



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

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

(11)



1-0030391

(51)^{2006.01} **B23K 1/00**; B23K 1/20; B23K 101/00; (13) **B**
B23K 20/00; B23K 20/24; B23K 35/00;
B23K 35/02; B23K 35/24; B23K 35/34;
F28F 3/04; B23K 35/362; B23K 35/365;
B32B 15/01; C22C 1/02; C22C 19/00;
C23C 24/10; C23C 30/00; F28D 9/00;
F28F 21/08; B21D 53/04; B23K 35/36

(21) 1-2014-03122

(22) 27/03/2013

(86) PCT/EP2013/056544 27/03/2013

(87) WO 2013/144216 A1 03/10/2013

(30) 12161742.7 28/03/2012 EP

(45) 25/12/2021 405

(43) 25/02/2015 323A

(73) ALFA LAVAL CORPORATE AB (SE)

Box 73, S-221 00 Lund, Sweden

(72) SJÖDIN, Per (SE).

(74) Công ty TNHH Sở hữu trí tuệ WINCO (WINCO CO., LTD.)

(54) CHẾ PHẨM PHỦ, SẢN PHẨM ĐƯỢC PHỦ BẰNG CHẾ PHẨM NÀY VÀ
PHƯƠNG PHÁP TẠO RA SẢN PHẨM NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ chứa hỗn hợp của ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic, và chế phẩm này còn chứa các hạt được chọn từ hạt có đặc tính chịu mài mòn, hạt có đặc tính gia cố bề mặt, hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng, trong đó hỗn hợp này chứa bo và silic với tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 3:100 đến 100:3 tính theo trọng lượng, trong đó bo và silic có mặt trong hỗn hợp này với lượng ít nhất 25% trọng lượng, và trong đó ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic là không chứa oxy ngoại trừ lượng oxy lẫn vào không tránh được, và trong đó hỗn hợp này là hỗn hợp hạt trộn cơ học và các hạt có cỡ hạt trung bình nhỏ hơn 250µm. Sáng chế còn đề cập đến sản phẩm được phủ bằng chế phẩm này và phương pháp tạo ra sản phẩm này.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ, sản phẩm được phủ bằng chế phẩm này và phương pháp tạo ra sản phẩm này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Ngày nay, có nhiều phương pháp khác nhau để ghép nối các hợp kim có nhiệt độ nóng chảy cao với nhau. Ở đây, nhiệt độ cao dùng để chỉ nhiệt độ nóng chảy cao hơn 900°C . Một phương pháp được sử dụng phổ biến là hàn. Hàn là phương pháp trong đó vật liệu nền được làm nóng chảy khi có hoặc không có vật liệu bổ sung, nghĩa là sự tạo ra sản phẩm đúc bằng cách làm nóng chảy và hóa rắn lại. Phương pháp ghép nối khác là hàn vảy cứng. Trong quá trình hàn vảy cứng, chất hàn vảy cứng được đưa vào vật liệu nền, và chất hàn vảy cứng này được làm nóng chảy trong quá trình hàn ở nhiệt độ cao hơn 450°C , nghĩa là tạo ra mặt phân cách lỏng ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ pha lỏng của vật liệu nền cần được ghép nối. Khi hàn vảy cứng, mặt phân cách lỏng cần có độ thấm ướt và độ chảy tốt. Hàn vảy mềm là quá trình trong đó hai hoặc nhiều chi tiết kim loại được ghép nối với nhau bằng cách làm nóng chảy và làm chảy kim loại hàn, nghĩa là hợp kim hàn, vào mối nối, hợp kim hàn có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn nhiệt độ nóng chảy của chi tiết gia công. Trong quá trình hàn vảy cứng, kim loại hàn nóng chảy ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ nóng chảy của hợp kim hàn nhưng kim loại của chi tiết gia công không nóng chảy. Sự khác biệt giữa hàn vảy mềm và hàn vảy cứng là dựa vào nhiệt độ nóng chảy của hợp kim hàn. Nhiệt độ 450°C thường được sử dụng làm điểm mô tả thực tế giữa hàn vảy mềm và hàn vảy cứng.

Khi hàn vảy cứng, chất hàn vảy cứng được phủ để tiếp xúc với khoảng trống hoặc khe hở giữa vật liệu nền cần được ghép nối. Trong quá trình nung nóng, chất hàn vảy cứng nóng chảy và điền đầy khe hở cần được ghép nối. Quá trình hàn vảy cứng có ba giai đoạn chính, trong đó giai đoạn thứ nhất được gọi là giai đoạn vật lý. Giai đoạn vật lý này bao gồm làm thấm ướt và làm chảy chất hàn vảy cứng. Giai đoạn thứ hai thường xảy ra ở nhiệt độ ghép nối cho trước. Trong giai đoạn này, có sự tương tác chất rắn-chất lỏng kèm theo sự chuyển khối đáng kể. Thể tích vật liệu nền nằm sát ngay

kim loại hàn dạng lỏng sẽ hòa tan hoặc được cho phản ứng với kim loại hàn dạng lỏng trong giai đoạn này. Đồng thời, một lượng nhỏ các nguyên tố của pha lỏng xâm nhập vào vật liệu nền dạng rắn. Sự phân bố lại này của các thành phần trong vùng mối nối dẫn đến sự thay đổi thành phần của kim loại hàn, và đôi khi, thay đổi sự bắt đầu hóa rắn của kim loại hàn. Giai đoạn cuối cùng, chồng chéo với giai đoạn hai, được đặc trưng bởi sự tạo ra vi cấu trúc của mối nối thu được và xảy ra trong quá trình hóa rắn và làm nguội mối nối.

Phương pháp có liên quan chặt chẽ đến quá trình hàn và hàn vảy cứng là phương pháp hàn vảy cứng khuếch tán (diffusion brazing: DFB) còn được gọi là phương pháp tạo liên kết pha lỏng tạm thời (Transient Liquid-phase: TLP), hoặc phương pháp tạo liên kết bằng cách khuếch tán hoạt hoá (Activated Diffusion Bonding: ADB). Đôi khi phương pháp tạo liên kết bằng cách khuếch tán được đề cập nhưng phương pháp tạo liên kết bằng cách khuếch tán dùng để chỉ phương pháp hàn vảy cứng bằng cách khuếch tán hoặc phương pháp hàn bằng cách khuếch tán và hiện nay phương pháp tạo liên kết bằng cách khuếch tán được cho là thuật ngữ không chuẩn.

Quá trình hàn vảy cứng bằng cách khuếch tán (DFB), tạo liên kết pha lỏng tạm thời (TLP), hoặc tạo liên kết bằng cách khuếch tán hoạt hoá (ADB) là quá trình làm kết tụ hoặc ghép nối các kim loại bằng cách nung nóng chúng đến nhiệt độ hàn vảy cứng thích hợp mà khi đó hoặc kim loại hàn đã được bố trí trước sẽ nóng chảy hoặc chảy nhờ tác dụng mao dẫn hoặc pha lỏng sẽ được tạo ra tại chỗ giữa hai bề mặt tiếp xúc với nhau. Trong trường hợp thứ nhất, kim loại hàn khuếch tán vào vật liệu nền cho đến khi các tính chất lý học và cơ học của mối nối gần như giống hệt các tính chất lý học và cơ học của kim loại nền. Hai khía cạnh cơ bản của phương pháp DFB, TLP, hoặc ADB là:

- cần tạo ra chất lỏng và chất lỏng này trở nên có hoạt tính ở vùng ghép nối; và
- cần có sự khuếch tán rộng của các nguyên tố kim loại hàn vào vật liệu nền.

Các cách để thu được mối nối gần giống hoặc giống hệt với mối nối thu được khi sử dụng phương pháp DFB, TLP, hoặc ADB, trong khi vẫn có ưu điểm của phương pháp hàn vảy cứng, ví dụ, có khả năng hàn vảy cứng đối với các khe hở lớn, v.v., là bằng cách sử dụng kỹ thuật hàn vảy cứng và các chất hàn vảy cứng đã được bộc lộ trong các Công bố đơn sáng chế quốc tế WO 2002/38327, WO 2008/060225 và WO 2008/060226. Bằng cách sử dụng chất hàn vảy cứng, nghĩa là hợp kim hàn vảy

cứng, có thành phần gần giống với vật liệu nền nhưng có bổ sung thêm các thành phần làm giảm điểm nóng chảy, ví dụ, silic và/hoặc bo và/hoặc phospho, mỗi hàn vảy cứng sẽ có thành phần gần giống với vật liệu nền sau khi hàn vảy cứng do chất hàn vảy cứng có thành phần tương tự với vật liệu nền, chất hàn vảy cứng trộn lẫn với vật liệu nền do sự hoà tan của vật liệu nền và các thành phần làm giảm điểm nóng chảy khuếch tán vào vật liệu nền.

Có nhiều lý do để chọn phương pháp ghép nối nhất định, như chi phí, năng suất, độ an toàn, tốc độ và các đặc tính của sản phẩm ghép nối thu được. Các môđun-E được gắn chặt sẽ làm giảm nguy cơ ứng suất cao trong vật liệu có môđun-E cao hơn khi vật liệu này chịu tải. Khi hệ số giãn nở do nhiệt giống nhau sẽ làm giảm ứng suất do nhiệt gây ra. Khi điện thế hoá giống nhau sẽ làm giảm nguy cơ ăn mòn.

Việc sử dụng chất hàn, nghĩa là các hợp kim, khi ghép nối các kim loại nền là quy trình phức tạp. Chất hàn này cần phải ở dạng có thể được phủ lên kim loại nền trước khi nung nóng. Thông thường, các chất hàn dạng hạt được tạo ra theo cách thích hợp bằng phương pháp phun mù, nhưng các chất hàn này cũng có thể ở dạng lá kim loại được tạo ra bằng phương pháp “kéo sợi nóng chảy”, nghĩa là hóa rắn nhanh (rapid solidification: RS). Liên quan đến quá trình RS, chỉ một số lượng hạn chế các chế phẩm có thể được tạo ra bằng quá trình này. Số lượng chế phẩm có thể được tạo thành hạt, tức là tạo thành bột, là lớn hơn và quá trình sản xuất bột thông thường được thực hiện bằng cách phun mù. Khi các chất hàn ở dạng bột, chúng thường được kết hợp với các chất kết dính để tạo ra bột nhão, bột nhão này có thể được phủ lên kim loại nền theo cách thích hợp bất kỳ. Việc sản xuất lá kim loại hoặc bột hợp kim là các quá trình phức tạp và do đó đắt tiền. Khi bột được sử dụng, bột này thích hợp để phủ ở dạng bột nhão như đã nêu trên đây, điều này sẽ làm tăng thêm bước bổ sung cho quy trình do bột nhão cần được trộn lẫn với chất kết dính và các thành phần khác để tạo ra các đặc tính có lợi cho bột nhão. Đối với cả hai quy trình, cần tiến hành một lượng lớn công việc để thu được dạng, tính chất, hình dạng và thành phần thích hợp của chất hàn trước khi làm nóng chảy và ghép nối.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là làm giảm các bước tiến hành khi phủ lớp nền làm bằng vật liệu nền. Mục đích khác của sáng chế là đơn giản hoá việc phủ các vật liệu

nền và do đó giảm chi phí.

Có thể có lợi nếu chọn vật liệu phủ chất hàn vảy cứng có thành phần gần giống với vật liệu nền, do vật liệu nền này đã được chọn theo mục đích của sản phẩm. Nếu có thể thực hiện và chi phí không bị giới hạn, sẽ tốt hơn nếu phát triển một lớp phủ chất hàn vảy cứng dùng cho mỗi vật liệu nền. Do đó, mục đích khác của sáng chế là làm giảm số lượng lớp phủ chất hàn vảy cứng cần thiết.

Theo đó, sáng chế đề xuất giải pháp cho các vấn đề kỹ thuật và mục đích nêu trên bằng khái niệm phủ mới và sáng tạo.

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ bao gồm hỗn hợp trộn cơ học của ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic, và chế phẩm phủ này còn bao gồm các hạt như hạt có đặc tính chịu mài mòn hoặc hạt có đặc tính gia công bề mặt hoặc hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng, trong đó hỗn hợp này chứa bo và silic với tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 3:100 đến 100:3 tính theo trọng lượng, trong đó bo và silic có mặt trong hỗn hợp này với lượng ít nhất 25% trọng lượng, và trong đó ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic là không chứa oxy ngoại trừ lượng oxy lẫn vào không tránh được, và trong đó hỗn hợp này là hỗn hợp hạt trộn cơ học và các hạt có cỡ hạt trung bình nhỏ hơn 250 μ m.

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề cập đến sản phẩm có lớp nền làm bằng vật liệu nền, vật liệu nền này có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1100°C, và sản phẩm này còn có chế phẩm phủ theo các ví dụ của khía cạnh thứ nhất, ít nhất một phần sản phẩm này có lớp chế phẩm phủ trên bề mặt.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề cập đến sản phẩm được phủ thu được bằng cách nung nóng sản phẩm theo các ví dụ của khía cạnh thứ hai đến nhiệt độ hàn vảy cứng.

Theo khía cạnh thứ tư, sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra sản phẩm được phủ chứa ít nhất một lớp nền làm bằng vật liệu nền bao gồm các bước:

bước (i): phủ ít nhất một nguồn silic và ít nhất một nguồn bo trên ít nhất một lớp nền và các hạt được chọn từ nhóm bao gồm hạt có đặc tính chịu mài mòn, hạt có đặc tính gia công bề mặt, hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng;

bước (ii): nung nóng ít nhất một lớp nền đã được phủ đến nhiệt độ hàn vảy cứng thấp hơn 1250°C trong lò chân không, trong khí trơ, dưới áp suất giảm, hoặc tổ hợp các môi trường này; và

bước (iii): làm nguội ít nhất một lớp nền đã được phủ và nung nóng để thu được sản phẩm được phủ.

Theo khía cạnh thứ năm, sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ dùng để tạo ra sản phẩm được phủ.

Theo khía cạnh thứ sáu, sáng chế đề cập đến chế phẩm dùng để phủ các chi tiết hoặc tấm của thiết bị trao đổi nhiệt, phủ thiết bị phản ứng dạng tấm, phủ các chi tiết của thiết bị phản ứng, các chi tiết của thiết bị tách và các chi tiết của thiết bị lắng gạn.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 thể hiện tấm dập hình tròn được sử dụng trong các ví dụ.

Fig.2 thể hiện đồ thị kết quả của “phép tính gần đúng”.

Fig.3 thể hiện đồ thị trong đó chiều rộng mỗi nối được vẽ đồ thị theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ ($\text{g}/3500\text{mm}^2$), cùng với các đường xu hướng.

Fig.4 thể hiện đồ thị khác trong đó diện tích điền đầy của mỗi hàn vảy cứng được tính dựa trên chiều rộng được vẽ đồ thị theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ ($\text{g}/3500\text{mm}^2$), cùng với các đường xu hướng.

Fig.5 thể hiện đồ thị khác trong đó tỷ lệ % mẫu được thử nghiệm kéo trong đó mỗi nối chắc hơn hoặc chắc bằng tấm vật liệu được vẽ đồ thị theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ ($\text{g}/3500\text{mm}^2$), cùng với các đường xu hướng.

Fig.6 thể hiện ảnh chụp một trong số các mẫu thử nghiệm sau khi ghép nối.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trong phần sau đây, sáng chế sẽ được giải thích bằng cách sử dụng các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.6. Các hình vẽ này được đưa ra nhằm mục đích minh họa sáng chế và không dự định giới hạn phạm vi của sáng chế.

Fig.1 thể hiện tấm dập hình tròn, có đường kính 42mm, độ dày 0,4mm và được làm bằng thép không gỉ loại 316L. Tấm dập này có hai gờ được dập chữ V và H, mỗi gờ có chiều dài khoảng 20mm. Gờ chữ V hoặc v là ký hiệu viết tắt cho gờ trái và gờ chữ H hoặc h là ký hiệu viết tắt cho gờ phải, và v và h được sử dụng trong các Ví dụ 5 và 9 dưới đây.

Fig.2 thể hiện đồ thị kết quả của phép tính gần đúng 1 dựa trên diện tích mặt cắt ngang của các mẫu thử nghiệm được hàn vảy cứng. Mặt cắt ngang trên Fig.2 thể hiện

gờ dập ở phía trên của Fig.2. Ở phía dưới của Fig.2 là tấm phẳng mà là tấm được phủ trước đó. Trong ống mao dẫn giữa gờ và bề mặt tấm phẳng, mỗi nối được tạo ra. Để ước tính lượng hợp kim hàn vảy cứng tạo ra trong mỗi nối, các phép tính gần đúng và tính toán sau đây được thực hiện. Thể tích ở tâm mỗi nối được cho là không đáng kể. Do đó, thể tích hợp kim hàn vảy cứng của các mối nối theo chiều rộng, nghĩa là chiều rộng B nhỏ hơn hoặc bằng 1,21mm, được đặt bằng 0. Trên các mặt ngoài của gờ, nghĩa là $((X - B)/2)$, hợp kim hàn vảy cứng tạo ra được tích tụ. Do đó, hợp kim hàn vảy cứng ở dạng nóng chảy được vận chuyển nhờ lực mao dẫn đến vùng mỗi nối chủ yếu là từ các vùng lân cận để tạo ra thể tích hợp kim hàn vảy cứng của các tam giác.

Theo Fig.2, có thể tính diện tích bằng cách ước lượng rằng hai tam giác được tạo ra trên mỗi phía của phần tâm mỗi nối. Góc trong tam giác đo được là khoảng 28° . Tổng chiều rộng đo được là X và chiều rộng của phần tâm là B. Do đó, tổng diện tích (A) của hai tam giác là $A = 2 \times (((X - B)/2) \times ((X - B)/2) \times \tan(\alpha))/2$, nghĩa là theo Fig. 2, $A = 2 \times (((X - 1,21)/2) \times ((X - 1,21)/2) \times \tan(28))/2$. Tổng thể tích của hợp kim hàn vảy cứng tạo ra mà chảy tới khe hở sẽ bằng diện tích này nhân với chiều dài của hai gờ. Một số hợp kim hàn vảy cứng tạo ra không chảy tới khe hở và nằm lại trên bề mặt.

Fig.3 thể hiện đồ thị trong đó chiều rộng đo được theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ ($\text{g}/3500\text{mm}^2$) cùng với các đường xu hướng. Kết quả của các thử nghiệm mỗi hàn được thể hiện trong Bảng 8 và 9 của Ví dụ 5 và trên Fig.3. Các đường xu hướng được thể hiện trên Fig.3 là dựa trên hàm số $Y = K \times X + L$. Kết quả chiều rộng đo được và diện tích gần đúng được thể hiện trên đồ thị trên Fig.3. Lượng hỗn hợp được phủ, xem Bảng 8 và 9, nằm trong khoảng từ $0,06 \text{ g}/3500\text{mm}^2$ đến $0,96\text{g}/3500\text{mm}^2$, tương ứng với $0,017\text{mg}/\text{mm}^2$ đến $0,274\text{mg}/\text{mm}^2$, tương đương với lượng hỗn hợp được phủ nằm trong khoảng từ 1,3 đến $5,1\text{mg}/\text{mm}^2$ được sử dụng trong Ví dụ 2.

Đường xu hướng $Y = K \times X + L$ của hỗn hợp được xác định, Y là chiều rộng mỗi nối, K là độ dốc của đường này, X là lượng hỗn hợp được phủ và L là hằng số, xem Fig.3. Do đó, chiều rộng của mỗi hàn vảy cứng là:

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp A3.3) = $1,554 + 9,922 \times (\text{lượng hỗn hợp A3.3 được phủ})$

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp B2) = $0,626 + 10,807 \times (\text{lượng hỗn hợp B2 được phủ})$

phủ)

$$Y \text{ (chiều rộng đối với hỗn hợp C1)} = 0,537 + 8,342 \times (\text{lượng hỗn hợp C1 được}$$

phủ)

$$Y \text{ (chiều rộng đối với hỗn hợp F0)} = 0,632 + 7,456 \times - (\text{lượng hỗn hợp F0 được}$$

phủ)

Như quan sát được từ Fig.3, trong số các hỗn hợp A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3 và F0, hỗn hợp A3.3 tạo ra lượng hợp kim hàn vảy cứng cao nhất trong mỗi nối theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ. Mẫu F0 không tạo ra mối nối đáng kể bất kỳ khi lượng phủ thấp hơn $0,20\text{g}/3500\text{mm}^2$.

Fig.4 thể hiện đồ thị khác trong đó diện tích điền đầy của mỗi hàn vảy cứng được tính dựa vào chiều rộng đo được theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ ($\text{g}/3500\text{mm}^2$) cùng với đường xu hướng. Đường xu hướng $Y = K \times X - L$ của hỗn hợp được xác định, Y là diện tích, K là độ dốc của đường này, X lượng hỗn hợp được phủ và L là hằng số, xem Fig.4.

$$Y \text{ (diện tích đối với hỗn hợp A3.3)} = 4,361 \times (\text{lượng hỗn hợp A3.3 được phủ}) - 0,161$$

$$Y \text{ (diện tích đối với hỗn hợp B2)} = 3,372 \times (\text{lượng hỗn hợp B2 được phủ}) - 0,318$$

$$Y \text{ (diện tích đối với hỗn hợp C1)} = 2,549 \times (\text{lượng hỗn hợp C1 được phủ}) - 0,321$$

$$Y \text{ (diện tích đối với hỗn hợp F0)} = 0,569 \times (\text{lượng hỗn hợp F0 được phủ}) - 0,093$$

Ước tính thể tích tạo ra dựa trên đồ thị được thể hiện trên Fig.4, ví dụ, đối với lượng phủ $0,18\text{g}/3500\text{mm}^2$, trừ mẫu F0, do “không tạo ra” mối hàn vảy cứng và mẫu D0.5 do dữ liệu quá ít, để thu được giá trị thể tích hợp kim hàn vảy cứng của các mẫu tạo ra trong mối nối giữa hai gờ, xem các công thức sau.

$$\text{Thể tích (A3.3)} = 0,63 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 25,2\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (B2)} = 0,30 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 12,0\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (C1)} = 0,12 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 4,8\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (E0.3)} = 0,10 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 4,0\text{mm}^3$$

Fig.5 thể hiện đồ thị khác trong đó tỷ lệ phần trăm (%) là tỷ lệ thành công của các mẫu được thử nghiệm kéo trong đó mỗi nối chắc hơn hoặc chắc bằng tấm vật liệu theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ, tức là số g/3500mm². Nếu tấm vật liệu chắc hơn mỗi nối dẫn đến mỗi nối bị bong thì kết quả được đặt bằng 0. Đối với các mẫu mà mỗi nối chắc hơn tấm vật liệu, sự khác nhau về kết quả sẽ không có ý nghĩa thống kê.

Fig.6 là hình ảnh thể hiện của một trong số các mẫu sau khi ghép nối. Hình ảnh này cho thấy rằng mỗi nối tạo ra giữa hai chi tiết. Mẫu này được lấy từ Ví dụ 10.

Sáng chế đề xuất giải pháp cho các vấn đề kỹ thuật và mục đích nêu trên bằng khái niệm phủ mới và sáng tạo.

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ chứa hỗn hợp trộn cơ học của ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic, và chế phẩm phủ này còn chứa các hạt như hạt có đặc tính chịu mài mòn hoặc hạt có đặc tính gia cố bề mặt hoặc hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng, trong đó hỗn hợp này chứa bo và silic với tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 3:100 đến 100:3 tính theo trọng lượng, trong đó bo và silic có mặt trong hỗn hợp này với lượng ít nhất 25% trọng lượng, và trong đó ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic là không chứa oxy ngoại trừ lượng oxy lẫn vào không tránh được, và trong đó hỗn hợp này là hỗn hợp hạt trộn cơ học và các hạt có cỡ hạt trung bình nhỏ hơn 250µm.

Chế phẩm phủ theo sáng chế dùng để chỉ vật liệu thích hợp để phủ lớp nền. Chế phẩm phủ này làm gia tăng các đặc tính cho lớp nền có lớp phủ. Ví dụ về các đặc tính này bao gồm đặc tính chịu mài mòn, đặc tính gia cố bề mặt, đặc tính xúc tác hoặc tổ hợp các đặc tính này. Việc làm gia tăng các đặc tính này đạt được bằng chế phẩm chứa các hạt và hỗn hợp trộn cơ học của ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic.

Hỗn hợp bột trộn cơ học dùng để chỉ việc trộn lẫn về mặt cơ học của hai hoặc nhiều thành phần. Hỗn hợp bột trộn cơ học chứa các hạt từ các nguồn khác nhau, mỗi hạt hoặc là nguồn bo hoặc là nguồn silic.

Các hạt có đặc tính làm gia tăng đặc tính bề mặt của lớp nền bao gồm, ví dụ, hạt có đặc tính chịu mài mòn hoặc hạt có đặc tính gia cố bề mặt hoặc hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng.

Chế phẩm phủ theo sáng chế có lợi ở chỗ chế phẩm này tạo ra khả năng thu được lớp nền có lớp phủ. Vật liệu phủ thu được trên lớp nền làm bằng vật liệu tương tự với (các) vật liệu của lớp nền ngoại trừ lớp phủ chứa lượng bổ sung của các nguyên

tổ trong hỗn hợp và các hạt phủ. Nhờ việc tạo ra vật liệu phủ trong đó vật liệu này có nguồn gốc một phần từ vật liệu nền của lớp nền, nguy cơ ăn mòn ít nhất là có thể được giảm đi.

Lớp nền dùng để chỉ các chi tiết của sản phẩm có thể thu được, chẳng hạn, các chi tiết này có thể bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở, các chi tiết dày như thiết bị tách hoặc thiết bị lắng gạn, v.v. hoặc các chi tiết mỏng như tấm hoặc cuộn. Các lớp nền cũng có thể là chi tiết bất kỳ cần được phủ. Lớp nền cũng có thể là các chi tiết gia công. Các lớp nền làm bằng vật liệu nền, nghĩa là vật liệu cần được phủ. Các vật liệu nền dùng để chỉ các kim loại nền hoặc hợp kim nền, các kim loại nền hoặc hợp kim nền này thích hợp để phủ. Ví dụ về các vật liệu nền có thể được tìm thấy trong Bảng 1, sáng chế không chỉ giới hạn ở các ví dụ được nêu trong Bảng 1.

Vật liệu nền là kim loại hoặc hợp kim. Hợp kim được định nghĩa là sự kết hợp chặt chẽ hoặc hợp chất của hai hoặc nhiều nguyên tố, hợp kim có mức độ đáng kể của toàn bộ hoặc hầu hết các đặc trưng của các thành phần thường được mô tả là kim loại. Các hợp kim là hợp chất chứ không phải hỗn hợp. Kim loại dùng để chỉ nguyên tố có đặc tính kim loại.

Bo được phân loại là á kim và không là kim loại. Silic là á kim có hoá trị bốn và không là kim loại. Bo và silic có thể là các hợp kim khi chúng ở trong hợp chất cùng với nguyên tố kim loại.

Các hợp chất là tổ hợp của hai hoặc nhiều nguyên tố. Thuỷ tinh, thép, oxit sắt là các hợp chất trong đó mọi nguyên tử bị hút bởi tất cả các nguyên tử liền kề để tạo ra chất rắn đồng nhất hoặc gần như đồng nhất, các khối này rõ ràng không chỉ là hỗn hợp trộn cơ học, các hợp chất hoá học có thành phần thay đổi hoặc không xác định như silicat, polyme được kết hợp hoá học nhưng là hợp chất có thành phần thay đổi.

Không muốn bị ràng buộc bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, các tác giả sáng chế tin rằng sự có mặt của bo tạo ra khả năng hàn và làm giảm điểm nóng chảy, và sự có mặt của silic làm giảm điểm nóng chảy.

Nguồn bo dùng để chỉ bo nguyên tố (B), hợp kim hoặc hợp chất chứa bo.

Nguồn silic dùng để chỉ silic nguyên tố (Si), hợp kim hoặc hợp chất chứa silic.

Lượng oxy lẫn vào dùng để chỉ lượng oxy không tránh được, chẳng hạn, lượng này được chứa trong nguồn silic hoặc nguồn bo thuộc loại dùng trong kỹ thuật, v.v., và lượng này có thể chiếm tới 5% trọng lượng oxy trong nguồn bo và chiếm tới 5% trọng

lượng trong nguồn silic. Lượng oxy lẫn vào có thể chiếm tới 10% trọng lượng.

Theo một ví dụ, nguồn silic được chọn từ một hoặc nhiều nguồn trong số silic nguyên tố, hợp kim chứa silic, hoặc hợp chất chứa silic.

Theo ví dụ khác, nguồn bo được chọn từ một hoặc nhiều nguồn trong số bo nguyên tố, hợp kim chứa bo, hoặc hợp chất chứa bo.

Theo một ví dụ khác, nguồn bo được chọn từ bo nguyên tố, bo cacbua, niken borua, silic borua và nguồn silic được chọn từ silic nguyên tố, silic cacbua, silic borua và sắt silixua.

Theo một ví dụ khác, ít nhất một nguồn bo có thể được chọn từ bo nguyên tố, B_4C , B_4Si , B_3Si , NiB , và FeB , và ít nhất một nguồn silic có thể được chọn từ silic nguyên tố, $FeSi$, SiC , và B_4Si , B_3Si .

Theo một ví dụ khác, các hạt có cỡ hạt nhỏ hơn $250\mu m$. Theo một ví dụ khác, cỡ hạt nhỏ hơn $160\mu m$. Theo một ví dụ khác, cỡ hạt nhỏ hơn $100\mu m$. Theo một ví dụ khác, cỡ hạt nhỏ hơn $50\mu m$.

Theo một ví dụ khác, silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 25% trọng lượng, tốt hơn là silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 35% trọng lượng, được ưu tiên hơn nếu silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 40% trọng lượng, được ưu tiên nhất nếu silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 45% trọng lượng,

Theo một ví dụ khác, silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 50% trọng lượng, tốt hơn là silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 60% trọng lượng, được ưu tiên hơn nếu silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 70% trọng lượng, được ưu tiên nhất nếu silic và bo có mặt trong hỗn hợp với lượng ít nhất 80% trọng lượng.

Lượng bo và silic trong hỗn hợp tùy thuộc vào độ tinh khiết của bo và silic và còn tùy thuộc vào loại nguồn silic hoặc nguồn bo được chứa trong hỗn hợp này. Chẳng hạn, nếu nguồn silic là $Fe - Si$, lượng Fe nhiều thì lượng bo và silic giảm đi. Bảng dưới đây đưa ra một số ví dụ.

Bảng 1

Hỗn hợp	B hoặc Si	B ₄ C, Fe-B, Fe-Si, Ni-B	Si	B	Tổng trọng lượng	Trọng lượng của B + Si	Lượng B + Si [% trọng lượng]
Si/B ₄ C	10,0	2,6		2,0	12,6	12,0	95,2
Si/Fe-B	10,1	12,5		2,0	22,6	12,1	53,5
B/Fe-Si	2,0	30,2	10,1		32,6	12,1	37,6
Si/Ni-B	10,1	13,0		2,0	23,1	12,1	52,4

Theo một ví dụ khác, hỗn hợp có tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 5:100 đến 2:1.

Theo một ví dụ khác, hỗn hợp có tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 5:100 đến 2:1.

Theo một ví dụ khác, hỗn hợp có tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 1:10 đến 7:10.

Theo một ví dụ khác, hỗn hợp có tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 15:100 đến 4:10.

Theo một ví dụ, các hạt có đặc tính chịu mài mòn là hạt cứng được chọn từ hạt hợp chất trên cơ sở hợp chất oxit, hợp chất nitrua, hợp chất cacbua, hợp chất borua, hoặc hỗn hợp của chúng.

Theo ví dụ khác, các hạt có đặc tính gia cố bề mặt là, ví dụ, zeolit.

Theo ví dụ khác, các hạt có đặc tính xúc tác là, ví dụ, titan oxit, magie oxit, kẽm oxit, v.v..

Theo ví dụ khác, hạt có đặc tính chịu mài mòn là một hoặc nhiều hạt hợp chất trong số hợp chất vonfram cacbua, bo nitrua (khô), titan nitrua, kim cương, compozit kim loại, crom borua. Các hạt này được mạ sơ bộ bằng kim loại, ví dụ, niken.

Theo ví dụ khác, chế phẩm phủ còn chứa bột vật liệu nền, trong đó vật liệu nền này có mặt với lượng nhỏ hơn 75% trọng lượng tính theo tổng trọng lượng của silic, bo và vật liệu nền.

Theo ví dụ khác, chế phẩm phủ còn chứa hợp kim hàn vảy cứng.

Theo một ví dụ khác, chế phẩm phủ còn chứa ít nhất một chất kết dính được chọn từ dung môi, nước, dầu, gel, sơn, sơn dầu, polyme, sáp hoặc hỗn hợp của chúng.

Theo một ví dụ, chất kết dính có thể được chọn từ polyeste, polyetylen, polypropylen, polyme acrylic, polyme (met)acrylic, rượu polyvinyl, polyvinyl axetat, polystyren, sáp.

Theo một ví dụ khác, chất kết dính có thể là polyeste, sáp hoặc hỗn hợp của chúng.

Theo một ví dụ khác, chế phẩm phủ là sơn hoặc bột nhão hoặc hệ phân tán.

Theo một ví dụ khác, chất kết dính là gel, và chế phẩm phủ là bột nhão.

Một lợi thế khi chế phẩm phủ là bột nhão, đó là bột nhão này có thể được phủ dễ dàng cho các vùng chọn lọc trên lớp nền.

Theo một ví dụ khác, chất kết dính là sơn hoặc sơn dầu, và chế phẩm phủ là sơn.

Một lợi thế của chế phẩm phủ là sơn, đó là sơn này có thể được phân bố dễ dàng trên bề mặt của lớp nền và gắn kết với bề mặt này và do đó có thể được xử lý, ví dụ, trong quá trình vận chuyển, đập, cắt, v.v..

Theo một ví dụ khác, chất kết dính được chọn từ polyeste, polyetylen, polypropylen, polyme acrylic, polyme (met)acrylic, rượu polyvinyl, polyvinyl axetat, polystyren, sáp hoặc hỗn hợp của chúng, và chế phẩm phủ là sơn hoặc bột nhão.

Theo một ví dụ khác, chất kết dính được chọn từ polyeste, polyetylen, polypropylen, polyme acrylic, polyme (met)acrylic, rượu polyvinyl, polyvinyl axetat, polystyren, sáp hoặc hỗn hợp của chúng, và chế phẩm phủ là sơn.

Theo một ví dụ khác, chất kết dính được chọn từ polyeste, polyetylen, polypropylen, polyme acrylic, polyme (met)acrylic, rượu polyvinyl, polyvinyl axetat, polystyren, sáp hoặc hỗn hợp của chúng, và chế phẩm phủ là bột nhão.

Theo một ví dụ khác, hỗn hợp được phân tán trong chất kết dính.

Theo một ví dụ khác, chế phẩm phủ là hệ phân tán.

Một lợi thế khi chế phẩm phủ là hệ phân tán, đó là chất kết dính có thể được làm bay hơi hết một cách dễ dàng sau khi hệ phân tán này được phủ lên bề mặt của lớp nền. Lợi thế khác là có ít cacbon bổ sung được đưa vào lớp phủ.

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề cập đến sản phẩm có lớp nền làm bằng vật liệu nền, vật liệu nền này có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1100°C, và sản phẩm này còn có chế phẩm phủ theo các ví dụ của khía cạnh thứ nhất, ít nhất một phần sản phẩm này có lớp chế phẩm phủ trên bề mặt. Ví dụ về các vật liệu nền khác nhau được liệt kê trong

trong Bảng 2, các vật liệu nền theo sáng chế không chỉ giới hạn ở các vật liệu được liệt kê này.

Bảng 2

Vật liệu nền	Nhiệt độ pha rắn gần đúng [°C]	Nhiệt độ pha lỏng gần đúng [°C]
Nickel 200/201	1435	1445
Nicrofer 5923hMo	1310	1360
Hợp kim Hastelloy ® C-2000 ®	1328	1358
Hastelloy B3	1370	1418
Hợp kim C22	1357	1399
Inconel 625	1290	1350
Hợp kim C 276	1325	1370
Nicrofer 3033	1330	1370
Nicrofer 3127HMo	1350	1370
AL6XN	1320	1400
254SMO	1325	1400
Monel 400	1299	1348
Thép mềm	1505	1535
Thép không gỉ loại 316	1390	1440
Thép không gỉ loại 304	1399	1421

Tùy thuộc vào vật liệu nền được sử dụng theo sáng chế, có các vật liệu nền có nhiệt độ pha rắn khác nhau, nghĩa là điểm nhiệt độ mà khi đó vật liệu hoá rắn, được ưu tiên khác nhau. Nhiệt độ pha rắn của vật liệu nền có thể cao hơn 1100°C.

Theo một ví dụ khác, vật liệu nền có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1220°C. Theo một ví dụ khác, vật liệu nền có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1250°C. Theo một ví dụ khác, vật liệu nền có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1300°C.

Theo một ví dụ, vật liệu nền được chọn từ hợp kim trên cơ sở sắt, hợp kim trên cơ sở niken, hợp kim trên cơ sở crom, hợp kim trên cơ sở coban và hợp kim trên cơ sở đồng.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa crom với lượng nằm trong khoảng từ 15 đến

22% trọng lượng, niken với lượng nằm trong khoảng từ 8 đến 22% trọng lượng, mangan với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 3% trọng lượng, silic với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 1,5% trọng lượng, molybden với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 8% trọng lượng, và lượng còn lại là sắt.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa Ni với lượng lớn hơn khoảng 80% trọng lượng.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa Fe với lượng lớn hơn 50% trọng lượng, Cr với lượng nhỏ hơn 13% trọng lượng, Mo với lượng nhỏ hơn 1% trọng lượng, Ni với lượng nhỏ hơn 1% trọng lượng và Mn với lượng nhỏ hơn 3% trọng lượng.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa Cr với lượng lớn hơn 10% trọng lượng và Ni với lượng lớn hơn 60% trọng lượng.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa Cr với lượng lớn hơn 15% trọng lượng, Mo với lượng lớn hơn 10% trọng lượng, và Ni với lượng lớn hơn 50% trọng lượng.

Theo ví dụ khác, vật liệu nền chứa Fe với lượng lớn hơn 10% trọng lượng, Mo với lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 30% trọng lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 30% trọng lượng, và Co với lượng lớn hơn 50% trọng lượng.

Theo ví dụ khác, lớp nền ở dạng cuộn kim loại, các tấm, chi tiết, tấm mỏng.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề cập đến sản phẩm được phủ thu được bằng cách nung nóng sản phẩm theo các ví dụ của khía cạnh thứ hai đến nhiệt độ hàn vảy cứng.

Theo một ví dụ, sản phẩm được phủ thu được là các tấm của thiết bị trao đổi nhiệt có lớp phủ, các tấm của thiết bị phản ứng có lớp phủ, các chi tiết của thiết bị phản ứng có lớp phủ, các chi tiết của thiết bị tách có lớp phủ, các chi tiết của thiết bị lắng gạn có lớp phủ, các chi tiết của bơm có lớp phủ, các chi tiết của van có lớp phủ.

Theo khía cạnh thứ tư, sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra sản phẩm được phủ chứa ít nhất một lớp nền làm bằng vật liệu nền bao gồm các bước:

bước (i): phủ ít nhất một nguồn silic và ít nhất một nguồn bo trên ít nhất một lớp nền và các hạt được chọn từ hạt có đặc tính chịu mài mòn, hạt có đặc tính gia cố bề mặt, hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng;

bước (ii): nung nóng ít nhất một lớp nền đã được phủ đến nhiệt độ hàn vảy cứng thấp hơn 1250°C trong lò chân không, trong khí trơ, dưới áp suất giảm, hoặc tổ hợp các môi trường này; và

bước (iii): làm nguội ít nhất một lớp nền đã được phủ và nung nóng để thu được sản phẩm được phủ.

Theo một ví dụ, phương pháp theo sáng chế có thể bao gồm bước phủ hỗn hợp trộn cơ học của ít nhất một nguồn silic và ít nhất một nguồn bo.

Theo một ví dụ, trong phương pháp theo sáng chế, ít nhất một nguồn silic và ít nhất một nguồn bo có thể là cùng một nguồn, tốt hơn nếu nguồn bo và nguồn silic là silic borua.

Theo một ví dụ, trong phương pháp theo sáng chế, ít nhất một nguồn silic có thể được phủ thành một lớp trên lớp nền, và ít nhất một nguồn bo có thể được phủ thành lớp khác trên lớp nền này.

Theo một ví dụ, trong phương pháp theo sáng chế, ít nhất một nguồn bo có thể được phủ thành một lớp thứ nhất trên lớp nền, và ít nhất một nguồn silic có thể được phủ thành lớp thứ hai phía trên lớp thứ nhất của lớp nền này.

Theo một ví dụ, trong bước (i) của phương pháp theo sáng chế, phủ chế phẩm theo các ví dụ của khía cạnh thứ nhất.

Theo một ví dụ khác, trong bước (i) của phương pháp theo sáng chế, sản phẩm thu được là sản phẩm theo các ví dụ của khía cạnh thứ hai.

Theo một ví dụ khác, trong bước (iii) của phương pháp theo sáng chế, sản phẩm thu được là sản phẩm theo khía cạnh thứ ba.

Theo một ví dụ, sản phẩm thu được được nung nóng đến nhiệt độ thấp hơn 1250°C. Theo phương án khác của sáng chế, sản phẩm có thể được nung nóng ở nhiệt độ thấp hơn 1200°C. Theo một phương án khác của sáng chế, sản phẩm có thể được nung nóng ở nhiệt độ cao hơn 1100°C. Theo một phương án khác của sáng chế, sản phẩm có thể được nung nóng ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 1100°C đến 1250°C.

Lớp bề mặt có thể được phủ dưới dạng bột chế phẩm phủ hoặc được phủ bằng phương pháp lắng đọng hơi vật lý (physical vapor deposition: PVD), hoặc phương pháp lắng đọng hơi hóa học (chemical vapor deposition: CVD). Phương pháp PVD là phương pháp lắng trong chân không và là thuật ngữ chung được sử dụng để mô tả phương pháp bất kỳ trong số các phương pháp khác nhau để lắng màng mỏng bằng cách ngưng tụ dạng hoá hơi của vật liệu màng mong muốn trên các bề mặt của chi tiết gia công khác nhau, ví dụ, trên các tấm của thiết bị bán dẫn. Phương pháp phủ chỉ bao gồm các quy trình vật lý như làm bay hơi trong chân không ở nhiệt độ cao và sau đó

ngưng tụ, hoặc bắn phá bằng cách phóng hồ quang chứ không bao gồm phản ứng hoá học ở bề mặt cần được phủ như trong phương pháp CVD. Phương pháp CVD là quy trình hoá học được dùng để tạo ra vật liệu dạng rắn có tính năng cao và độ tinh khiết cao. Ví dụ, quy trình này được sử dụng trong ngành bán dẫn để tạo ra các màng mỏng. Trong quy trình CVD thông thường, tấm, nghĩa là lớp nền, được cho tiếp xúc với một hoặc nhiều tiền chất mà sẽ phản ứng và/hoặc phân huỷ trên bề mặt lớp nền để tạo ra lớp lắng đọng mong muốn. Các sản phẩm phụ dễ bay hơi cũng thường được tạo ra, các sản phẩm này được loại bỏ bằng dòng khí qua buồng phản ứng.

Trong phương pháp theo sáng chế, sản phẩm được phủ thu được cũng có thể được chọn từ thiết bị trao đổi nhiệt, thiết bị phản ứng dạng tấm, các chi tiết của thiết bị phản ứng, các chi tiết của thiết bị tách, các chi tiết của thiết bị lắng đọng, các chi tiết của bơm, các chi tiết của van, v.v..

Theo khía cạnh thứ năm, sáng chế đề cập đến chế phẩm phủ dùng để tạo ra sản phẩm được phủ.

Theo khía cạnh thứ sáu, sáng chế đề cập đến chế phẩm dùng để phủ các chi tiết hoặc tấm của thiết bị trao đổi nhiệt, phủ thiết bị phản ứng dạng tấm, phủ các chi tiết của thiết bị phản ứng, của thiết bị tách và của thiết bị lắng đọng.

Các phương án khác của sáng chế được xác định trong phần yêu cầu bảo hộ.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Sáng chế được giải thích chi tiết hơn qua các ví dụ sau đây và các ví dụ này được đưa ra chỉ nhằm mục đích minh họa sáng chế mà không làm giới hạn phạm vi của sáng chế.

Các thử nghiệm trong các ví dụ này được thực hiện để đánh giá xem silic có thể tạo ra “hợp kim hàn vảy cứng” hay không khi silic này được phủ trên bề mặt của mẫu thử nghiệm làm bằng vật liệu nền. Ngoài ra, bo (B) với lượng khác nhau được bổ sung, do bo có thể làm giảm điểm nóng chảy của hợp kim hàn vảy cứng. Bo cũng có thể làm thay đổi tính năng thấm ướt của hợp kim hàn vảy cứng. Đặc tính của hỗn hợp thử nghiệm cũng được đánh giá. Trong các ví dụ này, wt% là tỷ lệ phần trăm trọng lượng và atm% là tỷ lệ phần trăm của nguyên tử.

Nếu không được chỉ rõ, các mẫu thử nghiệm làm bằng kim loại nền của tất cả các thử nghiệm được rửa sạch bằng nước rửa chén và bằng axeton trước khi các mẫu

hỗn hợp silic và bo được bổ sung vào mẫu thử nghiệm.

Ví dụ 1: Điều chế các hỗn hợp của bo và silic để thử nghiệm:

Mẫu thử nghiệm số C1 được điều chế bằng cách trộn 118,0g bột silic tinh thể có cỡ hạt lọt qua lưới số 325, 99,5% (tính theo kim loại), mã sản phẩm 7440-21-3 của Alfa Aesar - Johnson Matthey, với 13,06g bột bo tinh thể có cỡ hạt lọt qua lưới số 325, 98% (tính theo kim loại), mã sản phẩm 7440-42-8 của Alfa Aesar - Johnson Matthey và 77,0g chất kết dính Nicorobraz S-30, sản phẩm của Wall Colmonoy trong thiết bị trộn Varimixer BEAR, sản phẩm của Busch & Holm để thu được 208g bột nhão là mẫu C1. Tất cả các mẫu thử nghiệm được điều chế theo quy trình giống như mẫu C1. Các hỗn hợp này được nêu tóm tắt trong Bảng 3.

Bảng 3

Mẫu số	Bo [g]	Silic [g]	Chất kết dính S-30 [g]	Tổng trọng lượng [g]
F0	0,00	124,7	73,3	198
E0.3	4,30	123,9	72,1	200
D0.5	6,41	121,2	75,0	203
C1	13,06	118,0	77,0	208
B2	24,88	104,5	72,81	202
A3.3	11,46	22,9	19,3	54,0

Các mẫu G15, H100, I66 và J được điều chế theo cách giống như các mẫu F0, E0.3, D0.5, C1, B2 và A3.3, chỉ khác là chất kết dính khác được sử dụng. Chất kết dính này là Nicorobraz S-20, sản phẩm của Wall Colmonoy. Các mẫu thử nghiệm này được nêu tóm tắt trong Bảng 4.

Bảng 4

Mẫu số	Bo [g]	Silic [g]	Chất kết dính S-20 [g]	Tổng trọng lượng [g]
G15	0,37	2,24	3,1	5,7
H100	4,19	0	5,3	9,5
I66	1,80	2,70	5,5	10,0
J	2,03	2,02	5,0	9,0

Tỷ lệ, tỷ lệ phần trăm trọng lượng và tỷ lệ phần trăm nguyên tử của các mẫu này cũng được tính toán như thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5

Mẫu hỗn hợp số	Tỷ lệ [trọng lượng]		Lượng [tỷ lệ % trọng lượng]		Lượng [tỷ lệ % nguyên tử]	
	Bo	Silic	Bo	Silic	Bo	Silic
F0	0	100	0	100	0	100
E0.3	3	100	3	97	8	92
D0.5	5	100	5	95	12	88
C1	10	100	9	91	21	79
B2	19	100	16	84	33	67
A3.3	33	100	25	75	46	54
G15	17	100	14	86	30	70
H100	100	0	100	0	100	0
I66	66	100	40	60	63	37
J	100	100	50	50	72	28

Xác định hàm lượng chất kết dính (polyme và dung môi) trong chất kết dính S-20 và S-30.

Hàm lượng chất “khô” trong gel cũng được thử nghiệm. Các mẫu chất kết dính S-20 và S-30 được cân và sau đó cho vào lò ở nhiệt độ 98°C trong thời gian 18 giờ. Sau khi các mẫu được lấy ra khỏi lò, chúng được cân lại. Kết quả có thể được tìm thấy trong Bảng 6.

Bảng 6

Chất kết dính	Trước khi sấy trong lò [g]	Sau khi sấy trong lò [g]	Tỷ lệ polyme [% trọng lượng]
S-20	199,64	2,88	1,44
S-30	108,38	2,68	2,47

Ví dụ 2: Thử nghiệm hàn vảy cứng

Khi thử nghiệm đặc tính chảy và thấm ướt của các chất hàn vảy cứng của giải pháp đã biết, trọng lượng chất hàn vảy cứng đã phủ là 2,0g tương ứng với 0,2g silic.

Từ các hỗn hợp bo và silic được thử nghiệm, lượng tương đương của bo và silic trong các chế phẩm thử nghiệm được sử dụng. Chất hàn vảy cứng chứa silic với lượng 10% trọng lượng, do đó 0,2g hỗn hợp của bo và silic được phủ lên các mẫu thử nghiệm. Các mẫu thử nghiệm này là chi tiết hình tròn có đường kính 83mm, độ dày 0,8mm và các chi tiết thử nghiệm này được làm bằng thép không gỉ loại 316L. Do không dự đoán được rằng 0,2g hỗn hợp (Si và B) sẽ tương ứng với 2g hợp kim hàn vảy cứng nên “hợp kim hàn vảy cứng tạo ra” phải được tạo ra trước tiên từ kim loại nền và Si và B. Do đó, lượng cao hơn, nghĩa là 0,4g cũng được thử nghiệm. Tính năng của “hợp kim hàn vảy cứng tạo ra” được thử nghiệm về khả năng chảy xem nếu “hợp kim hàn vảy cứng này” không chảy, bo và silic sẽ chỉ khuếch tán vào kim loại nền hoặc thậm chí có làm nóng chảy kim loại nền hay không? Tất cả các mẫu được hàn vảy cứng trong lò chân không ở nhiệt độ 1210°C trong thời gian 1 giờ. Các thử nghiệm kép được sử dụng. Nghĩa là hai trọng lượng 0,2g và 0,4g của các mẫu thử nghiệm kép và sáu hỗn hợp khác nhau nghĩa là F0, E0.3, D0.5, C1, B2 và A3.3, tổng cộng là $2 \times 2 \times 6 = 24$ mẫu. Các hỗn hợp này được phủ trên vùng hình tròn của chi tiết kim loại, có đường kính nằm trong khoảng từ 10 đến 14mm, nghĩa là bề mặt có diện tích nằm trong khoảng từ 78 đến 154mm² hoặc lượng hỗn hợp phủ nằm trong khoảng từ 1,3 đến 5,1mg/mm².

Kết quả

Đã quan sát được rõ ràng các chi tiết thử nghiệm của kim loại nền đã nóng chảy và một số loại hỗn hợp nóng chảy được tạo ra. Cũng đã quan sát được rằng theo một số khía cạnh, hỗn hợp nóng chảy xuất hiện dưới dạng hợp kim hàn vảy cứng chảy được thành dòng. Không xác định kích thước thấm ướt, rõ ràng là lượng bo trong hỗn hợp tăng lên làm cho khả năng thấm ướt tốt hơn. Tuy nhiên, cũng thấy rằng đối với một số mẫu, toàn bộ chiều dày của vùng đã phủ nóng chảy nên tạo thành lỗ thủng ở giữa mẫu thử nghiệm. Đối với “các mẫu 0,2g”, 5 trong số 12 mẫu thử nghiệm có lỗ thủng, và đối với “các mẫu 0,4g”, 10 trong số 12 mẫu có lỗ thủng.

Do đó, kết luận rằng không thể thay đổi từ chất hàn vảy cứng dạng bột nhão và dạng tương tự và phủ theo điểm hoặc đường thẳng bằng “lượng tương đương” của hỗn hợp bo và silic, do hỗn hợp bo và silic nóng chảy sẽ tạo ra lỗ thủng trong kim loại nền nếu mẫu thử nghiệm này mỏng, trong trường hợp này 0,8mm. Nếu mẫu thử nghiệm dày hơn được sử dụng, có thể không xuất hiện lỗ thủng nhưng “các rãnh” có thể được tạo ra trong kim loại nền. Hiện tượng này có thể được ngăn ngừa hoặc cải thiện bằng

cách bổ sung kim loại nền, ví dụ dưới dạng bột, vào hỗn hợp bo và silic. Nếu chỉ silic được phủ, nghĩa là mẫu F0, kết quả thu được dường như có đặc tính chảy và thấm ướt kém hơn so với các mẫu khác trong đó cả bo và silic được phủ.

Ví dụ 3: phương pháp phủ mới

Trong ví dụ này, các tấm thử nghiệm được chuẩn bị để thử nghiệm mối hàn, thử nghiệm ăn mòn và thử nghiệm kéo đồng thời. Từ Ví dụ 2 đã kết luận được rằng có thể có rủi ro nếu phủ hỗn hợp silic và bo theo điểm hoặc đường thẳng trên các tấm có thành mỏng. Do đó, các mẫu thử nghiệm mới được đánh giá, nghĩa là các mẫu thử nghiệm mới được phủ các hỗn hợp Si và B khác nhau để thử nghiệm mối hàn, thử nghiệm ăn mòn, và thử nghiệm kéo.

Theo đó, các mẫu thử nghiệm mới là các tấm làm bằng thép không gỉ loại 316L. Các tấm này có kích thước chiều rộng 100mm, chiều dài nằm trong khoảng 180 đến 200mm và độ dày 0,4mm. Tất cả các tấm được rửa sạch bằng nước rửa chén và bằng axeton trước khi phủ các hỗn hợp Si và B. Trọng lượng được xác định. Trên mỗi tấm, phần có chiều dài 35mm tính từ cạnh ngắn được che đi.

Các hỗn hợp khác nhau được sử dụng là A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3, F0, G15, H100, và I66, tất cả các hỗn hợp này đều được bổ sung chất kết dính S-30. Các tấm này được “phủ” hỗn hợp trên vùng bề mặt không được che của chúng, bề mặt này có kích thước 100mm x 35mm. Sau khi sấy trong thời gian trên 12 giờ ở nhiệt độ trong phòng, băng dính che phủ được bóc đi và trọng lượng mỗi tấm được xác định. Trọng lượng được thể hiện trong Bảng 7 dưới đây là tổng trọng lượng của hỗn hợp trên diện tích $100\text{mm} \times 35\text{mm} = 3500\text{mm}^2 = 35\text{cm}^2$.

Bảng 7

Mẫu số	Tỷ lệ B : Si [trọng lượng]	Trọng lượng của hỗn hợp + chất kết dính khô [g]	Trọng lượng của hỗn hợp Si + B mà không có chất kết dính [g]	Trọng lượng của hỗn hợp trên một đơn vị diện tích [mg/cm ²]
A3.3	33 : 100	0,0983	0,0959	2,74
B2	19 : 100	0,0989	0,0965	2,76
C1	10 : 100	0,1309	0,1277	3,65
D0.5	5 : 100	0,1196	0,1166	3,33
E0.3	3 : 100	0,0995	0,0970	2,77

H100	100 : 0	0,1100	0,1073	3,07
I66	66 : 100	0,0900	0,0878	2,51

Ví dụ 4: Thử nghiệm uốn-ăn mòn các mẫu

Các tấm thử nghiệm từ Ví dụ 3 được cắt thành các miếng mẫu có chiều rộng 35mm để tạo ra vùng bề mặt được phủ có kích thước 35mm x 35mm trên mỗi miếng. Tấm dập hình tròn được đặt lên vùng bề mặt này của các miếng. Tấm dập hình tròn này được thể hiện trên Fig.1. Tấm dập này có đường kính 42mm và độ dày 0,4mm và được làm bằng thép không gỉ loại 316L. Các mẫu thử nghiệm được hàn vảy cứng trong 1 giờ ở nhiệt độ 1210°C. Các mẫu được chuẩn bị cho thử nghiệm ăn mòn được phủ mẫu hỗn hợp A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3, H100, I66 và J, xem Bảng 5.

Các mẫu được thử nghiệm theo phương pháp thử nghiệm ăn mòn ASTM A262, "Standard Practices for Detecting Susceptibility to inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels". "Practice E - Copper - Copper Sulfate - Sulfuric Acid. The test for Detecting Susceptibility to Inter-granular Attack in Austenitic Stainless Steels", được chọn từ phương pháp thử nghiệm. Lý do của việc chọn thử nghiệm ăn mòn này là do sự nghi ngờ rằng bo có thể phản ứng với crom trong thép để tạo ra crom borua, chủ yếu ở vùng ranh giới hạt, và do đó sẽ làm gia tăng nguy cơ tấn công ăn mòn giữa các hạt. Các mẫu được cho vào dung dịch axit sulfuric 16% đun sôi cùng với đồng sulfat trong thời gian 20 giờ như trong tiêu chuẩn được gọi là tiêu chuẩn "thực tế" và sau đó thực hiện thử nghiệm uốn, theo chương 30 của tiêu chuẩn này.

Kết quả của thử nghiệm ăn mòn và cắt các mẫu thử nghiệm

Các mẫu thử nghiệm được thử nghiệm uốn theo phương pháp thử nghiệm ăn mòn nêu trong chương 30.1. Không mẫu nào trong số các mẫu có dấu hiệu cho thấy sự tấn công ăn mòn giữa các hạt khi quan sát các bề mặt được uốn bằng mắt thường. Sau khi thử nghiệm theo phương pháp ASTM, các mẫu thử nghiệm đã uốn được cắt, mài và đánh bóng và mặt cắt ngang được đánh giá bằng cách soi kính hiển vi quang học và theo phương pháp phổ phân tán năng lượng (Energy Dispersive Spectroscopy: EDS). Kết quả được nêu tóm tắt trong Bảng 8.

Bảng 8

Mẫu số	Quan sát bề mặt bằng mắt thường để phát hiện vết nứt do ăn mòn khi được uốn theo tiêu chuẩn ASTM	Kết quả đánh giá về mặt luyện kim của các mẫu thử nghiệm ăn mòn được cắt ngang và các mẫu thử nghiệm được uốn. Kết quả SEM-EDS
A3.3	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn Lớp bề mặt có chiều dày tối đa 8 μ m có vài vết nứt. Pha có vết nứt có hàm lượng Cr và B cao, có thể là do Cr-B kết tủa.
B2	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn Lớp bề mặt có chiều dày tối đa 8 μ m có vài vết nứt. Pha có vết nứt có hàm lượng Cr và B cao, có thể là pha crom borua
C1	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn hoặc vết nứt
D0.5	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn hoặc vết nứt
E0.3	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn Lớp bề mặt có chiều dày tối đa khoảng 60 μ m có vài vết nứt. Pha có vết nứt có hàm lượng Si cao thường là <5% trọng lượng
H100	Không có vết nứt	Bề mặt và mối hàn bị ăn mòn
I66	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn Lớp bề mặt có chiều dày tối đa khoảng 12 μ m có vài vết nứt. Pha có vết nứt có hàm lượng Cr và B cao, có thể là pha crom borua
J	Không có vết nứt	Không có hiện tượng ăn mòn Lớp bề mặt có chiều dày tối đa khoảng 20 μ m có vài vết nứt. Pha có vết nứt có hàm lượng Cr và B cao, có thể là pha crom borua

Nhận xét

Rõ ràng là khi bổ sung bo với lượng lớn như đối với mẫu H100, J, I66, lớp dễ vỡ được tạo ra trên bề mặt. Lớp này có thể là do nồng độ của các chất kết tủa là crom borua cao, tăng lên theo lượng bo. Không phát hiện lớp dễ vỡ trong mẫu H100, có thể là do hiện tượng ăn mòn trên bề mặt. Do lượng crom borua tăng lên theo lượng bo, cũng cần lưu ý rằng đặc tính ăn mòn có thể giảm đi. Điều này sẽ giải thích tại sao mẫu H100 bị tấn công trong thử nghiệm ăn mòn. Tác dụng “tiêu cực” của bo có thể được giảm đi nhờ sử dụng lớp nền dày hơn và/hoặc thời gian khuếch tán lâu hơn. Sau đó, có

thể “làm giảm” lượng bo bằng cách khuếch tán chất này vào kim loại nền. Khi lượng bo trong các mẫu A3.3 và B2 thấp hơn, lớp bề mặt dễ vỡ mỏng hơn được tạo ra. Đã quan sát được rằng khi lượng bo trong mẫu thấp, mẫu E0.3, lớp bề mặt dễ vỡ khá dày với hàm lượng silic cao, thường là $> 5\%$ trọng lượng silic, được tạo ra. Lớp này có đặc trưng khác với bề mặt dễ vỡ của các mẫu A3.3, B2, H100, I66 và J. Tác dụng “tiêu cực” của silic có thể được giảm đi nhờ sử dụng kim loại nền dày hơn và/hoặc thời gian khuếch tán lâu hơn. Khi đó, có thể làm giảm lượng silic trong kim loại nền.

Ví dụ 5: thử nghiệm mối hàn đối với một số mẫu

Các tấm thử nghiệm từ Ví dụ 3 được cắt thành các miếng mẫu có chiều rộng 35mm để tạo ra vùng bề mặt được phủ có kích thước 35mm x 35mm trên mỗi miếng mẫu này. Tấm dập hình tròn được đặt trên vùng bề mặt của các miếng mẫu này. Tấm dập hình tròn này được thể hiện trên Fig.1. Tấm này có đường kính 42mm, độ dày 0,4mm và được làm bằng thép không gỉ loại 316L. Tấm dập này có hai gờ được dập, mỗi gờ có chiều dài khoảng 20mm. Các mẫu được hàn vảy cứng trong thời gian khoảng 1 giờ ở nhiệt độ khoảng 1200 °C.

Kết quả của thử nghiệm mối hàn cho thấy rằng phát hiện được chiều rộng của hợp kim hàn vảy cứng trong vùng mối nối tạo ra giữa diện tích mặt phẳng và vùng tiếp xúc với gờ được dập của mẫu thử nghiệm được thể hiện trên Fig.1. Các hỗn hợp được phủ trên diện tích mặt phẳng trước khi nung nóng. Lượng hợp kim hàn vảy cứng được tính toán; xem Fig.2, bằng phép tính gần đúng diện tích mặt cắt ngang mẫu với hai tam giác được tạo ra trên mỗi phía của tâm mối nối. Ở phần giữa, “hợp kim hàn vảy cứng” bổ sung không tạo ra hoặc được tạo ra với lượng rất nhỏ. Diện tích của hai tam giác này có thể được tính bằng cách đo chiều cao (h) và đáy (b). Tổng diện tích của hai tam giác là (h) x (b) do có hai tam giác. Vấn đề ở đây là khó xác định chiều cao. Do đó, tác giả sáng chế sử dụng công thức sau để tích diện tích của hai tam giác:

$$A = ((X - B) / 2) \times ((X - B) / 2) \times \tan \alpha$$

A là tổng diện tích của hai tam giác, X là tổng chiều rộng của mối nối được tạo ra, B là phần mối nối được tạo ra trong đó thể tích của hợp kim hàn vảy cứng tạo ra ở tâm mối nối là không đáng kể. Do đó, đáy của mỗi tam giác là $(X - B) / 2$. Chiều cao được tính bằng cách đo góc α , là góc giữa các đường tiếp tuyến của gờ được dập với đáy.

Để tính thể tích của tổng thể tích hợp kim hàn vảy cứng tạo ra và chảy tới khe hở, chiều dài của hai gờ, nghĩa là mỗi gờ dài 20mm, được nhân với A.

Diện tích của hai tam giác là diện tích gần đúng sau khi hàn vảy cứng được thể hiện trong Bảng 9 và 10. Thể tích là thể tích của hợp kim hàn vảy cứng tạo ra trên một trong số các gờ. Kết quả thu được từ ví dụ thử nghiệm mối hàn được thể hiện trong Bảng 9 và 10, và trên Fig.3. Trong Bảng 9 và 10, v và h là ký hiệu viết tắt, v = gờ trái và h = gờ phải.

Bảng 9

Mẫu số	Lượng hỗn hợp chất kết dính Si + B được phủ [gram]	Chiều rộng [mm]	Diện tích gần đúng sau khi hàn vảy cứng [mm ²]	Thể tích [mm ³]
A3.3x-1v	0,06	2,69	0,29	5,8
A3.3x-1h	0,06	2,58	0,25	5,0
A3.3-1v	0,10	2,23	0,14	2,8
A3.3-1h	0,10	2,31	0,16	3,2
A3.3-2v	0,14	3,38	0,63	12,6
A3.3-2h	0,14	3,19	0,52	10,4
A3.3-3v	0,09	1,92	0,07	1,4
A3.3-3h	0,09	1,85	0,05	1,0
B2X-1v	0,18	2,12	0,11	2,2
B2X-1h	0,18	2,50	0,22	4,4
B2X-2v	0,15	2,31	0,16	3,2
B2X-2h	0,15	2,31	0,16	3,2
B2-1v	0,10	1,96	0,07	1,4
B2-1h	0,10	1,92	0,07	1,4
B2-2v	0,24	3,23	0,54	10,8
B2-2h	0,24	3,23	0,54	10,8
B2-3v	0,16	2,77	0,32	6,4
B2-3h	0,16	2,69	0,29	5,8
B4v	0,11	1,35	0,00	0

B4h	0,11	1,35	0,00	0
-----	------	------	------	---

Kết quả thử nghiệm mỗi hàn đối với các mẫu A3.3 – B2/B4

Bảng 10

Mẫu số	Lượng hỗn hợp chất kết dính Si + B được phủ [g]	Chiều rộng [mm]	Diện tích gần đúng sau khi hàn vảy cứng [mm ²]	Thể tích [mm ³]
C1X-1v	0,22	2,50	0,22	4,4
C1X-1h	0,22	2,69	0,29	5,8
C1X-2v	0,33	3,08	0,46	9,2
C1X-2h	0,33	3,27	0,56	11,2
C1-1v	0,13	1,46	0,01	0,2
C1-1h	0,13	1,46	0,01	0,2
C1-2v	0,15	1,96	0,07	1,4
C1-2h	0,15	2,08	0,10	2,0
C1-3v	0,14	1,54	0,01	0,2
C1-3h	0,14	1,62	0,02	0,4
D0.5-1v	0,19	2,54	0,23	4,6
D0.5-1h	0,19	2,50	0,22	4,4
D0.5-2v	0,12	1,08	0,00	0
D0.5-2h	0,12	1,08	0,00	0
D0.5-3v	0,14	2,04	0,09	1,8
D0.5-3h	0,14	2,04	0,09	1,8
E0.3-1v	0,13	1,15	0,00	0
E0.3-1h	0,13	1,15	0,00	0
E0.3-2v	0,21	2,31	0,16	3,2
E0.3-2h	0,21	2,31	0,16	3,2
E0.3-3v	0,10	1,35	0,00	0
E0.3-3h	0,10	1,35	0,00	0
F0-1h	0,45	2,69	0,29	5,8
F0-2v	0,25	1,08	0,00	0

F0-2h	0,25	1,35	0,00	0
F0-3v	0,96	2,96	0,41	8,2
F0-3h	0,96	3,08	0,46	9,2

Kết quả thử nghiệm mối hàn đối với các mẫu từ C1 đến F0

Kết quả chiều rộng đo được và diện tích gần đúng được thể hiện trong các Bảng 9 và 10, và thể hiện bằng đồ thị trên Fig.3. Lượng hỗn hợp được phủ, xem các Bảng 9 và 10, nằm trong khoảng từ 0,06g/3500 mm² đến 0,96g/3500mm². Lượng này tương ứng với khoảng 0,017mg/m² đến 0,274mg/mm², tương đương với lượng hỗn hợp được phủ nằm trong khoảng từ 1,3 đến 5,1mg/mm² được sử dụng trong Ví dụ 2.

Đường xu hướng $Y = K \times X + L$ của các hỗn hợp được tính. Y là chiều rộng mối nối [mm], K là độ dốc của đường này, X là lượng hỗn hợp được phủ [g] và L là hằng số, xem Fig.3. Do đó, chiều rộng của mối hàn vảy cứng là:

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp A3.3) = 1,554 + 9,922 x (lượng hỗn hợp A3.3 được phủ)

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp B2) = 0,626 + 10,807 x (lượng hỗn hợp B2 được phủ)

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp C1) = 0,537 + 8,342 x (lượng hỗn hợp C1 được phủ)

Y (chiều rộng đối với hỗn hợp F0) = 0,632 + 7,456 x - (lượng hỗn hợp F0 được phủ)

Như quan sát được từ đồ thị, trong số các hỗn hợp A3.3, B2, C1, D0.5, E0.3 và F0, hỗn hợp A3.3 tạo ra lượng hợp kim hàn vảy cứng lớn nhất trong mối nối theo hàm số của lượng hỗn hợp được phủ. Mẫu F0 không tạo ra mối nối đáng kể bất kỳ ở lượng phủ thấp hơn 0,20g/ 3500mm².

Đường xu hướng $Y = K \times X - L$ của hỗn hợp được xác định, Y là diện tích [mm²], K là độ dốc của đường này, X là lượng hỗn hợp được phủ [g] và L là hằng số, xem Fig.4.

Y (diện tích đối với hỗn hợp A3.3) = 4,361 x (lượng hỗn hợp A3.3 được phủ) - 0,161

Y (diện tích đối với hỗn hợp B2) = 3,372 x (lượng hỗn hợp B2 được phủ) - 0,318

Y (diện tích đối với hỗn hợp C1) = 2,549 x (lượng hỗn hợp C1 được phủ) - 0,321

Y (diện tích đối với hỗn hợp F0) = 0,569 x (lượng hỗn hợp F0 được phủ) - 0,093

Việc tính gần đúng thể tích tạo ra dựa trên đồ thị được thể hiện trên Fig.4, ví dụ, đối với lượng phủ 0,18g/3500mm², trừ mẫu F0, do “không tạo ra” mối hàn vảy cứng và mẫu D0.5 do dữ liệu quá ít, cho kết quả thể tích hợp kim hàn vảy cứng tạo ra trong mối nối giữa hai gờ, xem phần dưới đây.

$$\text{Thể tích (A3.3)} = 0,63 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 25,2\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (B2)} = 0,30 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 12,0\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (C1)} = 0,12 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 4,8\text{mm}^3$$

$$\text{Thể tích (E0.3)} = 0,10 \times \text{chiều dài } 40 (20 \times 2) = 4,0\text{mm}^3$$

Ngoài ra, hỗn hợp có tỷ lệ bo cao hơn được thử nghiệm, ví dụ, các mẫu G15, H100, I66 và J. Tất cả các hỗn hợp này cho kết quả khá giống với hỗn hợp A3.3 và B2 xét về thể tích hợp kim hàn vảy cứng tạo ra. Tuy nhiên, mặt cắt ngang về mặt luyện kim của các mẫu hàn vảy cứng cho thấy lượng borua cao hơn. Đối với mẫu H100, tức là bo nguyên chất, còn phát hiện được trên bề mặt của pha giòn có hàm lượng crom cao có hỗn hợp được phủ trước đó. Các pha cứng có thể là pha crom borua, làm giảm hàm lượng crom trong vật liệu bao quanh, nhờ đó làm giảm độ bền chống ăn mòn. Đây có thể là vấn đề khi cần độ bền chống ăn mòn cao nhưng không là vấn đề đối với các môi trường không ăn mòn. Tác dụng của bo có thể giảm đi khi thay đổi việc xử lý nhiệt và hoặc khi sử dụng kim loại nền dày hơn để có thể “hấp thụ” lượng bo lớn hơn. Đối với vật liệu có độ dày $\geq 1\text{mm}$, tác dụng “hấp thụ” bo trên bề mặt này cũng sẽ ít nghiêm trọng hơn do tỷ lệ của thể tích bề mặt so với thể tích kim loại nền là nhỏ hơn nhiều đối với vật liệu mỏng có độ dày $< 1\text{mm}$ hoặc $< 0,5\text{mm}$. Crom borua có thể có lợi nếu muốn độ bền ăn mòn tốt hơn. Thử nghiệm về mặt luyện kim cũng cho thấy rằng đối với mẫu F0, tức là silic nguyên chất, phát hiện được pha giòn và dày chứa silic. Lớp này có độ dày $> 50\%$ độ dày của tấm thử nghiệm đối với một số vùng trong mẫu

được thử nghiệm. Cũng phát hiện được pha tương tự trong mỗi nối. Phát hiện được các vết nứt trong pha này, với chiều dài $> 30\%$ độ dày của tấm thử nghiệm. Các vết nứt này sẽ làm giảm tính chất cơ học của sản phẩm được ghép nối và có thể là các điểm khởi đầu ăn mòn và/hoặc vết nứt do mỏi. Độ cứng trung bình của pha này lớn hơn 400Hv (Vickers). Độ cứng của pha giòn này có thể khó giảm đi so với pha borua, nhờ sử dụng kim loại nền dày hơn hoặc thay đổi việc xử lý nhiệt. Tuy nhiên, đối với kim loại nền dày hơn, tác dụng này có thể ít nghiêm trọng hơn.

Ví dụ 6: thử nghiệm kéo mối hàn vảy cứng

Các tấm thử nghiệm đã được phủ từ đầu được cắt thành các miếng. Tấm có kích thước chiều rộng khoảng 100mm, chiều dài từ 180 đến 200mm và độ dày 0,4mm. Diện tích được phủ của mỗi miếng là $10\text{mm} \times 35\text{mm} = 350\text{mm}^2$. Phần dày hơn có độ dày 4mm của thép không gỉ loại 316L được đặt trên diện tích phủ này để che phủ 30mm trong tổng cộng 35mm bề mặt được phủ. Phần dày hơn được đặt ở đầu của miếng mẫu để chừa lại 5mm bề mặt đã phủ không được che bằng tấm dày này. Bằng cách này, sự giảm độ bền của tấm vật liệu do hỗn hợp phủ sẽ được phát hiện khi thử nghiệm kéo nếu mối nối chắc hơn tấm. Tấm dày hơn cũng rộng hơn các mẫu có chiều dày 10mm. Tất cả các mẫu thử nghiệm được hàn vảy cứng ở nhiệt độ khoảng 1200°C trong khoảng 1 giờ.

Sau khi hàn vảy cứng, thử nghiệm uốn 90° được tiến hành và phần dày của mẫu thử nghiệm được lắp chiều ngang với phần đáy trên máy thử nghiệm kéo. Miếng mẫu hàn vảy cứng được uốn mạnh tới 90° theo hướng thẳng đứng và miếng mẫu được lắp với phần trên của máy thử nghiệm kéo. Phần dày của mẫu thử nghiệm được lắp sao cho nó có thể di chuyển theo chiều ngang. Sau đó, các mẫu được cho chịu tải trọng và mối hàn vảy cứng bị bong hoặc miếng mẫu bị vỡ/nứt.

Kết quả

Kết quả được thể hiện dưới dạng tỷ lệ phần trăm (%) của các mối nối không bị bong đối với mỗi trạng thái. Thử nghiệm không đạt nếu tấm vật liệu chắc hơn mối nối, điều này làm cho mối nối này bị bong. Nếu mối nối chắc hơn tấm vật liệu (trạng thái không bị bong), tấm thử nghiệm bị nứt/bong trước mối nối. Kết quả được nêu tóm tắt trong Bảng 11 và thể hiện bằng đồ thị trên Fig.5.

Bảng 11

Lượng hỗn hợp Si + B [g]	Tỷ lệ thành công đối với hỗn hợp A3.3-1 [%]	Tỷ lệ thành công đối với hỗn hợp B2-1 [%]	Tỷ lệ thành công đối với hỗn hợp C1-1 [%]	Tỷ lệ thành công đối với hỗn hợp D0.5-1 [%]
0,0600	100			
0,0910	100			
0,0989		83		
0,1092		100		
0,1196				0
0,1309			50	
0,1399	100			
0,1402			50	
0,1428				0
0,1500		100		
0,1548			67	
0,1558		100		
0,1800		100		
0,1850				50
0,2200			100	
0,2417		100		
0,3000	100			
0,3300			100	

Ví dụ 7

Để thiết lập mối liên hệ giữa lượng hỗn hợp được phủ và nguy cơ tạo lỗ thủng qua các tấm, như được mô tả trong Ví dụ 2, các thử nghiệm mới được thực hiện. Trong tất cả các thử nghiệm, hỗn hợp B2 được sử dụng, xem Bảng 6. Hỗn hợp B2 còn được bổ sung chất kết dính S-30. Các miếng mẫu thử nghiệm bằng thép không gỉ loại 316, có dạng hình tròn, độ dày 0,8mm và đường kính 83mm. Đối với tất cả các mẫu, hỗn hợp được phủ ở phần giữa của mẫu thử nghiệm. Diện tích phủ là 28mm², tức là vết hình tròn có đường kính 6mm. Tất cả các mẫu thử nghiệm được cân trước và sau khi

phủ, và kết quả được nêu tóm tắt trong Bảng 12. Sau đó mẫu thử nghiệm được để ở nhiệt độ trong phòng trong 12 giờ. Các mẫu này được cân lại.

Tất cả các mẫu thử nghiệm được cho vào lò và được hàn vảy cứng ở nhiệt độ 1210°C trong thời gian khoảng 1 giờ. Trong quá trình hàn vảy cứng, chỉ có các mép ngoài của mỗi mẫu được tiếp xúc với vật liệu cố định để giữ cho bề mặt dưới ở giữa tấm không tiếp xúc với vật liệu bất kỳ trong quá trình hàn vảy cứng. Lý do của việc giữ bề mặt dưới ở giữa tấm không tiếp xúc là có thể ngăn ngừa hiện tượng sụt mồi hàn hoặc cháy thùng nếu vật liệu ở giữa tấm được đỡ từ dưới bởi vật liệu cố định.

Kết quả về lượng hỗn hợp phủ và cháy thùng của các mẫu có độ dày 0,8mm được nêu tóm tắt trong Bảng 12.

Bảng 12

Mẫu số	Lượng hỗn hợp Si + B và chất kết dính ướt bổ sung S-30 [g]	Lượng hỗn hợp Si + B và chất kết dính ướt bổ sung S-30 [mg/mm ²]	Lượng hỗn hợp Si + B và chất kết dính khô bổ sung S-30 [mg/mm ²]	Lượng hỗn hợp Si + B không có chất kết dính [mg/mm ²]	Cháy thùng [1] hoặc [0]
1	0,020	0,714	0,464	0,453	0
2	0,010	0,357	0,232	0,226	0
3	0,040	1,429	0,928	0,905	0
4	0,030	1,0714	0,696	0,679	0
5	0,050	1,786	1,161	1,132	0
6	0,060	2,143	1,393	1,359	0
7	0,070	2,500	1,625	1,585	0
8	0,080	2,857	1,857	1,811	0
9	0,090	3,214	2,089	2,037	0
10	0,100	3,571	2,321	2,264	0
11	0,110	3,928	2,554	2,491	1
12	0,120	4,285	2,786	2,717	1
13	0,130	4,642	3,018	2,943	1
14	0,150	5,357	3,482	3,396	1
15	0,170	6,071	3,946	3,849	1
16	0,190	6,786	4,411	4,302	1

17	0,210	7,500	4,875	4,755	1
18	0,230	8,214	5,339	5,207	1
19	0,280	10,000	6,500	6,339	1
20	0,290	10,357	6,732	6,566	1

Các thử nghiệm cho thấy rằng mẫu 11 có hiện tượng cháy thùng. Mẫu 10 có lượng hỗn hợp được phủ là $2,264 \text{ mg/mm}^2$ và mẫu 11 có lượng hỗn hợp được phủ là $2,491 \text{ mg/mm}^2$. Khi ghép nối các tấm có độ dày nhỏ hơn 1mm, các tấm có nguy cơ cháy thùng khi lượng phủ nằm trong khoảng từ $2,830 \text{ mg/mm}^2$ đến $3,114 \text{ mg/mm}^2$, lượng phủ nằm giữa khoảng này là $2,972 \text{ mg/mm}^2$. Do đó, đối với tấm có độ dày nhỏ hơn 1mm, lượng phủ nhỏ hơn $2,9 \text{ mg/mm}^2$ sẽ là thích hợp để tránh làm cháy thùng tấm. Kết quả này cũng cho thấy rằng khi lượng hỗn hợp được phủ là $2,491 \text{ mg/mm}^2$ sẽ tạo ra hiện tượng cháy thùng tấm có độ dày nhỏ hơn 0,8mm và có các vết hình tròn có đường kính 6mm. Đối với các mẫu có diện tích được phủ nhỏ hơn có thể có lượng hỗn hợp được phủ trên một đơn vị diện tích là nhiều hơn các mẫu có diện tích được phủ lớn hơn.

Ví dụ 8

Trong Ví dụ 8, mối hàn vảy cứng giữa hai tấm của thiết bị trao đổi nhiệt được dập được tạo ra theo ba cách khác nhau. Độ dày các tấm của thiết bị trao đổi nhiệt là 0,4 mm.

Trong các mẫu thử nghiệm thứ nhất và thứ hai, chất hàn vảy cứng trên cơ sở sắt có thành phần gần giống thép không gỉ loại 316 được sử dụng, xem Công bố đơn quốc tế số WO 2002/38327. Chất hàn vảy cứng này có lượng silic khoảng 10% trọng lượng, lượng bo khoảng 0,5% trọng lượng và lượng Fe giảm còn khoảng 10,5% trọng lượng. Trong mẫu thử nghiệm thứ nhất, chất hàn vảy cứng được phủ theo đường thẳng và trong mẫu thử nghiệm thứ hai, chất hàn vảy cứng được phủ đều trên bề mặt. Trong cả hai trường hợp, chất hàn được phủ sau khi dập tấm.

Sau khi hàn vảy cứng, mẫu thử nghiệm 1 cho thấy rằng chất hàn vảy cứng được phủ theo đường thẳng sẽ chảy tới các mối hàn vảy cứng. Một số chất hàn vảy cứng không chảy tới mối hàn vảy cứng và do đó làm tăng cục bộ độ dày ở đường phủ. Đối với mẫu thử nghiệm 2, chất hàn vảy cứng chảy tới các mối hàn vảy cứng, tuy nhiên một số chất hàn vảy cứng ở lại trên bề mặt và làm tăng độ dày. Trong các mẫu thử

thử nghiệm 1 và 2, lượng chất hàn vảy cứng bổ sung tương ứng với khoảng 15% trọng lượng tấm vật liệu.

Trong mẫu thử nghiệm 3, hỗn hợp A3.3 được sử dụng, xem Bảng 7. Hỗn hợp này được phủ trước khi ép đều trên tấm. Hỗn hợp được phủ với lượng để sẽ tạo ra mỗi hàn vảy cứng có kích thước tương tự như đối với các mẫu thử nghiệm 1 và 2.

Mẫu thử nghiệm 3 được phủ đều một lớp hỗn hợp A3.3. Lượng hỗn hợp này tương ứng với tỷ lệ trọng lượng của hỗn hợp với tấm vật liệu là khoảng 1,5:100. Khi hàn vảy cứng, hợp kim hàn vảy cứng được tạo ra chủ yếu từ kim loại nền. Hợp kim hàn vảy cứng này sẽ chảy tới các mối hàn vảy cứng. Do đó, độ dày của tấm giảm đi do vật liệu nền bị hòa tan và kéo tới mỗi hàn vảy cứng.

Ví dụ 9: Thử nghiệm với nguồn Si và nguồn B khác nhau

Các thử nghiệm trong Ví dụ 9 được tiến hành để đánh giá các nguồn bo và nguồn silic thay thế. Hỗn hợp B2 được chọn làm hỗn hợp đối chứng cho các thử nghiệm, xem Bảng 7. Các nguồn thay thế được thử nghiệm về khả năng tạo mối nối của chúng. Đối với mỗi thử nghiệm, nguồn bo thay thế hoặc nguồn silic thay thế được thử nghiệm. Khi sử dụng nguồn thay thế, sự ảnh hưởng của nguyên tố còn lại được cho là bằng 0, tức là chỉ có trọng lượng của bo hoặc silic trong nguồn thay thế được “xác định”, xem Bảng 13. Đối với hỗn hợp đối chứng B2, tỷ lệ trọng lượng giữa silic và bo là 10:2. Mỗi hỗn hợp được trộn lẫn với nhau cùng với chất kết dính S-30 và hỗn hợp này được phủ trên tấm thép theo Ví dụ 1. Tất cả các mẫu được hàn vảy cứng trong lò chân không ở nhiệt độ 1210°C trong thời gian 1 giờ.

Bảng 13

Mẫu	Nguồn thay thế	Lượng nguồn [Si] bổ sung [g]	Lượng nguồn [B] bổ sung [g]	Lượng [Si] tương ứng [g]	Lượng [B] tương ứng [g]
Si - B	Si - B	10,0	2,0	10,0	2,0
Si - B ₄ C	B ₄ C	10,0	2,6	10,0	2,0
Si - FeB	FeB	10,1	12,5	10,1	2,0
FeSi - B	FeSi	30,2	2,0	10,1	2,0
Si - NiB	NiB	10,1	13,0	10,1	2,0

Đường xu hướng $Y = K \times X + L$ đối với hỗn hợp B2 được xác định, Y là chiều rộng mỗi nối [mm], K là độ dốc của đường này đối với hỗn hợp B2, X là lượng hỗn hợp được phủ [g] và L là hằng số khi không phủ hỗn hợp B2, xem Fig.3. Do đó, chiều rộng của mỗi hàn vẩy cứng $Y = 0,626 + 10,807 \times (\text{lượng hỗn hợp được phủ})$.

Trong Bảng 14, l = gờ trái và r = gờ phải như trong Ví dụ 5.

Bảng 14

Mẫu	Lượng phủ [g]	Chiều rộng mỗi nối theo tính toán, Y [mm ²]	Chiều rộng mỗi nối đo được [mm ²]
Si - B ₄ C - l	0,22	3,0	2,69
Si - B ₄ C - r	0,22	3,0	2,88
Si - FeB - l	0,26	3,4	1,73
Si - FeB - r	0,26	3,4	1,73
FeSi - B - l	0,29	3,8	2,1
FeSi - B - r	0,29	3,8	2,1
Si - NiB - l	0,39	4,8	2,69
Si - NiB - r	0,39	4,8	2,88

Kết quả trong Bảng 13 cho thấy rằng có thể sử dụng B₄C, NiB và FeB làm nguồn thay thế cho bo. Nếu NiB được sử dụng, lượng hợp kim hàn vẩy cứng tạo ra là nhỏ hơn so với bo nguyên chất. Tuy nhiên, NiB có thể được sử dụng nếu cần tạo hợp kim Ni.

Ví dụ 10- Thử nghiệm đối với các kim loại nền

Trong Ví dụ 10, lượng lớn các kim loại nền khác nhau được thử nghiệm. Tất cả các thử nghiệm, trừ thép mềm và hợp kim Ni-Cu, được thử nghiệm theo “thử nghiệm Y”.

Đối với thử nghiệm Y, hai mẫu thử nghiệm hình tròn được dập có độ dày khoảng 0,8mm được xếp chồng lên nhau. Mỗi mẫu có gờ được dập hình tròn. Mặt trên của các gờ này được đặt hướng vào nhau để tạo ra khe hở tròn giữa các mẫu. Đối với mỗi mẫu, hỗn hợp B2 chứa chất kết dính S-20 được phủ bằng chổi sơn. Trọng lượng hỗn hợp được phủ không được xác định do mục đích của thử nghiệm này là để đánh giá xem lớp phủ có được tạo ra hay không và không thử nghiệm xem lượng phủ khác nhau ảnh hưởng đến kết quả thế nào. Ảnh chụp một trong số các mẫu sau khi ghép nối

được thể hiện trên Fig.6.

Các mẫu thép mềm và mẫu Ni-Cu được phủ hỗn hợp theo cách tương tự. Đối với thép mềm, các thử nghiệm được tiến hành như “thử nghiệm mối hàn” trong Ví dụ 5. Thử nghiệm đối với Ni-Cu được thực hiện với hai mẫu thử nghiệm phẳng. Tất cả các mẫu, trừ mẫu Ni-Cu, được “hàn vảy cứng” trong lò ở nhiệt độ khoảng 1200°C, ví dụ 1210°C, trong thời gian 1 giờ trong lò chân không. Mẫu Ni-Cu được hàn vảy cứng ở nhiệt độ khoảng 1130°C trong thời gian khoảng 1 giờ trong cùng lò chân không này. Sau khi “hàn vảy cứng”, mối nối giữa các mẫu của tất cả các thử nghiệm được tạo ra. Quan sát được sự chảy của “hợp kim hàn vảy cứng”, chủ yếu gồm vật liệu nền, tới mối nối đối với tất cả các mẫu thử nghiệm. Kết quả được thể hiện trong Bảng 15.

Bảng 15

Mẫu vật liệu nền số	Cr [% trọng lượng]	Fe [% trọng lượng]	Mo [% trọng lượng]	Ni [% trọng lượng]	Cu [% trọng lượng]	Mn [% trọng lượng]	Sau khi hàn vảy cứng có tạo ra mối nối không?	Sau khi hàn vảy cứng có sự chảy của hợp kim hàn vảy cứng không?
1	-	0,3	-	99	-	0,2	Có	Có
2	21	0,6	16	62	0,4	-	Có	Có
3	22	0,7	16	59	1,6	-	Có	Có
4	0,6	1,9	29	68	0,2	-	Có	Có
5	21	4,4	13	58	-	-	Có	Có
6	19	5,0	9,0	63	0,4	-	Có	Có
7	15	5,5	17	60	-	0,3	Có	Có
8	1,1	5,6	28	63	0,6	0,4	Có	Có
9	19	6,2	2,6	70	1,7	0,4	Có	Có
10	33	32	1,7	33	0,4	0,6	Có	Có
11	27	33	6,5	32	1,1	1,4	Có	Có
12	27	36	3,4	32	1,0	1,4	Có	Có
13	24	44	7,2	23	0,3	1,5	Có	Có
14	20	48	4,3	25	1,1	1,2	Có	Có

15	19	50	6,3	25	0,2	-	Có	Có
16	20	54	6,5	19	0,6	0,4	Có	Có
17	29	64	2,4	3,5	-	-	Có	Có
18	28	66	2,2	3,5	-	-	Có	Có
19	0,3	1,1	-	66	31	1,6	Có	Có
20	0,17	99,5	-	-	-	0,3	Có	Có

Kết quả nêu trong Bảng 15 cho thấy rằng hợp kim hàn vảy cứng được tạo ra giữa hỗn hợp và kim loại nền của mỗi mẫu từ 1 đến 20. Các kết quả này cũng cho thấy rằng mỗi nối được tạo ra đối với mỗi mẫu thử nghiệm.

Kết quả thu được từ các ví dụ từ 1 đến 10 cho thấy rằng bo là thành phần cần thiết để tạo ra lượng đáng kể hợp kim hàn vảy cứng, hợp kim này có thể điền đầy các mối nối và cũng tạo độ bền cho mỗi nối. Các ví dụ này cũng cho thấy rằng bo là thành phần cần thiết đối với vi cấu trúc, do phát hiện được pha dày dễ vỡ đối với các mẫu không chứa bo.

Ví dụ 11: thử nghiệm hàn vảy cứng sơ bộ

Bốn vật liệu nền khác nhau được thử nghiệm trong Ví dụ 11. Hỗn hợp được sử dụng cho các mẫu thử nghiệm này là hỗn hợp A3.3, xem các ví dụ trước đây. Tất cả các hỗn hợp đều chứa Si và B làm nguồn giảm điểm nóng chảy, được phân tán trong sơn, sản phẩm của Akzo Nobel (nếu không được nêu rõ). Vật liệu nền của các mẫu thử nghiệm là:

1. Thép không gỉ loại 316 có độ dày 0,4mm
2. Ni loại 200 có độ dày 0,45mm
3. Monel 400 có độ dày 1,0mm
4. Hastelloy C2000 có độ dày 0,5mm

Đối với vật liệu loại 316, các miếng mẫu thử nghiệm lớn, nghĩa là có kích thước 323mm x 123mm, được phủ hỗn hợp trong đó tổng trọng lượng của bo và silic trong hỗn hợp này là 2g mà không chứa chất kết dính bất kỳ, nghĩa là sơn, trên mỗi miếng mẫu thử nghiệm lớn. Lượng bo và silic tính được tương ứng với khoảng 0,05mg/mm². Các mẫu thử nghiệm được phủ hỗn hợp A3.3 chứa Si nguyên tố và B nguyên tố. Tỷ lệ

của bo và silic trong hỗn hợp A3.3 có thể được tìm thấy trong Bảng 4. Mỗi mẫu thử nghiệm đã phủ được sấy và hóa rắn ở nhiệt độ thấp hơn 400°C trong không khí. Trong các thử nghiệm với vật liệu loại 316, ngoại trừ thử nghiệm trong lò kiểu băng tải, các miếng mẫu thử nghiệm lớn được sử dụng. Đối với thử nghiệm trong lò kiểu băng tải, mẫu thử nghiệm được điều chỉnh theo chiều rộng lớn nhất của lò này. Đối với các mẫu vật liệu 2-6 còn lại, các miếng mẫu thử nghiệm có kích thước khác nhau được sử dụng nhưng toàn bộ các mẫu này được phủ bo và silic với lượng 0,05mg/mm².

Các mẫu thử nghiệm được hàn vảy cứng sơ độ theo các chu trình hàn vảy cứng sơ bộ sau đây:

VC1(T)- Chu trình trong chân không, trong đó T là nhiệt độ cao nhất, thời gian duy trì ở nhiệt độ cao nhất là 1 giờ.

VC2(T)-Chu trình trong chân không, trong đó T là nhiệt độ cao nhất, thời gian duy trì ở nhiệt độ cao nhất là 2 giờ.

BF(T, t)-Chu trình trong lò kiểu băng tải trong môi trường hydro, trong đó T là nhiệt độ cao nhất và t là khoảng thời gian ở nhiệt độ cao nhất.

Các chu trình hàn vảy cứng sơ bộ được tiến hành là:

Các thử nghiệm đối với vật liệu là Niken loại 200, Monel 400, và Hastelloy C2000:

1) Chu trình VC1(1100°C)

Các thử nghiệm đối với vật liệu là thép không gỉ loại 316

2) Chu trình VC2 (1040°C)

3) Chu trình VC2 (1060°C)

4) Chu trình VC2 (1070°C)

5) Chu trình VC2 (1080°C)

6) Chu trình VC2 (1090°C)

7) Chu trình VC2 (1100°C)

8) Chu trình VC2 (1110°C)

9) Chu trình VC2 (1120°C)

10) Chu trình VC2 (1130°C)

11) Chu trình VC2 (1140°C)

12) Chu trình VC2 (1160°C)

13) Chu trình VC2 (1180°C)

14) Chu trình VC2 (1200°C)

15) Chu trình BF (1100°C, 10 phút)

16) Chu trình BF (1130°C, 10 phút)

Phân tích mặt cắt ngang của các mẫu thử nghiệm.

Mặt cắt ngang của tất cả các vật liệu đã được xử lý sơ bộ được phân tích bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quét theo phương pháp phổ phân tán năng lượng (Scanning Electron Microscope – Energy Dispersion Spectroscopy: SEM-EDS). Trong các mặt cắt ngang, thành phần của lớp hợp kim hàn vảy cứng thu được được phân tích. Hàm lượng silic là hàm số của độ dày tính từ bề mặt của tấm nơi có hỗn hợp đã phủ được xác định. Kết quả phân tích được nêu tóm tắt trong Bảng 16.

Bảng 16

Thử nghiệm số	Hàm lượng silic với độ dày khác nhau tính từ bề mặt của lớp hợp kim hàn vảy cứng [% trọng lượng]							
	15µm	30µm	45µm	60µm	75µm	90µm	105µm	120µm
1) Ni 200	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	2-3	2-3	2-3
1) Monel 400	1,5-5	1,5-5	1,5-5	1,5-5	1,5-5	<0,3	<0,3	<0,3
1) C2000	3-6	3-6	3-6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
2) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
3) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
4) 316	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	< 0,6	< 0,6	< 0,6
5) 316	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	< 0,6	< 0,6	< 0,6
6) 316	5-6	5-6	5-6	5-6	5-6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
7) 316	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
8) 316	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	< 0,6	< 0,6	< 0,6
9) 316	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	< 0,6
10) 316	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	< 0,6	< 0,6	< 0,6
11) 316	3-8	3-8	3-8	3-8	3-8	< 0,6	< 0,6	< 0,6
12) 316	4-7	4-7	4-7	4-7	4-7	< 0,6	< 0,6	< 0,6
13) 316	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	< 0,6	< 0,6	< 0,6
14) 316	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
15) 316	4-9	4-9	4-9	4-9	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6

Kết quả thu được từ các thử nghiệm cho thấy rằng có các lớp được tạo ra phía trên vật liệu nền. Hàm lượng silic nằm trong các khoảng gần bằng nhau nhưng khác biệt đáng kể với hàm lượng silic trong vật liệu nền, nghĩa là nhỏ hơn 0,6% trọng lượng. Các thử nghiệm cho thấy rằng nhiệt độ có ảnh hưởng đến lớp hợp kim hàn vảy cứng được tạo ra nhưng các kết quả này phụ thuộc nhiều hơn vào loại vật liệu nền.

Phân tích từ tính và hình dạng của vật liệu loại 316 đã được xử lý sơ bộ

Hai vật liệu đã xử lý sơ bộ được phân tích là vật liệu 7, chu trình VC (1100°C) và vật liệu 15, chu trình BF (1100°C, 10 phút). Cả hai mẫu đã xử lý sơ bộ này có tính chất từ tính ở lớp bề mặt, khác biệt rõ ràng với vật liệu nền là thép không gỉ không có từ tính loại 316. Tính chất từ tính này được khẳng định do nó có thể hút các mẫu đã xử lý sơ bộ nhưng không hút "các mẫu không được xử lý sơ bộ" bằng nam châm vĩnh cửu. Ngoài ra, các mẫu đã xử lý sơ bộ có hình dạng thay đổi. Khi quan sát các tấm đã xử lý sơ bộ bằng mắt thường, khẳng định được rằng các tấm này bị cong với bề mặt đã xử lý sơ bộ hướng về phía mặt lõi tạo ra. Điều này cũng có nghĩa là nếu vật liệu không có khả năng biến dạng (như đối với trường hợp này là tấm mỏng), hoặc nếu vật liệu được xử lý sơ bộ trên cả hai mặt, ứng suất do áp lực sẽ xuất hiện trên bề mặt. Ứng suất do áp lực này có thể làm tăng tính chất mỏi do áp lực.

Thử nghiệm độ cứng bề mặt

Lớp bề mặt của hợp kim hàn vảy cứng thu được được thử nghiệm về độ cứng. Các mẫu được thử nghiệm là Niken loại 200, Monel 400, Hastelloy C2000, thép không gỉ loại 316 thu được mẫu thử nghiệm 15 BF (1100°C, 10 phút) và thép không gỉ loại 316 thu được từ mẫu thử nghiệm 16 BF (1130°C, 10 phút) được phủ cả hỗn hợp A3.3 chứa Si và B và hỗn hợp A3.3 chứa Si và B₄C. Các kết quả được nêu tóm tắt trong Bảng 17.

Bảng 17

Monel 400, VC1 (1100°C) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt kim hàn vảy cứng [μm]
660	29
660	47
310	62

278	105
258	203
224	217
210	262
Niken 200, VC1(1100°C) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
401	14
396	29
258	47
221	83
234	126
Hastelloy 2000, VC1(1100°C) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
441	15
404	25
288	50
267	77
255	92
241	119
244	161
Thép không gỉ loại 316 BF (1100°C, 10 phút) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
374	26
298	33
330	44
277	77
274	108
Thép không gỉ loại 316 BF (1130°C, 10 phút) được phủ hỗn hợp A3.3 chứa B nguyên tố	

HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
787	14
277	29
228	48
201	96
178	151
231	218
Thép không gỉ loại 316 BF (1130°C, 10 phút) được phủ hỗn hợp A3.3 chứa B ₄ C	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
909	17
589	48
261	53
253	77
227	134
213	168
Thép không gỉ loại 316 VC2 (1100°C) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
1049	22
509	32
326	52
265	69
229	105
207	168
Thép không gỉ loại 316 VC2 (1200°C) được phủ hỗn hợp A3.3	
HV 0,05	Độ dày tính từ bề mặt hợp kim hàn vảy cứng [μm]
532	18
261	38
243	61

224	80
222	128
229	169

Kết quả

Các thử nghiệm độ cứng cho thấy rằng độ cứng của lớp hợp kim hàn vảy cứng là cứng hơn vật liệu nền. Tất cả các vật liệu nền được thử nghiệm đều có độ cứng nhỏ hơn khoảng 300 HV 0,05 sau chu trình xử lý sơ bộ bằng nhiệt hoặc chu trình hàn vảy cứng. Độ cứng của lớp bề mặt và vật liệu nền được xác định từ bề mặt ban đầu của vật liệu nền đến độ dày khoảng 200µm. Độ cứng gia tăng tương quan với sự tăng lượng Si được xác định trước đó trong lớp bề mặt là hợp kim hàn vảy cứng. Các thử nghiệm còn cho thấy rằng độ cứng ở bề mặt là cao hơn độ cứng ở gần vật liệu nền.

Ví dụ 12: thử nghiệm khả năng hàn vảy cứng

Trong Ví dụ này, lớp hợp kim hàn vảy cứng thu được từ Ví dụ 11 như các mẫu số 2-14 được thử nghiệm. Một mẫu bổ sung được thử nghiệm và mẫu này là mẫu số 17, trong đó vật liệu là thép không gỉ loại 316 không được xử lý bằng hỗn hợp phủ. Các thử nghiệm được tiến hành để xác định xem có mối hàn vảy cứng được tạo ra giữa lớp nền có lớp hợp kim hàn vảy cứng và lớp nền khác không có lớp hợp kim hàn vảy cứng bất kỳ hay không.

Các mẫu thử nghiệm là các tấm thép không gỉ loại 316, và các thử nghiệm hàn vảy cứng được tiến hành theo chu trình hàn vảy cứng thông thường. Thử nghiệm được tiến hành bằng cách đặt tấm thử nghiệm đã được xử lý sơ bộ có lớp hợp kim hàn vảy cứng hướng lên trên. Tấm dập hình tròn không có hợp kim hàn vảy cứng bất kỳ, xem Fig.1, được đặt lên trên tấm thử nghiệm đã được xử lý sơ bộ ở phía trên lớp hợp kim hàn vảy cứng. Đặt tải trọng lên tấm dập hình tròn để cho tấm này tiếp xúc với tấm thử nghiệm đã được xử lý sơ bộ. Sau đó, tấm mẫu thử nghiệm được cho tiếp xúc với chu trình VC1 (T) trong chân không ở nhiệt độ 1210°C. Kết quả được thể hiện theo kích thước của vùng hàn vảy cứng dưới dạng hàm số của nhiệt độ xử lý sơ bộ. Các mẫu này được cắt ngang theo tấm dập hình tròn và kết quả đo chiều rộng ở phần giữa mỗi nối thu được được thể hiện trên Fig.2. Chiều rộng trung bình ở phần giữa của mỗi mẫu thử nghiệm được nêu tóm tắt trong Bảng 18.

Bảng 18

Mẫu số	Nhiệt độ xử lý sơ bộ [°C]	Chiều rộng phần giữa [mm]
1	1000	2,56
2	1040	2,45
3	1060	2,53
4	1070	2,53
5	1080	2,18
6	1090	2,14
7	1100	2,25
8	1110	1,99
9	1120	1,91
10	1130	2,25
11	1140	1,21
12	1160	1,87
13	1180	0,78
14	1200	0,00

Kết quả của các thử nghiệm này cho thấy rằng nhiệt độ hàn vảy cứng sơ bộ càng cao, mối hàn vảy cứng càng nhỏ, nghĩa là lớp hợp kim hàn vảy cứng của các mẫu đã hàn vảy cứng sơ bộ không có đặc tính hàn vảy cứng. Chiều rộng phần giữa nhỏ là do đặc tính hàn vảy cứng thấp. Do không có đặc tính hàn vảy cứng, không thể sử dụng các mẫu đã hàn vảy cứng sơ bộ để hàn vảy cứng nếu không bổ sung thêm hợp kim hàn vảy cứng hoặc bổ sung thêm hỗn hợp của bo và silic sau bước hàn vảy cứng sơ bộ. Nhiệt độ tới hạn tùy thuộc vào vật liệu nền. Nếu vật liệu nền có nhiệt độ nóng chảy cao, lớp hợp kim hàn vảy cứng thu được sẽ có đặc tính hàn vảy cứng ở nhiệt độ hàn vảy cứng sơ bộ cao.

Ví dụ 13: thử nghiệm kéo

Sáu vật liệu nền khác nhau được thử nghiệm trong Ví dụ 13. Các mẫu thử nghiệm được phủ các hỗn hợp khác nhau là A3.3, B2 và C1, tất cả các hỗn hợp này đều chứa Si và B làm nguồn làm giảm điểm nóng chảy, trong sơn, sản phẩm của Akzo Nobel (nếu không được nêu rõ). Các mẫu vật liệu nền được thử nghiệm có kích thước

lớn, nghĩa là kích thước 323mm x 123mm, được phủ hỗn hợp. Tổng trọng lượng của bo và silic trong hỗn hợp là 2g mà không chứa chất kết dính bất kỳ, nghĩa là sơn, trên mỗi mẫu thử nghiệm lớn, được phủ lên các mẫu thử nghiệm lớn. Lượng bo và silic tính được tương ứng với khoảng $0,05\text{mg/mm}^2$.

Các mẫu vật liệu nền được thử nghiệm là như sau:

1. Thép không gỉ loại 316 có độ dày 0,4mm
2. Ni loại 200 có độ dày 0,45mm
3. Monel 400 có độ dày 1,0mm
4. Thép không gỉ loại 254SMO có độ dày 0,4mm
5. Thép mềm có độ dày 0,4mm chứa hàm lượng sắt > 97% trọng lượng
6. Hastelloy C2000 có độ dày 0,5mm

Trong ví dụ này, các mẫu vật liệu có lớp hợp kim hàn vảy cứng được thử nghiệm theo phương pháp trong Ví dụ 11, mẫu 1 (Hastelloy C2000).

Trong các thử nghiệm này, hai chi tiết thử nghiệm được cắt từ mỗi mẫu thử nghiệm kéo. Một trong số các chi tiết thử nghiệm được cắt từ chính tấm vật liệu nền không được xử lý sơ bộ như đối với chi tiết đã được xử lý sơ bộ, nghĩa là chi tiết có lớp hợp kim hàn vảy cứng, xem Ví dụ 11, hoặc có bề mặt được phủ bằng hỗn hợp A3.3 được phân tán trong sơn, sản phẩm của Akzo Nobel. Các mẫu thử nghiệm có kích thước là chiều dài 41-45mm và chiều rộng 11,3-11,7mm. Mỗi mẫu thử nghiệm được uốn ở giữa bằng cách sử dụng dụng cụ ép. Hình dạng phần trên của dụng cụ là tấm có độ dày 3mm và dài khoảng 150mm. Phần dưới của dụng cụ này được làm bằng tấm dày có “rãnh gia công” với bán kính 1,9mm. Khi đập, mẫu thử nghiệm được đặt lên dụng cụ đập phía dưới với bề mặt đã xử lý sơ bộ hướng lên trên để sau đó các tấm được đập/uốn ở giữa chiều dài khi đập. Đôi khi tiến hành uốn thêm bằng tay sau khi ép, ví dụ, nếu vật liệu có độ đàn hồi lớn hoặc “quá dày”.

Thử nghiệm cố định mẫu

Mẫu thử nghiệm uốn thứ nhất có bề mặt đã xử lý sơ bộ hoặc bề mặt đã phủ được đặt lên tấm có độ dày 1mm (22 x 22mm) và không có đặc tính thấm ướt sao cho mặt đã xử lý sơ bộ hướng lên trên. Sau đó, tấm này cùng với mẫu thử nghiệm uốn thứ nhất được lắp vào đường chéo của ống có mặt cắt ngang vuông. Kích thước bên trong của ống là 17 x 17mm và kích thước bên ngoài của ống này là 20 x 20mm. Độ dày của ống là khoảng 1,4mm và chiều cao của ống là 55mm.

Mẫu thử nghiệm uốn thứ hai là mẫu không được xử lý, mẫu này được đặt sao cho phần cong của mẫu này nằm trên phần cong của mẫu thử nghiệm uốn thứ nhất. Mẫu thử nghiệm thứ hai được đặt trong ống theo hướng vuông góc với mẫu thử nghiệm thứ nhất để tạo ra vùng tiếp xúc nhỏ giữa hai mẫu này. Các mẫu đã gá với nhau được nung nóng theo chu trình VC1 (1210°C).

Thử nghiệm kéo

Các mẫu thử nghiệm hàn vảy cứng được lắp trong thiết bị kéo mẫu “Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System” sau khi hàn vảy cứng. Tốc độ đầu kéo là khoảng 1mm/phút. Tải trọng được xác định theo kN. Kết quả thử nghiệm kéo thu được đối với cả mẫu được xử lý sơ bộ (pre-treated: PRE) và mẫu không được xử lý sơ bộ được nêu tóm tắt trong Bảng 19.

Bảng 19

Hastelloy C 2000	
Mẫu	Tải trọng trung bình ở mức tải trọng lớn nhất [kN]
Sản phẩm có lớp hợp kim hàn vảy cứng	1,144
A3.3 trong sơn	1,330
B2 trong sơn	1,214
C1 trong sơn	1,325
Ni loại 200	
Sản phẩm có lớp hợp kim hàn vảy cứng	0,359
A3.3 trong sơn	0,360
Monel 400 (1140°C)	
Sản phẩm có lớp hợp kim hàn vảy cứng	1,522
A3.3 trong sơn	1,487
Thép không gỉ loại 254SMO	
Sản phẩm có lớp hợp kim hàn vảy cứng	1,525
A3.3 trong sơn	1,298
C1 trong sơn	0,802

Thép không gỉ loại 316	
Sản phẩm có lớp hợp kim hàn vảy cứng chu trình BF(T, t)- (được tiến hành trong môi trường hydro (atm) ở nhiệt độ 1100°C)	1,166
A3.3 trong sơn	1,693
B2 trong sơn	1,602
C1 trong sơn	1,565

Bảng 19 thể hiện các mối hàn vảy cứng thu được từ các mẫu có lớp hợp kim hàn vảy cứng có độ bền kéo tương đương với mối hàn vảy cứng thu được từ các mẫu có phủ hỗn hợp bo và silic được phân tán trong chất kết dính trên bề mặt. Do đó, kết quả của các thử nghiệm này cho thấy rằng việc chọn phương pháp hàn vảy cứng có thể phụ thuộc vào các khía cạnh khác hơn là độ bền kéo dự kiến của các mối nối thu được.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Chế phẩm phủ bao gồm các hạt được chọn từ nhóm bao gồm hạt có đặc tính chịu mài mòn, hạt có đặc tính gia cố bề mặt, hạt có đặc tính xúc tác hoặc hỗn hợp của chúng, và hỗn hợp trộn cơ học bao gồm ít nhất một nguồn là hạt bột bo và ít nhất một nguồn là hạt bột silic, mỗi hạt trong bột này hoặc là nguồn silic hoặc là nguồn bo và trong đó các hạt có cỡ hạt trung bình nhỏ hơn 250 μm , và trong đó:

- hỗn hợp trộn cơ học này bao gồm bo và silic với tỷ lệ trọng lượng của bo với silic nằm trong khoảng từ 3:100 đến 100:3 tính theo trọng lượng;
- silic và bo có mặt trong hỗn hợp này với lượng ít nhất 25% trọng lượng;
- ít nhất một nguồn bo và ít nhất một nguồn silic này không chứa oxy ngoại trừ lượng oxy lẫn vào không tránh được, và trong đó lượng oxy lẫn vào không tránh được này nhỏ hơn 5% trọng lượng.

2. Chế phẩm phủ theo điểm 1, trong đó nguồn silic được chọn từ một hoặc nhiều nguồn trong số silic nguyên tố, hợp kim chứa silic, hoặc hợp chất chứa silic.

3. Chế phẩm phủ theo điểm 1 hoặc 2, trong đó nguồn bo được chọn từ một hoặc nhiều nguồn trong số bo nguyên tố, hợp kim chứa bo, hoặc hợp chất chứa bo.

4. Chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó nguồn bo được chọn từ nhóm bao gồm bo nguyên tố, bo cacbua, niken borua, và nguồn silic được chọn từ silic nguyên tố, silic cacbua, sắt silixua.

5. Chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó hạt có đặc tính chịu mài mòn là hạt cứng được chọn từ các hạt hợp chất trên cơ sở hợp chất oxit, hợp chất nitrua, hợp chất cacbua, hợp chất borua, hoặc hỗn hợp của chúng.

6. Chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó hạt có đặc tính chịu mài mòn được chọn từ một hoặc nhiều hạt hợp chất trong số hợp chất vonfram cacbua, bo nitrua (khô), titan nitrua, kim cương, composit kim loại, crom borua.

7. Chế phẩm phủ theo điểm 6, trong đó chế phẩm này còn chứa bột vật liệu nền, vật liệu nền này có mặt với lượng nhỏ hơn 75% trọng lượng tính theo tổng trọng lượng của silic, bo và vật liệu nền.

8. Chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó chế phẩm này còn chứa hợp kim hàn vảy cứng.

9. Chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó chế phẩm này còn bao gồm ít nhất một chất dính kết được chọn từ nhóm bao gồm dung môi, nước, dầu, gel, sơn, sơn dầu, polyme, và sáp.

10. Chế phẩm phủ theo điểm 9, trong đó polyme được chọn từ nhóm bao gồm polyeste, polyetylen, polypropylen, polyme acrylic, polyme (met)acrylic, rượu polyvinyllic, polyvinyl axetat, polystyren, và sáp.

11. Chế phẩm phủ theo điểm 9 hoặc 10, trong đó hỗn hợp này được phân tán trong chất dính kết.

12. Sản phẩm được phủ bao gồm lớp nền làm bằng vật liệu nền và chế phẩm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 11, trong đó vật liệu nền này có nhiệt độ pha rắn cao hơn 1100°C, và ít nhất một phần sản phẩm này có lớp được phủ bằng chế phẩm này.

13. Sản phẩm theo điểm 12, trong đó vật liệu nền được chọn từ nhóm bao gồm hợp kim trên cơ sở sắt, hợp kim trên cơ sở niken, hợp kim trên cơ sở crom, hợp kim trên cơ sở coban, và hợp kim trên cơ sở đồng.

14. Sản phẩm theo điểm 12 hoặc 13, trong đó vật liệu nền bao gồm crom với lượng nằm trong khoảng từ 15 đến 22% trọng lượng, niken với lượng nằm trong khoảng từ 8 đến 22% trọng lượng, mangan với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 3% trọng lượng, silic với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 1,5% trọng lượng, molybden với lượng nằm trong khoảng từ 0 đến 8% trọng lượng, và lượng còn lại là sắt, hoặc

trong đó vật liệu nền bao gồm Fe với lượng lớn hơn 50% trọng lượng, Cr với lượng nhỏ hơn 13% trọng lượng, Mo với lượng nhỏ hơn 1% trọng lượng, Ni với lượng nhỏ hơn 1% trọng lượng và Mn với lượng nhỏ hơn 3% trọng lượng, hoặc trong đó vật liệu nền bao gồm Cr với lượng lớn hơn 10% trọng lượng và Ni với lượng lớn hơn 60% trọng lượng; hoặc trong đó vật liệu nền bao gồm Cr với lượng lớn hơn 15% trọng lượng, Mo với lượng lớn hơn 10% trọng lượng, và Ni với lượng lớn hơn 50% trọng lượng; hoặc trong đó vật liệu nền bao gồm Fe với lượng lớn hơn 10% trọng lượng, Mo với lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 30% trọng lượng, Ni với lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 30% trọng lượng, và Co với lượng lớn hơn 50% trọng lượng; hoặc trong đó vật liệu nền bao gồm Ni với lượng lớn hơn 80% trọng lượng.

15. Sản phẩm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 12 đến 14, trong đó vật liệu nền ở dạng cuộn, tấm, chi tiết, hoặc tấm mỏng.

16. Phương pháp tạo ra sản phẩm được phủ bao gồm các bước sau:

- phủ chế phẩm phủ theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 11 trên ít nhất một lớp nền;
- nung nóng ít nhất một lớp nền đã được phủ đến nhiệt độ hàn vảy cứng thấp hơn 1250°C trong lò chân không, trong khí trơ, dưới áp suất giảm, hoặc tổ hợp các môi trường này; và
- làm nguội ít nhất một lớp nền đã được phủ để thu được sản phẩm được phủ.

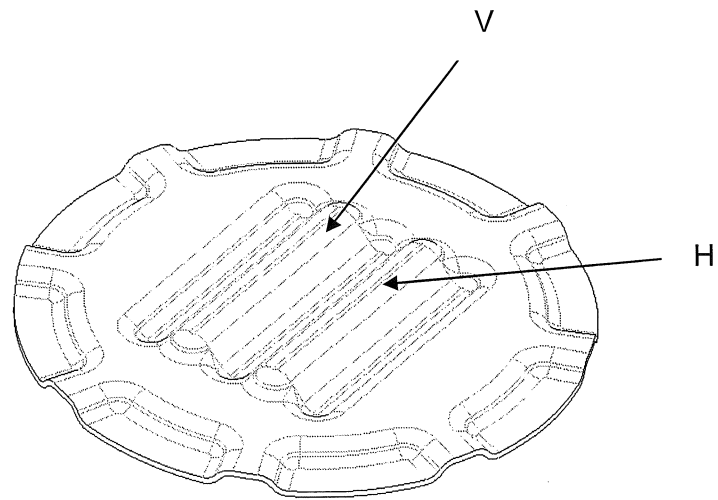


Fig. 1

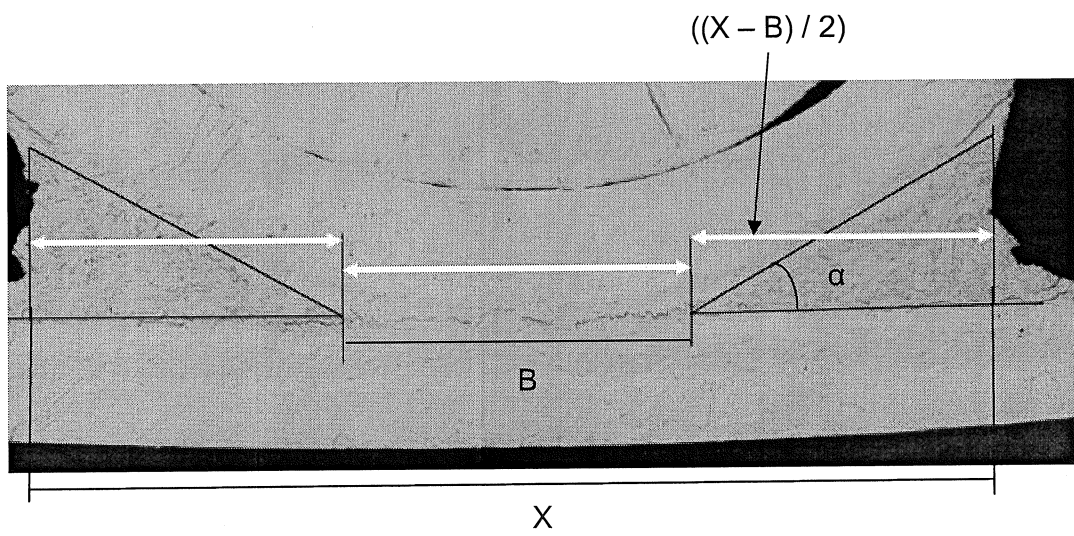


Fig. 2

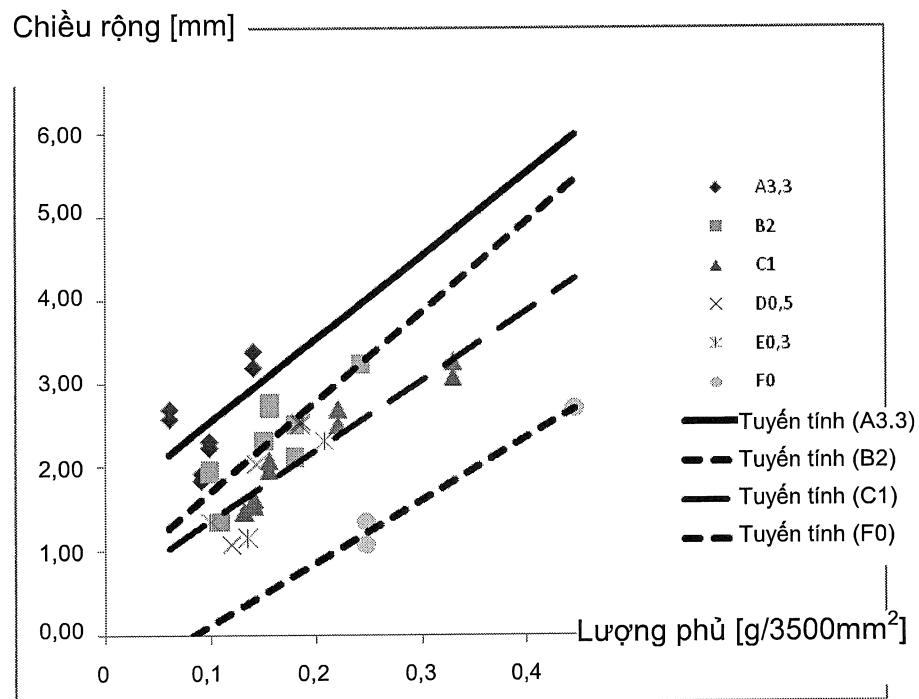


Fig.3

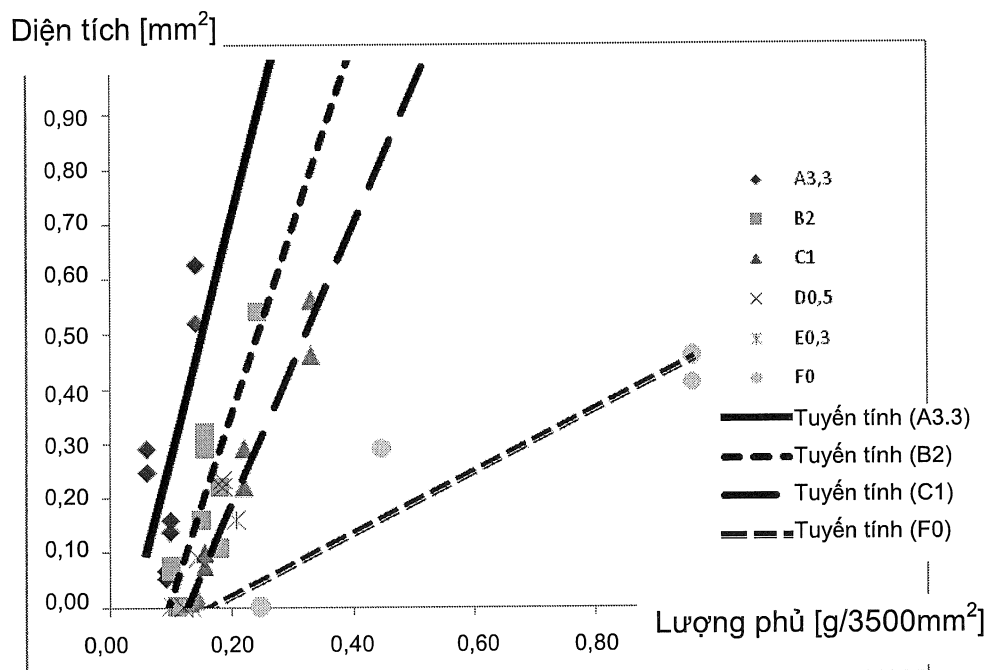


Fig.4

Tỷ lệ thành công [%]

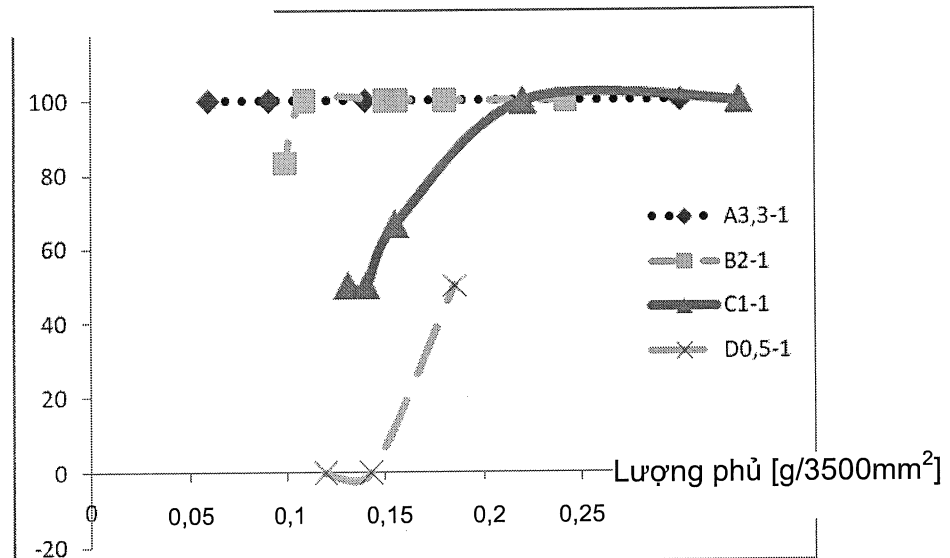


Fig.5



Fig.6