



(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)



1-0053288

(51)^{2021.01} C21D 8/02; C21D 1/25; C21D 1/613; (13) B
C21D 1/76; C21D 11/00; C21D 1/19;
C21D 9/56; C21D 9/573; C22C 38/06;
C22C 38/34; C22C 38/58

(21) 1-2022-07179

(22) 22/04/2021

(86) PCT/IB2021/053333 22/04/2021

(87) WO2021/224707 11/11/2021

(30) PCT/IB2020/054322 07/05/2020 IB

(45) 25/11/2025 452

(43) 27/01/2023 418A

(73) ARCELORMITTAL (LU)

24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, LUXEMBOURG

(72) JAMWAL, Ranbir Singh (IN); GHASSEMI-ARMAKI, Hassan (US);

CHAKRABORTY, Anirban (US); CHALLA VENKATASURYA, Pavan (IN).

(74) Công ty Luật TNHH Phạm và Liên danh (PHAM & ASSOCIATES)

(54) PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT TẤM THÉP MẠ, DẢI THÉP MẠ KẼM, DẢI THÉP
MẠ KẼM-SẮT VÀ MỐI HÀN ĐIỂM

(21) 1-2022-07179

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất tấm thép, dải thép có độ sâu vùng khử cacbon được kiểm soát, mỗi hàn điểm nối ít nhất hai tấm kim loại bao gồm ít nhất một tấm thép nêu trên. Sáng chế này đặc biệt thích hợp để áp dụng trong công nghiệp sản xuất ô tô do giúp cải thiện được các đặc tính như độ bền chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng (liquid metal embrittlement, LME) và các đặc tính cơ học mục tiêu.

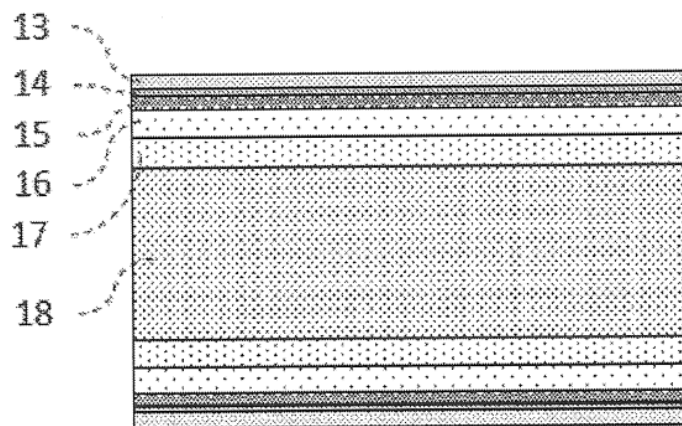


Fig.7

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất dải thép, mối hàn điểm và ứng dụng của dải thép này hoặc mối hàn điểm này. Sáng chế này đặc biệt thích hợp để áp dụng trong ngành công nghiệp ô tô do nó cải thiện được đặc tính chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng (liquid metal embrittlement, LME) của thép có độ bền cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Để giảm khối lượng các loại xe cộ, trong ngành công nghiệp ô tô người ta thường sử dụng thép có độ bền cao, đặc biệt là để làm các bộ phận kết cấu. Các loại thép như vậy thường chứa các nguyên tố hợp kim hóa để cải thiện các đặc tính cơ học của chúng.

Trong quá trình sản xuất, trước khi tạo lớp phủ, thép cứng hoàn toàn (full hard) thường được đưa qua bước ủ để làm tăng sự cân bằng giữa độ bền và độ dai của chúng. Trong bước này, thép được nung nóng và được giữ ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tái kết tinh của chúng trong môi trường khí có kiểm soát và sau đó được làm nguội đến nhiệt độ mạ điện để tạo lớp mạ kẽm trên bề mặt thép bằng phương pháp mạ nhúng nóng.

Chẳng hạn, thép cứng hoàn toàn thường được nung nóng từ nhiệt độ môi trường lên tới nhiệt độ tái kết tinh (bước nung nóng) và sau đó được giữ ở nhiệt độ này (bước ngâm nhiệt). Cả hai bước này được thực hiện trong môi trường chứa ví dụ 5% thể tích H_2 cùng với 95% thể tích N_2 , có điểm sương bằng hoặc cao hơn $-20^{\circ}C$. Sau đó, thép này được làm nguội nhanh đến nhiệt độ mong muốn.

Trong các giai đoạn nung nóng và ngâm nhiệt, ở nhiệt độ trên khoảng $700^{\circ}C$, điểm sương được kiểm soát theo cách sao cho oxy có mặt trong môi trường khí có điểm sương cao trong lò khuếch tán vào dưới bề mặt thép với tốc độ cao hơn tốc độ khuếch tán của các nguyên tố hợp kim hóa tạo oxit trong thép như Mangan (Mn), Nhôm (Al), Silic (Si) hoặc Crom (Cr) về phía bề mặt thép.

Sự có mặt của C cùng với các nguyên tố hợp kim hóa tạo oxit trong thép như Mn, Si, Cr và Al dẫn đến ít nhất hai loại phản ứng.

Thứ nhất, như được thể hiện trên Fig.1, oxy phản ứng với cacbon và tạo thành các chất khí (hình A và B), chẳng hạn như CO_2 và CO , dẫn đến làm suy giảm lượng nguyên tử cacbon trong vùng dưới bề mặt tấm thép và tạo thành lớp khử cacbon 1 (hình C và D). Mức suy giảm cacbon mạnh hơn ở vùng gần hơn với bề mặt 2. Ngoài ra, nguyên tử cacbon từ trong khối 3 khuếch tán vào vùng cận kiệt cacbon 1 (hình E). Tất cả các hiện tượng này xảy ra đồng thời (hình F). Nếu lượng nguyên tử cacbon rời khỏi lớp dưới bề mặt của thép lớn hơn lượng nguyên tử cacbon khuếch tán vào lớp này, thì lớp dưới bề mặt của thép sẽ bị khử cacbon và/hoặc hình thành các khu vực nghèo cacbon hơn so với mức cacbon trong khối thép.

Thứ hai, như được thể hiện trên Fig.2, oxy phản ứng với các nguyên tố hợp kim hóa thép, như mangan (Mn), nhôm (Al), silic (Si) và crom (Cr), có ái lực với oxy cao hơn sắt, dẫn đến sự tạo thành các oxit chủ yếu ở dưới bề mặt thép, được gọi là các oxit chọn lọc bên trong, có số chỉ dẫn 4, và lượng rất nhỏ trên bề mặt, được gọi là các oxit chọn lọc bên ngoài, có số chỉ dẫn 45. Các oxit này là oxit của các nguyên tố hợp kim hóa, chẳng hạn như MnO , SiO_2 . Ngoài ra, nó cũng tạo thành các oxit hỗn hợp phức tạp như MnSiO_3 , MnSiO_4 . Các oxit này có thể có mặt ở dạng các nốt sần không liên tục hoặc dạng lớp liên tục trong đường biên hạt ở dưới bề mặt tấm thép. Các oxit bên trong chủ yếu nằm dọc theo đường biên hạt cũng như trong phạm vi hạt.

Trong bước quy trình tiếp theo, các thép này thường được phủ bằng kim loại hoặc hợp kim khác, như lớp mạ nền kẽm, để cải thiện các đặc tính của chúng như độ bền ăn mòn, khả năng phosphat hóa, v. v... Các lớp phủ kim loại này có thể được phủ bằng cách phương pháp nhúng nóng hoặc phương pháp mạ điện. Lớp mạ kim loại nền kẽm nhúng nóng, hay còn gọi là lớp mạ kẽm nhúng nóng, thường chứa khoảng từ 0,1% đến 0,4% khối lượng nhôm. Nhôm này chủ yếu phản ứng với sắt và tạo thành một lớp ngăn giữa thép và mặt phân giới lớp phủ. Lớp ngăn này chứa chủ yếu là Fe và Al và tạo thành $\text{Fe}_2\text{Al}_{5-x}\text{Zn}_x$ ($0 < x < 1$), một hợp chất liên kim loại. Lớp ngăn này có thể chứa một số nguyên tử Zn.

Khi dùng trong ngành công nghiệp ô tô, các tấm thép phủ kẽm này thường được hàn với nhau bằng phương pháp hàn điểm điện trở (RSW). Trong quá trình này, kẽm lỏng hoặc hợp kim kẽm lỏng thấm vào vùng vùng dưới bề mặt của thép và gây ra hiện

tượng hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng (LME). Nó làm giảm độ dai của thép và gây nứt gãy sớm.

Biết rằng, khi lớp khử cacbon càng dày, thì độ bền chống LME càng tốt. Tuy nhiên, lớp khử cacbon này lại phá hỏng các đặc tính cơ học của thép. Nguyên nhân chủ yếu là do sự tạo thành pha ferit mềm trong vùng dưới bề mặt của thép. Độ dày của lớp khử cacbon cần phải được kiểm soát theo cách sao cho có thể tạo ra được độ bền chống LME tốt đồng thời vẫn đáp ứng được các đặc tính cơ học mục tiêu. Nói chung, môi trường khí trong bước ủ cần phải được kiểm soát theo cách sao cho nó tạo ra được độ dày tối ưu của lớp khử cacbon đáp ứng được cả độ bền chống LME tốt lẫn các đặc tính cơ học mục tiêu. Mục đích của sáng chế này là đưa ra giải pháp để giải quyết các vấn đề nêu trên.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Nhằm mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp sản xuất tấm thép mạ được mạ bằng lớp mạ nền kẽm hoặc nền nhôm, bao gồm các bước:

A) chuẩn bị tấm thép có thành phần hóa học sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: $0,01\% \leq Al \leq 1,0\%$, $0,07\% \leq C \leq 0,50\%$, $0,3\% \leq Mn \leq 5,0\%$, $V\% < 0,2\%$, $0,01\% \leq Si \leq 2,45\%$, $0,35\% \leq Si + Al \leq 3,5\%$, $N \leq 0,01\%$, $P < 0,02\%$, $S \leq 0,01\%$, $Nb \leq 0,1\%$ và tùy ý ít nhất một trong số các nguyên tố sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: $B \leq 0,004\%$, $Co \leq 0,1\%$, $Cu \leq 0,5\%$, $0,001\% \leq Cr \leq 1,00\%$, $0,001\% \leq Mo \leq 0,5\%$, $Ni \leq 1,0\%$, $Ti \leq 0,1\%$, phần còn lại của thành phần tấm thép này là sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất,

B) ủ tấm thép này, bằng cách thực hiện các bước theo trình tự như sau:

i) bước nung nóng sơ bộ, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ phòng tới nhiệt độ T_1 nằm trong khoảng từ 550°C đến $Ac1+50^\circ\text{C}$,

ii) bước nung nóng, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ T_1 tới nhiệt độ tái kết tinh T_2 nằm trong khoảng từ 720°C đến 1.000°C trong môi trường A1 chứa từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP_1 nằm trong khoảng từ -10°C đến $+30^\circ\text{C}$,

iii) bước ngâm nhiệt, trong đó tấm thép này được giữ ở nhiệt độ tái kết tinh T_2 trong môi trường A2 chứa từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O ,

O₂ và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP₂ nằm trong khoảng từ -30°C đến 0°C, điểm sương DP₁ cao hơn điểm sương DP₂, và

iv) bước làm nguội,

C) mạ tấm thép này bằng lớp mạ nền kẽm hoặc nền nhôm,

. trong đó sau bước làm nguội iv), tấm thép này được làm nguội tiếp xuống tới nhiệt độ T_{QT} nằm trong khoảng từ (Ms-5°C) đến (Ms-170°C) và sau đó được đưa tới bước nung nóng lại v) trong đó tấm thép này được nung nóng lại lên tới nhiệt độ T₄ nằm trong khoảng từ 300°C đến 550°C trong khoảng thời gian từ 30 giây đến 300 giây,

. trong đó trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bề mạ điện, bề này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,15% đến 0,40% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C, hoặc

. trong đó trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bề mạ điện, bề này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,09% đến 0,15% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C, và sau đó được nung nóng tới nhiệt độ từ 470°C đến 550°C sau khi ra khỏi bề mạ điện,

. trong đó DP₁ cao hơn DP₂ từ 5°C đến 40°C.

Theo một phương án, trong bước làm nguội, tấm thép này được làm nguội xuống tới nhiệt độ T₃ nằm trong khoảng từ Ms đến Ms+150°C và giữ ở T₃ ít nhất 40 giây trong môi trường A3 chứa từ 1% đến 30% thể tích H₂ và khí trơ, có điểm sương DP₃ thấp hơn hoặc bằng -40°C.

Theo một phương án, tấm thép này tùy ý được giữ ở nhiệt độ T_{QT} trong khoảng thời gian từ 2 giây đến 8 giây.

Theo một phương án, sau bước làm nguội iv) và bước nung nóng lại v), có bước cân bằng vi) trong đó tấm thép này được nung nóng lên tới nhiệt độ nằm trong khoảng từ 300°C đến 500°C trong môi trường A4 chứa từ 1% đến 30% thể tích H₂ và ít nhất một khí trơ, có điểm sương DP₄ thấp hơn hoặc bằng -40°C.

Theo một phương án, DP₁ cao hơn DP₂ từ 10°C đến 30°C.

Nhằm mục đích nêu trên, sáng chế cũng đề xuất dải thép mạ Zn, được sản xuất bằng phương pháp như đã nêu trên, bao gồm:

- khối thép có thành phần như đã nêu trên,
- lớp khử một phần cacbon nằm ở phần trên của khối thép, có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon nằm trong khoảng từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit, austenit dư,
- lớp khử cacbon nằm ở bên trên lớp khử một phần cacbon, có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon (16) là lớp oxit bên trong (15), có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,
- lớp ngăn nằm bên trên lớp oxit bên trong, có độ dày từ 100 nm đến 500 nm,
- lớp mạ nền kẽm nằm bên trên lớp ngăn có độ dày từ 3 μm đến 30 μm .

Nhằm mục đích nêu trên, sáng chế cũng đề xuất dải thép mạ Zn-Fe, được sản xuất bằng phương pháp như đã nêu trên, bao gồm:

- khối thép (18) có thành phần như đã nêu trên,
- lớp khử một phần cacbon nằm ở phần trên của khối thép có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit, austenit dư,
- lớp khử cacbon (16) nằm ở bên trên lớp khử một phần cacbon (17), có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon (16) là lớp oxit bên trong (15), có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,
- lớp mạ nền kẽm-sắt (12) nằm bên trên lớp oxit bên trong (15) có độ dày từ 3 μm đến 30 μm và chứa từ 10% đến 20% khối lượng là sắt.

Theo một phương án, dải thép này có độ dày từ 0,5mm đến 3,0mm.

Theo một phương án, dải thép này có độ bền kéo tới hạn lớn hơn 900 MPa.

Nhằm mục đích nêu trên, sáng chế cũng đề xuất mỗi hàn điểm bao gồm ít nhất một dải thép như đã nêu trên, trong đó mỗi hàn này không có vết nứt với kích thước lớn hơn $100\mu\text{m}$.

Các dấu hiệu kỹ thuật khác và các ưu điểm của sáng chế sẽ được làm rõ trong phần mô tả chi tiết sáng chế dưới đây.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ kèm theo

Để minh họa cho sáng chế, các phương án và các thử nghiệm sẽ được mô tả như ví dụ không mang tính giới hạn, dựa trên các hình vẽ sau đây:

Fig.1 minh họa các phản ứng khác nhau xảy ra trong lò ủ.

Fig.2 minh họa sự oxy hóa các nguyên tố hợp kim hóa xảy ra bên trong và bên ngoài tấm thép.

Fig.3 minh họa một phương án của lò ủ và hệ thống phủ nhúng nóng.

Fig.4 minh họa phương án thứ hai của lò ủ và hệ thống phủ nhúng nóng.

Fig.5 minh họa một phương án của chu trình ủ theo sáng chế.

Fig.6 minh họa phương án thứ hai của chu trình ủ theo sáng chế.

Fig.7 thể hiện phương án thứ nhất của tấm thép theo sáng chế với lớp mạ Zn.

Fig.8 thể hiện phương án thứ hai của tấm thép theo sáng chế với lớp mạ Zn-Fe (galvanneal).

Fig.9 trình bày hai ảnh chụp dưới kính hiển vi điện tử quét cho thấy tác động của quy trình theo sáng chế đến lớp khử cacbon trên loại thép thứ nhất (thử nghiệm A1 và A2*).

Fig.10 trình bày hai ảnh chụp dưới kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope, SEM) cho thấy tác động của quy trình theo sáng chế đến các oxit bên trong, lớp ngăn và lớp mạ Zn trên loại thép thứ nhất [thử nghiệm A1 (ảnh bên trái) và thử nghiệm A2* (ảnh bên phải)].

Fig.11 trình bày hai ảnh chụp dưới kính hiển vi điện tử quét cho thấy tác động của quy trình theo sáng chế đến lớp khử cacbon (ảnh bên trái) và đến các oxit bên trong, lớp ngăn và lớp mạ Zn (ảnh bên phải) trên loại thép thứ hai (thử nghiệm B1*).

Fig.12 trình bày hai ảnh chụp dưới kính hiển vi điện tử quét cho thấy tác động của quy trình theo sáng chế đến lớp khử cacbon (ảnh bên trái) và đến các oxit bên trong và lớp mạ Zn-Fe (ảnh bên phải) trên loại thép thứ nhất (thử nghiệm A3*).

Fig.13 trình bày ảnh chụp dưới kính hiển vi điện tử quét cho thấy tác động của quy trình theo sáng chế đến lớp khử cacbon (ảnh bên trái) và đến các oxit bên trong và lớp mạ Zn-Fe (ảnh bên phải) trên loại thép thứ hai (thử nghiệm B2*).

Fig.14 minh họa quy trình hàn điểm điện trở ở trạng thái xếp chồng 3 lớp, cho thấy vị trí có thể tạo thành vết nứt do LME.

Fig.15 minh họa một phương án thử nghiệm hàn điểm điện trở.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Sáng chế đề cập tới phương pháp sản xuất tấm thép mạ được mạ bằng lớp mạ nền kẽm hoặc nền nhôm, bao gồm các bước:

A) Chuẩn bị tấm thép có thành phần hóa học sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng:

$$0,01 \leq \text{Al} \leq 1,0\%,$$

$$0,07 \leq \text{C} \leq 0,50\%,$$

$$0,3 \leq \text{Mn} \leq 5,0\%,$$

$$\text{V} < 0,2\%,$$

$$0,01 \leq \text{Si} \leq 2,45\%,$$

$$0,35 \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 3,5$$

$$\text{N} \leq 0,01\%,$$

$$\text{P} < 0,02\%,$$

$$\text{S} \leq 0,01\%$$

và tùy ý ít nhất một trong số các nguyên tố sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng:

$$\text{B} \leq 0,004\%,$$

$$\text{Co} \leq 0,1\%,$$

$$0,001 \leq \text{Cr} \leq 1,00\%,$$

$$\text{Cu} \leq 0,5\%,$$

$$0,001 \leq \text{Mo} \leq 0,5\%,$$

$$\text{Nb} \leq 0,1\%,$$

$$\text{Ni} \leq 1,0\%,$$

$$\text{Ti} \leq 0,1\%,$$

phần còn lại của thành phần tấm thép này là sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất,

B) Ủ tấm thép này, bằng cách thực hiện các bước theo trình tự như sau:

i) bước nung nóng sơ bộ, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ phòng tới nhiệt độ T_1 nằm trong khoảng từ 550°C đến $\text{Ac}1+50^\circ\text{C}$,

ii) bước nung nóng, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ T_1 tới nhiệt độ tái kết tinh T_2 nằm trong khoảng từ 720°C đến 1.000°C trong môi trường A1, bao gồm từ 0,1% đến 15% thể tích là H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP_1 nằm trong khoảng từ -10°C đến $+30^\circ\text{C}$,

iii) bước ngâm nhiệt, trong đó tấm thép này được giữ ở nhiệt độ tái kết tinh T_2 trong môi trường A2, bao gồm từ 0,1% đến 15% thể tích là H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ -30°C đến 0°C , điểm sương DP_1 cao hơn điểm sương DP_2 và,

iv) bước làm nguội,

C) Mạ tấm thép này bằng lớp mạ nền kẽm hoặc nền nhôm.

Trong phần sau đây, phạm vi của sáng chế này sẽ được trình bày và giải thích.

Thép dùng trong sáng chế này cần có thành phần cụ thể như sau:

- $0,01 \leq \text{Al} \leq 1,0\%$ khối lượng: vì Al làm tăng nhiệt độ M_s và do vậy làm mất ổn định austenit dư. Ngoài ra, khi tăng hàm lượng Al cao hơn 1,0%, thì nhiệt độ $\text{Ac}3$ cũng tăng lên gây khó khăn cho sản xuất công nghiệp.

- $0,07 \leq \text{C} \leq 0,50\%$ khối lượng: vì nếu hàm lượng cacbon thấp hơn 0,07%, thì có nguy cơ là không đủ độ bền kéo. Hơn nữa, nếu cấu trúc tế vi của thép chứa austenit dư, thì không thể có được độ ổn định cần thiết để đạt được đủ độ giãn. Nếu hàm lượng C lớn hơn 0,5%, thì khả năng cứng hóa của mỗi hàn cũng tăng lên.

- $0,3 \leq \text{Mn} \leq 5,0\%$ khối lượng: mangan là nguyên tố tăng độ cứng dung dịch rắn cần thiết để thu được độ bền kéo cao. Tuy nhiên, khi hàm lượng Mn lớn hơn 5,0%, thì nó

có thể tham gia vào việc tạo thành cấu trúc với các vùng thiên tích đáng kể, tác động bất lợi đến các đặc tính cơ học của môi hàn. Tốt hơn nếu hàm lượng mangan này nằm trong khoảng từ 1,5% đến 3,0% khối lượng. Điều này làm cho nó có thể đạt được độ bền cơ học thỏa đáng mà không làm tăng độ khó của quá trình sản xuất thép và không làm tăng khả năng cứng hóa của môi hàn.

- $V < 0,2\%$ khối lượng: vì vanadi tạo ra các kết tủa làm tăng độ cứng và độ bền.

- $0,01 \leq Si \leq 2,45\%$ khối lượng: vì Si làm chậm quá trình tạo thành carbua và làm ổn định austenit. Nếu Si hàm lượng lớn hơn 2,45%, thì độ dẻo và độ dai của thép bị giảm đáng kể.

Thép theo sáng chế tùy ý còn có thể chứa các nguyên tố như Nb, B, Ni, Ti, Cu, Mo và/hoặc Co vì những lý do sau đây.

Bo có thể tùy ý có mặt trong thép với lượng thấp hơn hoặc bằng 0,004% khối lượng. Bằng cách tạo thiên tích tại đường biên hạt, B làm giảm năng lượng đường biên hạt và do vậy có lợi ở chỗ làm tăng độ bền chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng.

Crom có thể có mặt với hàm lượng thấp hơn hoặc bằng 1,00% khối lượng. Crom cho phép làm chậm quá trình tạo thành ferit trước cùng tích trong bước làm nguội sau khi giữ ở nhiệt độ tối đa trong chu trình ủ, giúp đạt được độ bền cao hơn. Hàm lượng của nguyên tố này được giới hạn ở mức 1,00% khối lượng vì lý do chi phí và để ngăn ngừa quá trình tăng độ cứng quá mức.

Đồng có thể có mặt với hàm lượng thấp hơn hoặc bằng 0,5% khối lượng để tăng độ cứng cho thép nhờ các kết tủa của đồng kim loại.

Molypden với hàm lượng thấp hơn hoặc bằng 0,5% khối lượng có hiệu quả trong việc làm tăng khả năng cứng hóa và làm ổn định austenit dư do nguyên tố này làm chậm quá trình phân hủy austenit.

Niken có thể tùy ý có mặt trong thép với lượng thấp hơn hoặc bằng 1,0% khối lượng nhằm cải thiện độ dai.

Titan và Niobi cũng là các nguyên tố có thể tùy ý được sử dụng để tăng độ cứng và độ bền bằng cách tạo ra các kết tủa. Tuy nhiên, khi lượng Nb lớn hơn 0,1% và/hoặc hàm lượng Ti lớn hơn 0,1% khối lượng, thì có nguy cơ là lượng kết tủa quá mức có thể làm giảm độ dai, là điều cần phải tránh.

P và S được coi là nguyên tố dư tạo thành trong quá trình luyện thép. P có thể có mặt với lượng thấp hơn hoặc bằng 0,04% khối lượng. S có thể có mặt với lượng thấp hơn hoặc bằng 0,01% khối lượng.

Tốt hơn nếu trong thành phần hóa học của thép không chứa Bismut (Bi). Thực vậy, không muốn bị ràng buộc bởi bất kỳ lý thuyết nào, tin rằng nếu thép có chứa Bi, thì khả năng thấm ướt của nó sẽ bị giảm dần đến làm giảm độ bám dính của lớp phủ.

Để hiểu đúng hơn sáng chế này, một số thuật ngữ sau đây sẽ được định nghĩa. Điểm sương là nhiệt độ mà không khí cần phải được làm nguội đến đó để bão hòa hơi nước. Trong công nghiệp sản xuất thép, Ac1 tương ứng với nhiệt độ mà tại đó austenit bắt đầu được tạo ra trong quá trình nung nóng. Ms tương ứng với nhiệt độ mà tại đó, khi làm nguội nhanh, austenit bắt đầu tạo ra mactensit.

Một số bước của quy trình có thể được thực hiện trong lò như được thể hiện trên Fig.3 hoặc trên Fig.4. Cả hai lò này thực hiện bước nung nóng sơ bộ 6, bước nung nóng 7, bước ngâm nhiệt 8 và bước làm nguội 9. Lò như được minh họa trên Fig.4, cũng bao gồm cả bước phân hóa 10.

Bước nung nóng sơ bộ nói chung được thực hiện sau khi thép đã được cán nguội, còn được gọi là trạng thái cứng hoàn toàn. Trong quá trình nung nóng sơ bộ này, tấm thép được nung nóng từ nhiệt độ phòng tới nhiệt độ T1 nằm trong khoảng từ 550°C đến $Ac1 + 50^\circ C$ trong môi trường không oxy hóa. Nó có thể được thực hiện bằng phương tiện nung nóng bất kỳ có thể gia nhiệt cho tấm thép ở nhiệt độ T1 mà không tạo ra sắt oxit hoặc chỉ tạo ra một lượng hạn chế sắt oxit. Ví dụ, bước nung nóng này có thể được thực hiện trong lò ống bức xạ (Radiant Tube) có môi trường khí gồm N_2 , H_2 và các tạp chất không tránh khỏi, trong lò cảm ứng hoặc trong lò đốt trực tiếp (Direct-Fired Furnace, DFF) có môi trường khí chứa hỗn hợp không khí/khí đốt với tỷ lệ < 1 . Tuy nhiên, bước này cũng có thể được thực hiện trong DFF bao gồm một vài vùng, ví dụ 5 vùng, có tỷ lệ không khí/khí đốt > 1 trong vùng cuối cùng hoặc trong hai vùng cuối cùng.

Trong bước nung nóng, tấm thép được nung nóng từ nhiệt độ T₁ tới nhiệt độ tái kết tinh T₂ nằm trong khoảng từ 720°C đến 1.000°C trong môi trường A1, bao gồm từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi có điểm sương DP₁ nằm trong khoảng từ -10°C đến +30°C. Nitơ có thể được sử dụng làm khí trơ.

Trong bước ngâm nhiệt, tấm thép được nung nóng ở nhiệt độ tái kết tinh T_2 trong môi trường A2, bao gồm từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi có điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ $-30^\circ C$ đến $0^\circ C$, sao cho điểm sương DP_1 cao hơn điểm sương DP_2 . Nito có thể được sử dụng làm khí trơ.

Môi trường khí A1 và A2 có thể được tạo ra bằng cách sử dụng hơi nước được gia nhiệt sơ bộ và kết hợp với các chất khí N_2-H_2 trong lò có lắp hỏa kế, các đầu dò H_2 và điểm sương trong các phân đoạn khác nhau để giám sát H_2 , điểm sương và nhiệt độ của môi trường khí.

Bước làm nguội có thể được thực hiện trong môi trường chứa từ 20% đến 50% H_2 cùng với N_2 . Hỗn hợp khí này được thổi lên bề mặt thép bằng cách sử dụng quạt tốc độ cao. Bước làm nguội cũng có thể được thực hiện bằng phương tiện làm nguội bất kỳ khác như cán nguội.

Trong phần dưới đây, không bị ràng buộc bởi bất kỳ lý thuyết nào, các hiện tượng vật lý xảy ra trong bước nung nóng và bước ngâm nhiệt sẽ được giải thích để hiểu rõ bản chất của sáng chế.

Trong bước nung nóng, việc nâng dần nhiệt độ cùng với điểm sương tương đối cao cho phép có được pO_2 (áp suất riêng phần của oxy) cao, khiến cho oxy khuếch tán vào thép. Sự khuếch tán mạnh oxy này có hai hệ quả chính. Thứ nhất, nó cho phép khử cacbon sâu hơn dưới bề mặt thép bằng phản ứng với cacbon nguyên tố giữa các nút. Thứ hai, oxy phản ứng với các nguyên tố tạo oxit thay thế như Mn, Si, Al và Cr và tạo thành các oxit trong vùng dưới bề mặt tấm thép, làm giảm lượng các nguyên tố hợp kim hóa khả dụng để tạo ra các oxit bề mặt. Các oxit bên trong này chủ yếu được tạo ra trên vùng đường biên hạt do sự khuếch tán nhanh hơn của các nguyên tố hợp kim hóa.

Khi kết thúc bước nung nóng, vùng dưới bề mặt thép bao gồm:

- lớp khử một phần cacbon có độ dày từ 10 μm đến 30 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp khử cacbon, nằm ngoài lớp khử một phần cacbon, có độ dày từ 30 μm đến 70 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép.

Các giá trị này được đưa ra chỉ để có một thứ bậc về độ lớn. Các thông số như thời gian nung nóng time, nhiệt độ cuối bước nung nóng, hàm lượng cacbon của thép

cũng như điểm sương xác định pO_2 cũng ảnh hưởng đến độ dày của lớp khử cacbon hàn toàn cũng như lớp khử một phần cacbon.

Trong bước ngâm nhiệt, so với bước nung nóng, nhiệt độ sẽ cao hơn, nhưng điểm sương lại thấp hơn. Điều này có một số tác động đến vùng dưới bề mặt thép.

Do điểm sương tương đối thấp hơn ở bước ngâm nhiệt, lượng oxy cũng thấp hơn và do vậy chỉ có thể khuếch tán tới một độ sâu giới hạn (ít hơn) trong vùng dưới bề mặt thép, gây ra phản ứng khử cacbon trong một độ sâu giới hạn của vùng dưới bề mặt thép. Trong khi đó, nguyên tử cacbon khuếch tán từ trong khối tới vùng nghèo cacbon của vùng dưới bề mặt thép (lớp khử một phần cacbon nằm dưới lớp khử cacbon). Trên thực tế, nguyên tử cacbon có mặt trong vùng khử cacbon một phần khuếch tán vào vùng khử cacbon và vùng khử cacbon một phần được nạp trở lại bằng các nguyên tử cacbon từ trong khối. Do đó, nó tạo ra một lớp khử cacbon rất gần với bề mặt thép. Phản ứng khử cacbon này tùy thuộc vào một số yếu tố như nhiệt độ bước ngâm nhiệt, điểm sương (pO_2), thời gian ngâm nhiệt và lượng cacbon có mặt trong khối thép.

Do vậy, khi kết thúc bước ngâm nhiệt, vùng dưới bề mặt thép bao gồm:

- lớp khử một phần cacbon có độ dày khoảng 30 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép.
- lớp khử cacbon, nằm ngoài lớp khử một phần cacbon, có độ dày khoảng 20 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép.

Các giá trị này được đưa ra chỉ để có một thứ bậc về độ lớn.

Do áp suất riêng phần của oxy (pO_2) cao hơn trong bước nung nóng, nên một lượng O_2 lớn hơn có thể khuếch tán dễ dàng vào vùng dưới bề mặt tấm thép và tạo thành oxit bên trong và do vậy giữ được Si, Mn, Cr, Al ở độ sâu lớn hơn nhiều trong vùng dưới bề mặt. Hiện tượng này xảy ra trong giai đoạn đầu của quá trình tái kết tinh trong bước nung nóng. Trong bước ngâm nhiệt, xảy ra hầu hết quá trình phát triển của hạt và tạo thành các hạt ferit lớn trong vùng dưới bề mặt tấm thép.

Do sự tạo thành các oxit bên trong ở độ sâu lớn hơn trong vùng dưới bề mặt thép được tiếp nối bởi quá trình phát triển hạt, nên một lớp ferit không chứa các oxit bên trong được tạo ra trên bề mặt thép. Lớp này có thể dễ dàng phản ứng với nhôm trong bề mặt trong quá trình mạ Zn và tạo thành lớp ngăn thỏa đáng.

Trái ngược với các giải pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, trong quy trình ủ theo sáng chế này, việc điểm sương trong bước nung nóng cao hơn điểm sương trong bước ngâm nhiệt cho phép cải thiện các đặc tính của thép về mặt độ bền hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng (LME) như được giải thích trên đây. Rõ ràng là, sáng chế cũng có ưu điểm ở chỗ tạo ra được độ sâu có kiểm soát của lớp khử cacbon hoàn toàn, có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép.

Tốt hơn nếu điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ -25°C đến $+10^{\circ}\text{C}$. Tốt hơn nữa nếu điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ -20°C đến 0°C . Còn tốt hơn nữa nếu điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ -25°C đến -5°C . Vẫn còn tốt hơn nữa nếu điểm sương này nằm trong khoảng từ -25°C đến -5°C .

Tốt hơn nếu trong bước làm nguội, tấm thép được làm nguội xuống tới nhiệt độ T_3 nằm trong khoảng từ M_s đến $M_s+150^{\circ}\text{C}$ và được duy trì ở nhiệt độ T_3 trong ít nhất 40 giây trong môi trường A3 bao gồm từ 1% đến 30% thể tích là H_2 và khí trơ, có điểm sương DP_3 thấp hơn hoặc bằng -40°C . Tốt hơn nữa nếu nhiệt độ T_3 nằm trong khoảng từ $M_s+10^{\circ}\text{C}$ đến $M_s+150^{\circ}\text{C}$. Điều này cho phép thu được cấu trúc tế vi phân hóa.

Tốt hơn nếu sau bước làm nguội iv), tấm thép này được làm nguội tiếp xuống tới nhiệt độ T_{QT} nằm trong khoảng từ $(M_s-5^{\circ}\text{C})$ đến $(M_s-170^{\circ}\text{C})$ và sau đó được đưa vào bước nung nóng lại v) trong đó tấm thép này được nung nóng lại lên tới nhiệt độ T_4 nằm trong khoảng từ 300°C đến 550°C trong khoảng thời gian từ 30 giây đến 300 giây. Bước này còn gọi là bước phân hóa. Tốt hơn nữa nếu tấm thép này được tùy ý giữ ở nhiệt độ T_{QT} trong khoảng thời gian nằm trong khoảng từ 2 đến 8 giây. Còn tốt hơn nữa nếu tấm thép này được nung nóng lại lên tới nhiệt độ T_4 nằm trong khoảng từ 330°C đến 490°C .

Tốt hơn nếu sau bước làm nguội iv) và bước nung nóng lại v) nêu trên, trong bước cân bằng vi) dải thép này được nung nóng ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 300°C đến 500°C trong môi trường A4 bao gồm từ 1% đến 30% thể tích là H_2 và ít nhất một khí trơ, có điểm sương DP_4 thấp hơn hoặc bằng -40°C .

Tốt hơn nếu tấm thép này ở bước A) có ít nhất là tỷ lệ phần trăm khối lượng: $0,001 \leq \text{Cr} + \text{Mo} \leq 1,000\%$.

Tốt hơn nếu bước nung nóng và bước ngâm nhiệt kéo dài từ 100 đến 500 giây. Tốt hơn nếu trong bước nung nóng và bước ngâm nhiệt, môi trường khí A1 và A2 chứa từ 3% và 8% thể tích là H_2 .

Tốt hơn nếu DP_1 cao hơn DP_2 từ 5°C đến 40°C . Tốt hơn nữa nếu DP_1 cao hơn DP_2 từ 10°C đến 30°C .

Tốt hơn nếu trong bước C) việc mạ được thực hiện bằng phương pháp mạ điện hoặc phủ nhúng nóng.

Tốt hơn nếu trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bể mạ điện, bể này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,15% đến 0,40% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C .

Tốt hơn nếu trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bể mạ điện, bể này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,09% đến 0,15% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C , và sau đó được nung nóng tới nhiệt độ từ 470°C đến 550°C sau khi ra khỏi bể mạ điện. Các bước quy trình như vậy cho phép thu được dải thép mạ Zn-Fe.

Các hình vẽ Fig.5 và Fig.6 minh họa hai chu trình nhiệt tiêu biểu được mô tả ở phần trên. Trên Fig.5, bước nung nóng sơ bộ tấm thép cứng hoàn toàn được bắt đầu từ nhiệt độ phòng và kéo dài 146 giây cho tới khi tấm thép đạt tới 575°C . Sau đó, trong bước nung nóng, tấm thép được nung nóng từ 575°C đến 715°C trong 131 giây và tiếp đó từ 715°C tới nhiệt độ ngâm nhiệt (800°C) trong 174 giây. Sau đây, dải thép được đưa vào bước ngâm nhiệt nơi nhiệt độ của nó được duy trì ở 800°C trong 146 giây. Cuối cùng, dải thép được làm nguội nhanh, bằng cách tôi, tới nhiệt độ 190°C . Sau đó, dải thép được đưa vào giai đoạn nung nóng lại, còn được gọi là giai đoạn phân hóa, bao gồm việc xử lý nhiệt ở 365°C trong 105 giây và sau đó làm nguội xuống đến 465°C . Dải thép này cuối cùng được mạ trong bể chứa Zn-Al 0,2% khối lượng được duy trì ở 460°C .

Như được thể hiện trên Fig.6, bước nung nóng sơ bộ tấm thép cứng hoàn toàn được bắt đầu từ nhiệt độ phòng và kéo dài 146 giây cho tới khi tấm thép đạt tới 675°C . Sau đó, trong bước nung nóng, tấm thép được nung nóng từ 675°C đến 815°C trong 131 giây và sau đó được nung nóng từ 815°C tới nhiệt độ ngâm nhiệt (880°C) trong 174 giây. Sau đây, dải thép được đưa vào bước ngâm nhiệt nơi nhiệt độ của nó được duy trì ở 880°C để thực hiện bước ngâm nhiệt trong 146 giây. Cuối cùng, dải thép được làm nguội nhanh, bằng cách tôi, tới nhiệt độ 280°C . Sau đó, tấm thép được đưa vào giai đoạn nung

nóng lại, còn được gọi là giai đoạn phân hóa, bao gồm việc xử lý nhiệt ở 450°C trong 105 giây và sau đó làm nguội xuống đến 460°C. Tấm thép cuối cùng được mạ trong bể chứa Zn-Al 0,2% khối lượng được duy trì ở 460°C.

Như được minh họa trên Fig.7, sáng chế còn đề xuất dải thép mạ, được sản xuất như được mô tả trên đây, bao gồm:

- khối thép 18 có thành phần như được mô tả trên đây,
- lớp khử một phần cacbon 17, nằm ở phần trên của khối thép 18, có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit và/hoặc austenit dư,
- lớp khử cacbon 16 nằm ở bên trên lớp khử một phần cacbon 17, có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon 16 là lớp oxit bên trong 15, có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,
- lớp ngăn 14 nằm bên trên lớp oxit bên trong 15, có độ dày từ 100 nm đến 500 nm,
- lớp mạ nền kẽm 13 nằm bên trên lớp ngăn 14 có độ dày từ 3 μm đến 30 μm .

Lớp oxit bên trong nằm ở mặt ngoài của lớp khử cacbon, giáp với lớp ngăn như được minh họa trên Fig.7. Lớp oxit bên trong này chứa các oxit nêu trên và có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có ít nhất 90% là ferit.

Như được minh họa trên Fig.8, sáng chế còn đề xuất dải thép mạ Zn-Fe, được sản xuất như được mô tả trên đây, bao gồm:

- khối thép 18 có thành phần như được mô tả trên đây,
- lớp khử một phần cacbon 17 nằm ở phần trên của khối thép 18 có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit và/hoặc austenit dư,
- lớp khử cacbon 16 nằm bên trên lớp khử một phần cacbon 17, có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối

thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon 16 là lớp oxit bên trong 15, có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,

- lớp mạ nền kẽm-sắt 12 nằm bên trên lớp oxit bên trong 15, có độ dày từ 3 μm đến 30 μm và chứa từ 10% đến 20% khối lượng là sắt.

Lớp oxit bên trong không thể dày hơn lớp khử cacbon. Do vậy, nếu lớp khử cacbon có độ dày bằng “x” μm , x nằm trong khoảng từ 5 đến 12 μm , thì lớp oxit bên trong có độ dày nằm trong khoảng từ 2 đến “x”. Lớp oxit bên trong này nằm trên bề mặt ngoài của lớp khử cacbon, tiếp giáp với lớp ngăn như được minh họa trên Fig.8. Lớp oxit bên trong bao gồm các oxit nêu trên và có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có ít nhất 90% là ferit.

Tốt hơn nếu dải thép này có độ dày từ 0,5mm đến 3,0mm.

Tốt hơn nếu dải thép này có độ bền kéo tới hạn (UTS) lớn hơn 900MPa.

Sáng chế còn đề cập đến mỗi hàn điểm nối ít nhất hai tấm kim loại bao gồm ít nhất một tấm thép như được mô tả trên đây, mỗi hàn này không có vết nứt với kích thước lớn hơn 100 μm .

Tốt hơn nếu mỗi hàn điểm này bao gồm hai hoặc ba tấm kim loại. Tốt hơn nếu mỗi hàn điểm này cũng bao gồm tấm nhôm hoặc tấm thép.

Sáng chế cũng mô tả việc sử dụng tấm thép mạ bất kỳ được mô tả ở phần trên hoặc mỗi hàn điểm bất kỳ được mô tả ở phần trên để sản xuất xe cộ.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Phần dưới đây trình bày kết quả thử nghiệm cho thấy việc các đặc tính bề mặt và dưới bề mặt cải thiện. Các thử nghiệm được tiến hành trên hai loại thép khác nhau (Thép A và Thép B) có độ dày dải thép từ 1,4 đến 1,6 mm.

Các thông số thử nghiệm khác nhau được trình bày trong Bảng 1.

Loạt thử nghiệm thứ nhất (A1 và A2*) được tiến hành để xác định sự ảnh hưởng của các điểm sương khác nhau trong bước nung nóng và bước ngâm nhiệt đến đặc tính khử cacbon của thép, trên loại thép thứ nhất (Thép A). Thép này được ủ tiếp đó là được mạ trong bể mạ chứa Zn-Al 0,20% khối lượng theo các chu trình nhiệt được thể hiện trên Fig.5 sao cho các chu trình nhiệt trong cả hai thử nghiệm này là như nhau. Trong Thử

thử nghiệm A1, các điểm sương gần như nhau được duy trì trong bước nung nóng (-5°C) và bước ngâm nhiệt (-3°C). Còn trong Thử nghiệm A2*, điểm sương cao hơn được áp dụng trong bước nung nóng (-1°C) so với trong bước ngâm nhiệt (-9°C). Trong cả hai thử nghiệm này nồng độ hydro được duy trì trong khoảng từ 4% đến 5%.

Thử nghiệm thứ hai (A3*) được tiến hành trên Thép A. Thép này được ủ tiếp đó được mạ trong bể mạ chứa Zn-Al 0,129% khối lượng theo các chu trình nhiệt được thể hiện trên Fig.5. Ngay sau khi mạ, việc xử lý nhiệt sau khi mạ, còn gọi là bước mạ Zn-Fe (galvannealing), được thực hiện ở 480°C . Trong thử nghiệm này, điểm sương cao hơn cũng được áp dụng trong bước nung nóng (0°C) so với trong bước ngâm nhiệt (-10°C) và khoảng 5% hydro được duy trì trong cả hai bước.

Thử nghiệm thứ ba (B1*) được thực hiện trên loại thép khác (Thép B). Thép này được ủ tiếp đó được mạ trong bể mạ chứa Zn-Al 0,20% khối lượng theo các chu trình nhiệt được thể hiện trên Fig.6. Nhiệt độ ủ đỉnh của Thép B cao hơn so với Thép A. Trong thử nghiệm này điểm sương cao hơn cũng được áp dụng trong bước nung nóng (-5°C) so với trong bước ngâm nhiệt (-20°C) và khoảng 5% hydro được duy trì trong cả hai bước.

Thử nghiệm thứ tư (B2*) cũng được tiến hành trên Thép B. Thép này được ủ tiếp đó được mạ trong bể mạ chứa Zn-Al 0,129% khối lượng theo các chu trình nhiệt được thể hiện trên Fig.6. Ngay sau khi mạ, việc xử lý nhiệt sau khi mạ còn gọi là bước mạ Zn-Fe, được thực hiện ở 510°C . Trong thử nghiệm này điểm sương cao hơn cũng được áp dụng trong bước nung nóng ($+4^{\circ}\text{C}$) so với trong bước ngâm nhiệt (-5°C) và khoảng 5% hydro được duy trì trong cả hai bước.

Các thử nghiệm A2*, A3*, B1* và B2* là các thử nghiệm theo sáng chế, trong đó điểm sương trong bước nung nóng cao hơn điểm sương trong bước ngâm nhiệt.

Bảng 1. Các thông số thử nghiệm khác nhau

Thử nghiệm	A1	A2*	A3*	B1*	B2*
Thành phần thép (tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng)	Thép A :			Thép B :	
	C: 0,24, Mn: 2,02, Si: 1,02, Al: 0,44,			C: 0,23, Mn: 2,10, Si: 1,08,	
	Cr: 0,18, Nb: 0,031, V: 0,001, N: 0,003,			Al: 0,47, Mo: 0,30, Nb:	
	P: 0,007, S: 0,002			0,02, V: 0,001, N: 0,003,	
				P: 0,007, S: 0,002	

Độ dày dải thép (mm)	1,4	1,5	1,4	1,6	1,6
T1 (°C)	575	575	575	675	675
DP1 (°C)	-5	-1	0	-5	+4
Nồng độ H ₂ trong bước nung nóng (%)	4	4	4	5	5
T2 (°C)	800	800	800	880	880
DP ₂ (°C)	-3	-9	-10	-20	-5
Nồng độ H ₂ trong bước ngâm nhiệt (%)	5	4	5	5	5
Nhiệt độ bước làm nguội (tôi) (°C)	190	190	190	280	280
Nhiệt độ bước nung nóng lại sau khi tôi (bước phân hóa) (°C)	365	365	365	450	450
Thời gian bước phân hóa (giây)	105	105	105	105	105
Thành phần bề mạ	Zn-Al 0,20% khối lượng	Zn-Al 0,20% khối lượng	Zn-Al 0,129% khối lượng	Zn-Al 0,20% khối lượng	Zn-Al 0,129 % khối lượng
Loại lớp mạ	Zn	Zn	Zn-Fe	Zn	Zn-Fe
Nhiệt độ mạ Zn-Fe (°C)	--	--	480	--	510

*Theo sáng chế

Lớp khử cacbon

Fig.9 so sánh các vi ảnh SEM của lớp khử cacbon tạo thành trong vùng dưới bề mặt tấm thép của thép được sản xuất theo thử nghiệm A1 (ảnh bên trái) và A2* (ảnh bên phải) bằng cách sử dụng Thép A.

Vi ảnh A2* của vùng dưới bề mặt tấm thép theo sáng chế thể hiện:

- khối thép 18,
- lớp khử một phần cacbon 17 dày khoảng 30 μm có hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp khử cacbon 16 dày khoảng 20 μm , có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép.

Trái lại, vi ảnh A1, chụp vùng dưới bề mặt của loại thép đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, cho thấy chỉ có khối thép 18 và lớp khử một phần cacbon 17 dày khoảng 45 μm . Kết quả so sánh này thể hiện hiệu quả của phương pháp theo sáng chế đối với việc tạo thành lớp khử cacbon trong vùng dưới bề mặt tấm thép, là yếu tố thuận lợi để thu được các đặc tính cơ học mục tiêu cũng như độ bền chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng.

Fig.10 là vi ảnh SEM của các mẫu thử làm từ thép A được sản xuất theo thử nghiệm A1 (ảnh bên trái) và A2* (ảnh bên phải) thể hiện sự có mặt của các oxit bên trong 15, lớp ngăn 14 và lớp mạ Zn 13.

Fig.11 là hai vi ảnh SEM của mẫu thử làm từ thép B được sản xuất theo thử nghiệm B1*. Vi ảnh chụp vùng dưới bề mặt thép thể hiện:

- khối thép 18,
- lớp khử một phần cacbon 17 dày khoảng 30 μm có hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp khử cacbon 16 dày khoảng 15 μm , có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp ngăn 14, lớp oxit bên trong 15 và lớp mạ Zn 13.

Fig.12 là hai vi ảnh SEM của mẫu thử làm từ thép A được sản xuất theo thử nghiệm A3*. Vi ảnh bên trái chụp vùng dưới bề mặt thép thể hiện:

- khối thép 18,
- lớp khử một phần cacbon 17 dày khoảng 30 μm có hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp khử cacbon 16 dày khoảng 20 μm , có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép.

Thử nghiệm này thể hiện phương án ưu tiên của phương pháp theo sáng chế, trong đó DP_1 cao hơn DP_2 từ 5°C đến 30°C

Fig.13 là hai vi ảnh SEM của mẫu thử làm từ thép B được sản xuất theo thử nghiệm B2*. Vi ảnh bên trái chụp vùng dưới bề mặt thép thể hiện:

- khối thép 18,
- lớp khử một phần cacbon 17 dày khoảng 30 μm có hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép,
- lớp khử cacbon 16 dày khoảng 15 μm , có hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép,

Lớp mạ Zn và lớp mạ Zn-Fe

Như được thể hiện trên các hình vẽ Fig.9 và Fig.10 của thử nghiệm A2* và Fig.11 của thử nghiệm B1*, phương pháp theo sáng chế tạo ra bề mặt thích hợp để làm ướt hoạt hóa trong quá trình mạ Zn. Như đã nêu trong Bảng 1, trong quá trình mạ Zn trên mẫu Thép A và Thép B, thành phần bề mạ chứa Zn-Al 0,20% khối lượng được duy trì. Trong quá trình mạ Zn liên tục này, lớp ngấn được tạo thành trên mặt phân giới thép/ lớp mạ, cho thấy đặc tính làm ướt hoạt hóa tốt.

Trong các thử nghiệm A3* và B2*, Thép A và Thép B mạ Zn-Fe lần lượt được tạo ra sau khi mạ điện trong bể chứa Zn-Al 0,129% khối lượng tiếp đó là xử lý nhiệt sau khi mạ (còn gọi là bước mạ Zn-Fe) ở 480°C đối với Thép A và 510°C đối với Thép B. Fig.12 và Fig.13 là các vi ảnh SEM chụp mặt cắt ngang lần lượt của Thép A và Thép B được mạ Zn-Fe. Các vi ảnh này cho thấy rằng phương pháp theo sáng chế là thích hợp để sản xuất thép mạ Zn-Fe.

Đánh giá độ bền chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng

Độ bền chống hóa giòn khi tiếp xúc với kim loại lỏng (LME) của thép mạ Zn và thép mạ Zn-Fe được sản xuất theo các chu trình nhiệt nêu trong Bảng 1 được đánh giá bằng phương pháp hàn điểm điện trở trên thép được tạo ra theo điều kiện của các thử nghiệm A2*, A3*, B1* và B2*. Sử dụng điện cực loại ISO Type B với đường kính bề mặt bằng 6mm; lực áp vào điện cực bằng 5 kN và tốc độ chảy của nước bằng $1,5 \text{ g.min}^{-1}$. Chu trình hàn được trình bày trong Bảng 2:

Bảng 2. Chu trình hàn, để xác định độ bền chống LME

Thời gian hàn (mili-giây)	Mức dòng điện (kilo-Amp)	Thời gian duy trì (mili-giây)
380	$I_{\max}$	300
380	$I_{\max} + 10\%I_{\max}$	300

Độ bền chống nứt do LME được đánh giá ở trạng thái xếp chồng 3 lớp. Theo đó, ba các tấm thép mạ được hàn với nhau bằng phương pháp hàn điểm điện trở như được minh họa trên Fig.14 thể hiện vùng lõm 19, vùng biến dạng do vết lõm 20, vùng bị ảnh hưởng nhiệt (HAZ) 21, vùng tiếp giáp HAZ/nhân điểm hàn 22 và các mặt ghép kín trong vùng HAZ 23. Tất cả các thử nghiệm hàn điểm điện trở được thực hiện với các yếu tố gây nhiễu như Khe hở 24 giữa hai tấm thép, Độ lệch 25 giữa điện cực hàn và tấm thép và Góc điện cực 26 giữa điện cực hàn và tấm thép được thể hiện dưới dạng sơ đồ trên Fig.15. Số lượng các vết nứt lớn hơn $100\mu\text{m}$ sau đó được đánh giá bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học như được nêu trong Bảng 3 ở tất cả 5 vị trí như được minh họa trên Fig.14. Đặc tính độ bền chống LME vượt trội được quan sát thấy ở tấm thép có độ dày thay đổi trong khoảng rộng có cũng như không có các yếu tố gây nhiễu do sự có mặt của lớp khử cacbon với độ dày cụ thể.

Bảng 3. Chi tiết vết nứt do LME sau khi hàn điểm điện trở (ở trạng thái xếp chồng 3 lớp)

Thử nghiệm	Các yếu tố gây nhiễu	Độ dày tấm thép (mm)	Số vết nứt do LME có chiều dài lớn hơn 100 μ m ở dòng điện hàn ($I_{\max}$)	Số vết nứt do LME có chiều dài lớn hơn 100 μ m ở dòng điện hàn ($I_{\max} + 10\%I_{\max}$)
A2*	Không	0,9, 1,6 và 2mm	0	0
	Khe hở 2mm, Độ lệch 2mm và Góc điện cực 3°C	0,9, 1,6 và 2mm	0	0
A3*	Không	1,4	0	0
	Khe hở 2mm, Độ lệch 2mm và Góc điện cực 3°C	1,4	0	0

B1*	Không	1,6	0	0
	Khe hở 2mm, Độ lệch 2mm và Góc điện cực 3°C	1,6	0	0
B2*	Không	1,6	0	0
	Khe hở 2mm, Độ lệch 2mm và Góc điện cực 3°C	1,6	0	0

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp sản xuất tấm thép mạ được mạ bằng lớp mạ nền kẽm, bao gồm các bước:

A) chuẩn bị tấm thép có thành phần hóa học sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$, $0,07\% \leq \text{C} \leq 0,50\%$, $0,3\% \leq \text{Mn} \leq 5,0\%$, $\text{V}\% < 0,2\%$, $0,01\% \leq \text{Si} \leq 2,45\%$, $0,35\% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 3,5\%$, $\text{N} \leq 0,01\%$, $\text{P} < 0,02\%$, $\text{S} \leq 0,01\%$, $\text{Nb} \leq 0,1\%$ và tùy ý ít nhất một trong số các nguyên tố sau đây, tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng: $\text{B} \leq 0,004\%$, $\text{Co} \leq 0,1\%$, $\text{Cu} \leq 0,5\%$, $0,001\% \leq \text{Cr} \leq 1,00\%$, $0,001\% \leq \text{Mo} \leq 0,5\%$, $\text{Ni} \leq 1,0\%$, $\text{Ti} \leq 0,1\%$, phần còn lại của thành phần tấm thép này là sắt và các tạp chất không tránh khỏi trong quá trình sản xuất,

B) ủ tấm thép này, bằng cách thực hiện các bước theo trình tự như sau:

i) bước nung nóng sơ bộ, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ phòng tới nhiệt độ T_1 nằm trong khoảng từ 550°C đến $\text{Ac}1+50^\circ\text{C}$,

ii) bước nung nóng, trong đó tấm thép này được nung nóng từ nhiệt độ T_1 tới nhiệt độ tái kết tinh T_2 nằm trong khoảng từ 720°C đến 1.000°C trong môi trường A1 chứa từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP_1 nằm trong khoảng từ -10°C đến $+30^\circ\text{C}$,

iii) bước ngâm nhiệt, trong đó tấm thép này được giữ ở nhiệt độ tái kết tinh T_2 trong môi trường A2 chứa từ 0,1% đến 15% thể tích H_2 với phần còn lại là khí trơ, H_2O , O_2 và các tạp chất không tránh khỏi, có điểm sương DP_2 nằm trong khoảng từ -30°C đến 0°C , điểm sương DP_1 cao hơn điểm sương DP_2 , và

iv) bước làm nguội,

C) mạ tấm thép này bằng lớp mạ nền kẽm,

trong đó sau bước làm nguội iv), tấm thép này được làm nguội tiếp xuống tới nhiệt độ T_{QT} nằm trong khoảng từ $(\text{Ms}-5^\circ\text{C})$ đến $(\text{Ms}-170^\circ\text{C})$ và sau đó được đưa tới bước nung nóng lại v) trong đó tấm thép này được nung nóng lại lên tới nhiệt

độ T_4 nằm trong khoảng từ 300°C đến 550°C trong khoảng thời gian từ 30 giây đến 300 giây,

trong đó trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bể mạ điện, bể này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,15% đến 0,40% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C , hoặc

trong đó DP_1 cao hơn DP_2 từ 5°C đến 40°C .

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó trong bước C), việc mạ được thực hiện bằng phương pháp phủ nhúng nóng và dải thép được đặt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 5°C đến 10°C cao hơn nhiệt độ bể mạ điện, bể này chứa nhôm với hàm lượng từ 0,09% đến 0,15% khối lượng và được duy trì ở nhiệt độ từ 450°C đến 470°C , và sau đó được nung nóng tới nhiệt độ từ 470°C đến 550°C sau khi ra khỏi bể mạ điện,
3. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong bước làm nguội, tấm thép này được làm nguội xuống tới nhiệt độ T_3 nằm trong khoảng từ M_s đến $M_s+150^{\circ}\text{C}$ và giữ ở T_3 ít nhất 40 giây trong môi trường A3 chứa từ 1% đến 30% thể tích H_2 và khí trơ, có điểm sương DP_3 thấp hơn hoặc bằng -40°C .
4. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tấm thép này tùy ý được giữ ở nhiệt độ T_{QT} trong khoảng thời gian từ 2 giây đến 8 giây.
5. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1, 2, 4, bao gồm, sau bước làm nguội iv) và bước nung nóng lại v), bước cân bằng vi) trong đó tấm thép này được nung nóng lên tới nhiệt độ nằm trong khoảng từ 300°C đến 500°C trong môi trường A4 chứa từ 1% đến 30% thể tích H_2 và ít nhất một khí trơ, có điểm sương DP_4 thấp hơn hoặc bằng -40°C .
6. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó DP_1 cao hơn DP_2 từ 10°C đến 30°C .

7. Dải thép mạ Zn, được sản xuất bằng phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, bao gồm:
- khối thép (18) có thành phần như nêu trong điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6,
 - lớp khử một phần cacbon (17) nằm ở phần trên của khối thép (18), có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon nằm trong khoảng từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit, austenit dư,
 - lớp khử cacbon (16) nằm ở bên trên lớp khử một phần cacbon (17), có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon (16) là lớp oxit bên trong (15), có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,
 - lớp ngăn (14) nằm bên trên lớp oxit bên trong (15), có độ dày từ 100 nm đến 500 nm,
 - lớp mạ nền kẽm (13) nằm bên trên lớp ngăn (14) có độ dày từ 3 μm đến 30 μm .
8. Dải thép mạ Zn-Fe, được sản xuất bằng phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, bao gồm:
- khối thép (18) có thành phần như nêu trong điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5,
 - lớp khử một phần cacbon (17) nằm ở phần trên của khối thép (18) có độ dày từ 20 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon từ 5% đến 20% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 50% là ferit và ít nhất một trong các hợp phần sau: bainit, mactensit, austenit dư,
 - lớp khử cacbon (16) nằm ở bên trên lớp khử một phần cacbon (17), có độ dày từ 5 μm đến 40 μm và hàm lượng cacbon ít hơn 5% so với hàm lượng cacbon của khối thép và có cấu trúc tế vi bao gồm ít nhất 90% là ferit, nằm bên trên lớp khử cacbon (16) là lớp oxit bên trong (15), có độ dày từ 2 μm đến 12 μm , và chứa các oxit nguyên tố của Mn, Si, Al và Cr và các oxit hỗn hợp của Mn, Si, Al và Cr,
 - lớp mạ nền kẽm-sắt (12) nằm bên trên lớp oxit bên trong (15) có độ dày từ 3 μm đến 30 μm và chứa từ 10% đến 20% khối lượng là sắt.

9. Dải thép theo điểm 7 hoặc 8, trong đó dải thép này có độ dày từ 0,5mm đến 3,0mm.
10. Dải thép theo điểm 7 hoặc 8, trong đó dải thép này có độ bền kéo tới hạn lớn hơn 900 MPa.
11. Mỗi hàn điểm nối ít nhất hai tấm kim loại bao gồm ít nhất một dải thép theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 8 đến 10, trong đó mỗi hàn này không có vết nứt với kích thước lớn hơn 100 μ m.

1/7

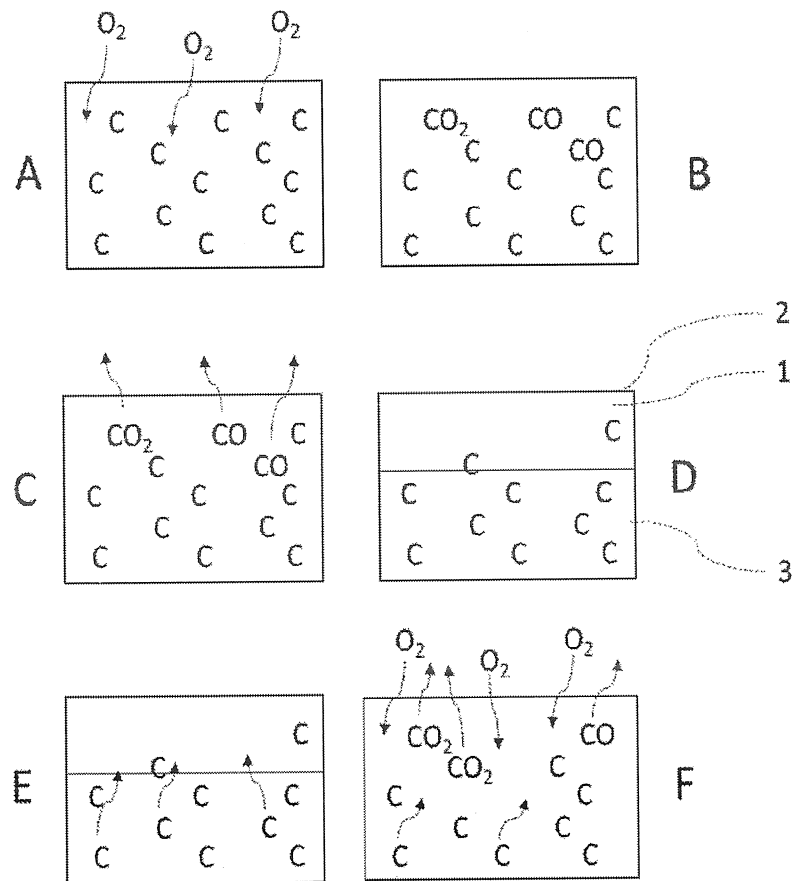


Fig.1

2/7

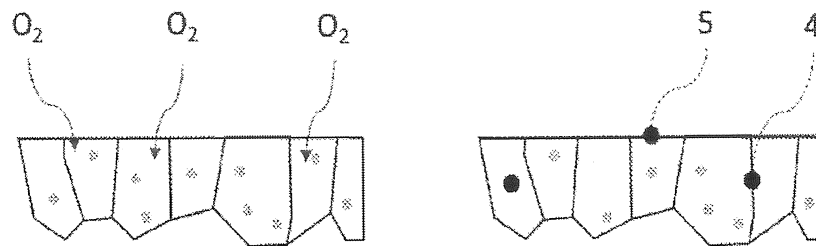


Fig. 2

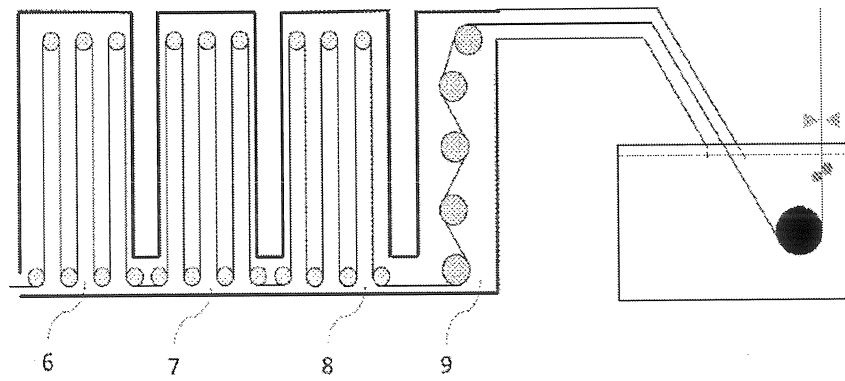


Fig. 3

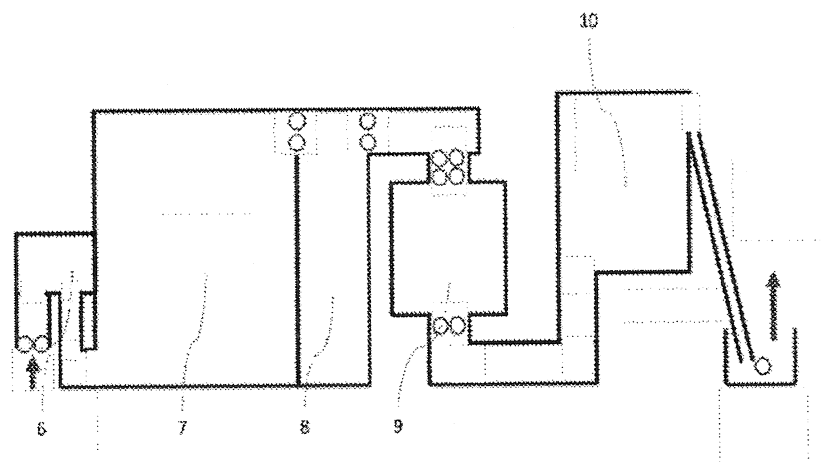


Fig. 4

3/7

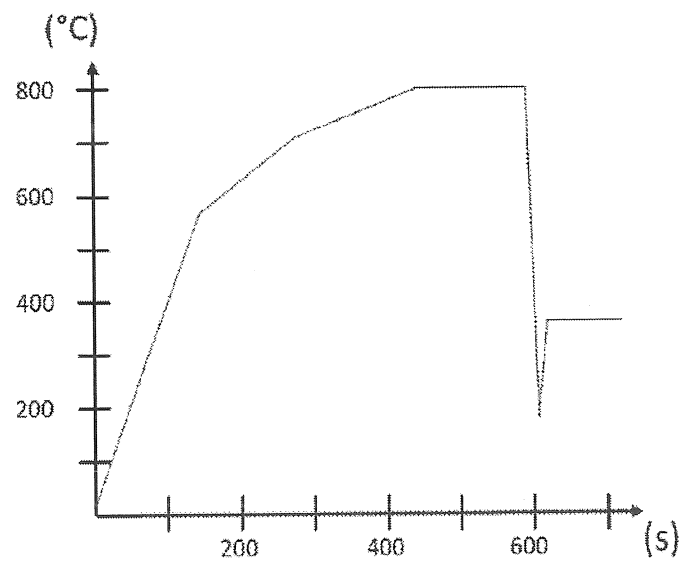


Fig.5

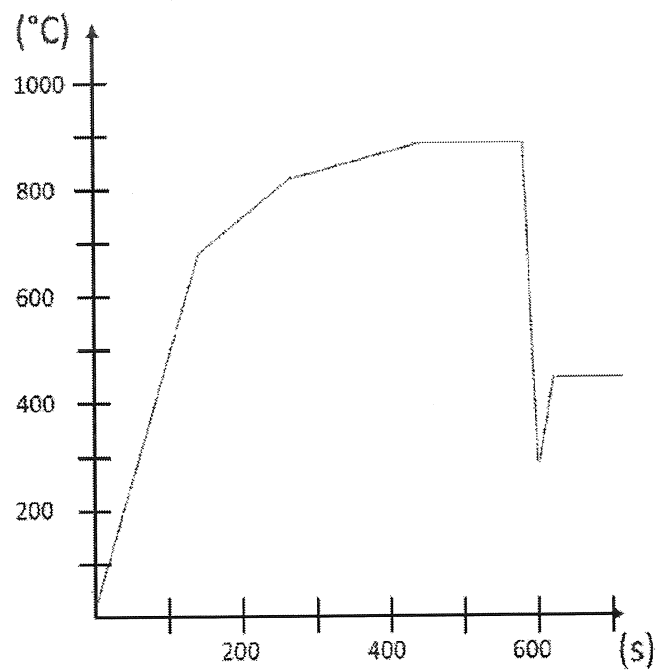


Fig.6

4/7

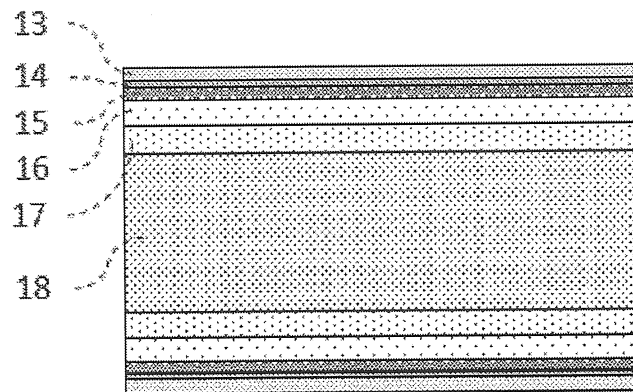


Fig.7

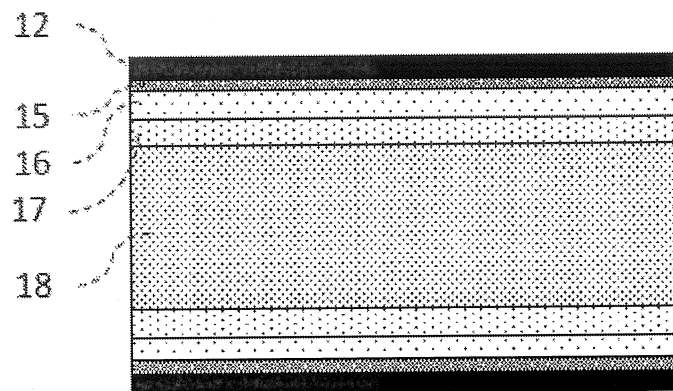
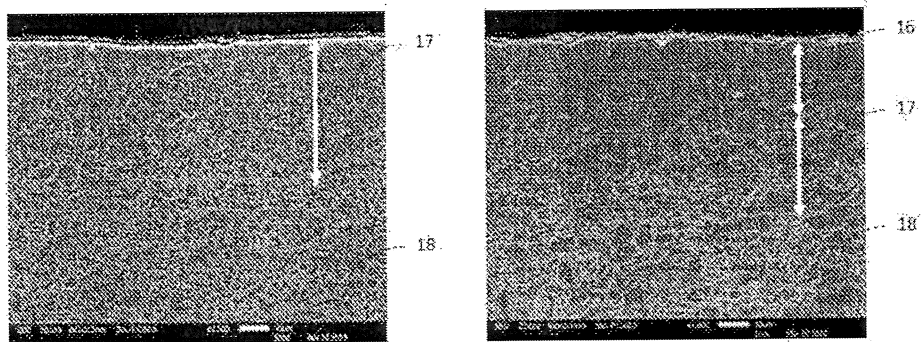


Fig.8



A1

A2*

Fig.9

5/7

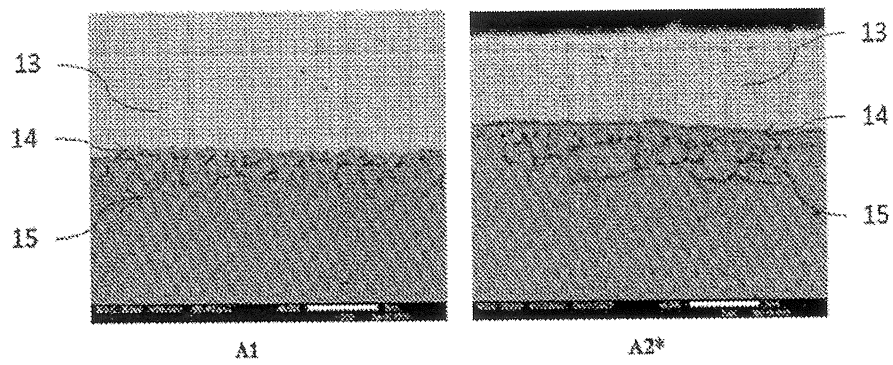


Fig.10

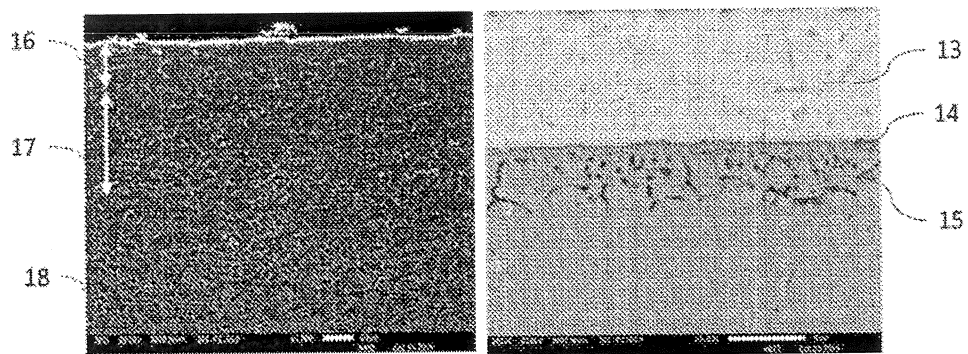


Fig.11

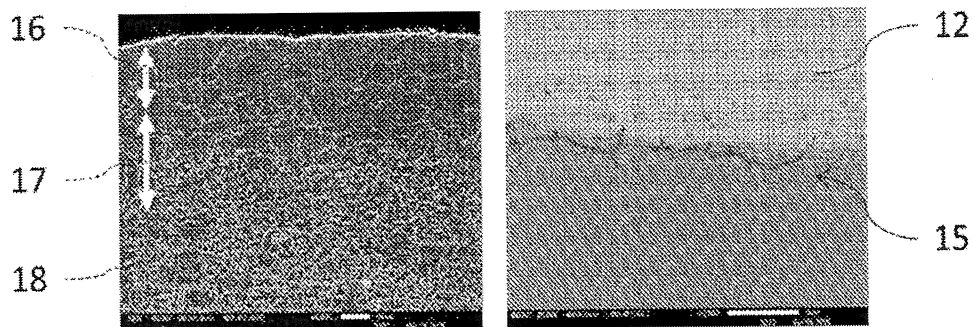


Fig.12

6/7

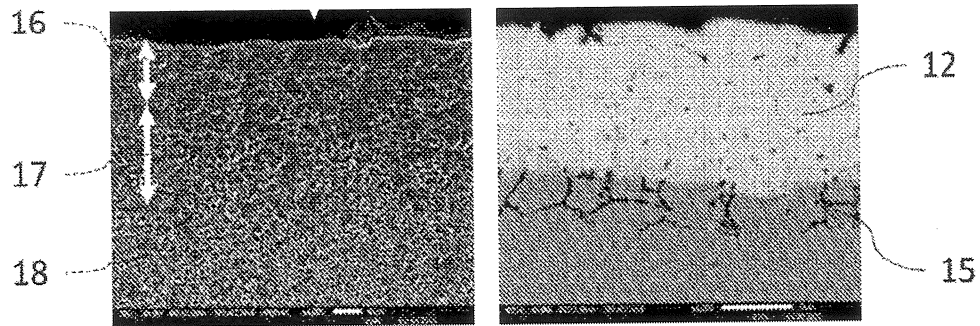


Fig.13

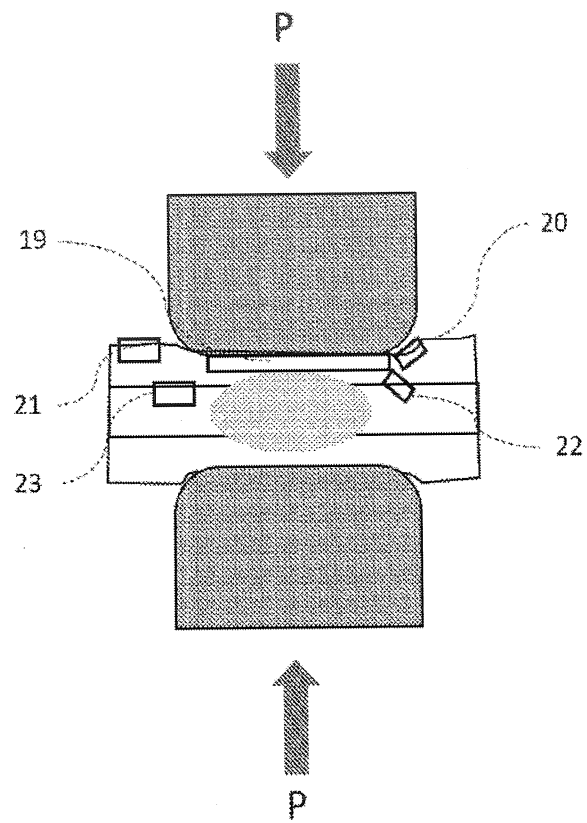


Fig.14

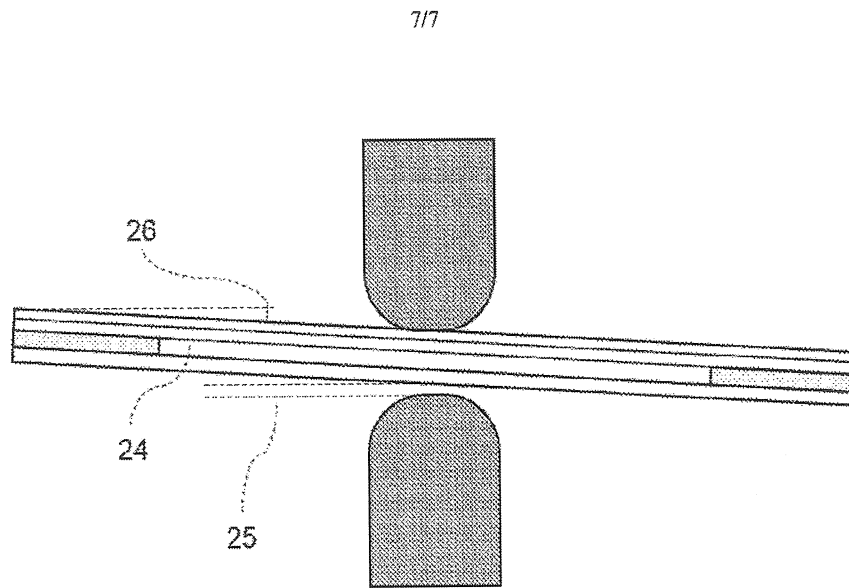


Fig.15