải thiện đáng kể. Khi giá trị của a cao hơn 7,0, tốc độ cải thiện của P17/50 giảm dần, nhưng cảm ứng từ B8 bị suy giảm nhanh chóng, đó là do rò rỉ từ thông và phạm vi dẫn nhiệt mở rộng.

Trong khi đó, mặc dù sự có mặt của các rãnh khắc có thể tinh sạch vùng từ và giảm tổn thất sắt, nhưng độ thấm từ tại các rãnh rất thấp, có ảnh hưởng thiệt hại nhất

định đến B8. Sau khi nghiên cứu chi tiết mối quan hệ giữa kích thước của các rãnh và tổn thất sắt và cảm ứng từ của tấm thép silic, các nhà sáng chế đã phát hiện ra rằng để giảm tổn thất sắt của tấm thép silicon trong khi không làm giảm đáng kể B8, kích thước và khoảng cách của các rãnh cần phải thỏa mãn một số điều kiện nhất định. Khi chiều rộng của các rãnh nhỏ hơn 20 μm , việc khắc rất khó khăn và năng lượng ghép giữa các cực từ tự do ở hai bên của rãnh tăng lên, bù cho sự thay đổi của năng lượng hệ thống do rò rỉ từ thông, và do đó vùng từ không thể được tinh sạch một cách hiệu quả. Khi kích thước của các rãnh theo hướng cán vượt quá 300 μm , khoảng cách giữa các rãnh quá lớn và cảm ứng từ được hạ xuống đáng kể. Khi độ sâu của các rãnh được hình thành trên chân đỡ bằng cách khắc nhỏ hơn 5 μm , hiệu ứng sàng lọc trên vùng từ nhỏ, và tổn thất của tấm thép silic không được giảm xuống. Khi độ sâu của các rãnh lớn hơn 50 μm , một số lượng lớn các cực từ tự do dẫn đến một lượng lớn từ thông tiếp xúc, tổn thất sắt giảm nhẹ, nhưng cảm ứng từ giảm đáng kể.

Ngoài ra, khoảng cách giữa các rãnh và góc giữa các đường khắc và hướng ngang của tấm thép cũng ảnh hưởng đáng kể đến tổn thất sắt và cảm ứng từ. Khi khoảng cách giữa các rãnh liên kề quá nhỏ, tức là dưới 1 mm, các rãnh quá dày đặc và cảm ứng từ bị giảm đáng kể. Khi khoảng cách giữa các rãnh liên kề quá lớn, tức là, hơn 10 mm, các vùng từ tinh sạch có thể được hình thành trong phạm vi hiệu quả và tổn thất sắt không được cải thiện. Khi góc giữa đường khắc và hướng cán của tấm thép lớn hơn 30°, hiệu ứng sàng lọc của vùng từ bị giảm, và tốc độ cải thiện tổn thất sắt thấp. Do đó, các điều kiện ghi điểm thích hợp để tinh sạch các vùng từ và giảm tổn thất sắt mà không làm giảm đáng kể cảm ứng từ của tấm thép silic như sau: chiều rộng rãnh từ 5 đến 300 μm , độ sâu rãnh từ 5 đến 60 μm và khoảng cách giữa các rãnh liên kề trong khoảng từ 1 đến 10 mm.

Phương pháp theo sáng chế đạt được khả năng khắc laze chịu nhiệt bằng cách sử dụng lớp màng bảo vệ bằng cách quét một lần. Các giải pháp kỹ thuật sau đây đều nằm trong phạm vi theo sáng chế: các rãnh hình thành biểu hiện một trong những hình gần như hình tam giác, hình thang, hình bán nguyệt, hình elip hoặc biến dạng theo hướng cắt ngang của tấm thép, các đường khắc được xếp song song dọc theo hướng cán của tấm thép. Kích thước rãnh được hình thành nằm trong phạm vi theo sáng chế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình ảnh phóng to của các rãnh thẳng được hình thành trên bề mặt thép silic định hướng hạt bằng phương pháp khắc laze theo sáng chế.

Hình 2 minh họa phạm vi chiều cao tối đa của các phần nhô ra trên cạnh của các rãnh theo yêu cầu của sáng chế.

Hình 3 minh họa tỷ lệ diện tích bề mặt bị chiếm bởi các phần bắn tung và phạm vi chiều cao tối đa của các phần bắn tung theo yêu cầu của sáng chế.

Hình 4 minh họa phạm vi độ nhám của đường trung tâm ở đáy của các rãnh

theo yêu cầu của sáng chế.

Hình 5 minh họa phạm vi mật độ công suất của laze theo yêu cầu của sáng chế.

Hình 6 minh họa phạm vi tỷ lệ giữa mật độ năng lượng của laze và độ dày của lớp màng theo yêu cầu của sáng chế.

Hình 7 là hình ảnh minh họa hình dạng bề mặt của tấm thép bị xử lý bằng laze sau khi áp lớp màng bảo vệ theo sáng chế.

Hình 8 là hình ảnh minh họa hình dạng của các rãnh sau khi làm sạch lớp màng bảo vệ theo sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án và tác dụng theo sáng chế được minh họa dưới đây, nhưng sáng chế hiện tại không giới hạn ở các phương án cụ thể được mô tả trong các ví dụ.

Hình 1 minh họa thép silic định hướng hạt 10 được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo sáng chế, trong đó các rãnh thẳng song song được tạo ra trên một hoặc cả hai mặt của thép silic định hướng hạt bằng cách khắc laze, trong đó các rãnh thẳng vuông góc với, hoặc theo một góc với hướng cán thép silic vào tấm thép; chiều cao tối đa của cạnh nhô ra của rãnh thẳng không quá 5 μm , và chiều cao tối đa của phần bắn tung trong vùng không khắc giữa các rãnh thẳng liền kề không quá 5 μm , và tỷ lệ diện tích chiếm bởi các phần bắn tung trong vùng lân cận của các rãnh thẳng không vượt quá 5%.

Tốt hơn là, độ nhám đường R_a của đường trung tâm ở dưới cùng của các rãnh thẳng không quá 2,1 μm .

Tốt hơn là, rãnh thẳng gần như hình tam giác, hình thang, hình bán nguyệt hoặc hình elip.

Tốt hơn là, góc giữa rãnh thẳng và hướng cán của thép silic vào tấm thép là 0~30°.

Tốt hơn là, rãnh thẳng có chiều rộng từ 5 đến 300 μm và độ sâu từ 5 đến 60 μm , và khoảng cách giữa các rãnh thẳng liền kề là từ 1 đến 30 mm.

Ví dụ 1

Thép silic định hướng hạt đã được luyện sắt, luyện thép, đổ khuôn liên tục và quy trình cán nóng. Tiếp theo, cán nguội đơn được thực hiện để cán thép đến độ dày cuối cùng là 0,23 mm. Sau đó, xử lý nhiệt khử cacbon được thực hiện để tạo thành lớp oxit bề mặt. Sau đó, thép được phủ bằng lớp tách MgO trên bề mặt, và được xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao ở 1250°C trong 20 giờ. Sau đó, MgO dư không phản ứng đã bị cuốn trôi. Sau đó, bề mặt của thép được cán phủ và sấy khô để tạo thành lớp màng bảo vệ. Tiếp theo, laze YAG được sử dụng để khắc rãnh thẳng theo khoảng cách bằng nhau dọc theo hướng cán của tấm thép. Laze có công suất đầu ra là 2000 W và độ rộng xung

trung bình là 800 ns. Điểm được hình thành bởi tia laze tập trung vào bề mặt của tấm thép có hình elip với trục ngắn 0,016 mm và trục dài 0,5 mm. Tốc độ quét là 50 m/s. Mật độ công suất laze được tính là $3,2 \times 10^7$ W/cm², và mật độ năng lượng laze là 3,2 J/mm². Các đường khắc được hình thành vuông góc với hướng cán của tấm thép. Khoảng cách giữa các đường khắc liền kề là 4 mm. Sau đó, quy trình làm sạch đã được thực hiện để loại bỏ lớp màng bảo vệ bề mặt và phần còn lại của phần bắn tung. Cuối cùng, lớp cách điện đã được áp dụng cho bề mặt của thép và quá trình xử lý nhiệt cuối cùng được thực hiện để thu được tấm thép silic hoàn thành.

Các tính chất từ được đo theo "GB/T 3655-2008 Phương pháp đo tính chất từ tính của tấm và dải thép điện bằng khung Epstein" Hệ số cán mỏng được xác định theo "GB/T 19289-2003 phương pháp đo mật độ, điện trở suất và hệ số cán mỏng của tấm và dải thép điện". Kết quả đo của các ví dụ và ví dụ so sánh được thể hiện trong Bảng 1.

Tham chiếu bảng 1, Ví dụ 1 đến 10 có độ tổn thất sắt Tốt hơn là, cảm ứng từ và hệ số cán mỏng. Tuy nhiên, các thuộc tính từ hoặc hệ số cán mỏng của các ví dụ so sánh 1 đến 10, không nằm trong phạm vi theo sáng chế, tương đối kém.

Ví dụ 2 Ảnh hưởng của độ nhám R_a của đường trung tâm đến tính chất từ.

Thép silic định hướng hạt đã được luyện sắt, luyện thép, đổ khuôn liên tục và quy trình cán nóng. Tiếp theo, cán nguội đơn được thực hiện để cán thép đến độ dày cuối cùng là 0,225 mm. Sau đó, xử lý nhiệt khử cacbon được thực hiện để tạo thành lớp oxit bề mặt. Sau đó, thép được phủ bằng lớp tách MgO trên bề mặt, và được xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao ở 1200°C trong 20 giờ. Sau đó, MgO dư không phản ứng đã bị cuốn trôi. Sau đó, bề mặt của thép được cán phủ và sấy khô để tạo thành lớp màng bảo vệ ZnO với độ dày được kiểm soát tới 2,5 μ m. Tiếp theo, laze CO₂ liên tục được sử dụng để khắc rãnh thẳng theo khoảng cách bằng nhau dọc theo hướng cán của tấm thép. Các đường khắc được hình thành vuông góc với hướng cán của tấm thép. Khoảng cách giữa các đường khắc liền kề là 4,5 mm. Sau đó, quy trình làm sạch đã được thực hiện để loại bỏ lớp màng bảo vệ bề mặt và phần còn lại của phần bắn tung khắc. Cuối cùng, lớp cách điện đã được áp dụng cho bề mặt của thép và quá trình xử lý nhiệt cuối cùng được thực hiện để thu được tấm thép silic hoàn thành.

Các đặc tính từ được đo theo phương pháp SST 60mm $\times$ 300mm. Kết quả đo của các ví dụ và ví dụ so sánh được thể hiện trong Bảng 2.

Như có thể thấy trong Bảng 2, các thông số laze trong phạm vi theo sáng chế cho phép tấm thép silic có được các đặc tính từ đồng nhất và ổn định. Tuy nhiên, trong các ví dụ so sánh nằm ngoài phạm vi theo sáng chế, sự dao động của các tính chất từ được tăng lên do R_a chông chéo của đường trung tâm ở đáy của các rãnh.

Ví dụ 3

Thép silic định hướng hạt đã được luyện sắt, luyện thép, đổ khuôn liên tục và quy trình cán nóng. Tiếp theo, cán nguội đơn được thực hiện để cán thép đến độ dày cuối cùng là 0,225 mm. Lớp màng bảo vệ Al_2O_3 được áp dụng bằng cách phun lên bề mặt thép. Tỷ lệ các hạt Al_2O_3 có đường kính hạt từ 500 μm trở lên trong lớp màng bảo vệ là khoảng 5%. Sau đó, laze YAG có độ rộng xung 300 ns đã được sử dụng để khắc các rãnh thẳng. Các rãnh gần như hình tam giác được hình thành bằng cách điều chỉnh kích thước của điểm tập trung, tốc độ quét, và năng lượng khắc laze. Góc giữa các đường khắc và hướng ngang của tấm thép là 8° , và khoảng cách giữa các đường khắc theo hướng cán là 4 mm. Sau đó, quá trình làm sạch đã được thực hiện để loại bỏ lớp màng bảo vệ bề mặt. Sau đó, xử lý nhiệt khử cacbon được thực hiện để tạo thành lớp oxit bề mặt. Sau đó, thép được phủ bằng lớp tách MgO trên bề mặt, và được xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao ở 1250°C trong 20 giờ sau khi cuộn thành cuộn. Cuối cùng, MgO còn lại bị cuốn trôi, lớp cách điện đã được áp dụng cho bề mặt của thép và quá trình xử lý nhiệt cuối cùng được thực hiện để thu được tấm thép silic hoàn thành.

Các tính chất từ được đo theo "GB/T 3655-2008 Phương pháp đo tính chất từ tính của tấm và dải thép điện bằng khung Epstein" Hệ số cán mỏng được xác định theo "GB/T 19289-2003 phương pháp đo mật độ, điện trở suất và hệ số cán mỏng của tấm và dải thép điện". Kết quả đo của các ví dụ và ví dụ so sánh được thể hiện trong Bảng 3.

Như có thể thấy trong Bảng 3, các ví dụ trong đó mật độ năng lượng của laze nằm trong phạm vi theo sáng chế có đặc tính từ tính tốt. Các ví dụ so sánh vượt quá phạm vi theo sáng chế có đặc tính từ tính kém hơn so với sáng chế.

Ví dụ 4

Thép silic định hướng hạt đã được luyện sắt, luyện thép, đổ khuôn liên tục và quy trình cán nóng. Tiếp theo, cán nguội đơn được thực hiện để cán thép đến độ dày cuối cùng là 0,195 mm. Sau đó, xử lý nhiệt khử cacbon được thực hiện để tạo thành lớp oxit bề mặt. Sau đó, thép được phủ với lớp tách MgO trên bề mặt để thu được một lớp màng có độ dày khoảng 9,5 μm . Tiếp theo, laze YAG được sử dụng để khắc rãnh thẳng theo khoảng cách bằng nhau dọc theo hướng cán của tấm thép. Laze có công suất đầu ra là 2000 W và độ rộng trung bình của xung đơn là 800 ns. Điểm được hình thành bởi tia laze tập trung vào bề mặt của tấm thép có hình elip với trục ngắn 0,016 mm và trục dài 0,5 mm. Tốc độ quét là 50 m/s. Mật độ công suất laze được tính là $3,2 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$, và mật độ năng lượng laze là $3,2 \text{ J/mm}^2$. Các đường khắc được hình thành vuông góc với hướng cán của tấm thép. Khoảng cách giữa các đường khắc liên kề là 4 mm. Sau đó, thép được xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao ở 1250°C trong 20 giờ. Sau đó, MgO dư không phản ứng đã bị cuốn trôi. Cuối cùng, lớp cách điện đã được áp dụng cho bề mặt của tấm thép, và quá trình xử lý nhiệt cuối cùng được thực hiện để thu được tấm thép silic hoàn thành.

Các tính chất từ được đo theo "GB/T 3655-2008 Phương pháp đo tính chất từ tính của tấm và dải thép điện bằng khung Epstein". Hệ số cán mỏng được xác định theo "GB/T 19289-2003 phương pháp đo mật độ, điện trở suất và hệ số cán mỏng của tấm và dải thép điện". Kết quả đo của các ví dụ và ví dụ so sánh được thể hiện trong Bảng 4.

Trong ví dụ 4, độ dày của lớp màng được tạo bởi lớp tách MgO đã được điều chỉnh để làm cho tỷ lệ của mật độ năng lượng với độ dày lớp màng trong phạm vi theo sáng chế, do đó, magiê oxit có chức năng như lớp tách và lớp màng bảo vệ. Magiê oxit còn lại được rửa sạch cùng với các phần bắn tung và tương tự sau khi xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao. Như có thể thấy từ việc so sánh các ví dụ và ví dụ so sánh ở trên, khi các thông số quy trình của laze nằm trong phạm vi theo sáng chế, có thể thu được tấm thép silic có vùng từ tinh sạch và giảm tổn thất sắt. Khi các thông số quy trình của laze vượt quá phạm vi theo sáng chế, tấm thép silic thu được có tổn thất sắt cao hoặc hệ số cán mỏng thấp.

Tóm lại, sáng chế tạo thành các rãnh thẳng trên bề mặt của tấm thép bằng cách áp lớp màng bảo vệ và quét laze một lần. Do lớp màng bảo vệ có các đặc tính hấp thụ trên laze, nên đảm bảo rằng hình thái của các rãnh hình thành có thể kiểm soát được, tổn thất sắt của tấm thép silic thành phẩm thu được giảm đáng kể và hệ số cán mỏng không bị suy giảm đáng kể. Tấm thép theo sáng chế thích hợp cho sản xuất máy biến áp lõi sắt cắt. Phương pháp theo sáng chế có những ưu điểm của quy trình đơn giản, hiệu quả sản xuất cao và giá trị ứng dụng và triển vọng ứng dụng cao.

Bảng 1

Minh họa	Bột lớp màng bảo vệ	% Tỷ lệ độ ẩm	Tỷ lệ hạt $\geq 500 \mu\text{m}$	Tỷ lệ a của mật độ năng lượng so với độ dày lớp màng	Độ sâu rãnh (μm)	Độ rộng rãnh (μm)	Chiều cao tối đa của cạnh nhô ra (μm)	Chiều cao tối đa của phần bán tung (μm)	Tỷ lệ diện tích của phần bán tung %	P17/50 (W/kg)	B8 (T)	% hệ số cán mỏng
Ví dụ 1	MgO	0,3	10	0,6	16,2	41,0	0,8	4,3	4,6	0,813	1,92 ₀	95,1
Ví dụ 2	MgO	0,3	10	7,0	43,3	48,2	1,3	4,8	4,9	0,778	1,90 ₁	95,2
Ví dụ 3	MgO	5,5	10	0,6	13,1	38,0	0	0,2	0,4	0,811	1,91 ₉	96,5
Ví dụ 4	MgO	5,5	10	7,0	45,2	43,2	0,3	0	0	0,785	1,90 ₂	97,2
Ví dụ 5	MgO	2,1	5	3,6	24,3	36,5	0	0	0	0,792	1,91 ₃	96,9
Ví dụ so sánh 1	MgO	<u>0,2</u>	5	3,6	23,6	38,3	1,1	<u>5,3</u>	5	0,793	1,90 ₅	94,6
Ví dụ so sánh 2	MgO	<u>5,7</u>	5	3,6	23,2	37,5	0	0,3	0,2	0,865	1,88 ₉	96,4
Ví dụ so sánh 3	MgO	2,1	<u>12</u>	3,6	12,1	34,3	1,3	<u>5,2</u>	4,6	0,815	1,92 ₁	94,7
Ví dụ so sánh 4	MgO	2,1	5	<u>0,5</u>	10,1	35,0	0,3	0,4	0,4	0,882	1,92 ₆	96,3
Ví dụ so sánh 5	MgO	2,1	5	<u>7,2</u>	53,5	55,6	1,2	0,4	0,46	0,779	1,89 ₇	96,3

Ví dụ 6	Al ₂ O ₃	0,3	10	0,6	15,3	38,9	0,6	3,8	3,8	0,815	1,92 2	95,8
Ví dụ 7	Al ₂ O ₃	0,3	10	7,0	46,1	49,1	1,4	4,9	5	0,780	1,9	95,1
Ví dụ 8	Al ₂ O ₃	5,5	10	0,6	15,2	36,2	0	0	0	0,810	1,92 1	97,5
Ví dụ 9	Al ₂ O ₃	5,5	10	7,0	48,3	48,8	0,6	0	0	0,788	1,90 1	96,8
Ví dụ 10	Al ₂ O ₃	2,1	5	3,6	21,2	35,3	0	0,6	0,4	0,794	1,90 8	95,9
Ví dụ so sánh 6	Al ₂ O ₃	<u>0,2</u>	5	3,6	21,5	46,7	<u>5,1</u>	<u>5,7</u>	<u>6,1</u>	0,796	1,90 4	93,2
Ví dụ so sánh 7	Al ₂ O ₃	<u>5,7</u>	5	3,6	20,3	28,2	0	0	0	0,873	1,87 6	96,6
Ví dụ so sánh 8	Al ₂ O ₃	2,1	<u>12</u>	3,6	11,5	25,6	0,8	3,6	<u>5,2</u>	0,818	1,91 9	94,9
Ví dụ so sánh 9	Al ₂ O ₃	2,1	5	<u>0,5</u>	9,8	23,6	0,2	0,9	1,1	0,879	1,92 2	95,9
Ví dụ so sánh 10	Al ₂ O ₃	2,1	5	<u>7,2</u>	56,6	58,2	2,1	1,0	0,9	0,775	1,88 5	96,3

Bảng 2

Minh họa	Bột laze (W)	Trục dài (mm)	Trục ngắn (mm)	Tốc độ quét (m/s)	Tỷ lệ a của mật độ năng lượng so với độ dày lớp màng	Mật độ công suất (W/cm ²)	Mật độ năng lượng (J/mm ²)	R _a (μm)	Phương tiện P17/50 (W/kg)	Độ lệch chuẩn của P17/50 (W/kg)	Phương tiện B8 (T)	Độ lệch chuẩn của B8 (T)
Ví dụ 1	5000	0,030	0,5	90	0,94	4,2×10 ⁷	2,36	0,3	0,795	0,010	1,901	0,013
Ví dụ 2	1500	0,016	0,5	60	0,80	2,4×10 ⁷	1,99	0,4	0,799	0,011	1,903	0,012
Ví dụ 3	2000	0,020	1,0	60	0,85	1,3×10 ⁷	2,12	0,5	0,794	0,013	1,901	0,011
Ví dụ 4	1200	0,015	1,2	50	0,81	8,5×10 ⁶	2,04	0,8	0,8	0,016	1,902	0,015
Ví dụ 5	1000	0,014	1,2	50	0,73	7,6×10 ⁶	1,82	1,1	0,801	0,018	1,902	0,016
Ví dụ 6	2500	0,016	5,0	80	0,99	4,0×10 ⁶	2,49	1,6	0,795	0,021	1,904	0,018
Ví dụ 7	1000	0,012	10,0	50	0,85	1,1×10 ⁶	2,12	2,1	0,802	0,033	1,906	0,023
Ví dụ so sánh 1	1000	0,012	11,0	50	0,85	<u>9,6×10⁵</u>	2,12	<u>2,2</u>	0,821	0,035	1,901	0,031
Ví dụ so sánh 2	2000	0,020	16,0	60	0,85	<u>8,0×10⁵</u>	2,12	<u>2,8</u>	0,828	0,040	1,901	0,035

Bảng 3

Mình họa	Bột laze (W)	Trục dài (mm)	Trục ngắn (mm)	Tốc độ quét (m/s)	Mật độ công suất (W/cm ²)	Mật độ năng lượng (J/mm ²)	Độ dày lớp màng bảo vệ (μm)	Tỷ lệ a của mật độ năng lượng so với độ dày lớp màng	P17/50 (W/kg)	B8 (T)	Hệ số cán màng %
Ví dụ 1	1100	0,012	0,1	140	$8,3 \times 10^7$	0,83	1,2	0,69	0,845	1,907	96.5
Ví dụ 2	1500	0,012	0,8	100	$2,0 \times 10^7$	1,59	2,2	0,72	0,841	1,91	96.4
Ví dụ 3	2000	0,012	1,0	90	$2,1 \times 10^7$	2,36	3,2	0,74	0,843	1,913	96.6
Ví dụ 4	3000	0,020	5,0	80	$3,8 \times 10^6$	2,39	3,0	0,80	0,839	1,908	96.3
Ví dụ 5	4000	0,020	2,0	70	$1,3 \times 10^7$	3,64	3,0	1,21	0,836	1,903	96.5
Ví dụ 6	5000	0,016	0,5	50	$8,0 \times 10^7$	7,96	6,2	1,28	0,837	1,905	95.8
Ví dụ so sánh 1	5200	0,016	0,5	50	$8,3 \times 10^7$	<u>8,28</u>	7,5	1,10	0,831	1,898	94.6
Ví dụ so sánh 2	4500	0,016	0,5	35	$7,2 \times 10^7$	<u>10,23</u>	6,5	1,57	0,829	1,881	91.4
Ví dụ so sánh 3	1100	0,012	0,1	150	$8,3 \times 10^7$	<u>0,78</u>	1,2	0,65	0,912	1,922	96.7
Ví dụ so sánh 4	1000	0,012	0,1	150	$1,1 \times 10^8$	<u>0,71</u>	1,0	0,71	0,923	1,926	97.2
Ví dụ so sánh 5	3000	0,020	5,0	80,0	$3,8 \times 10^6$	<u>2,39</u>	Không có lớp màng bảo vệ		0,853	1,901	90,1

Bảng 4

Minh họa	Bột laze (W)	Trục dài (mm)	Trục ngắn (mm)	Tốc độ quét (m/s)	Mật độ công suất (W/cm ²)	Mật độ năng lượng (J/mm ²)	Tỷ lệ a của mật độ năng lượng so với độ dày lớp màng	P17/50 (W/kg)	B8 (T)	% hệ số cân mỏng
Ví dụ 1	2500	0,012	1,0	40,0	$2,7 \times 10^7$	6,63	1,11	0,685	1,907	96,1
Ví dụ 2	3000	0,016	1,6	45,0	$1,5 \times 10^7$	5,31	0,88	0,681	1,91	96,2
Ví dụ 3	2500	0,012	1,0	40,0	$2,7 \times 10^7$	6,63	1,11	0,683	1,913	96,1
Ví dụ 4	3000	0,016	1,6	40,0	$1,5 \times 10^7$	5,97	0,99	0,679	1,908	96,2
Ví dụ 5	5000	0,016	0,8	80,0	$5,0 \times 10^7$	4,97	0,83	0,677	1,905	95,8
Ví dụ so sánh 1	2500	0,016	10,0	60,0	$2,0 \times 10^6$	3,32	<u>0,55</u>	0,753	1,916	95,9
Ví dụ so sánh 2	3000	0,016	0,5	25,0	$4,8 \times 10^7$	<u>9,55</u>	1,59	0,669	1,899	91,4

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất, trong đó các rãnh thẳng song song được tạo ra trên một hoặc cả hai mặt của thép silic định hướng hạt bằng cách khắc laze, trong đó các rãnh thẳng vuông góc với, hoặc theo một góc với hướng cán thép silic vào tấm thép; chiều cao tối đa của cạnh nhô ra của rãnh thẳng không quá 5 μm , và chiều cao tối đa của phần bắn tung trong vùng không khắc giữa các rãnh thẳng liền kề không quá 5 μm , và tỷ lệ các phần bắn tung trên đơn vị diện tích không vượt quá 5%; trong đó độ nhám đường R_a của đường trung tâm ở dưới cùng của các rãnh thẳng không quá 2,1 μm .

2. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 1, trong đó chiều cao của phần bắn tung không vượt quá 2 μm , và tỷ lệ phần bắn tung trên đơn vị diện tích không quá 2,5%.

3. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó độ nhám đường R_a của đường trung tâm ở dưới cùng của các rãnh thẳng không quá 0,52 μm .

4. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 3, trong đó rãnh thẳng có dạng gần như hình tam giác, hình thang, hình bán nguyệt hoặc hình elip.

5. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 4, trong đó góc giữa rãnh thẳng và hướng ngang cán của thép silic vào tấm thép là $0\sim 30^\circ$.

6. Thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm 1 đến điểm 5, trong đó rãnh thẳng có chiều rộng từ 5 đến 300 μm và độ sâu từ 5 đến 60 μm , và khoảng cách giữa các rãnh thẳng liền kề là từ 1 đến 10 mm.

7. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm 1 đến điểm 6, bao gồm bước làm nóng chảy, đổ khuôn liên tục, cán nóng, cán nguội đơn, hoặc cán nguội kép cùng với xử lý nhiệt trung gian, xử lý nhiệt khử cacbon, phủ lớp tách MgO trên bề mặt thép silic, xử lý nhiệt nhiệt độ cao, và tạo ra thép silic định hướng hạt hoàn thiện bằng cách kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước khắc laze, được thực hiện trước khi xử lý nhiệt khử cacbon, hoặc trước hoặc sau khi kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt; bước khắc laze bao gồm các bước sau:

1) tạo ra lớp màng bảo vệ trên bề mặt của thép silic định hướng hạt;

2) khắc laze bề mặt của thép silic định hướng hạt để tạo ra một loạt rãnh thẳng vuông góc với hoặc theo một góc tới hướng cán của thép silic vào tấm thép;

3) làm sạch bề mặt thép silic định hướng hạt để loại bỏ lớp màng bảo vệ, và làm khô.

8. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 7, trong đó lớp màng bảo vệ được tạo ra từ bột oxit kim loại, và có độ ẩm từ 0,3 % trọng lượng đến 5,5 % trọng lượng.

9. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 7 hoặc điểm 8, trong đó lớp màng bảo vệ có độ dày từ 1,0 μm đến 13,0 μm .

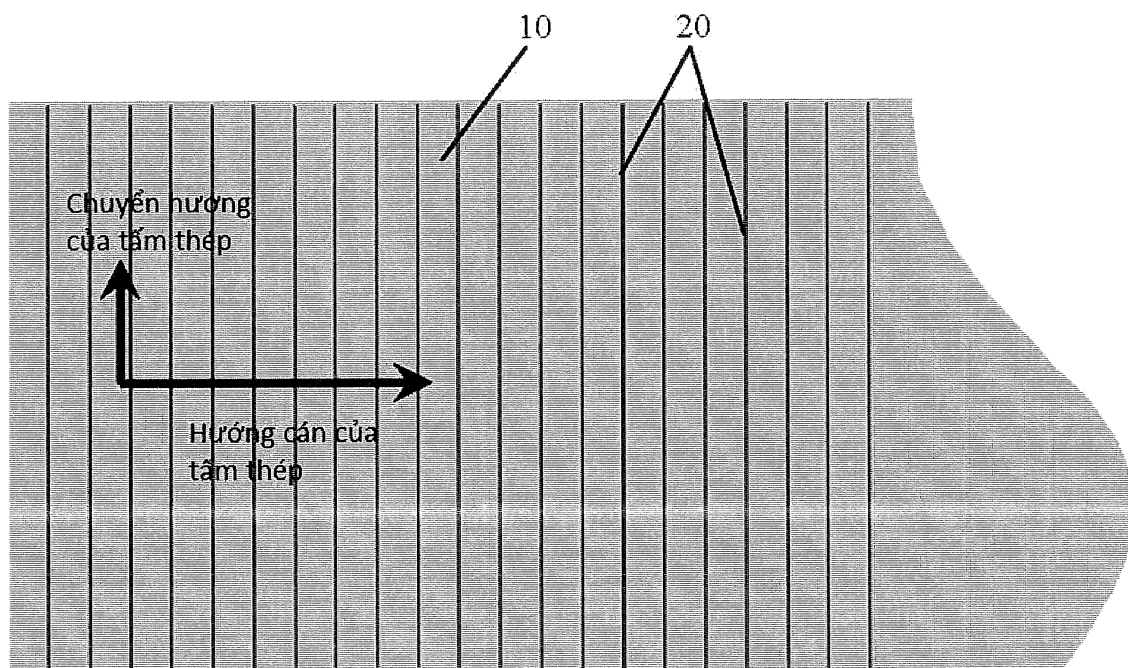
10. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 8, trong đó bột oxit kim loại không tan trong nước và là một loại bột hoặc kết hợp một vài loại bột và tỷ lệ các hạt có đường kính hạt từ 500 μm trở lên trong (các) bột là 10% theo thể tích hoặc ít hơn.

11. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 7 hoặc điểm 10, trong đó bột oxit kim loại là một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ, Al_2O_3 , ZnO hoặc ZrO .

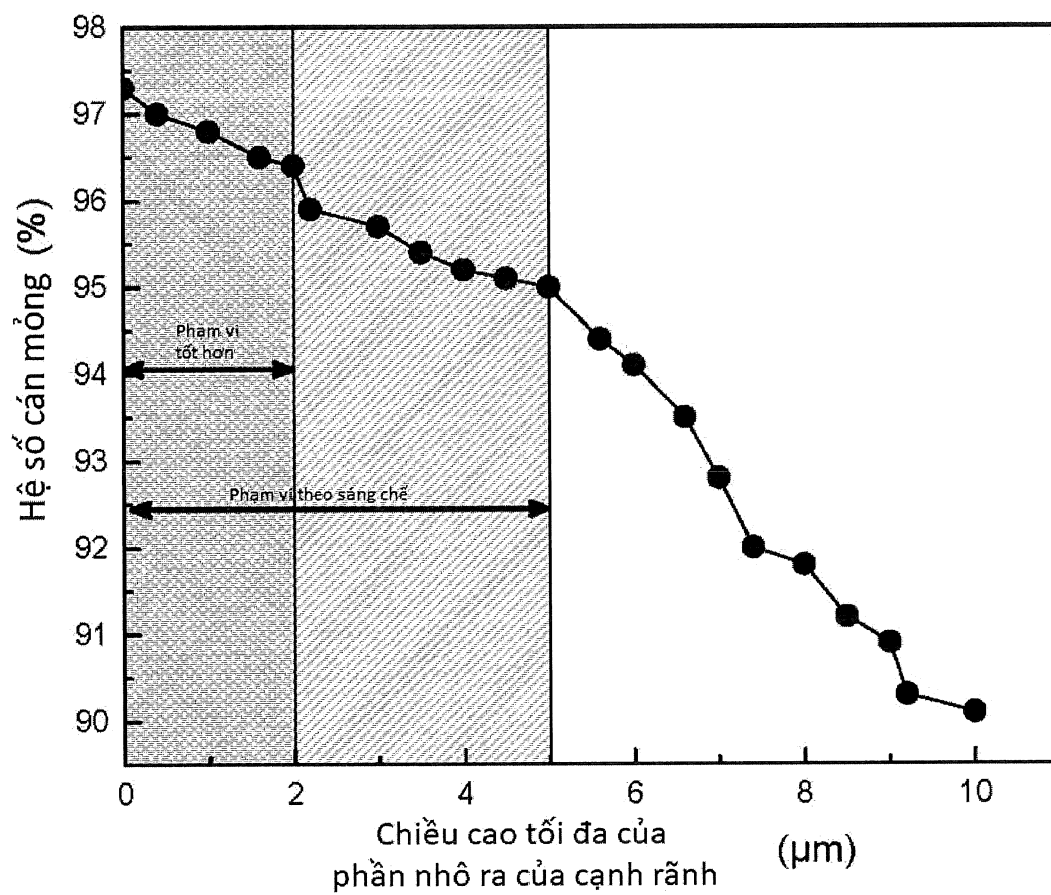
12. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo điểm 7, trong đó laze trong bước khắc laze có mật độ công suất I không nhỏ hơn $1,0 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, và mật độ năng lượng trung bình e_0 từ 0,8 J/mm^2 đến 8,0 J/mm^2 , và tỷ lệ a của mật độ năng lượng trung bình so với độ dày của lớp màng bảo vệ là từ 0,6 đến 7,0.

13. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 6, bao gồm bước làm nóng chảy, đổ khuôn liên tục, cán nóng, cán nguội đơn, hoặc cán nguội kép cùng với xử lý nhiệt trung gian, xử lý nhiệt khử cacbon, phủ lớp tách MgO trên bề mặt của tấm thép được sản xuất ở trên, xử lý nhiệt nhiệt độ cao, và tạo ra thép silic định hướng hoàn thành bằng cách kéo nóng, cán hạ nhiệt và xử lý nhiệt và áp dụng cách điện, trong đó khắc laze được thực hiện sau khi phủ lớp tách MgO trên bề mặt thép silic để tạo ra một loạt rãnh thẳng vuông góc với hoặc theo một góc tới hướng cán của thép silic vào tấm thép, trên bề mặt của thép silic định hướng hạt; tỷ lệ a giữa mật độ năng lượng trung bình với độ dày của lớp màng là từ 0,6 đến 7,0.

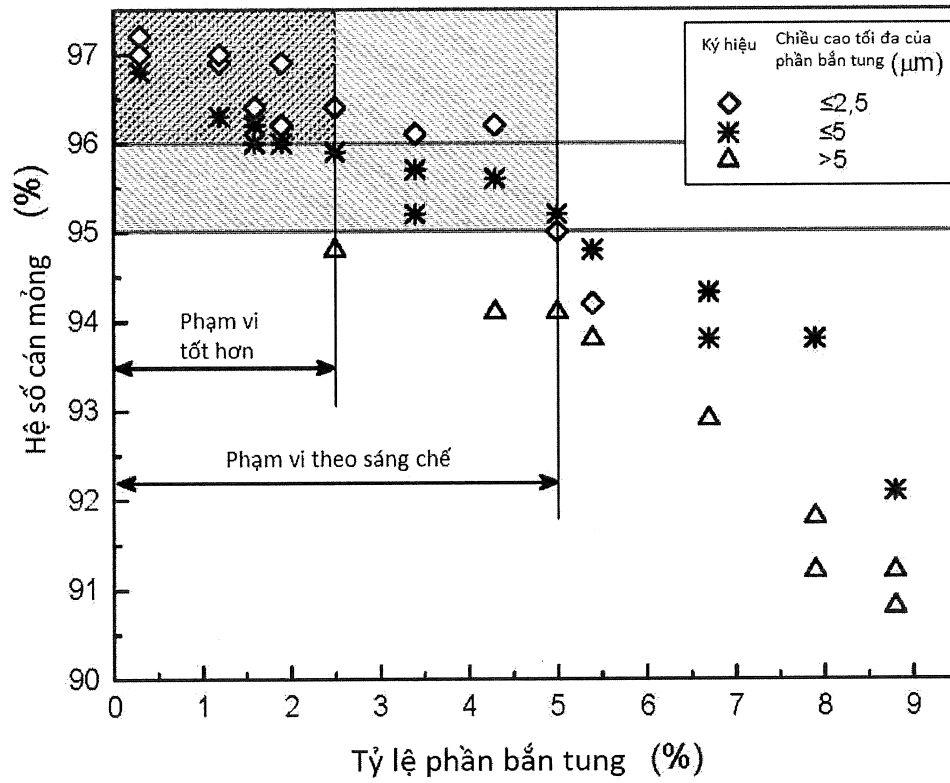
14. Phương pháp sản xuất thép silic định hướng hạt được khắc bằng laze chịu xử lý nhiệt giảm ứng suất theo bất kỳ một trong số các điểm từ điểm 7 đến điểm 13, trong đó nguồn bơm tạo ra laze được sử dụng trong bước khắc laze là một hoặc nhiều laze CO_2 , laze rắn, và laze sợi quang, và laze là liên tục hoặc xung.



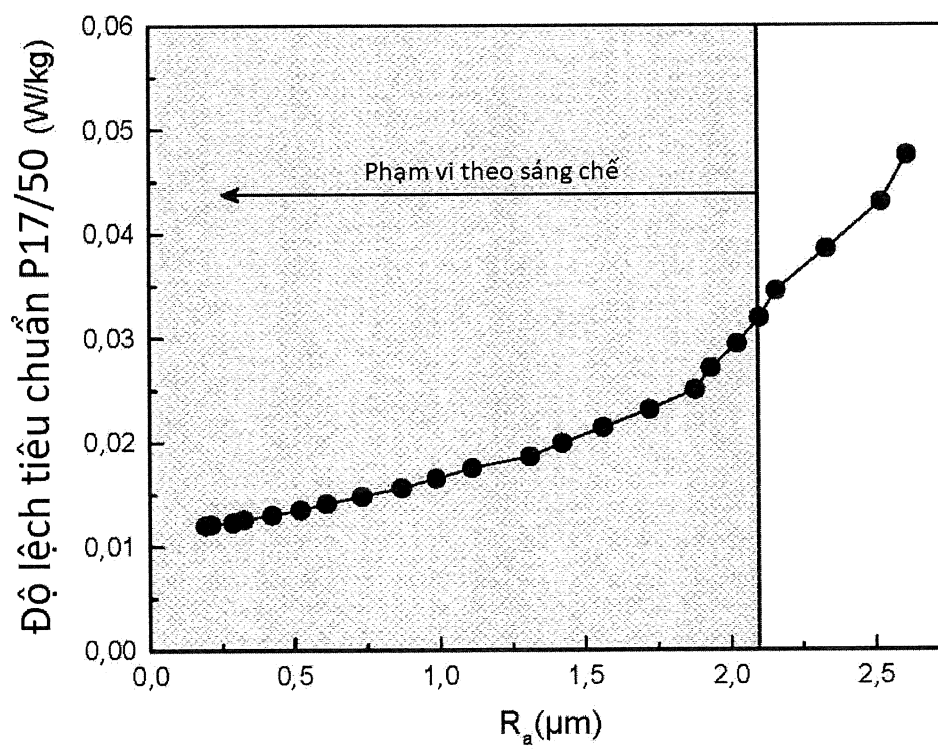
HÌNH 1



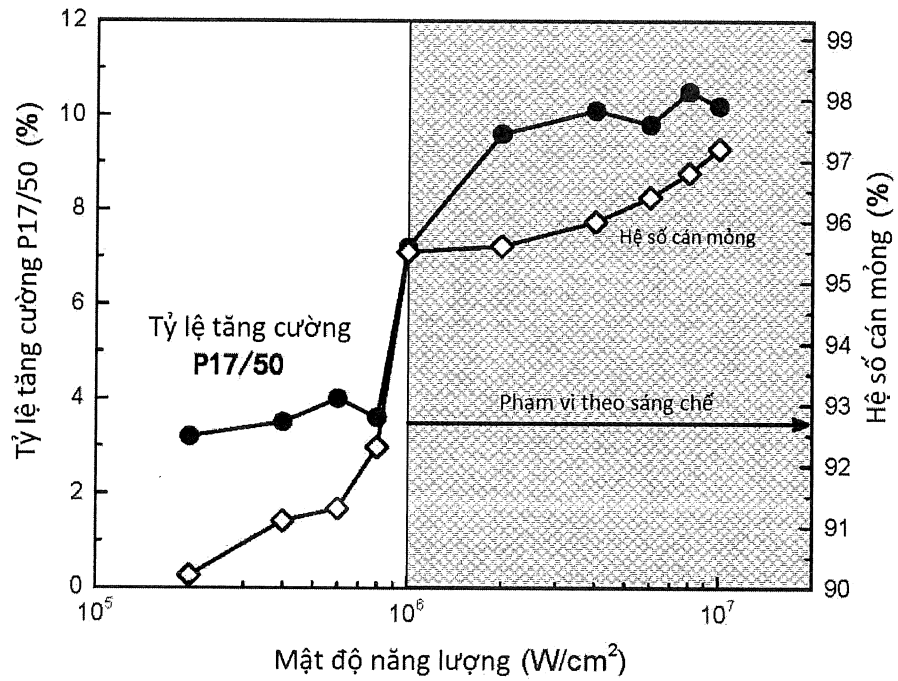
HÌNH 2



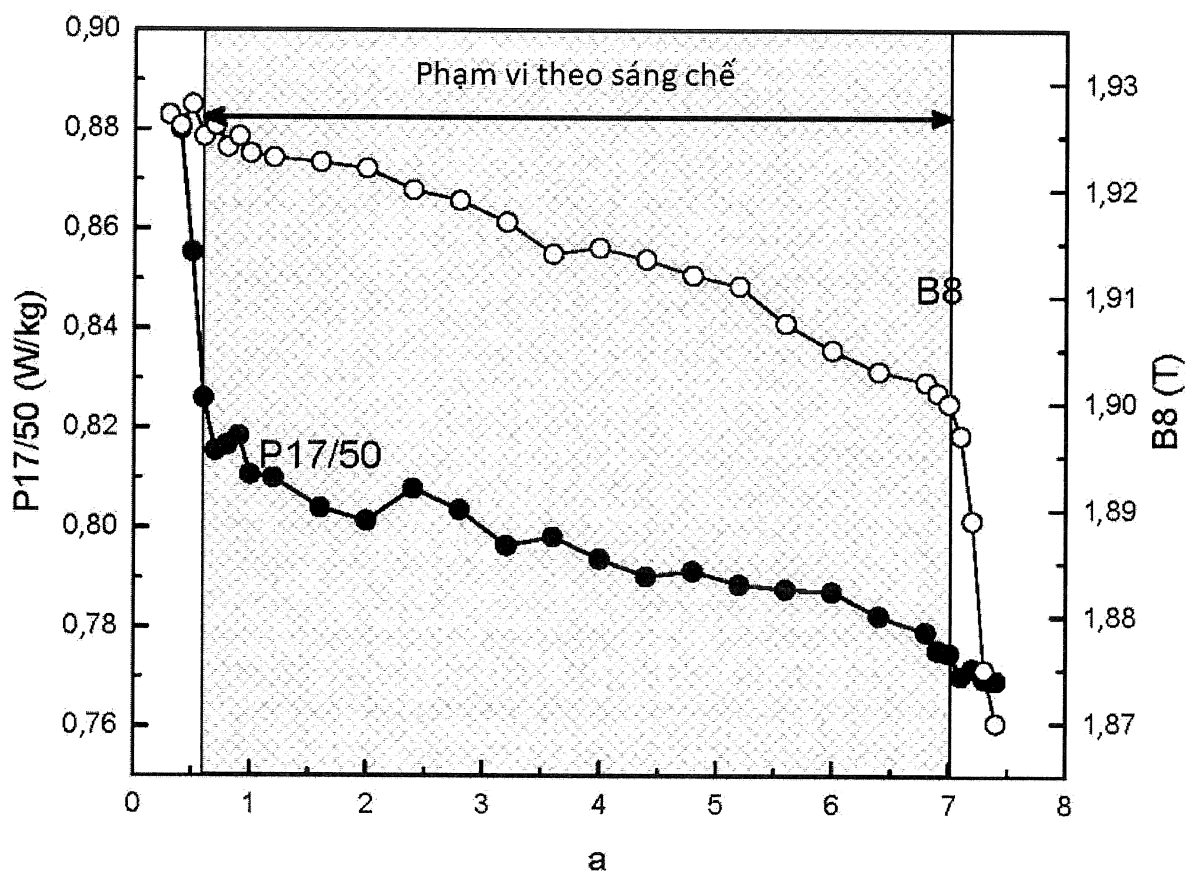
HÌNH 3



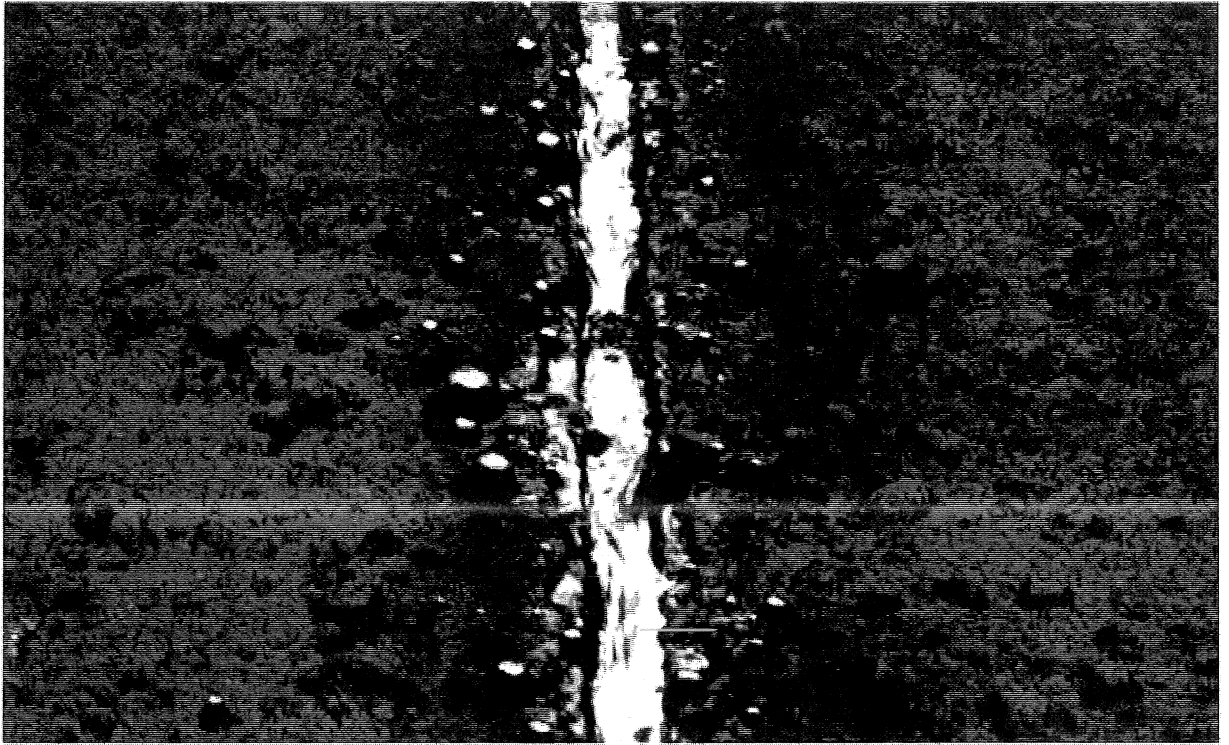
HÌNH 4



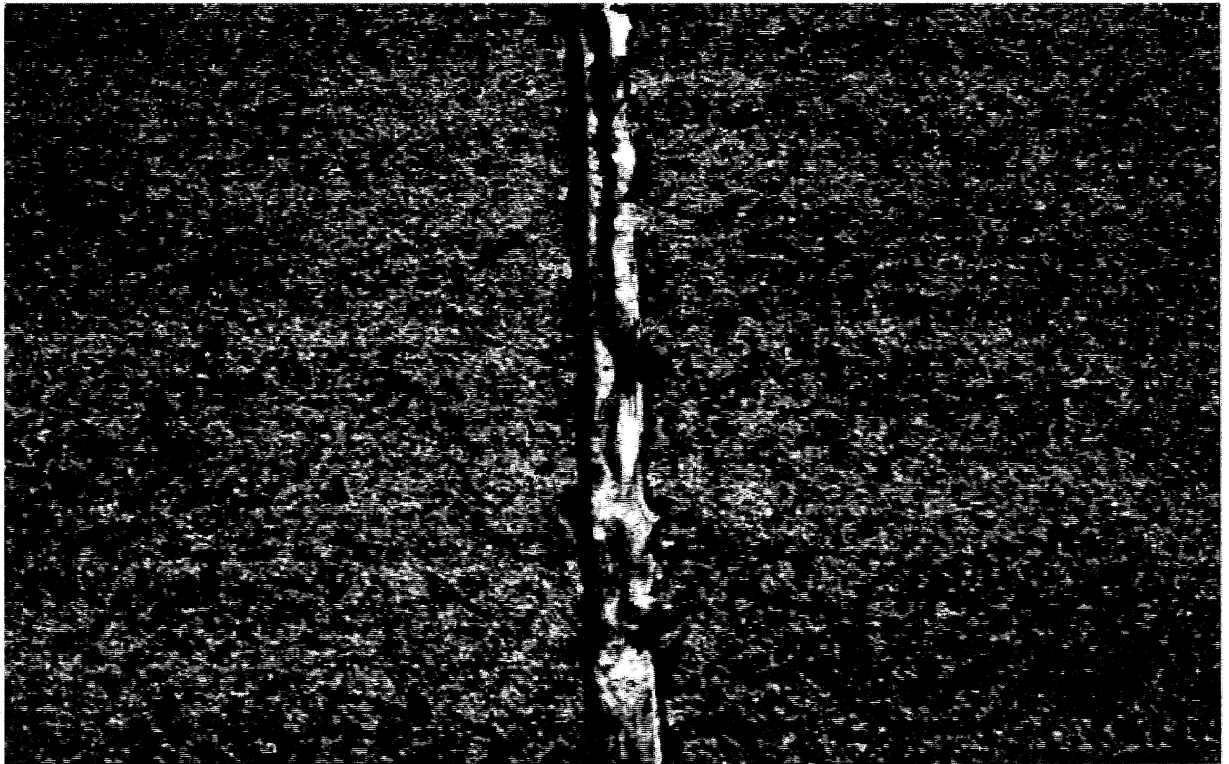
HÌNH 5



HÌNH 6



HÌNH 7



HÌNH 8