



(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)



1-0038492

B23K 11/11; C22C 38/06; C22C 38/18; (13) B
C22C 38/22; C22C 38/24; C22C 38/26;
(51)^{2019.01} C22C 38/28; C22C 38/32; C22C 38/44;
C22C 38/46; C22C 38/48; C22C 38/50;
C22C 38/58; C23C 2/06; C22C 38/02

(21) 1-2019-04613

(22) 27/02/2018

(86) PCT/IB2018/051239 27/02/2018

(87) WO2018/163017 13/09/2018

(30) PCT/IB2017/000218 07/03/2017 IB

(45) 25/01/2024 430

(43) 30/01/2020 382A

(73) 1. ARCELORMITTAL (LU)

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

2. UNIVERSITE DE NANTES (FR)

1 Quai de Tourville BP 13522 44035 Nantes Cedex 1, France

(72) MUSIK, Céline (FR); ZHU, Kangying (CN); HUIN, Didier (FR); MATAIGNE, Jean-Michel (FR); PERLADE, Astrid (FR); FRAPPIER, Renaud (FR).

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

(54) PHƯƠNG PHÁP HÀN ĐIỂM ĐIỆN TRỞ DÙNG ĐỂ GHÉP NỐI CÁC TẤM THÉP MẠ KẼM

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp hàn điểm điện trở bao gồm lần lượt các bước sau: tạo ra ít nhất hai tấm thép có độ dày (th) nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3mm, ít nhất một tấm trong số các tấm thép này là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (A) có độ bền kéo (TS) cao hơn 800 MPa và độ giãn dài toàn phần (TEL) thỏa mãn điều kiện $(TS) \times (TEL) > 14000 \text{ MPa}\%$, trong đó thành phần của nền thép (A) tính theo khối lượng, bao gồm: $0,05\% \leq C \leq 0,4\%$, $0,3\% \leq Mn \leq 8\%$, $0,010\% \leq Al \leq 3\%$, $0,010\% \leq Si \leq 2,09\%$, cùng với $0,5\% \leq (Si+Al) \leq 3,5\%$, $0,001\% \leq Cr \leq 1,0\%$, $0,001\% \leq Mo \leq 0,5\%$ và tùy ý: $0,005\% \leq Nb \leq 0,1\%$, $0,005\% \leq V \leq 0,2\%$, $0,005\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0,0003\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,001\% \leq Ni \leq 1,0\%$, lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi, thực hiện việc hàn điểm điện trở ít nhất là tấm thép để tạo ra mối hàn có độ sâu vết lõm (IDepth) trên bề mặt thép của tấm (A) thỏa mãn điều kiện: $100\mu\text{m} \leq (IDepth) \leq 18,68 (Zn_{\text{sol}}) - 55,1$, trong đó (IDepth) tính theo micromet và trong đó Zn_{sol} là độ hòa tan của Zn trong thép tấm (A) ở 750°C, tính theo % khối lượng. Mối hàn điểm điện trở được tạo ra như vậy cũng được đề xuất.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp hàn điểm điện trở các tấm thép mạ kẽm, để tạo ra các mối hàn có độ bền cơ học cao và giảm nguy cơ hình thành các vết nứt do hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng (Liquid Metal Embrittlement), đặc biệt thích ứng với các yêu cầu của ngành công nghiệp ô tô.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm là rất có hiệu quả trong việc chống ăn mòn và do vậy thường được áp dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ô tô. Tuy nhiên, thực tế đã chứng minh rằng việc hàn hồ quang hoặc hàn điện trở đối với một số loại thép nhất định có thể dẫn đến sự xuất hiện của các vết nứt đặc biệt do hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng (“LME”) hoặc hiện tượng nứt do kim loại lỏng (Liquid Metal Assisted Cracking (“LMAC”)). Hiện tượng này chủ yếu là do sự thấm của Zn lỏng dọc theo các đường bao hạt của nền thép nằm dưới, dưới tác động của ứng suất hoặc ứng suất trong sinh ra do sức cản, sự giãn nở nhiệt hoặc sự chuyển pha. Điều đã được thừa nhận là mức độ ứng suất cao làm tăng nguy cơ xảy ra LME. Do chính các ứng suất tồn tại trong môi liên kết trong quá trình hàn lại đặc biệt phụ thuộc vào độ bền của kim loại nền, nên thừa nhận rằng các mối hàn làm bằng thép có độ bền thường dễ bị hiện tượng LME hơn.

Nhằm giảm nguy cơ LME, công bố đơn patent EP0812647 đề cập đến phương pháp trong đó việc hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ bằng cách sử dụng dây lõi kim loại chứa Cu được thực hiện. Tuy nhiên, quy trình này là không phù hợp để liên kết các tấm mỏng trong ngành công nghiệp ô tô.

Ngoài ra, JP2006035293 đề cập đến phương pháp hàn hồ quang bằng cách sử dụng dây thép không gỉ để tạo ra mối hàn chứa nhiều hơn 25% ferit và để tạo ra mối hàn có độ bền kéo lớn hơn 1,8 lần so với độ bền kéo của kim loại nền. Tuy nhiên, do quy trình này không được làm thích ứng với các yêu cầu của ngành

công nghiệp ô tô, nên việc tạo ra độ bền thấp trong mối hàn là điều không mong muốn.

JP2004211158 cũng đề cập đến quy trình hàn điện trở bằng điện (Electro-Resistance Welding (ERW)) các ống, trong đó 3-40ppm bo (B) có mặt trong thành phần của thép. Tuy nhiên, tài liệu này chỉ đề cập đến các điều kiện cụ thể của quy trình ERW và hoàn toàn không nhắc đến quy trình hàn điểm điện trở. Hơn thế nữa, việc thêm vào nguyên tố bo là không được mong muốn ở mọi loại thép có độ bền cao.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do đó, được mong muốn nếu có phương pháp sản xuất các mối hàn điểm điện trở các tấm thép mạ kẽm mà có thể giải quyết đồng thời hai yêu cầu trái ngược:

- một mặt, để tạo ra mối hàn điểm điện trở có các tính chất độ bền kéo cao đo được trong thử nghiệm kéo biến dạng hàn chồng. Tính năng này thường là cao khi độ bền kéo của kim loại nền tăng.
- mặt khác, để tạo ra mối hàn điểm điện trở có hiện tượng LME giảm đáng kể, sự xuất hiện của nó thường là thấp khi độ bền của kim loại nền giảm.

Đặc biệt được mong muốn nếu có phương pháp trong đó độ sâu của các vết nứt cuối do hiện tượng LME sẽ được duy trì ở trị số nhỏ hơn 20 micromet, để không làm giảm tính năng cơ học của các mối hàn. Vì lý do tương tự, cũng được mong muốn nếu giảm thiểu số lượng vết nứt cuối do có độ sâu nhỏ hơn 100 micromet.

Nhằm giải quyết vấn đề trên, sáng chế đề cập đến phương pháp hàn điểm điện trở bao gồm lần lượt các bước sau:

- tạo ra ít nhất hai tấm thép có độ dày (th) nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3mm, ít nhất một tấm trong số các tấm thép này là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (A) có độ bền kéo (TS) cao hơn 800 MPa và độ giãn dài toàn phần (TEL) thỏa mãn điều kiện $(TS) \times (TEL) > 14000 \text{ MPa}\%$, trong đó thành phần của nền thép (A) tính theo khối lượng, bao gồm: $0,05\% \leq C \leq 0,4\%$, $0,3\% \leq \text{Mn} \leq 8\%$, $0,010\% \leq \text{Al} \leq 3\%$, $0,010\% \leq \text{Si} \leq 2,09\%$, cùng với $0,5\% \leq (\text{Si} + \text{Al}) \leq 3,5\%$,

$0,001\% \leq \text{Cr} \leq 1,0\%$, $0,001\% \leq \text{Mo} \leq 0,5\%$ và tùy ý: $0,005\% \leq \text{Nb} \leq 0,1\%$, $0,005\% \leq \text{V} \leq 0,2\%$, $0,005\% \leq \text{Ti} \leq 0,1\%$, $0,0003\% \leq \text{B} \leq 0,005\%$, $0,001\% \leq \text{Ni} \leq 1,0\%$, lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi,

- thực hiện việc hàn điểm điện trở ít nhất là tấm thép để tạo ra mối hàn có độ sâu vết lõm (IDepth) trên bề mặt thép của tấm (A) thỏa mãn điều kiện: $100 \mu\text{m} \leq (\text{IDepth}) \leq 18,68 (\text{Zn}_{\text{sol}}) - 55,1$, trong đó (IDepth) tính theo micromet và trong đó Zn_{sol} là độ hòa tan của Zn trong thép tấm (A) ở 750°C , tính theo % khối lượng.

According to an embodiment, độ hòa tan của Zn thỏa mãn điều kiện: $\text{Zn}_{\text{sol}} = (1 - f_y) \times (\text{Zn}_{\alpha(750)}) + (f_y \times \text{Zn}_{\gamma(750)})$, trong đó f_y là phần thể tích tương đối của austenit có mặt trong tấm thép (A) ở 750°C và nằm trong khoảng từ 0 đến 1, trong đó $\text{Zn}_{\alpha(750)}$ và $\text{Zn}_{\gamma(750)}$ là độ hòa tan của Zn lần lượt trong ferit và trong austenit của thép của tấm (A) ở 750°C , tính theo % khối lượng, và trong đó nhiệt độ peritecti (T_{per}) của thép của tấm (A) với sự có mặt của Zn được tính theo công thức: $(T_{\text{per}}) = 782 + (2,5 \text{ Mn}) - (71,1 \text{ Si}) - (43,5 \text{ Al}) - (57,3 \text{ Cr})$,

trong đó (T_{per}) tính theo $^\circ\text{C}$, và Mn, Si, Al và Cr tính theo % khối lượng, và :

$$\begin{aligned} - \quad \text{Zn}_{\alpha(750)} &= \text{Zn}_{\alpha(T_{\text{per}})} \times \left(1 + 0,68 \times \frac{(T_{\text{per}}) - 750}{600 - (T_{\text{per}})}\right) \text{ nếu } (T_{\text{per}}) \geq 750^\circ\text{C}, \text{ và} \\ - \quad \text{Zn}_{\alpha(750)} &= \text{Zn}_{\alpha(T_{\text{per}})} \times \left(1 + \frac{(T_{\text{per}}) - 750}{1160 - (T_{\text{per}})}\right) \text{ nếu } (T_{\text{per}}) < 750^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

với $\text{Zn}_{\alpha(T_{\text{per}})} = 45,9 - (0,13 \text{ Mn}) - (17,3 \text{ C}) + (4,8 \text{ Si}^2) - (25,4 \text{ Si}) - (1,53 \text{ Al}) - (0,73 \text{ Cr})$

trong đó $\text{Zn}_{\alpha(T_{\text{per}})}$ tính theo $^\circ\text{C}$ và Mn, C, Si, Al và Cr tính theo % khối lượng,

và trong đó: $\text{Zn}_{\gamma(750)} = 2 \left(- \frac{b(750 - A_{e1})^2}{(A_{e3} - A_{e1})} + b(750 - A_{e1}) \right)$

với: $b = \frac{28}{2(A_{e3} - A_{e1}) - 1}$, trong đó A_{e1} và A_{e3} tính theo $^\circ\text{C}$ và là các nhiệt độ tương

ứng mà ở đó quá trình chuyển hóa từ ferit sang austenit bắt đầu và kết thúc xảy ra.

Theo một phương án cụ thể, $f_y = \min \{ -0,015 + (1,73 \times \text{C}) + (0,16 \times \text{Mn}) - (0,11 \times \text{Si}) - (0,22 \times \text{Al}) - (0,056 \times \text{Cr}); 1 \}$ trong đó C, Mn, Al, Si, Cr tính theo % khối lượng.

Theo một phương án cụ thể, A_{e1} và A_{e3} are thỏa mãn điều kiện:

$$A_{e1} = 725 - (42,1 \text{ Mn}) + (27,3 \text{ Si}) + (9 \text{ Al}) + (5 \text{ Cr})$$

$A_{e3} = 923 - (360 C) - (34 Mn) + (37,6 Si) + (131,6 Al) - (24,9 Cr)$, trong đó C, Mn, Al, Si, Cr tính theo % khối lượng.

Theo một phương án cụ thể khác, Zn_{sol} được xác định theo phương pháp bao gồm lần lượt các bước sau:

- tạo ra tấm thép mạ (A) như được xác định ở điểm 1 Yêu cầu bảo hộ, tiếp đó
- xử lý bằng nhiệt tấm thép mạ (A) ở 750°C trong thời gian 170 giờ, tiếp đó
- làm nguội tấm (A) này với tốc độ cao hơn 50°C/giây, tiếp đó
- xác định hàm lượng Zn trong thép ở khoảng cách 1 micromet tính từ bề mặt phân chia thép/lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm.

Tốt hơn là, ít nhất một tấm trong số các tấm thép được hàn với tấm thép (A) là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (B) và tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) không lớn hơn 3mm.

Tốt hơn nữa là, tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) không lớn hơn 2mm.

Theo một phương án được ưu tiên, tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (B) chứa thép có thành phần bao gồm : $C \geq 0,04\%$, $Mn \geq 0,2\%$, lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi .

Theo một phương án khác, Zn_{sol} , A_{e1} và A_{e3} được tính theo C_{av} , Mn_{av} , Si_{av} , Al_{av} và Cr_{av} , trong đó C_{av} , Mn_{av} , Si_{av} , Al_{av} và Cr_{av} là các hàm lượng trung bình lần lượt của C, Mn, Si, Al, Cr đo được trong lớp mạ kẽm của tấm A trong khoảng độ sâu từ 0 đến 100 micromet.

Theo một phương án được ưu tiên, $(IDepth) \geq 125 \mu m$.

Theo một phương pháp được ưu tiên, $(IDepth)$ đo được bởi sự dịch chuyển của điện cực hàn và quá trình được dừng khi $(IDepth)$ nằm trong khoảng từ 100 micromet và 18,68 (Zn_{sol})- 55,1.

Theo một phương pháp được ưu tiên khác, $(IDepth)$ đo được bởi sự dịch chuyển của điện cực hàn và quá trình được dừng khi $(IDepth)$ nằm trong khoảng từ 125 micromet và 18,68 (Zn_{sol})- 55,1.

Theo một phương án được ưu tiên, các thông số hàn được chọn sao cho nhiệt độ tối đa đạt được trong quá trình hàn trên phần bên ngoài của vùng lõm của mỗi hàn thỏa mãn điều kiện: $T_{\max} (IDia) < A_{c3}$.

Sáng chế này cũng đề cập đến mỗi hàn điểm điện trở giữa ít nhất là hai tấm thép có độ dày (th) nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3mm, ít nhất một tấm trong số các tấm thép này là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (A) có độ bền kéo (TS) cao hơn 800 MPa và độ giãn dài toàn phần (TEL) thỏa mãn điều kiện $(TS) \times (TEL) > 14000 \text{ MPa}\%$, thành phần của nền thép (A) tính theo khối lượng, bao gồm: $0,05\% \leq C \leq 0,4\%$, $0,3\% \leq Mn \leq 8\%$, $0,010\% \leq Al \leq 3\%$, $0,010\% \leq Si \leq 2,09\%$ cùng với $0,5\% \leq (Si+Al) \leq 3,5\%$, $0,001\% \leq Cr \leq 1,0\%$, $0,001\% \leq Mo \leq 0,5\%$ và tùy ý $0,005\% \leq Nb \leq 0,1\%$, $0,005\% \leq V \leq 0,2\%$, $0,005\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0,0003\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,001\% \leq Ni \leq 1,0\%$, lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi, trong đó độ sâu vết lõm (IDepth) trên bề mặt thép của tấm (A) thỏa mãn điều kiện: $100 \mu\text{m} \leq (IDepth) \leq 18,68 (Zn_{\text{sol}}) - 55,1$, trong đó (IDepth) tính theo micromet và trong đó Zn_{sol} là độ hòa tan của Zn trong thép tấm (A) ở 750°C , tính theo % khối lượng.

Theo một phương án được ưu tiên, mỗi hàn điểm điện trở thỏa mãn điều kiện $(IDepth) \geq 125 \mu\text{m}$.

Theo một phương án được ưu tiên, mỗi hàn điểm điện trở bao gồm tấm thép (A) có lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, có thành phần với hàm lượng Si $\geq 0,5\%$.

Tốt hơn là, mỗi hàn điểm điện trở bao gồm tấm thép (A) có lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, có thành phần với hàm lượng Si $\geq 0,7\%$.

Theo một phương án được ưu tiên, mỗi hàn điểm điện trở bao gồm tấm thép (A) có lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, chứa phần bề mặt của austenit tồn lưu nằm trong khoảng từ 7 đến 30%.

Theo một phương án được ưu tiên khác, mỗi hàn điểm điện trở bao gồm tấm thép (A) có trị số trung bình của các nồng độ cục bộ của C, Mn, Al, Si và Cr, trong khoảng độ sâu từ 0 đến 100 micromet, là khác với thành phần tổng thể của tấm thép (A).

Sáng chế cũng mô tả việc sử dụng mỗi hàn điểm điện trở theo một hoặc một vài phương án nêu trên, hoặc được sản xuất theo một hoặc một vài phương án nêu trên để chế tạo các bộ phận kết cấu hoặc các bộ phận an toàn của xe ô tô.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tiếp theo, sáng chế được mô tả một cách chi tiết và được minh họa bằng các ví dụ nhưng không nhằm giới hạn phạm vi của sáng chế.

Đầu tiên, các tấm thép được tạo ra với độ dày (t_h) nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3mm là khoảng độ dày điển hình được sử dụng trong ngành công nghiệp ô tô. Các tấm này có thể có cùng độ dày hoặc có độ dày khác nhau. Trong trường hợp có độ dày khác nhau, $t_{h_{max}}$ chỉ độ dày lớn nhất của các tấm thép được tạo ra này. Các tấm này là các tấm mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, các tấm mạ hợp kim kẽm trong đó hàm lượng Zn cao hơn 50% khối lượng. Đặc biệt, lớp mạ này có thể được tạo ra bằng cách mạ nhúng nóng (Hot-Dip-Galvanizing (“GI”)), hoặc bằng cách mạ nhúng nóng ngay trước khi xử lý bằng nhiệt ở nhiệt độ khoảng 500-570°C để tạo ra sự khuếch tán của sắt trong lớp mạ và tạo ra lớp “mạ điện”, hoặc “GA” chứa khoảng 7-14%Fe. Nó cũng có thể là lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm được tạo ra bởi quy trình mạ điện hoặc bởi quy trình mạ chân không. Hợp kim kẽm cũng có thể là một lớp mạ Zn-Mg-Al, ví dụ, như lớp mạ Zn-3%Mg-3,7%Al, hoặc lớp mạ Zn-1,2%Al-1,2%Mg. Ít nhất một tấm (A) trong số các tấm được mạ này được làm từ thép có khả năng tạo hình cao (High-Formable) có độ bền kéo (TS) cao hơn 800 MPa và độ giãn dài toàn phần (TEL) thỏa mãn điều kiện $(TS) \times (TEL) > 14000 \text{ MPa}\%$. Các tấm thép được dùng theo sáng chế được chế tạo thông qua quy trình bao gồm lần lượt các bước đúc, cán nóng, cuộn, tùy ý là ủ trung gian, tẩy, cán nguội, ủ liên tục, và mạ. Tùy thuộc vào các tính chất cơ học, thành phần và quy trình chế tạo, vi cấu trúc của các tấm thép này chứa, trong phần bề mặt từ 5 đến 30% austenit tồn lưu. Tùy theo chu trình cơ nhiệt của dây chuyền công nghiệp, các tấm thép mạ này có thể là, ví dụ, thép có hiệu ứng chuyển pha do biến dạng dẻo TRIP (Transformation Induced Plasticity), thép bainit không carbua CFB (Carbides Free Bainite), hoặc thép tôi và phân hóa Q-P

(Quench and Partitioning). Thành phần của tấm có khả năng tạo hình cao (A) chứa:

- Cacbon: nằm trong khoảng từ 0,05% đến 0,4% khối lượng. Nếu hàm lượng cacbon nhỏ hơn 0,05%, thì độ bền kéo không đủ và không tạo ra được tính ổn định của austenit tồn dư có mặt trong vi cấu trúc thép để đạt được độ giãn dài đủ. Nếu hàm lượng này lớn hơn 0,4%C, khả năng dễ hàn giảm bởi vì các vi cấu trúc có độ bền thấp được hình thành trong vùng tác động nhiệt (Heat Affected Zone) hoặc trong vùng nóng chảy của mối hàn điểm. Theo một phương án được ưu tiên, hàm lượng cacbon nằm trong khoảng từ 0,13 đến 0,25%, nó cho phép có thể đạt được độ bền kéo cao hơn 1180 MPa.

- Mangan là nguyên tố làm cứng dung dịch rắn góp phần tạo ra độ bền kéo cao hơn 800 MPa. Hiệu quả này đạt được khi hàm lượng Mn ít nhất là 0,3% khối lượng. Tuy nhiên, với hàm lượng lớn hơn 8%, thì sự có mặt của nó góp phần tạo ra cấu trúc có các dải phân tử rõ rệt quá mức có thể ảnh hưởng xấu đến tính cứng của các mối hàn và các tính chất sử dụng của bộ phận kết cấu ô tô. Khả năng dễ mạ cũng bị giảm. Tốt hơn là, hàm lượng mangan này nằm trong khoảng từ 1,4% đến 4% để đạt được những hiệu quả này. Điều đó cho phép có thể đạt được độ bền cơ học thỏa đáng mà không tăng thêm khó khăn trong việc chế tạo công nghiệp và không làm tăng tính cứng trong các hợp kim đã được hàn có thể sẽ ảnh hưởng xấu đến khả năng dễ hàn của tấm thép theo sáng chế.

- Hàm lượng silic phải nằm trong khoảng từ 0,010 đến 2,09% để đạt được đồng thời các yêu cầu về các tính chất cơ học và khả năng dễ hàn: silic làm giảm sự kết tủa carbua trong quá trình ủ sau khi cán nguội tấm thép, do độ hòa tan thấp của nó trong xementit và do thực tế là nguyên tố này làm tăng hoạt tính của cacbon trong austenit. Do đó, việc làm giàu austenit trong cacbon khiến cho nó ổn định ở nhiệt độ trong phòng và làm xuất hiện đặc tính dẻo do biến dạng ("TRIP") mà có nghĩa là việc tác động ứng suất, trong quá trình tạo hình chẳng hạn, sẽ dẫn đến sự biến đổi austenit thành martensit. Khi hàm lượng Si cao hơn 2,09%, các oxit bám dính mạnh có thể được tạo ra trong quá trình ủ trước khi mạ nhúng nóng, mà có thể dẫn đến các khuyết tật bề mặt trong lớp mạ. Hàm lượng silic lớn hơn 0,5% góp phần làm ổn định hiệu quả austenit, trong khi hàm lượng Si lớn hơn

0,7% góp phần tạo ra phần bề mặt của austenit tồn lưu nằm trong khoảng từ 7 đến 30%.

- Hàm lượng nhôm phải nằm trong khoảng từ 0,010 và 3,0%. Liên quan tới tính ổn định của austenit tồn lưu, nhôm có ảnh hưởng tương tự như silic. Tuy nhiên, do nhôm thúc đẩy một cách có hiệu quả sự hình thành của ferit ở nhiệt độ cao, việc thêm vào nhôm quá mức có thể làm tăng nhiệt độ Ac_3 (tức là nhiệt độ biến đổi thép hoàn toàn thành austenit trong quá trình nung nóng) trong bước ủ, và do đó có thể làm cho quy trình công nghiệp trở nên tốn kém hơn về mặt năng lượng cần thiết cho quá trình ủ. Do đó, hàm lượng Al nhỏ hơn 3,0%.

- Hàm lượng austenit tồn lưu nằm trong khoảng từ 5 đến 30% ở nhiệt độ trong phòng là cần thiết để đạt được độ giãn dài toàn phần cao. Tính dễ tạo hình đặc biệt cao khi phần bề mặt của austenit tồn lưu nằm trong khoảng từ 7 đến 30%. Độ ổn định đủ của austenit đạt được thông qua việc thêm vào silic và/hoặc nhôm trong thành phần thép, với lượng thỏa mãn điều kiện: $(Si+Al) \geq 0,5\%$. Nếu $(Si+Al) < 0,5\%$, thì phần austenit tồn lưu có thể dưới 5%, do vậy các tính chất dẻo và biến cứng nguội trong quá trình tạo hình nguội là không đủ. Tuy nhiên, nếu $(Si+Al) > 3,5\%$, khả năng dễ mạ và khả năng dễ hàn bị giảm.

- Crom làm cứng và làm mịn vi cấu trúc, và cho phép có thể kiểm soát sự hình thành của proeutectoid ferit trong công đoạn làm nguội sau khi giữ ở nhiệt độ tối đa trong chu trình ủ. Trong trường hợp thép không chứa nhiều hơn 2,8%Mn, thì ferit, khi có mặt trong phần bề mặt cao hơn 40%, làm tăng nguy cơ độ bền kéo thấp hơn 800 MPa. Do vậy, hàm lượng crom nằm trong khoảng từ 0,001% đến 1,0% vì lý do chi phí và tránh việc làm cứng quá mức.

- Giống như crom, molybden với lượng nằm trong khoảng từ 0,001% đến 0,5% là có hiệu quả để làm tăng khả năng dễ làm cứng và làm ổn định austenit tồn dư do nguyên tố này làm chậm sự phân hủy của austenit.

- Thép có thể tùy ý chứa các nguyên tố dễ bị kết tủa dưới dạng cacbua, nitrua, hoặc cacbonitrua, do vậy cho phép tạo ra sự làm cứng kết tủa. Vì mục đích đó, thép có thể chứa niobi, titan hoặc vanadi: Nb và Ti với lượng nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,1%, và V với lượng nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,2%.

- Thép có thể tùy ý chứa niken, với lượng nằm trong khoảng từ 0,001% đến 1,0% để cải thiện độ dai.

- Thép có thể tùy ý còn chứa bo, với lượng nằm trong khoảng từ 0,0003 đến 0,005%. Do việc phân tử tại ranh giới hạt, B làm giảm năng lượng ranh giới hạt và do đó có lợi cho việc tăng khả năng chống xảy ra hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng.

- Phần còn lại của thành phần thép là của sắt và các nguyên tố tồn dư do việc chế tạo thép. Liên quan đến điều đó, Cu, S, P và N ít nhất là được xem là các nguyên tố tồn dư hoặc các tạp chất khó tránh khỏi. Do đó, hàm lượng của chúng nhỏ hơn 0,03% đối với Cu, 0,003% đối với S, 0,02% đối với P và 0,008% đối với N.

Các tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm, với ít nhất là một tấm (A) trong số chúng có thành phần nêu trên, được chồng lên nhau và được liên kết với nhau bởi việc hàn điểm điện trở. Việc hàn này có thể là đồng nhất (tức là hàn các tấm (A) với nhau) hoặc không đồng nhất (tức là hàn tấm thép (A) với một hoặc nhiều tấm thép mạ kẽm (B) có thành phần khác)

Việc hàn điểm điện trở là quy trình kết hợp sự tác động lực và dòng điện, cả hai được tác động lên các tấm được xếp chồng để hàn thông qua các điện cực kim đồng. Một trình tự hàn điển hình bao gồm lần lượt các bước sau:

- đặt các điện cực và tác động ép lên các tấm
- trình tự hàn bao gồm một số giai đoạn nhất định trong đó có dòng điện liên tục (các giai đoạn “tạo xung”, “nóng”) hoặc không có dòng điện (các giai đoạn “nguội”). Trong trình tự này, ứng lực được duy trì trên các tấm bởi các điện cực. Ứng lực đó cho phép có thể làm giảm độ xốp do co ngót và tạo ra sự làm mịn hạt.
- giai đoạn giữ, trong lúc đó ứng lực được duy trì mà không có dòng điện, để đối trọng với sự giãn nở của mắt điểm hàn và để làm nguội nó.
- tách các điện cực ra khỏi các tấm mà đã được hàn với nhau.

Khi kết thúc trình tự này, mối hàn được đặc tả bởi mắt điểm hàn của kim loại hàn đã được tạo ra ở ranh giới giữa các tấm thép này. Trên đỉnh của mắt điểm hàn này, một vết lõm hình tròn, còn được gọi là vết lõm, hiện diện trên bề mặt

của các tấm. Đường kính vết lõm (IDia) tương ứng với đường kính của đầu điện cực hàn. Độ sâu vết lõm (IDepth) thông thường có thể nằm trong khoảng từ vài chục micromet đến vài trăm micromet. (IDepth) phụ thuộc vào các yếu tố như:

- cường độ hàn I
- ứng lực F được tạo ra bởi các điện cực trong khi hàn
- khoảng thời gian có dòng điện t_I
- điện trở tiếp xúc điện ban đầu R tại ranh giới giữa các tấm
- ứng suất chảy dẻo σ_F ở nhiệt độ cao của tấm
- hệ số tập trung ứng suất K_t tùy theo dạng hình học của đầu điện cực
- độ dày của tấm th

Các biến số khác là không đổi, I , t_I , R , F , K_t càng cao, thì (IDepth) càng cao. σ_F càng thấp, thì (IDepth) càng cao.

(IDepth) có thể hoặc là được đo trực tiếp trên các mối hàn điểm đã được cắt hoặc là có được đo ngay trong quy trình hàn như được giải thích ở dưới. Các tác giả sáng chế đã được đưa ra bằng chứng cho thấy việc kiểm soát vết lõm này trong một giới hạn nhất định, sẽ cho phép có thể giải quyết vấn đề tạo ra một điện trở hàn cơ học đủ và sức bền cao để tránh hiện tượng LME.

Độ bền của mối hàn điểm điện trở thường được đo bằng thử nghiệm kéo thử nghiệm kéo biến dạng hàn chồng. Cho dù là đơn giản, song thử nghiệm này bao hàm các dạng biểu hiện phức tạp và các dạng phá hủy khác nhau. Thực tế, dạng phá hủy được xem là một chỉ số về các tính chất cơ học và có thể được phân loại theo các dạng ở bề mặt phân chia, phân giới một phần và kéo rút. Dạng phá hủy kéo rút, trong đó sự nứt gãy xuất hiện ở ngoại vi của nùm hàn trong vùng tác động nhiệt hoặc trong kim loại nền, là được mong muốn do nó liên quan đến độ dẻo và độ bền mối hàn cao nhất. Dạng phá hủy này chứng tỏ rằng mối hàn có khả năng truyền ứng lực với một mức độ cao nhờ đó gây ra sự biến dạng dẻo đáng kể ở các vùng liền kề và làm tăng khả năng hấp thụ năng lượng biến dạng trong các điều kiện va chạm. Trái lại, sự phá hủy mối hàn tại ranh giới giữa các tấm, để lại một nửa mặt điểm hàn trên mỗi tấm, xảy ra ở tải trọng thấp và có thể ảnh hưởng đến sự phân bố tải trọng và làm giảm năng lượng hấp thụ trong cấu trúc hàn. Sự

phá hủy ở bề mặt phân chia thường là không được chấp nhận trong ngành công nghiệp ô tô.

Các tác giả sáng chế đã được đưa ra bằng chứng rằng độ sâu vết lõm ($IDepth$) phải lớn hơn trị số tối thiểu ($(IDepth)_{min}$) là 100 micromet để đảm bảo rằng dạng phá hủy thuộc dạng dạng phá hủy kéo rút. Mặc dù không muốn gắn liền với lý thuyết, song điều được tin chắc là khi $(IDepth) > (IDepth)_{min}$, thì dạng hình học của mắt điểm hàn, tức là đường kính của nó, chiều cao, và các dấu hiệu tập trung ứng suất tại bề mặt phân chia giữa các tấm được hàn, cho phép có thể tránh được sự phá hủy tại bề mặt phân chia. Các tính chất cơ học như vậy thậm chí còn tăng và được tạo ra rất ổn định khi $(IDepth)_{min}$ lớn hơn 125 micromet.

Tuy nhiên, các tác giả sáng chế cũng đưa ra bằng chứng là độ sâu vết lõm ($IDepth$) phải được duy trì ở mức thấp hơn trị số tối đa $(IDepth)_{max}$ tùy thuộc vào thành phần thép, để tránh các vết nứt do hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng. Các vết nứt này, có dạng chạy giữa các hạt và được điền đầy Zn, thường xảy ra ở các vành ngoài của bề mặt vết lõm phủ kim loại lên vị trí ban đầu của đầu điện cực trên tấm này.

Vùng này bị kéo căng nhiều hơn so với phần chính giữa của vùng lõm.

Do đó, các vết nứt viền trong vùng bên ngoài này là thường xuyên gặp phải hơn so với các vết nứt giữa trong vùng lõm. Thông qua camera nhiệt kế hồng ngoại, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng vùng mà ở các vết nứt viền lớn có mặt tương ứng với vùng trong đó nhiệt độ tối đa trong chu trình hàn cao hơn Ac3. Các vết nứt xuất hiện ở cuối trình tự hàn đã nêu trên, ở nhiệt độ lớn hơn 700°C. Theo phép đo nhiệt độ và sự quan sát kim loại học, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng không có vết nứt sâu do hiện tượng LME, tức là không có vết nứt sâu hơn 50 micromet, xảy ra khi nhiệt độ tối đa ở khu vực đường kính vết lõm, tức là $T_{max}(IDia)$ nhỏ hơn Ac3. Nói cách khác, các vết nứt LME sâu sẽ tránh được nếu các thông số hàn được chọn sao cho $T_{max}(IDia)$ nhỏ hơn Ac3. Do điều kiện này có thể đạt được thông qua việc kết hợp khác nhau của các thông số hàn, nên không thể xác định được một cách đơn giản các tổ hợp chi tiết như vậy. Tuy nhiên, việc làm giảm I và t_f và làm tăng F và R , có xu hướng đạt được kết quả đó.

Trên cơ sở nhận xét rằng vết nứt LME xuất hiện ở nhiệt độ lớn hơn 700°C, dựa vào các số đo ứng suất trong các vùng bên ngoài tới hạn của vùng lõm và dựa vào số đo ứng suất tới hạn trong các thử nghiệm kéo được thực hiện trong khoảng nhiệt độ này trong thiết bị mô phỏng nhiệt Gleeble, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng sự nứt do hiện tượng LME sẽ tránh được hoặc được giảm nhiều ở tấm thép có khả năng tạo hình cao (A) khi độ sâu vết lõm (IDepth) được duy trì ở mức thấp hơn trị số tới hạn (IDepth)_{max} mà nó phụ thuộc vào độ hòa tan Zn trong nền thép (A), theo mối biểu thức:

$$(IDepth) \leq (IDepth)_{max} = 18,68 (Zn_{sol}) - 55,1 \quad (1)$$

Zn_{sol} là độ hòa tan của Zn trong thép tấm (A) ở 750°C, tính theo % khối lượng.

Zn_{sol} có thể được đo trực tiếp theo phương pháp sau đây bao gồm lần lượt các bước sau:

- xử lý bằng nhiệt tấm thép mạ (A) ở 750°C trong thời gian 170 giờ. Bước này làm khuếch tán Zn vào nền thép tới trạng thái cân bằng ở bề mặt phân chia Zn-nền.
- làm nguội tấm (A) này với tốc độ cao hơn 50°C/giây, cho phép có thể duy trì các gradien hóa học nhiệt độ cao xuống nhiệt độ môi trường.
- xác định hàm lượng Zn trong thép ở khoảng cách 1 micromet tính từ bề mặt phân chia thép/lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm. Hàm lượng Zn có thể được đo, ví dụ, bởi phép đo quang phổ phân tán năng lượng của tia X là một kỹ thuật đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này. Trong các điều kiện này, hàm lượng Zn được đo ở khoảng cách 1 micromet là trị số độ hòa tan Zn_{sol} .

Theo cách khác, Zn_{sol} có thể được tính bằng cách tính đến phần thể tích hoặc bề mặt (hai lượng này là tương đương) của austenit có mặt trong thép (A) ở 750°C, và các độ hòa tan của Zn trong ferit và trong austenit ở nhiệt độ này được tính theo công thức sau:

$$Zn_{sol} = (1 - f_Y) \times (Zn_{\alpha(750)}) + (f_Y \times Zn_{\gamma(750)}) \quad (2)$$

trong đó f_Y là phần thể tích của austenit có mặt trong tấm thép (A) ở 750°C và nằm trong khoảng từ 0 đến 1, và trong đó $Zn_{\alpha(750)}$ và $Zn_{\gamma(750)}$ là độ hòa tan của Zn lần lượt trong ferit và trong austenit của thép của tấm (A) ở 750°C, tính theo % khối lượng.

Độ hòa tan của Zn trong ferit ở 750°C phụ thuộc vào nhiệt độ peritecti (T_{per}) của thép (A) với sự có mặt của lớp mạ Zn (tức là nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ mà nền thép đã bão hòa Zn ở trạng thái cân bằng nhiệt động với Zn lỏng đã được hợp kim hóa với Fe và cuối cùng các nguyên tố thay thế khác từ nền thép), và phụ thuộc vào độ hòa tan của Zn là $Zn_{\alpha(T_{per})}$ ở nhiệt độ peritecti. (T_{per}) được tính theo công thức:

$$(T_{per}) = 782 + (2,5 \text{ Mn}) - (71,1 \text{ Si}) - (43,5 \text{ Al}) - (57,3 \text{ Cr}) \quad (3)$$

trong đó (T_{per}) tính theo °C, và Mn, Si, Al và Cr tính theo % khối lượng. Nếu (T_{per}) nhỏ hơn 750°C, thì $Zn_{\alpha(750)}$ có thể được tính theo công thức:

$$- \quad Zn_{\alpha(750)} = Zn_{\alpha(T_{per})} \times \left(1 + 0,68 \times \frac{(T_{per}) - 750}{600 - (T_{per})}\right) \text{ nếu } (T_{per}) \geq 750^\circ\text{C} \quad (4), \text{ và}$$

$$- \quad Zn_{\alpha(750)} = Zn_{\alpha(T_{per})} \times \left(1 + \frac{(T_{per}) - 750}{1160 - (T_{per})}\right) \text{ nếu } (T_{per}) < 750^\circ\text{C} \quad (5)$$

Độ hòa tan của Zn ở nhiệt độ peritecti trong ferit có thể được tính theo công thức:

$$Zn_{\alpha(T_{per})} = 45,9 - (0,13 \text{ Mn}) - (17,3 \text{ C}) + (4,8 \text{ Si}^2) - (25,4 \text{ Si}) - (1,53 \text{ Al}) - (0,73 \text{ Cr}) \quad (6)$$

trong đó $Zn_{\alpha(T_{per})}$ tính theo °C và Mn, C, Si, Al và Cr tính theo % khối lượng,

Độ hòa tan của Zn trong austenit được tính theo công thức:

$$Zn_{\gamma(750)} = 2 \left(- \frac{b(750 - Ae_1)^2}{(Ae_3 - Ae_1)} + b(750 - Ae_1) \right) \quad (7)$$

$$\text{với: } b = \frac{28}{2(Ae_3 - Ae_1) - 1} \quad (8)$$

trong đó Ae_1 và Ae_3 tính theo °C và là các nhiệt độ tương ứng mà ở đó quá trình chuyển hóa từ ferit sang austenit bắt đầu và kết thúc xảy ra ở trạng thái cân bằng trong nền thép của tấm (A).

Ae_1 và Ae_3 có thể hoặc là được xác định, ví dụ, bằng các kỹ thuật thông thường trên cơ sở phép đo độ giãn nở hoặc có thể được tính theo thành phần của thép (A) theo các công thức sau:

$$Ae_1 = 725 - (42,1 \text{ Mn}) + (27,3 \text{ Si}) + (9 \text{ Al}) + (5 \text{ Cr}) \quad (9)$$

$$Ae_3 = 923 - (360 \text{ C}) - (34 \text{ Mn}) + (37,6 \text{ Si}) + (131,6 \text{ Al}) - (24,9 \text{ Cr}) \quad (10)$$

trong đó Ae_1 và Ae_3 tính theo °C, và C, Mn, Al, Si, Cr tính theo % khối lượng.

Theo một phương án cụ thể, các tác giả sáng chế đã đưa ra bằng chứng là phương pháp theo sáng chế được thực hiện một cách thuận lợi khi xét đến thành phần cục bộ của thép ngay dưới lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm. Nói cách khác, thay vì xét đến các hàm lượng danh định của C, Mn, Si, Al và Cr trong các công thức (3), (6), (9) và (10) nêu trên, các tác giả sáng chế đã đưa ra bằng chứng là nguy cơ xuất hiện vết nứt LME được giảm tối ưu bằng cách xét đến hàm lượng trung bình của các nguyên tố: C_{av} , Mn_{av} , Si_{av} , Al_{av} và Cr_{av} , khi được xác định trong kẽm hoặc trong khoảng độ sâu từ 0 đến 100 micromet trong lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm. Phương án này đặc biệt có liên quan khi sự phân tử với một mức độ nhất định có mặt trong toàn bộ độ dày của tấm hoặc khi việc xử lý bằng nhiệt được thực hiện trên nền thép đã biến đổi thành phần bề mặt trước công đoạn mạ. Do vậy, các nồng độ cục bộ trung bình của C, Mn, Al, Si và Cr, trong khoảng độ sâu từ 0 đến 100 micromet có thể khác với ở thành phần tổng thể trong thép, và có liên quan nhiều hơn để dự báo sự xuất hiện hiện tượng LME. Do các tác giả sáng chế đã chỉ ra rằng phần lớn các vết nứt LME có độ sâu nằm trong khoảng từ 0 đến 100 micromet, nên hàm lượng trung bình của C, Mn, Al, Si và Cr cần phải được tính đến trong khoảng độ sâu này. Các hàm lượng trung bình này có thể được xác định bởi kỹ thuật đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, ví dụ, như phương pháp quang phổ phát xạ quang học phóng điện chớp sáng (GDOES).

Dựa vào các kết quả thử nghiệm, các tác giả sáng chế cũng đã đưa ra bằng chứng rằng nguy cơ xuất hiện hiện tượng LME gia tăng khi tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) lớn hơn 2mm. Do vậy, để đảm bảo rằng độ sâu vết nứt LME trung bình trong các mối hàn điểm điện trở nhỏ hơn 40 μ m, tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) phải nhỏ hơn 3mm. Độ sâu vết nứt trung bình thậm chí có thể được giảm xuống mức thấp hơn 20 μ m nếu tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) không lớn hơn 2mm. Do vậy, để đảm bảo rằng độ sâu vết nứt LME trung bình trong các mối hàn điểm điện trở nhỏ hơn 40 hoặc 20 μ m, thì tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) phải lần lượt không lớn hơn 3 hoặc 2mm.

Theo một phương án cụ thể, tấm thép có khả năng tạo hình cao (A) được hàn cùng với ít nhất một tấm thép mạ nhúng nóng (B) có thành phần gồm: $C \geq 0,04\%$, $Mn \geq 0,2\%$, lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi. Theo

các thử nghiệm được thực hiện bởi các tác giả sáng chế, sự xuất hiện và mức độ LME tăng tấm thép (B) là thép có thành phần với các hàm lượng của C và Mn thấp hơn đáng kể so với các tấm thép (A), tức là khi tấm (B) có thành phần thỏa mãn điều kiện: $C < 0,04\%$ và $Mn < 0,2\%$. Mặc dù không muốn gắn liền với lý thuyết, song điều được tin chắc là việc hàn điểm tạo ra vùng nóng chảy có thành phần trung gian giữa các tấm (A) và (B). Nếu sự chênh lệch về thành phần giữa (A) và (B) lớn, thì nhiệt độ biến đổi của thép (A) và mất điểm hàn sẽ rất khác nhau, có nghĩa là một số vùng có thể xảy ra sự biến đổi pha trong công đoạn làm nguội của chu trình hàn trong khi những vùng ngay sát còn lại không xảy ra sự biến đổi pha như vậy. Khi sự chuyển pha xảy ra với biến đổi thể tích, thì điều được tin chắc là hiện tượng như vậy tạo ra sự gia tăng về các ứng suất nhất thời gây bất lợi liên quan đến hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng. Do vậy, nhằm giảm thiểu hiện tượng LME, với các thành phần được đưa ra để thực hiện sáng chế, thì được ưu tiên nếu tránh tạo ra đối với thép (B) có thành phần C thấp ($C < 0,04\%$) và Mn thấp ($Mn < 0,2\%$)

Sáng chế sẽ được minh họa bởi các ví dụ dưới đây, nhưng không nhằm giới hạn phạm vi của sáng chế.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Ba tấm thép được tạo ra, được ký hiệu là SA, SB và SC. Thành phần của các thép này được thể hiện theo hàm lượng % khối lượng, lượng còn lại là của sắt và các tạp chất khó tránh khỏi từ việc chế tạo thép, được đưa ra trong bảng 1. Nằm trong số các chất tồn dư hoặc các tạp chất khó tránh khỏi, hàm lượng S nhỏ hơn $0,003\%$ và hàm lượng P nhỏ hơn $0,014\%$ đối với các thép này. Các tấm thép này được mạ bằng lớp mạ kẽm được mạ điện, dày $16\mu m$.

Độ hòa tan của Zn là Zn_{sol} ở $750^{\circ}C$ được tính theo các công thức nêu trên (2-10) cũng được đưa ra trong bảng 1 cùng với các tính chất bền cơ học (UTS: Độ bền kéo tới hạn, TEL: Độ giãn dài toàn phần) được đo theo tiêu chuẩn ISO 6892-1 công bố tháng 10/2009, được đưa ra trong bảng 1. Độ dày của các tấm thép SA-SB là 1mm, độ dày của tấm thép SC là 1,2mm.

Bảng 1: Thành phần (% khối lượng), độ hòa tan của Zn ở 750°C và các tính chất độ bền kéo của thép

	C	Mn	Si	Al	Si+Al	Cr	Mo	Nb, V, Ti	Độ hòa tan của Zn (%)	UTS (MPa)	UTSx TEL (MPa%)
SA	0,20	1,65	1,63	0,06	1,69	0,03	0,002	Nb :0,001 Ti :0,006 V :0,001	9,09	820	23780
SB	0,20	1,64	0,80	0,68	1,48	0,04	0,002	Nb : 0,001	15,9	805	23200
SC	0,219	2,07	1,48	0,034	1,514	0,35	0,002	Nb : 0,002b	9,44	1233	16645

Các tấm thép đã được hàn điện trở bằng điện cực có đường kính đầu 6mm và dòng điện xoay chiều 50Hz dưới lực 350daN. Tùy theo cường độ hàn và thời gian hàn điện trở, các độ sâu vết lõm khác nhau đã được tạo ra. Ví dụ, đối với thép (SA), các điều kiện hàn SA1, SA2, SA3... cho phép tạo ra các độ sâu vết lõm khác nhau.

Độ bền của các mối hàn điểm điện trở đã được đo bằng các thử nghiệm kéo biến dạng hàn chồng theo tiêu chuẩn ISO 14273. Kết quả thử nghiệm được xem là đạt yêu cầu nếu không xảy sự phá hủy mẫu.

Các mối hàn sau khi được tẩy trong dung dịch HCl loãng chứa chất ức chế để loại bỏ lớp mạ kẽm, được cắt và được làm bóng để xác định và đo với mức phóng đại 2,5 tới 100 lần, sự hiện diện cuối cùng của các vết nứt do hiện tượng hóa giòn do kim loại lỏng. Độ sâu của vết nứt được đo trên mười mối hàn để xác định độ sâu vết nứt trung bình trên mỗi mặt hàn. Được mong muốn nếu có độ sâu vết nứt trung bình nhỏ hơn 20 μ m.

Các kết quả đánh giá được đưa ra trong bảng 2, cùng với việc tính toán ($IDepth_{max}$) theo công thức (1) nêu trên.

Bảng 2: Các dấu hiệu đặc tả các vết nứt LME trong các mối hàn và dạng phá hủy của mối hàn trong các thử nghiệm kéo hàn chồng

Các trị số không xác định: không theo sáng chế

Thép	Mối hàn	Độ sâu vết lõm tối đa ($IDepth_{max}$) (μm)	Độ sâu vết lõm ($IDepth$) (μm)	Độ sâu vết nứt trung bình (μm)	Không có sự phá hủy ở bề mặt phân chia trong thử nghiệm kéo
SA	SA1	114	70	0	<u>Không</u>
	SA2		110	0	Có
	SA3		<u>130</u>	<u>35</u>	Có
	SA4		<u>200</u>	<u>12</u>	Có
SB	SB1	241	75	0	<u>Không</u>
	SB2		150	16	Có
	SB3		<u>260</u>	<u>90</u>	Có
SC	SC1	121	70	18	<u>Không</u>
	SC2		<u>125</u>	<u>40</u>	Có
	SC3		<u>250</u>	<u>60</u>	Có

Ví dụ 2

Tấm thép SC của ví dụ 1 đã được ghép nối thông qua mối hàn điểm điện trở với tấm thép SD, thành phần của nó được đưa ra trong bảng 3, lượng còn lại là của sắt và các tạp chất khó tránh khỏi từ việc chế tạo thép.

Bảng 3: thành phần của thép SD (% khối lượng)

	C	Mn	Si	Al	Ti
SD	0,0018	0,083	0,006	0,053	0,04

Thép SD được tạo ra dưới dạng các tấm thép mạ nhúng nóng có độ dày 0,8mm hoặc 1,9mm, có lớp mạ kẽm 12 micromet. Do vậy, các mối hàn điểm điện trở có tổng độ dày là 2 hoặc 3,1mm được chế tạo. Độ sâu vết nứt trung bình ở bề mặt của mối hàn điểm của tấm thép SC được xác định theo cách giống như được giải thích ở ví dụ 1.

Bảng 4a: Độ sâu vết nứt trong các mối hàn có tổng độ dày khác nhau.

Tổng độ dày của mối hàn (mm)	Độ sâu vết lõm (IDepth) (μm)	Độ sâu vết nứt trung bình (μm)
2	71	19
3,1	<u>256</u>	<u>42</u>

Do vậy, việc làm giảm tổng độ dày dưới 3 hoặc thậm chí dưới 2mm, cho phép có thể chế tạo các mối hàn điểm có độ sâu vết nứt trung bình thấp.

Ví dụ 3

Máy hàn điểm điện trở cùng với kích bằng khí nén 10kN và bộ biến áp điện 64kVA đã được trang bị cùng với cảm biến để cho phép ghi nhận sự dịch chuyển dọc của điện cực hàn. Mức độ chênh lệch vị trí của điện cực trước và sau công đoạn hàn, tương ứng với độ sâu vết lõm (IDepth). Đồng thời, camera tốc độ cao đã được bố trí và vạch dấu trên điện cực hàn được tạo ra để trở thành một chỉ số ghi lại vị trí của điện cực trong công đoạn hàn. Sau khi so sánh với các trị số vết lõm đo được trên chính các mối hàn, có thể kết luận rằng cả hai phương pháp (cảm biến và camera tốc độ cao) đều cho các kết quả chính xác về trị số (IDepth).

Với các điều kiện được giải thích ở ví dụ 1, thép SB đã được tạo ra và được hàn với các chu trình hàn được dừng khi (IDepth) đạt trị số hoặc là cao hơn độ sâu vết lõm tối đa $IDepth_{\text{max}}$ theo thành phần thép, hoặc là thấp hơn nó. Các kết quả được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4: Các dấu hiệu đặc tả các vết nứt LME và dạng phá hủy trong các mối hàn bị phá hủy theo trị số vết lõm.

Các trị số không xác định: không theo sáng chế

Thép	Mối hàn	Độ sâu vết lõm tối đa ($IDepth_{\text{max}}$) (μm)	Độ sâu vết lõm ở đỉnh (IDepth) (μm)	Độ sâu vết nứt trung bình (μm)	Sự không có mặt dạng phá hủy ở bề mặt phân chia trong thử nghiệm kéo hàn chồng
SB	SB4	241	160	13	Có
	SB5		<u>300</u>	<u>52</u>	Có

Do vậy, sự dịch chuyển điện cực có thể được sử dụng sao cho tín hiệu đầu vào chỉ ra rằng công đoạn hàn phải được dừng và để đảm bảo chất lượng hàn.

Ví dụ 4

Camera hồng ngoại có đầu dò InSb được sử dụng để đo nhiệt độ của bề mặt của tấm ở ngoại vi tức thời của điện cực, tức là ở vùng có đường kính vết lõm (IDia). Trong chu trình hàn, nhiệt độ được tăng lên $T_{\max}$ (IDia) trước khi làm nguội ngay khi dừng dòng điện. Do vậy, có thể so sánh nhiệt độ đo được $T_{\max}$ (IDia) với nhiệt độ Ac3 của thép. Các thử nghiệm đã được thực hiện trên các thép SA-SB như nêu ở Ví dụ 1, bằng cách sử dụng các thông số khác nhau để tạo ra các độ sâu vết lõm khác nhau. Sự có mặt của các vết nứt viền do hiện tượng LME, sâu hơn 50 μ m, được nhận diện. Đối với các thép SA và SB, các trị số Ac3 lần lượt là 930°C và 965°C.

Bảng 5: Các dấu hiệu đặc tả nhiệt độ và các vết nứt ở ngoại vi của vùng lõm.

Các trị số gạch chân Tmax(IDIA): không tương ứng với sáng chế

Thép	Mối hàn	Độ sâu vết lõm (IDepth) (μ m)	$T_{\max}$ (IDia) (°C)	Sự có mặt của các vết nứt viền sâu hơn 50 μ m
SA	SA4	110	630	Không
	SA5	150	700	Không
	SA6	300	<u>950</u>	<u>Có</u>
SB	SB6	160	720	Không
	SB7	260	920	Không
	SB8	350	<u>980</u>	<u>Có</u>

Do đó, có thể kết luận rằng có thể tránh được các vết nứt viền LME sâu khi các thông số hàn được chọn sao cho $T_{\max}$ (IDia) nhỏ hơn Ac3.

Ví dụ 5

Thép SC ở trạng thái chưa được mạ được nung nóng để tạo ra sự biến đổi thành phần ở bề mặt của nó nằm trong khoảng độ sâu 100 micromet, và sau đó Zn được mạ bằng cách mạ điện để tạo ra lớp mạ giống hệt như lớp mạ ở ví dụ 1. Các hàm lượng trung bình C_{av} , Mn_{av} , Si_{av} , Al_{av} và Cr_{av} trong kẽm trong khoảng độ sâu

từ 0 đến 100 micromet trong lớp mạ kẽm đã được đo bởi phương pháp quang phổ phát xạ quang học phóng điện chớp sáng. Tấm thép mạ đã được hàn trong điều kiện SC4 tương tự như điều kiện SC3 của bảng 2.

Số lượng vết nứt trung bình có độ sâu lớn hơn 100 μ m trên một mối hàn điểm được đo. Các kết quả này được thể hiện trong bảng 6, cùng với việc tính toán ($IDepth_{max}$) theo các công thức nêu trên (1-10), có tính đến hoặc là thành phần danh định của tấm thép C, hoặc là thành phần trung bình trong khoảng độ sâu từ 0 đến 100 micromet trong lớp mạ kẽm.

Bảng 6: số lượng vết nứt phụ thuộc vào thành phần tổng thể hoặc thành phần bề mặt

Thép	Mối hàn	Độ sâu vết lõm tối đa ($IDepth_{max}$) (μ m)	Số lượng vết nứt LME trung bình trên một mối hàn có độ sâu lớn hơn 100 μ m
SC	SC3	121	3,4
	SC4 Thành phần bề mặt đã biến đổi nằm trong khoảng độ sâu 100 μ m	176	1,5

Các thử nghiệm SC3 và SC4 đã được thực hiện từ thành phần danh định tương tự như của thép SC. Bằng cách sử dụng duy nhất thành phần danh định của thép SC cho các thử nghiệm này để tính độ sâu vết lõm tối đa có thể dẫn đến khả năng là các kết quả thử nghiệm này có thể như nhau. Tuy nhiên, trong thử nghiệm SC4, số lượng vết nứt lớn được giảm nhiều so với thử nghiệm SC3. Điều đó chứng tỏ rằng, trong trường hợp bề mặt của thép bị thay đổi về thành phần, thì độ sâu vết lõm tối đa phải được tính từ thành phần trung bình trong khoảng độ sâu 100 micromet, thay vì từ thành phần thép tổng thể.

Ví dụ 6

Hai tấm thép mạ kẽm, dày 1,6mm, có thành phần của thép SC trong bảng 1, được hàn điện trở để tạo ra mối hàn SC4.

Ngoài ra, tấm thép SC, dày 1,6mm, đã được hàn với tấm thép SD, dày 1,6mm, có thành phần nêu trong bảng 3 để tạo ra mối hàn SC5. Số lượng các vết nứt trong hai mối hàn này được đưa ra trong bảng 7.

Bảng 7: Số lượng vết nứt tùy thuộc vào mức chênh lệch thành phần giữa các tấm thép

Mối hàn	Số lượng vết nứt LME trung bình trên một mối hàn
SC4	6
SC5	15

Do tấm thép SD có hàm lượng C và Mn rất thấp, nên sự chênh lệch về thành phần của C và Mn giữa các thép SC và SD là lớn, và nguy cơ hình thành vết nứt tăng.

Khi so sánh với mối hàn đồng nhất SC4, số lượng vết nứt thấp.

Do đó, do có các tính chất bền cơ học cao, nên các mối hàn điểm điện trở làm từ các thép có độ bền cao để tạo hình theo sáng chế có thể được sử dụng một cách có lợi cho việc chế tạo các bộ phận kết cấu hoặc các bộ phận an toàn của ô tô.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp hàn điểm điện trở bao gồm lần lượt các bước sau:

- tạo ra ít nhất hai tấm thép có độ dày (th) nằm trong khoảng từ 0,5 đến 3mm, ít nhất một tấm trong số các tấm thép này là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (A) có độ bền kéo (TS) cao hơn 800MPa và độ giãn dài toàn phần (TEL) thỏa mãn điều kiện $(TS) \times (TEL) > 14000 \text{MPa}\%$, trong đó thành phần của nền thép (A) tính theo khối lượng, bao gồm:

$$0,05\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,3\% \leq \text{Mn} \leq 8\%$$

$$0,010\% \leq \text{Al} \leq 3\%$$

$$0,010\% \leq \text{Si} \leq 2,09\%:$$

$$\text{cùng với } 0,5\% \leq (\text{Si} + \text{Al}) \leq 3,5\%,$$

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

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

và tùy ý

$$0,005\% \leq \text{Nb} \leq 0,1\%$$

$$0,005\% \leq \text{V} \leq 0,2\%$$

$$0,005\% \leq \text{Ti} \leq 0,1\%$$

$$0,0003\% \leq \text{B} \leq 0,005\%$$

$$0,001\% \leq \text{Ni} \leq 1,0\%$$

lượng còn lại là của Fe và các tạp chất khó tránh khỏi,

- thực hiện việc hàn điểm điện trở ít nhất hai tấm thép này để tạo ra mối hàn có độ sâu vết lõm (IDepth) trên bề mặt của tấm thép (A) thỏa mãn điều kiện:

$$100 \mu\text{m} \leq (\text{IDepth}) \leq 18,68 (\text{Zn}_{\text{sol}}) - 55,1,$$

trong đó (IDepth) tính theo micromet và trong đó Zn_{sol} là độ hòa tan của Zn trong thép tấm (A) ở 750°C, tính theo % khối lượng và trong đó Zn_{sol} được xác định theo phương pháp bao gồm lần lượt các bước sau:

- tạo ra tấm thép mạ (A) như được xác định ở trên, tiếp đó
- xử lý bằng nhiệt tấm thép mạ (A) ở 750°C trong thời gian 170 giờ, tiếp đó
- làm nguội tấm (A) này với tốc độ cao hơn 50°C/giây, tiếp đó

- xác định hàm lượng Zn trong thép ở khoảng cách 1 micromet tính từ bề mặt phân chia thép/lớp mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó ít nhất một tấm trong số các tấm thép được hàn với tấm thép (A) là tấm thép mạ kẽm hoặc hợp kim kẽm (B) và trong đó tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) không lớn hơn 3mm.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó tổng các độ dày của các tấm (A) và (B) không lớn hơn 2mm.

4. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 tới 3, trong đó $(IDepth) \geq 125 \mu m$.

5. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 tới 4, trong đó $(IDepth)$ đo được bởi sự dịch chuyển của điện cực hàn, và trong đó quá trình hàn được dừng khi $(IDepth)$ nằm trong khoảng từ 100 micromet đến $18,68 (Zn_{sol}) - 55,1$.

6. Phương pháp theo điểm 5, trong đó $(IDepth)$ đo được bởi sự dịch chuyển của điện cực hàn, và trong đó quá trình hàn được dừng khi $(IDepth)$ nằm trong khoảng từ 125 micromet đến $18,68 (Zn_{sol}) - 55,1$.

7. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 tới 6, trong đó các thông số hàn được chọn sao cho nhiệt độ tối đa đạt được trong quá trình hàn trên phần bên ngoài của vùng lõm của mỗi hàn thỏa mãn điều kiện:

$$T_{max}(IDia) < Ac3.$$