



(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)



1-0050491

(51)^{2022.01} C22C 38/02; C22C 38/06; C22C 38/52; (13) B
C22C 38/44; C22C 38/46; C22C 38/04;
C22C 38/42

(21) 1-2023-03927

(22) 13/12/2021

(86) PCT/IB2021/061647 13/12/2021

(87) WO2022/130176 23/06/2022

(30) PCT/IB2020/062043 16/12/2020 IB

(45) 25/08/2025 449

(43) 25/12/2023 429A

(73) APERAM (LU)

12C, rue Guillaume Kroll, 1882 Luxembourg, LUXEMBOURG

(72) ALLION, Audrey (FR); DELACROIX, Jessica (FR); PETIT, Bertrand (FR).

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

(54) THÉP KHÔNG GỈ AUSTENIT, TẤM TRAO ĐỔI NHIỆT VÀ BỘ PHẬN CỦA
ỐNG THOÁT KHÓI ĐƯỢC LÀM TỪ THÉP NÀY

(21) 1-2023-03927

(57) Sáng chế đề cập đến thép không gỉ austenit, đặc trưng ở chỗ có thành phần, tính theo tỷ lệ phần trăm theo khối lượng, bao gồm: hàm lượng vết $\leq C \leq 0,03\%$; $1,0\% \leq Mn \leq 2,0\%$; $0,8\% \leq Si \leq 2,0\%$, tốt hơn nếu $1,0\% \leq Si \leq 1,5\%$; hàm lượng vết $\leq Al \leq 0,06\%$; hàm lượng vết $\leq P \leq 0,045\%$; hàm lượng vết $\leq S \leq 0,015\%$; $8,0\% \leq Ni \leq 12,0\%$; $17,5\% \leq Cr \leq 20,0\%$; $0,4\% \leq Mo \leq 0,8\%$; hàm lượng vết $\leq Sn \leq 0,05\%$; hàm lượng vết $\leq Nb \leq 0,08\%$; hàm lượng vết $\leq V \leq 0,15\%$; hàm lượng vết $\leq Ti \leq 0,08\%$; hàm lượng vết $\leq Zr \leq 0,08\%$; hàm lượng vết $\leq Co \leq 1,0\%$; hàm lượng vết $\leq B \leq 0,01\%$; hàm lượng vết $\leq W + Mo \leq 0,8\%$; hàm lượng vết $\leq Pb \leq 0,03\%$; hàm lượng vết $\leq N \leq 0,1\%$; hàm lượng vết $\leq O \leq 0,01\%$; phần còn lại là sắt và các tạp chất tạo thành trong quá trình sản xuất.

Sáng chế cũng đề cập đến tấm trao đổi nhiệt và bộ phận của ống thoát khí được làm từ thép này.

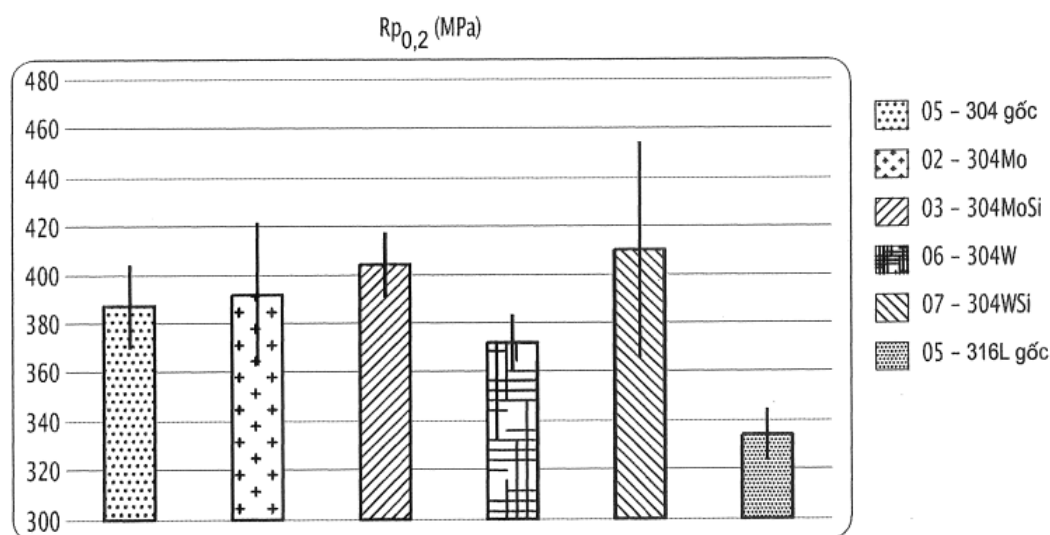


FIG.1

Lĩnh vực sử dụng sáng chế

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực thép không gỉ austenit. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập tới thép không gỉ austenit có sự dung hòa tốt giữa độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau, khả năng tạo hình tốt và giá thành vừa phải thu được bằng cách hạn chế tối đa sự có mặt của các nguyên tố hợp kim hóa đắt tiền như Ni và Mo.

Các ứng dụng được ưu tiên, nhưng không phải tất cả, bao gồm để sản xuất các tấm trao đổi nhiệt, hoặc các bộ phận của ống thoát khói, là các sản phẩm đòi hỏi phải có độ bền chống ăn mòn vượt trội, đặc biệt là ở các nhiệt độ cao hơn nhiệt độ môi trường, và khả năng tạo hình tốt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong số các loại thép không gỉ austenit, thường được sử dụng nhất là loại X5CrNi189 (1.4301) theo tiêu chuẩn EN10088-2, thành phần tiêu chuẩn hóa của nó tính theo tỷ lệ phần trăm theo khối lượng, cũng như hàm lượng của tất cả các nguyên tố hóa học được đề cập trong bản mô tả này, bao gồm: $C \leq 0,07\%$; $Si \leq 1,0\%$; $Mn \leq 2,0\%$; $P \leq 0,045\%$; $S \leq 0,015\%$; $N \leq 0,11\%$; $Cr = 17-19,5\%$; $Ni = 8-10,5\%$. Loại thép này tương đương với loại thép “304” theo ASTM A240, chỉ khác ở chỗ loại “304” giới hạn hàm lượng Si ở mức 0,75% và C ở mức 0,08%.

Việc bổ sung Nb hoặc Ti, vào khoảng 0,2% chẳng hạn, có thể góp phần cải thiện độ bền chống ăn mòn của các mối hàn, bằng cách dẫn đến sự tạo thành carbua Nb hoặc carbua Ti thay vì carbua Cr, nhờ vậy duy trì được lượng Cr trong dung dịch.

Một giải pháp khác là làm giảm hàm lượng cacbon trong thép, nhờ vậy tránh được sự kết tụ của carbua crom trong quá trình làm nguội, yếu tố làm giảm độ bền

chống ăn mòn. Biến thể cacbon thấp của X5CrNi18-9 (1.4301) là X2CrNi18-9 (1.4307) theo EN 10088-2 và của "304" là "304L" theo ASTM A240.

Các loại thép nêu trên có độ bền chống ăn mòn tốt, tuy nhiên chúng có thể vẫn chưa đủ bền trong các môi trường đặc biệt khắc nghiệt, ví dụ môi trường nước biển, và môi trường chứa clo nói chung.

Trong nỗ lực tìm kiếm vật liệu có độ bền cao chống các loại ăn mòn khác nhau, các loại thép X5CrNiMo17-12-2 theo EN 10088-2 và "316" theo ASTM A240 và các loại có nguồn gốc từ đó thường được ưu tiên sử dụng hơn loại X5CrNi189 (1.4301) và 304 theo cùng các tiêu chuẩn tương ứng.

Thành phần tiêu chuẩn điển hình của thép X5CrNiMo17-12-2 là: $C \leq 0,07\%$; $Si \leq 1,0\%$; $Mn \leq 2,0\%$; $P \leq 0,045\%$; $S \leq 0,015\%$; $N \leq 0,1\%$; $Cr = 16,5-18,5\%$; $Mo = 2,0-2,5\%$; $Ni = 10-13\%$. Thành phần này tương đương với thành phần của loại thép "316" theo tiêu chuẩn ASTM A240 chỉ khác ở chỗ loại "316" giới hạn hàm lượng Si ở mức 0,75%, C ở mức 0,08% và có chứa từ 16% đến 18% crom. So với thép X5CrNi189, có sự dịch chuyển khoảng hàm lượng Cr một chút về phía giá trị tối thiểu và giá trị tối đa, nhưng hàm lượng Ni thường cao hơn, và trên hết là sự có mặt đáng kể của Mo.

Như với các loại thép chứa 18% crom và 9% niken, độ bền chống ăn mòn cao hơn trong môi trường chứa clo đạt được với loại thép X2CrNiMo17-12-2 với thành phần tiêu chuẩn hóa thông thường: $C \leq 0,03\%$; $Si \leq 1,0\%$; $Mn \leq 2,0\%$; $P \leq 0,045\%$; $S \leq 0,015\%$; $N \leq 0,1\%$; $Cr = 16,5-18,5\%$; $Mo = 2-2,5\%$; $Ni = 10-13\%$. Thành phần này khác với thành phần của thép X5CrNiMo17-12-2 chủ yếu ở chỗ hàm lượng tối đa của C thấp hơn, điều này góp phần mang lại độ bền ăn mòn giữa các hạt tốt hơn nữa trong môi trường chứa clo so với thép X5CrNiMo17-12-2, do khả năng hình thành carbua Cr và cacbonitrua Cr thấp hơn. Loại thép nêu trên cũng dễ hàn hơn. Loại thép như vậy tương đương với loại thép "316L" theo ASTM A240.

Thép X5CrNiMo17-12-2 và các loại có nguồn gốc từ đó bị nhược điểm là đắt tiền hơn thép X5CrNiMo17-12-2 do có hàm lượng Ni cao hơn và sự có mặt đáng kể của Mo. Ngoài ra, việc khai thác các nguyên tố như vậy từ quặng rất có hại

cho môi trường. Do đó, rất cần tìm ra các loại thép thay thế thích hợp chứa hàm lượng thấp hơn các nguyên tố hợp kim hóa đắt tiền, có tác động sinh thái cao. Đó là mục đích của sáng chế này.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Nhằm mục đích này, sáng chế đề xuất thép không gỉ austenit, đặc trưng ở chỗ có thành phần, tính theo tỷ lệ phần trăm theo khối lượng, bao gồm:

- hàm lượng vết $\leq C \leq 0,03\%$;
- $1,0\% \leq Mn \leq 2,0\%$;
- $0,8\% \leq Si \leq 2,0\%$; tốt hơn nếu $1,0\% \leq Si \leq 1,5\%$;
- hàm lượng vết $\leq Al \leq 0,06\%$; tốt hơn nếu hàm lượng vết $\leq Al \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq P \leq 0,045\%$;
- hàm lượng vết $\leq S \leq 0,015\%$;
- $8,0\% \leq Ni \leq 12,0\%$; tốt hơn nếu $9,45\% \leq Ni \leq 10,0\%$;
- $17,5\% \leq Cr < 20,0\%$;
- $0,4\% \leq Mo \leq 0,8\%$; tốt hơn nếu $0,5\% \leq Mo \leq 0,6\%$;
- hàm lượng vết $\leq Sn \leq 0,05\%$;
- hàm lượng vết $\leq Nb \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq V \leq 0,15\%$;
- hàm lượng vết $\leq Ti \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq Zr \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq Co \leq 1,0\%$;
- $0,02\% \leq Cu \leq 0,6\%$;
- hàm lượng vết $\leq B \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq W + Mo \leq 0,8\%$;
- hàm lượng vết $\leq Pb \leq 0,03\%$;

- hàm lượng vết $\leq N < 1.000\text{ppm}$;
- hàm lượng vết $\leq O \leq 0,01\%$; tốt hơn nếu hàm lượng vết $\leq O \leq 0,005\%$;

phần còn lại là sắt và các tạp chất tạo thành trong quá trình sản xuất.

Sáng chế cũng đề xuất thép không gỉ austenit, đặc trưng ở chỗ có thành phần, tính theo tỷ lệ phần trăm theo khối lượng, bao gồm:

- hàm lượng vết $\leq C \leq 0,03\%$;
- $1,0\% \leq \text{Mn} \leq 2,0\%$;
- $0,8\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$; tốt hơn nếu $1,0\% \leq \text{Si} \leq 1,5\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Al} \leq 0,06\%$; tốt hơn nếu hàm lượng vết $\leq \text{Al} \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{P} \leq 0,045\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{S} \leq 0,015\%$;
- $8,0\% \leq \text{Ni} \leq 12,0\%$; tốt hơn nếu $9,45\% \leq \text{Ni} \leq 10,0\%$;
- $17,5\% \leq \text{Cr} \leq 20,0\%$;
- $0,4\% \leq \text{Mo} \leq 0,8\%$; tốt hơn nếu $0,5\% \leq \text{Mo} \leq 0,6\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Sn} \leq 0,05\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Nb} \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{V} \leq 0,15\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Ti} \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Zr} \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Co} \leq 1,0\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{B} \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{W} + \text{Mo} \leq 0,8\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{Pb} \leq 0,03\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{N} \leq 0,1\%$;
- hàm lượng vết $\leq \text{O} \leq 0,01\%$;

phần còn lại là sắt và các tạp chất tạo thành trong quá trình sản xuất.

Cỡ hạt trung bình của thép này có thể nằm trong khoảng từ 11 đến 6 ASTM.

Tiếp theo, sáng chế đề xuất tấm trao đổi nhiệt, đặc trưng ở chỗ tấm trao đổi nhiệt này được làm từ thép không gỉ austenit nêu trên.

Tiếp theo, sáng chế đề xuất bộ phận của ống thoát khói, đặc trưng ở chỗ bộ phận này được làm từ thép không gỉ austenit nêu trên.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ kèm theo

Sáng chế sẽ được minh họa dựa trên các hình vẽ sau đây:

Fig.1 là biểu đồ thể hiện giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$ được đo trên lô thứ nhất gồm các mẫu thử thử nghiệm khác nhau;

Fig.2 là biểu đồ thể hiện độ bền kéo R_m được đo trên lô thứ nhất gồm các mẫu thử thử nghiệm khác nhau;

Fig.3 là biểu đồ thể hiện độ giãn dài khi đứt $A\%$ được đo trên lô thứ nhất gồm các mẫu thử thử nghiệm khác nhau;

Fig.4 là biểu đồ thể hiện điện thế ăn mòn điểm E_{pit} của các mẫu thép thử nghiệm khác nhau, được đo trong môi trường NaCl 0,02M ở 23°C;

Fig.5 là biểu đồ thể hiện cỡ hạt của các mẫu thép thử nghiệm khác nhau ở hai nhiệt độ ủ khác nhau;

Fig.6 là biểu đồ thể hiện kết quả đo giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$ của các mẫu thép thử nghiệm;

Fig.7 là biểu đồ thể hiện kết quả đo độ bền kéo R_m của các mẫu thép thử nghiệm;

Fig.8 là biểu đồ thể hiện kết quả đo độ giãn dài khi đứt $A\%$ của các mẫu thép thử nghiệm;

Fig.9 là biểu đồ thể hiện giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$ được đo trong các thử nghiệm kéo dọc theo ba hướng trên hai loại thép;

Fig.10 là biểu đồ thể hiện kết quả đo độ bền kéo R_m dọc theo ba hướng trên hai loại thép;

Fig.11 là biểu đồ thể hiện kết quả đo độ giãn dài khi đứt A% dọc theo ba hướng trên hai loại thép;

Fig.12 và Fig.13 là đồ thị thể hiện tỷ lệ đập sâu giới hạn LDR lần lượt của thép so sánh và thép theo sáng chế;

Fig.14 là biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của độ mặn và nhiệt độ của dung dịch NaCl trong nước đến độ bền chống ăn mòn điểm của hai loại thép theo sáng chế và một loại thép so sánh;

Fig.15 là đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của PREN đến độ bền chống ăn mòn điểm của các mẫu thép thử nghiệm khác nhau;

Fig.16 là đồ thị thể hiện đường cong dòng điện-điện thế dùng để đánh giá độ nhạy đồng đều ăn mòn của hai loại thép theo sáng chế và một loại thép so sánh,

Fig.17 là biểu đồ thể hiện kết quả thử nghiệm bay hơi nhỏ giọt để đánh giá độ bền chống ăn mòn do ứng suất của hai loại thép theo sáng chế và ba loại thép so sánh;

Fig.18 là biểu đồ thể hiện kết quả đo pH khử thụ động của thép theo sáng chế và ba loại thép so sánh.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Như đã nêu trên, sáng chế dựa trên việc cải biến thành phần của loại thép X2CrNi18-9 cổ điển bằng cách bổ sung Mo và Si một cách cân bằng cẩn thận, hàm lượng Mo được giữ tương đối thấp. Việc bổ sung như vậy làm cho thép này có thành phần gần hơn với thành phần của thép X2CrNiMo17-12-2, do sự có mặt của Mo. Nhưng việc bổ sung này không tương ứng với biến thể đã biết hoặc hiển nhiên từ đó, đặc biệt là bởi vì sự có mặt của Mo được giữ ở mức tương đối vừa phải. Việc cải biến như vậy không gây bất lợi về mặt kinh tế, tuy nhiên, khi kết hợp với hàm lượng Si có thể cao hơn trong X2CrNi18-9 và X2CrNiMo17-12-2, vẫn là đủ để duy trì được cả các đặc tính cơ học lẫn độ bền chống ăn mòn ít nhất ở mức tốt như các đặc tính của CrNiMo17-12-2. Các đặc tính như vậy rất phù hợp với các ứng dụng đòi hỏi cả độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau lẫn khả năng tạo hình tốt để sản

xuất các chi tiết mỏng và các chi tiết có hình dạng phức tạp, ví dụ như các tấm trao đổi nhiệt hoặc bộ phận của ống thoát khí.

Các tác giả sáng chế này đã phát hiện thấy rằng thép có thành phần như được biểu thị theo % khối lượng dưới đây là phù hợp nhất để giải quyết các vấn đề nêu trên về mặt chi phí vật liệu, đặc tính cơ học và tính năng chống ăn mòn.

Hàm lượng C nằm trong khoảng từ hàm lượng vết đến 0,030%. C là nguyên tố ổn định pha gama (austenit hóa), và hàm lượng C quá cao sẽ dẫn đến việc phải điều hòa hàm lượng đó bằng cách bổ sung các nguyên tố ổn định pha alpha (ferit hóa) đắt tiền như Cr hoặc Mo. Hơn nữa, C rất không có lợi cho độ bền chống ăn mòn giữa các hạt và làm giảm mạnh khả năng hàn của thép.

Hàm lượng Mn nằm trong khoảng từ 1,0% đến 2,0%. Mn tạo ra độ ổn định của austenit bằng cách làm giảm xu hướng chuyển hóa thành mactensit của chúng dưới ứng suất hoặc nhiệt độ, và do vậy làm tăng khả năng biến dạng của chúng và trở nên ít bị tăng độ cứng do biến dạng dẻo hơn, là điều có lợi trong quá trình dập sâu (deep-drawing) các tấm trao đổi nhiệt. Tuy nhiên, ở hàm lượng cao Mn có xu hướng làm giảm độ bền chống ăn mòn của thép, nên hàm lượng của chúng cần được giới hạn ở mức 2,0%.

Hàm lượng P tối đa là 0,045%.

Hàm lượng S tối đa là 0,015%.

S và P các nguyên tố cực kỳ có hại cho độ bền chống ăn mòn của các loại thép không gỉ và cũng làm giảm mạnh độ bền cơ học và khả năng biến dạng của chúng khi nóng. Tốt hơn nếu hàm lượng của chúng được giữ ở mức thấp nhất có thể, và trong mọi trường hợp cần nhỏ hơn hoặc bằng các giới hạn nêu trên.

Hàm lượng Si nằm trong khoảng từ 0,8% đến 2,0%, và tốt hơn nếu từ 1,0% đến 1,5%. Theo sáng chế, khi nguyên tố này kết hợp với hàm lượng vừa phải Mo, thì sẽ làm tăng đáng kể độ bền chống ăn mòn của thép. Si cũng là nguyên tố có tính ổn định pha alpha (ferit hóa) cao, và hàm lượng của chúng cần được giới hạn ở mức đến 2%, nếu không thì thép sẽ không cân bằng, và hàm lượng Si cao sẽ phải

được điều hòa bằng sự có mặt của nguyên tố ổn định pha gama, như Ni đất tiền hoặc C có hại.

Ngoài ra, việc giảm hàm lượng Mo so với các loại thép đã biết, thông qua việc thay thế Mo bằng Si, cũng làm giảm tác động sinh thái của việc khai thác các nguyên liệu thô cần thiết.

Hàm lượng Al nằm trong khoảng từ hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất đến 0,06%. Al có thể được các nhà sản xuất thép sử dụng làm chất khử oxy. Nhưng nếu Al được kiểm soát kém, nó có thể ảnh hưởng đến độ sạch thể vùi (inclusionary cleanliness) của thép, và đặc biệt là hình thức cuối cùng của bề mặt sản phẩm. Al cũng là nguyên tố ổn định pha alpha và sự có mặt quá mức của nó sẽ cần phải được điều hòa bằng nguyên tố ổn định pha gama đất tiền như Ni hoặc nguyên tố có hại cho độ bền chống ăn mòn như C. Do đó, điều quan trọng là phải giới hạn hàm lượng Al ở mức tối đa bằng 0,06%, và tốt hơn nếu tối đa bằng 0,01%.

Ni là nguyên tố ổn định pha gama mạnh, làm tăng khả năng biến dạng và biến dạng đàn hồi của thép. Tuy nhiên, Ni cũng tương đối đất tiền và hàm lượng của nó phải mang lại sự cân bằng giữa độ ổn định luyện kim và giá thành của thép. Do đó, hàm lượng Ni quá thấp (nhỏ hơn 8,0%) sẽ làm cho thép không ổn định do sự tạo thành martensit trong quá trình biến dạng làm tăng đáng kể độ bền cơ học (tăng độ cứng do biến dạng dẻo) và làm giảm độ giãn dài khi đứt. Tuy nhiên, hàm lượng Ni quá cao sẽ làm cho thép không có tính cạnh tranh về mặt kinh tế. Theo sáng chế, hàm lượng Ni nằm trong khoảng từ 8,0% đến 12,0%, tốt hơn nếu từ 9,45% đến 10,0%.

Cr là nguyên tố cơ bản để sản xuất thép không gỉ. Hàm lượng Cr mang lại hầu hết độ bền chống ăn mòn của thép. Đối với các ứng dụng mà sáng chế nhắm đến và để tạo trạng thái luyện kim austenit cho thép, Cr cần phải nằm trong khoảng từ 17,5% đến 20,0%.

Hàm lượng Mo nằm trong khoảng từ 0,4% đến 0,8% và tốt hơn nếu từ 0,5% đến 0,6%. Mo là nguyên tố làm tăng độ bền chống ăn mòn bằng cách tăng cường lớp màng thụ động hình thành tự nhiên trên bề mặt của thép không gỉ. Theo sáng chế, việc bổ sung Mo, được điều chỉnh một cách cẩn thận và kết hợp với khoảng

chính xác hàm lượng Si, làm tăng đáng kể độ bền chống ăn mòn của thép austenit mà không cần phải tăng hàm lượng Mo tới mức như hàm lượng trong thép X2CrNiMo17-12-2. Hàm lượng Mo cần thiết theo sáng chế cũng phải tính đến sự có mặt có thể của W, như sẽ được mô tả dưới đây.

Hàm lượng Sn được giới hạn giữa hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất và 0,05%, do Sn làm giảm mạnh khả năng rèn nóng.

Hàm lượng các nguyên tố Nb, Zr và Ti nằm trong khoảng từ hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất và 0,08%. Các nguyên tố ổn định tính ăn mòn giữa các hạt như vậy không cần thiết ở đây, do hàm lượng C thấp được sử dụng trong thép theo sáng chế. Tốt hơn nếu hàm lượng Nb nhỏ hơn rõ rệt 0,03% và tốt hơn nữa nếu nhỏ hơn 0,02%.

Hàm lượng V được giới hạn giữa hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất và 0,15%. V làm tăng độ tan của N trong austenit ở các nhiệt độ cao, và có thể được bổ sung với lượng vừa phải để ngăn ngừa sự kết tụ của nitrua crom. Để cải thiện khả năng rèn, tốt hơn nếu hàm lượng V bằng hoặc lớn hơn 0,03%, tốt hơn nữa nếu bằng hoặc lớn hơn 0,04%.

Hàm lượng Co nằm trong khoảng từ hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất và 1,0%. Mặc dù Co là nguyên tố ổn định pha gamma, do đó có thể có lợi về mặt luyện kim, nhưng Co lại quá đắt tiền nên cần được giới hạn ở mức 1,0% để không ảnh hưởng đáng kể đến giá thành của thép.

B được biết là làm tăng khả năng rèn và độ dẻo của thép. Hàm lượng B cần được giữ trong khoảng giữa hàm lượng vết do quá trình sản xuất và 0,01%.

W được mô tả trong các tài liệu khoa học là được sử dụng để tăng độ bền chống ăn mòn của thép với tỷ lệ tương đương với tỷ lệ của Mo. Tuy nhiên, W là nguyên tố quá đắt tiền nên sự có mặt đáng kể của nó sẽ làm tăng mạnh giá thành của thép. Do đó, W nên được giới hạn ở giá trị tối đa tùy thuộc vào tỷ lệ Mo và thỏa mãn điều kiện $Mo + W \leq 0,8\%$, và tốt hơn nếu được giảm xuống đến mức hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất.

Cu có mặt trong thành phần thép dưới dạng tạp chất tạo thành trong quá trình sản xuất, với hàm lượng tối đa bằng 0,6%, thường nhỏ hơn hoặc bằng 0,5%, tốt hơn nếu nhỏ hơn 0,3%. Hàm lượng Cu nên giữ ở mức ít nhất bằng 0,02%, hoặc, tùy thuộc vào quy trình sản xuất, ít nhất bằng 0,10%.

Hàm lượng Pb nằm trong khoảng từ hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất đến 0,03%.

Hàm lượng N nằm trong khoảng từ 2,0% đến 0,1% khối lượng (1.000ppm). Hàm lượng như vậy có thể ngăn ngừa sự giảm sút các đặc tính cơ học xảy ra ở các hàm lượng cao hơn. Tốt hơn nếu hàm lượng N được giữ ở mức tối đa bằng 0,08% (800ppm). Hàm lượng N thường bằng hoặc lớn hơn 0,03% (300ppm).

Hàm lượng O nằm trong khoảng từ hàm lượng vết đến 0,01%, và tốt hơn nếu được giới hạn ở mức thấp nhất có thể, để đáp ứng yêu cầu về độ sạch thể vùi phù hợp với các ứng dụng được dự định.

Các nguyên tố không được đề cập thường có mặt với lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất. Thuật ngữ “vết” nói chung cần được hiểu theo nghĩa là các nguyên tố không được bổ sung một cách có chủ ý trong quá trình sản xuất, hoặc (có thể là trường hợp với Al và các nguyên tố khử oxy khác như Zr) là các nguyên tố mà sau đó được loại bỏ, ví dụ bằng cách lắng gạn các thể vùi phi kim tạo thành từ các nguyên tố này, và chỉ có mặt với lượng rất ít trong thép thành phẩm.

Cần hiểu rằng các khoảng ưu tiên của các nguyên tố khác nhau, được xác định trong thành phần của thép theo sáng chế, là độc lập với nhau. Nói cách khác, sẽ vẫn phù hợp với sáng chế nếu chọn thành phần của thép, đối với một số nguyên tố nhất định, nằm trong phạm vi chung nhất của chúng như đã được xác định ở trên, và đối với các nguyên tố khác trong phạm vi ưu tiên của chúng.

Cỡ hạt trung bình có thể nằm trong khoảng từ 11 đến 6 ASTM. Cỡ hạt 6 ASTM được ưu tiên cho các ứng dụng có hình dạng phức tạp, như các tấm trao đổi nhiệt, cần được sản xuất bằng phương pháp dập sâu, và cỡ hạt 11 ASTM được ưu tiên trong trường hợp thiết bị trao đổi nhiệt được hàn vẩy hoặc hàn khuếch tán ở

các nhiệt độ cao. Bằng cách này, có thể tạo ra độ bền cơ học cho thiết bị trao đổi nhiệt, sau công đoạn lắp ráp, phù hợp với áp suất cao phải chịu khi sử dụng.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trước tiên, các thử nghiệm so sánh được thực hiện trên các loại thép có thành phần khác nhau để tìm ra sự cân bằng phù hợp giữa hàm lượng của Si, Mo, W, Cu là các nguyên tố đã biết là có khả năng cải thiện độ bền chống ăn mòn của thép X2CrNi18-9 cổ điển, do đặc tính hóa học của chúng hoặc hệ số tỷ lệ của chúng, riêng lẻ hoặc kết hợp. Các loại thép này được sử dụng để phân biệt ảnh hưởng tương ứng của tất cả các nguyên tố hóa học đến các đặc tính khác nhau của thép, như khả năng rèn nóng, độ ổn định austenit, độ bền chống ăn mòn v.v.. Thép X2CrNiMo17-12-2 cổ điển cũng được đưa vào thử nghiệm để so sánh, và thép X2CrNiMo17-12-2 được làm giàu Si mà thoát nhìn có thể là giải pháp khả thi để cải thiện các đặc tính của loại thép cơ bản, kết hợp với sự có mặt của 2,0% Mo.

Thành phần của các loại thép thử nghiệm khác nhau được tóm tắt trong Bảng 1, với hàm lượng được biểu thị theo % khối lượng. Cần hiểu rằng các nguyên tố không được nêu trong bảng này (cũng như trong các bảng khác liên quan đến thành phần thép trong bản mô tả này) chỉ có mặt dưới dạng hàm lượng vết tạo thành trong quá trình sản xuất, không có ảnh hưởng về mặt luyện kim.

Tên gọi các loại thép khác nhau trong Bảng 1 không được chuẩn hóa; các tên gọi như vậy chỉ áp dụng trong khuôn khổ bản mô tả này và cần được hiểu là tương ứng với thép X5CrNi18-9 trong trường hợp liên quan đến 304, hoặc thép X2CrNiMo17-12-2 trong trường hợp liên quan đến 316L, với (các) nguyên tố đi cùng trong tên được bổ sung vào đáng kể khiến cho thép này không tuân theo các tiêu chuẩn chi phối thành phần của thép X5CrNi18-9 hoặc thép X2CrNiMo17-12-2.

Bảng 1: Thành phần hóa học của các loại thép dùng trong sáng chế

Ví dụ	Thép	C, ppm	Mn, %	P, %	S, ppm	Si, %	Ni, %	Cr, %	Cu, %	Mo, %	W, %	N, ppm
1	304 gốc	573	0,99	0,003	9	0,27	9:48	17,81	0,30	0,15	vết	389
2	304Mo	560	0,98	0,003	8	0,28	9:48	17,84	0,29	0,48	vết	412
3	304MoSi	566	0,97	0,003	7	1:34	9:49	17,80	0,30	0,50	vết	488
4	304MoSiCu	573	0,97	0,003	7	1:34	9:47	17,80	1,99	0,50	vết	621
5	304 gốc	551	0,98	0,003	6	0,30	9:47	17,84	0,30	0,15	0,008	428
6	304W	539	0,97	0,003	6	0,29	9:48	17:57	0,30	0,15	0,35	421
7	304WSi	532	0,96	0,003	6	1:42	9:52	17:49	0,30	0,15	0,46	422
8	304WSiCu	508	0,96	0,003	5	1:42	9:51	17:53	2:00	0,15	0,45	428
9	316L gốc	211	1:27	0,003	9	0,37	10,79	16:42	0,29	1,98	vết	477
10	316LSi	229	1:26	0,003	7	1:35	10,82	16:39	0,29	1,98	vết	611

Thép có thành phần như nêu trong Bảng 1 được đúc. Từ các thỏi đúc nhỏ thu được, chế tạo các mẫu thử dày 40 mm, sau đó các mẫu thử này được cán nóng ở 1150°C tới độ dày 4 mm, tiếp đó được ủ ở 1140-1120°C và được tẩy gỉ. Các mẫu thử thu được sau đó được cán nguội tới độ dày 1,5 mm, được ủ ở 1140-1120°C, sau đó được làm nguội bằng không khí cưỡng bức và được tẩy gỉ.

Phương pháp chuẩn bị như vậy là hoàn toàn thông thường đối với các loại thép không gỉ austenit mà sáng chế này nhằm thay thế, đặc biệt là đối với các ứng dụng được dự tính ưu tiên nêu trên.

Kết luận sau đây có thể được rút ra:

Cỡ hạt trung bình của thép loại 304 và các loại thép được cải biến từ đó nằm trong khoảng từ 9,3 đến 11,2 ASTM, như được thể hiện trong Bảng 2, thép 304 gốc có cỡ hạt trung bình nhỏ nhất (lưu ý rằng cỡ hạt nhỏ tương ứng với giá trị ASTM cao). Việc bổ sung Si, và đặc biệt là Mo hoặc W, góp phần làm tăng cỡ hạt trung bình. Thép loại 316L có cỡ hạt trung bình bằng 9 ASTM; sự có mặt của 1,35% Si

thay vì 0,37%, các thành phần khác về cơ bản là như nhau, làm tăng nhẹ cỡ hạt trung bình (8,7 ASTM).

Bảng 2: Cỡ hạt thu được sau khi cán nguội và ủ mẫu thép có cùng độ dày 1,5 mm.

Ví dụ	Thép	Cỡ hạt ASTM
1	304 gốc	11,2
2	304Mo	9,5
3	304MoSi	9,9
4	304MoSiCu	9,3
5	304 gốc	10,8
6	304W	9,4
7	304WSi	10,2
8	304WSiCu	9,2
9	316L gốc	9,0
10	316LSi	8,7

Liên quan đến các đặc tính cơ học đặc trưng cho khả năng định hình của thép, tức là giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$, độ bền kéo R_m và độ giãn dài khi đứt A, từ các biểu đồ trên Fig.1 – Fig.3 có thể thấy như sau:

Việc bổ sung Mo riêng lẻ với lượng thử nghiệm vào thép 304 không có ảnh hưởng đáng kể. Giới hạn chảy và độ bền kéo vẫn cao hơn so với thép 316L. Thép 316L thể hiện độ giãn dài khi đứt lớn hơn một chút so với độ giãn dài khi đứt của thép 304 gốc và các loại thép 304 được làm giàu Mo và Si.

Việc bổ sung W riêng lẻ có xu hướng làm giảm các đặc tính đó.

Việc bổ sung Si kết hợp với việc bổ sung Mo với lượng thử nghiệm có ảnh hưởng đáng kể nhất, đặc biệt là đến độ giãn dài khi đứt.

Độ bền chống ăn mòn điểm được biểu thị trên Fig.4 bằng điện thế ăn mòn điểm $V_{pit_{0,1}}$ trong môi trường NaCl 0,02M ở 23°C, thông thường thì thép 316L có độ bền tốt hơn thép 304. Tuy nhiên, có thể thấy rằng đối với cả hai loại thép 304 và 316L, việc bổ sung từ 1,3% đến 1,4% Si vào thép 304 làm tăng đáng kể điện thế ăn mòn điểm. Kết quả thử nghiệm tốt nhất thu được trên thép 304 được bổ sung 0,5% Mo và 1,3% Si và chứa từ 17,4% đến 17,8% Cr. Kết quả này thậm chí còn tốt hơn kết quả thu được trên thép 316L chứa 1,98% Mo và 16,4% Cr được bổ sung 1,35% Si.

W không có ảnh hưởng đáng kể đến điện thế ăn mòn điểm. Theo các thử nghiệm, tác dụng của nó hoàn toàn khác với tác dụng của Mo.

Việc bổ sung Cu là bất lợi vì nó làm giảm điện thế ăn mòn điểm, các đặc tính khác là như nhau.

Dường như hàm lượng Cr cao hơn của thép 304 và sự liên kết của của nó với hàm lượng Mo vừa phải và hàm lượng Si lớn hơn 1%, làm tăng đáng kể độ bền chống ăn mòn điểm của thép không gỉ austenit.

Liên quan đến hiện tượng ăn mòn qua vết nứt, ăn mòn đồng đều và ăn mòn do ứng suất, việc bổ sung 0,5% Mo, cùng với hoặc không cùng với Si, cũng tỏ ra có lợi và dẫn đến đạt được đặc tính tương đương với đặc tính của thép 316L.

Các thử nghiệm ban đầu như vậy đã gợi ý rằng, về mặt độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau, đặc tính cơ học và giá thành, thì giải pháp bổ sung một ít Mo hoặc một ít Mo và Si vào thép 304 thông thường có thể là một giải pháp thay thế tốt cho việc sử dụng thép 316 hoặc thép 316L, là các loại thép chứa nhiều Ni và Mo hơn so với thép theo sáng chế, và do vậy đắt tiền hơn đáng kể, tác động sinh thái rõ rệt hơn và khả năng tạo hình không phải lúc nào cũng tối ưu cho các ứng dụng dự định.

Tuy nhiên, việc bổ sung quá nhiều Si vào thép 304 thông thường như vậy có xu hướng làm tăng các đặc tính cơ học, bao gồm độ cứng khi nóng, theo hướng bất lợi cho khả năng tạo hình của vật liệu. Đã thấy rằng đối với hàm lượng Si 1,35% kết hợp với 0,5% Mo, thì nhiệt độ A4, tức nhiệt độ đánh dấu sự chuyển pha

của delta ferit sang austenit, là quá thấp và dẫn đến sự tạo thành vết nứt trên các cạnh của sản phẩm trong quá trình cán nóng. Do đó, vẫn cần phải tìm một giải pháp tối ưu.

Việc cân bằng thành phần để thu được nhiệt độ A4 thích hợp, tức là cao hơn nhiệt độ nung nóng lại trước khi cán nóng, là cần thiết để đảm bảo tính toàn vẹn của thép trong quá trình cán nóng, cũng như các đặc tính cơ học và độ bền chống ăn mòn của sản phẩm cuối, phù hợp với các ứng dụng chủ yếu dành cho thép như vậy như thiết bị trao đổi nhiệt và ống thoát khói.

Trên cơ sở các thử nghiệm ban đầu nêu trên, có thể kết luận rằng, nhằm mục đích của sáng chế, cần phải, *a priori*, thực hiện các điều chỉnh sau đây:

- giữ hàm lượng C ở mức thấp đáng kể, để hạn chế nguy cơ ăn mòn giữa các hạt;
- không bổ sung Nb, hoặc chỉ bổ sung ở mức không đáng kể, do Nb là nguyên tố đắt tiền, tác dụng tăng độ bền ăn mòn giữa các hạt của nó cũng có thể thu được bằng cách giảm hàm lượng C;
- duy trì hàm lượng Cr và Mo ở mức đủ để tạo ra độ bền chống ăn mòn mong muốn;
- giảm thiểu việc bổ sung Ni để hạn chế tăng giá thành sản phẩm;
- điều chỉnh hàm lượng N sao cho thu được độ dẻo nóng tốt, yêu cầu nhiệt độ A4 thích hợp; điều chỉnh hàm lượng Si sao cho tăng được nhiệt độ A4 và giảm được độ cứng, đồng thời duy trì được tác dụng hiệp đồng giữa Mo và Si đối với độ bền chống ăn mòn đã thấy trong các thử nghiệm sơ bộ nêu trên.

Nhằm mục đích này, chuẩn bị các thỏi đúc nặng 50 kg có thành phần được nêu trong Bảng 3. Các nguyên tố không được liệt kê trong bảng này là các tạp chất. Các Ví dụ từ 11 đến 14 là các mẫu theo sáng chế, Ví dụ 15 là mẫu so sánh 316L. Trong các Ví dụ từ 11 đến 14, hàm lượng Al có mức tối đa bằng 0,06%, hàm lượng Sn tối đa bằng 0,05%, hàm lượng Nb tối đa bằng 0,08% (thậm chí nhỏ hơn 0,03%), hàm lượng Ti tối đa bằng 0,08%, hàm lượng Zr tối đa bằng 0,08%, hàm lượng B tối

đa bằng 0,01%, tổng hàm lượng W và Mo tối đa bằng 0,8%, và hàm lượng Pb tối đa bằng 0,03%. Các mẫu theo sáng chế khác nhau chủ yếu ở hàm lượng Si của chúng, mà nằm trong khoảng từ 1,3% đến 1,0%. Lưu ý rằng Mo được đặt đồng nhất ở mức 0,5% và N cho phép tăng dần Si cân bù đắp.

Bảng 3: Thành phần các mẫu thép được đúc

Ví dụ	C, %	Mn, %	Si, %	Ni, %	Cr, %	Cu, %	Mo, %	V, %	Co, %	N, ppm	P, %	S, ppm	O, ppm
11	0,022	0,97	1,32	9,57	17,93	0,30	0,50	0,084	0,2	991	0,027	8	63
12	0,022	0,97	1,22	9,58	17,98	0,31	0,50	0,085	0,2	815	0,027	8	47
13	0,024	0,96	1,12	9,53	17,99	0,30	0,50	0,085	0,2	692	0,027	8	51
14	0,023	0,96	1,02	9,59	17,95	0,30	0,50	0,085	0,2	662	0,027	7	62
15	0,020	1,24	0,39	10,06	16,56	0,31	2,04	0,085	0,2	558	0,025	8	69

Sản phẩm thu được sau đó được cắt thành các mẫu thử có kích thước 150×100×25 mm. Các mẫu thử này được cán nóng để giảm độ dày của chúng từ 25 xuống đến còn 2,8 mm.

Sau đó thực hiện bước ủ thứ nhất ở 1.100°C và không cần giữ ở nhiệt độ này mà xử lý tiếp bằng cách khắc ăn mòn, dẫn đến sự tái kết tinh hoàn toàn của các mẫu thử và bề mặt không có oxit.

Tiếp sau đó thực hiện bước cán nguội các mẫu thử tới độ dày cuối bằng 1 mm, là độ dày lý tưởng để đảm bảo thu được đặc tính dập sâu cần thiết cho các ứng dụng dự định.

Bước ủ cuối cùng được thực hiện ở nhiệt độ từ 1.075°C đến 1.100°C, để thu được các cỡ hạt trung bình khác nhau.

Như có thể thấy trên Fig.5, cỡ hạt thu được khác nhau rất ít giữa mẫu này với mẫu khác, ở nhiệt độ ủ nhất định. Thép theo sáng chế và thép 316L có biểu hiện tương tự. Việc ủ ở 1.075°C trong tất cả các trường hợp cho cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ 7,5 đến 8 ASTM, và việc ủ ở 1.100°C trong tất cả các trường hợp

cho cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ 8,5 đến 9 ASTM, trong trường hợp của sáng chế không thấy có ảnh hưởng rõ ràng nào của hàm lượng Si.

Cỡ hạt trung bình của thép có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính cơ học của chúng và đặc biệt là khả năng dập sâu. Cỡ hạt ASTM càng nhỏ, thì vật liệu càng dễ biến dạng. Do đó, đối với các ứng dụng dự định, và đặc biệt là đối với các tấm trao đổi nhiệt có hình dạng phức tạp, độ linh hoạt trong việc điều chỉnh cỡ hạt trong khoảng từ 6 đến 11 ASTM là tiêu chuẩn chính để xác định sự dung hòa tốt giữa khả năng biến dạng cần thiết cho việc dập sâu chi tiết và độ bền cơ học cần thiết cho độ bền khi sử dụng chúng.

Các thử nghiệm kéo giãn cũng được thực hiện theo hướng vuông góc với hướng cán DL (nói cách khác là dọc theo hướng ngang DT) trên các mẫu thử được ủ ở hai nhiệt độ nêu trên. Kết quả của các thử nghiệm về giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$ được thể hiện trên Fig.6, độ bền kéo R_m trên Fig.7, và độ giãn dài khi đứt $A\%$ trên Fig.8.

Từ các kết quả này có thể thấy rằng:

- Về đặc tính giới hạn chảy thông thường $R_{p0,2}$ và độ bền kéo R_m , thép theo sáng chế có giá trị cao hơn, ở cỡ hạt trung bình ngang nhau, so với thép 316L; các giá trị này có xu hướng giảm theo hàm lượng Si và N; thép theo sáng chế cứng hơn so với thép 316L, ngay cả khi sự khác biệt về hàm lượng Si giảm xuống khoảng 1%;
- Độ giãn dài khi đứt của tất cả các thép theo sáng chế và thép 316L là tương đối ngang nhau, ở cỡ hạt trung bình như nhau, và tương đối ít thay đổi khi cỡ hạt thay đổi từ 8 ASTM đến 9 ASTM.

Các thử nghiệm kéo giãn cũng được thực hiện theo ba hướng trên hai mẫu 14 và 15: hướng cán DL, hướng ngang DT vuông góc với DL và hướng nghiêng 45° , tức là theo đường phân giác của hai hướng vừa nêu. Kết quả thử nghiệm thể hiện trên các biểu đồ từ Fig.6 đến Fig.8 chỉ liên quan đến hướng DT.

Trong toàn bộ các thử nghiệm, các mẫu thử dài 12,5 mm rộng 50 mm và dày 1 mm được chế tạo bằng bước ủ cuối cùng ở 1080°C mà không giữ ở nhiệt độ này,

với cỡ hạt trung bình 8,6 ASTM trong Ví dụ 14 theo sáng chế và 8,7 ASTM đối với thép 316L trong Ví dụ so sánh 15. Kết quả của các thử nghiệm các định $R_{p0,2}$, R_m và $A\%$ được thể hiện lần lượt trên Fig.9, Fig.10 và Fig.11.

Đối với $R_{p0,2}$ và R_m , hai mẫu thử nghiệm cho kết quả về cơ bản là ngang nhau, với độ chênh lệch không vượt quá 10 MPa ở từng hướng đo. Độ giãn dài khi đứt $A\%$ của Ví dụ 14 theo sáng chế cao hơn một chút.

Nếu hệ số đẳng hướng phẳng Δr của hai mẫu thử nghiệm được tính toán từ đường cong ứng suất-biến dạng dọc theo ba hướng, thì thấy rằng Δr của mẫu 15 làm từ thép 316L bằng -0,286 và của Ví dụ 14 theo sáng chế bằng -0,229. Thép theo sáng chế có các đặc tính cơ học tốt ở chỗ chúng có độ bền cơ học cao đi liền với biến dạng lớn khi đứt và tính đẳng hướng cao, khiến chúng có thể thay thế tốt trong các ứng dụng dùng thép 316L, nơi cần có các đặc tính quan trọng, như độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau.

Khả năng tạo hình của thép có thể được đặc trưng bởi giới hạn chảy, nhưng cần thực hiện các thử nghiệm bổ sung để có đánh giá chính xác hơn, đặc biệt nếu dự định dập sâu. Nhằm mục đích này, tiến hành các thử nghiệm Erichsen và thử nghiệm dập sâu trên các mẫu 14 và 15.

Thử nghiệm Erichsen nhằm thu được chỉ số Erichsen IE, tương ứng với độ sâu của bước dập sâu trước khi xuất hiện vết nứt, theo ứng suất đẳng trục.

Sử dụng chày ép có đường kính không đổi bằng 20 mm, áp lực giữ phôi không đổi bằng 1000 daN, chất bôi trơn Molykote® được phết bằng bàn chải, và tốc độ dập sâu không đổi bằng mm/phút. Độ dày của tấm kim loại được thử nghiệm bằng 1 mm.

Mẫu thử 14 theo sáng chế cho kết quả tốt hơn một chút so với mẫu so sánh 15: IE của mẫu thử 14 bằng 12 mm, còn IE của mẫu thử 15 bằng 11,5 mm.

Tỷ lệ kéo giới hạn (Limiting Drawing Ratio, LDR) và độ nhạy đứt gãy chậm của các mẫu thử 14 và 15 cũng được thăm định.

Về mặt lý thuyết, LDR tương ứng với tỷ lệ β giữa đường kính lớn nhất của miếng phôi trước khi nứt và đường kính ban đầu của chày ép.

Kết quả thu được được thể hiện trên Fig.12 và Fig.13. Các trị số LDR thu được rất gần nhau trên cả hai mẫu thử: 2,22 trên mẫu thử 14 theo sáng chế (Fig.13) và 2,17 trên mẫu so sánh 15 (Fig.12). Trị số LDR của mẫu thử theo sáng chế tốt hơn một chút so với trị số LDR của thép so sánh 316L.

Đối với độ nhạy đứt gãy chậm, ở tỷ lệ β bằng 2,12, không quan sát thấy sự đứt gãy chậm, trong cả hai mẫu thử nghiệm 14 và 15, trong trường hợp hoàn thiện 2B (sản phẩm được cán nguội, ủ không sáng, tẩy gỉ và ram).

Độ biến dạng do đàn hồi trở lại sau khi dập sâu cũng được đánh giá trên hai mẫu thử nghiệm 14 và 15. Không thấy sự khác biệt đáng kể nào giữa các kết quả thu được, điều này phù hợp với sự tương tự về giới hạn chảy của chúng.

Thử nghiệm độ bền chống ăn mòn cũng được thực hiện, trên các mẫu thử 11 và 14 theo sáng chế (chứa lần lượt 1,3% và 1,0% Si) và trên mẫu so sánh 15 làm từ thép 316L.

Thử nghiệm điện hóa được thực hiện trên các đĩa được dập sâu có đường kính bằng 15 mm, được đánh bóng dưới nước bằng giấy SiC có cỡ hạt 1200. Các đĩa này sau đó được tẩy dầu mỡ trong bể siêu âm chứa axeton/etanol, được rửa bằng nước cất, và được giữ 24 giờ trong không khí.

Thử nghiệm ăn mòn điện hóa được thực hiện trong dung dịch chứa nước cất và NaCl tinh khiết phân tích, khử khí bằng nitơ và hydro. Điện cực calomel bão hòa (saturated calomel electrode, SCE) được sử dụng làm điện cực so sánh và điện cực platin làm điện cực đối.

Độ bền chống ăn mòn điểm được thể hiện bằng điện thế ăn mòn điểm E_{pit} , được đo bằng mV/SCE trên các mẫu thử 11, 14 và 15 của Bảng 3 trong dung dịch NaCl đã được khử khí ở độ pH 6,6, để mẫu ở điện thế tự do trong 15 phút và sau đó tiến hành quét điện thế với tốc độ quét không đổi (100 mV/phút) cho tới khi đạt tới cường độ 50 μA , tại đó điện thế E_{pit} được đo. Các thử nghiệm này được tiến hành trong dung dịch NaCl 0,02M và 0,5M ở 23°C và 50°C. Xác suất ăn mòn điểm cơ bản P_i trên cm^2 được đo dưới dạng hàm số của điện thế ăn mòn E_{pit} . Kết quả thu được được thể hiện trên Fig.14.

Có thể thấy rằng ba mẫu thử này có kết quả rất gần với nhau, trong cùng điều kiện thử nghiệm. Cụ thể, việc thay đổi từ dung dịch NaCl 0,02M sang dung dịch NaCl 0,5 M và từ nhiệt độ 23°C sang nhiệt độ 50°C có ảnh hưởng như nhau không phụ thuộc vào thành phần của mẫu được xem xét. Fig.14 phản ánh kết quả này, bằng cách thể hiện điện thế ăn mòn điểm trung bình E_{pit} và độ lệch chuẩn σ của chúng của mỗi mẫu, dưới dạng hàm số của hàm lượng NaCl trong dung dịch và nhiệt độ của chúng.

Theo đó, tác động tích cực của việc bổ sung Si đến độ bền chống ăn mòn điểm của thép không gỉ 304 được khẳng định. Với sự có mặt của chỉ 1,0% Si, kết quả thu được vẫn tương đương với kết quả thu được trên 316L. Với 1,3% Si kết hợp với 0,5% Mo, thì độ bền chống ăn mòn điểm thậm chí còn được cải thiện một chút trong các thử nghiệm ở 23°C, trong khi vẫn ở mức tương đương ở 50°C.

Để so sánh, các thử nghiệm như nhau được thực hiện trên thép 304 không gỉ thông thường được sản xuất bằng phương pháp sản xuất công nghiệp và có thành phần bao gồm 18,1% Cr, 0,29% Cu, 1,12% Mn, 0,29% Mo, 8% Ni, 0,42% Si, 0,049% C, 0,052% N và phần còn lại là các nguyên tố ở dạng vết, và trên thép 316L có thành phần bao gồm 17% Cr, 0,27% Cu, 1,44% Mn, 2,02% Mo, 10% Ni, 0,33% Si, 0,022% C, 0,035% N và phần còn lại là các nguyên tố ở dạng vết. Có thể thấy (Fig.15) rằng đối với thép 304 công nghiệp và dung dịch NaCl 0,02M, E_{pit} có thể giảm xuống đến 490 mV ở 23°C và 390 mV ở 50°C. Trong dung dịch NaCl 0,5M, các giá trị tương ứng là 300 mV và 180 mV. Như vậy, có cải thiện rất đáng kể về độ bền chống ăn mòn điểm khi bổ sung Mo và Si theo sáng chế, so với thép 304 thông thường, và các kết quả thu được là tương đương với các kết quả thu được trên thép 316L, thậm chí ở 50°C, tuy nhiên với chi phí vật liệu thấp hơn.

Các tác giả sáng chế cũng xem xét chỉ số chịu ăn mòn điểm (Pitting Resistance Equivalent Number, PREN), mà là một khái niệm cổ điển nhằm dự đoán độ nhạy của thép không gỉ đối với ăn mòn điểm. Trị số PREN có thể được tính bằng $\%Cr + 3,3x\%Mo + 16x\%N$. Như có thể thấy trên Fig.15, ở trị số PREN bằng nhau, mức tăng $E_{pit0,1}$ thu được bằng cách bổ sung Mo và Si theo sáng chế vào thép 304 thông thường, được ước tính bằng khoảng từ 100 mV đến 150 mV, trong

trường hợp tiếp xúc với môi trường NaCl 0,02M hoặc 0,5M ở 23°C. Mức tăng này vừa phải hơn trong các thử nghiệm ở 50°C (không đáng kể lắm ở 23°C, từ 50 đến 100 mV trong môi trường NaCl 0,5M), tuy nhiên vẫn ở mức đáng kể trong các điều kiện khắc nghiệt nhất của quá trình thử nghiệm. Điều trên tình cờ cho thấy rằng nếu chỉ xét riêng lẻ, thì PREN không phải là một tiêu chí đủ khác biệt để dự đoán chính xác độ nhạy của thép không gỉ đối với khả năng chống ăn mòn.

Để nghiên cứu ăn mòn đồng đều, lớp thụ động trước tiên được loại bỏ khỏi ba mẫu thử 11, 14, 15 và mẫu thép sản xuất công nghiệp, thành phần của mẫu đã được đề cập ở phần trên, bằng cách ngâm trong dung dịch axit sulfuric 2M đã được khử khí ở pH thấp hơn pH khử thụ động (Phd), trong 15 phút ở điện thế nghỉ V_{corr} . Các thử nghiệm phân cực điện thế động được tiến hành ở tốc độ quét 10 mV/phút, từ -750 mV/SCE đến 1.800 mV/SCE. Thu được các đường cong dòng điện/điện thế. Các đường cong này được thể hiện trên Fig.16.

Các đường cong phân cực của ba mẫu thử rất giống nhau. Cụ thể, có thể thấy rằng dòng điện cực đại I_{crit} , càng cao hơn khi ăn mòn đồng đều của kim loại tăng, về cơ bản là ngang nhau trong cả ba mẫu thử nghiệm: 0,25 mA/cm² trên mẫu chứa 1,3% Si, 0,26 mA/cm² trên mẫu chứa 1,0% Si và 0,20 mA/cm² trên mẫu 316 và 0,23mA/cm² trên mẫu sản xuất công nghiệp 304.

Từ đó có thể kết luận rằng việc bổ sung 1,3% hoặc 1,0% Si vào thép không gỉ 304 AISI cũng chứa 0,5% Mo mang lại kết quả như nhau về độ bền chống ăn mòn đồng đều, và việc này không làm suy giảm đáng kể độ bền chống ăn mòn đồng đều so với thép 316L AISI.

Độ bền chống ăn mòn do ứng suất được đánh giá bằng thử nghiệm bay hơi nhỏ giọt theo ISO 15324, bao gồm các bước:

- chuẩn bị dung dịch nước NaCl 0,1M ở 23°C;
- phun xịt 10 giọt/phút vào mẫu thử từ độ cao 1 cm;
- nung nóng mẫu thử kim loại đến 120°C trong khi vẫn nhỏ từng giọt;
- uốn mẫu thành hình chữ U theo tiêu chuẩn ASTM G30;
- tạo bề mặt hoàn thiện bóng gương trên mẫu thử.

Do thời gian kết thúc thử nghiệm khi quan sát thấy vết rạn nứt của mẫu. Ba thử nghiệm được tiến hành trên mỗi mẫu thép. Các kết quả thu được được thể hiện trên Fig.17.

Các mẫu thử 11 làm từ thép 304 được bổ sung 0,5% Mo và 1,3% Si có mức độ phân tán kết quả thử nghiệm khá lớn: từ 46 đến 172 giờ trước khi nứt. Các mẫu thử 15 làm từ thép 304 được bổ sung 0,5% Mo và 1,0% Si có mức độ phân tán nhỏ hơn, từ 46 đến 72 giờ. Các mẫu thử 16 làm từ thép 316L cho thấy có vết rạn nứt sau từ 48 đến 90 giờ.

Từ đó có thể kết luận rằng, ngoài các yếu tố bất định thử nghiệm, không thấy có sự khác biệt rõ ràng nào giữa thép theo sáng chế và thép 316L, từ góc độ về độ bền chống ăn mòn do ứng suất.

Để so sánh, đã thực hiện thử nghiệm trên các mẫu thép công nghiệp làm từ thép công nghiệp 304L AISI (khác với thép 304 thông thường ở chỗ hàm lượng tối đa C thấp hơn, do đó *a priori* được cho là có độ bền chống ăn mòn tốt hơn do nguy cơ tạo thành carbua Cr thấp hơn) và từ thép công nghiệp 316L. Kết quả thu được cũng được thể hiện trên Fig.17. Thép công nghiệp 304L có độ bền chống ăn mòn do ứng suất tương đối vừa phải, với thời gian trước khi nứt từ 22 đến 26 giờ. Thép công nghiệp 316L có thời gian trước khi nứt từ 42 đến 48 giờ, tương đương với kết quả thu được trên các mẫu thử trong phòng thí nghiệm tốt nhất của thép này và thép 304 được bổ sung Mo và Si theo sáng chế. Độ sạch bề vùi của các mẫu thử công nghiệp so với các mẫu thử trong phòng thí nghiệm có thể giải thích cho mức độ phân tán thấp hơn của kết quả đo trên các mẫu này.

Độ bền chống ăn mòn qua vết nứt của hai mẫu thử nghiệm 14 và 15 cũng được đánh giá. Việc mô phỏng môi trường thuận lợi cho ăn mòn qua vết nứt (pH thấp và hàm lượng ion clorua cao) được thực hiện bằng dung dịch NaCl 2M, với độ pH nhỏ hơn 3 được điều chỉnh bằng cách bổ sung axit clohydric, được duy trì ở 23°C. Mục đích là để xác định độ pH phá hủy lớp thụ động của mỗi mẫu.

Nhằm mục đích này, các mẫu thử trước tiên được phân cực catot ở -750 mV/SCE trong 2 phút, sau đó được giữ ở điện thế nghỉ của chúng. Tiếp theo, việc đo điện thế động được bắt đầu với tốc độ quét 10 mV/phút theo hướng anốt, từ -750

mV/SCE. Các phép đo được thực hiện ở các giá trị pH khác nhau để xác định cường độ lớn nhất trong phạm vi hoạt động của các đường cong phân cực. Kết quả thu được được thể hiện trên Fig.18.

Từ biểu đồ này có thể thấy rằng hai mẫu thử nghiệm lại có đặc tính rất giống nhau. Độ pH khử thụ động, trong cả hai trường hợp, nằm trong khoảng từ 1 đến 1,2, là khoảng giá trị thuận lợi hơn so với khoảng giá trị pH của thép AISI 304 công nghiệp thông thường (1,7-2,3), cũng khoảng giá trị pH của thép 316 công nghiệp thông thường (1,5-1,65).

Độ bền chống ăn mòn qua vết nứt tốt là đặc biệt quan trọng, chẳng hạn đối với ống thoát khói thường tiếp xúc với khí thải ngưng tụ và dưới các điều kiện lắp ráp thuận lợi cho sự xuất hiện của dạng ăn mòn này. Sau cùng, độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau của hai loại thép theo sáng chế chứa 0,5% Mo và 1,3% hoặc 1,0% Si đã được thử nghiệm, và thu được kết quả không thấp hơn đáng kể so với độ bền chống ăn mòn của thép 316L thông thường.

Để kết luận, có thể khẳng định rằng sự có mặt đồng thời của Si và Mo, với hàm lượng chính xác theo sáng chế, trong thép không gỉ có thành phần, xét theo các hợp phần khác, gần giống với thành phần của thép X2CrNi189 (1.4307), tương đương với thép 304L AISI, có tác dụng có lợi về mặt độ bền chống các loại ăn mòn khác nhau và khả năng định hình của thép. Các đặc tính được khảo sát ở đây rất gần với, hoặc thậm chí vượt trội hơn, so với các đặc tính của thép 316L, cho phép thép theo sáng chế này thay thế một cách kinh tế, mà không có nhược điểm về luyện kim, thép X2CrNiMo17-12-2 tương đương với thép 316L AISI, trong các ứng dụng đòi hỏi chất lượng như vậy, như để sản xuất các tấm trao đổi nhiệt và ống thoát khói.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thép không gỉ austenit, đặc trưng ở chỗ có thành phần, tính theo tỷ lệ phần trăm theo khối lượng, bao gồm:

- hàm lượng vết $\leq C \leq 0,03\%$;
- $1,0\% \leq Mn \leq 2,0\%$;
- $0,8\% \leq Si \leq 2,0\%$; tốt hơn nếu $1,0\% \leq Si \leq 1,5\%$;
- hàm lượng vết $\leq Al \leq 0,06\%$; tốt hơn nếu hàm lượng vết $\leq Al \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq P \leq 0,045\%$;
- hàm lượng vết $\leq S \leq 0,015\%$;
- $8,0\% \leq Ni \leq 12,0\%$; tốt hơn nếu $9,45\% \leq Ni \leq 10,0\%$;
- $17,5\% \leq Cr < 20,0\%$;
- $0,4\% \leq Mo \leq 0,8\%$; tốt hơn nếu $0,5\% \leq Mo \leq 0,6\%$;
- hàm lượng vết $\leq Sn \leq 0,05\%$;
- hàm lượng vết $\leq Nb \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq V \leq 0,15\%$;
- hàm lượng vết $\leq Ti \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq Zr \leq 0,08\%$;
- hàm lượng vết $\leq Co \leq 1,0\%$;
- $0,02\% \leq Cu \leq 0,6\%$;
- hàm lượng vết $\leq B \leq 0,01\%$;
- hàm lượng vết $\leq W + Mo \leq 0,8\%$;
- hàm lượng vết $\leq Pb \leq 0,03\%$;
- hàm lượng vết $\leq N < 1.000\text{ppm}$;
- hàm lượng vết $\leq O \leq 0,01\%$; tốt hơn nếu hàm lượng vết $\leq O \leq 0,005\%$;

phần còn lại là sắt và các tạp chất tạo thành trong quá trình sản xuất.

2. Thép không gỉ austenit theo điểm 1, đặc trưng ở chỗ thép này có cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ 11 đến 6 ASTM, và tốt hơn nếu từ 10 đến 7 ASTM.

3. Thép không gỉ austenit theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, đặc trưng ở chỗ hàm lượng vết $\leq \text{Nb} < 0,03\%$.
4. Thép không gỉ austenit theo điểm 3 đặc trưng ở chỗ hàm lượng vết $\leq \text{Nb} < 0,02\%$.
5. Thép không gỉ austenit theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, đặc trưng ở chỗ $0,03\% \leq \text{V} \leq 0,15\%$.
6. Thép không gỉ austenit theo điểm 5, đặc trưng ở chỗ $0,04\% \leq \text{V} \leq 0,15\%$.
7. Thép không gỉ austenit theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, đặc trưng ở chỗ $300\text{ppm} \leq \text{N} < 1.000\text{ppm}$.
8. Thép không gỉ austenit theo điểm 7, đặc trưng ở chỗ $300\text{ppm} \leq \text{N} < 800\text{ppm}$.
9. Tấm trao đổi nhiệt, đặc trưng ở chỗ tấm này được làm từ thép không gỉ austenit theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8.
10. Bộ phận của ống thoát khói, đặc trưng ở chỗ bộ phận này được làm từ thép không gỉ austenit theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8.

1/18

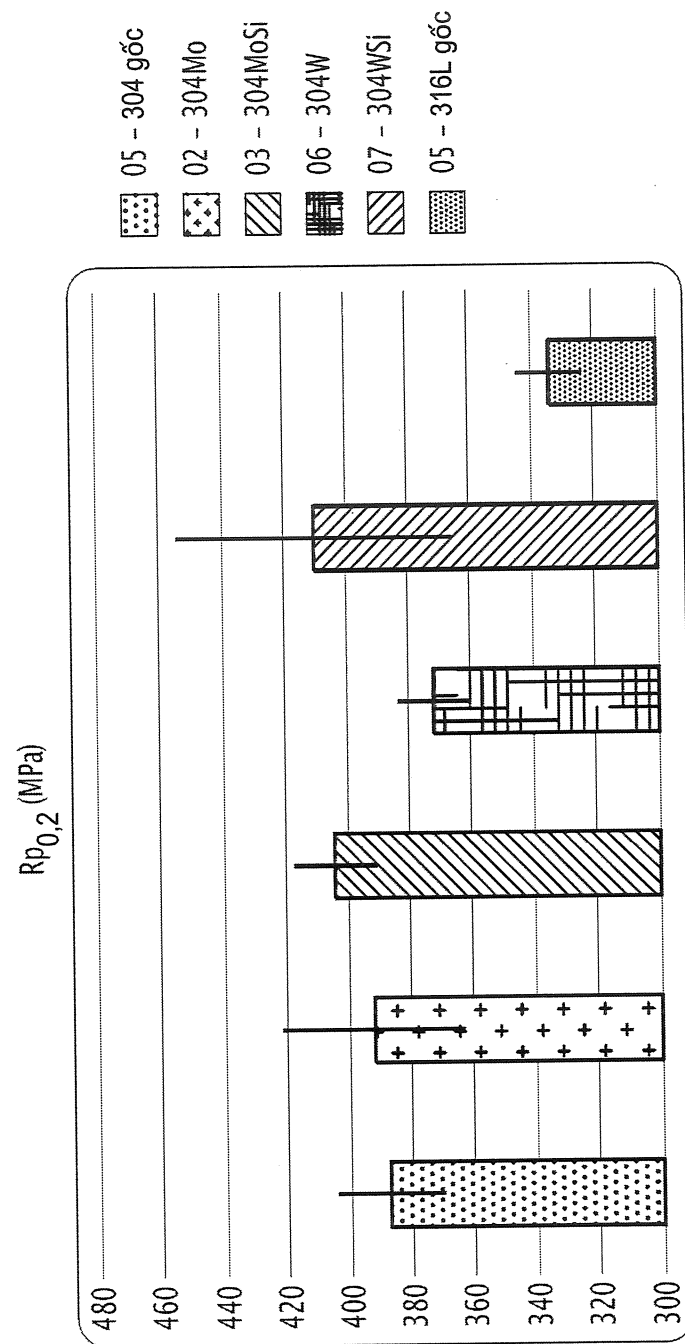
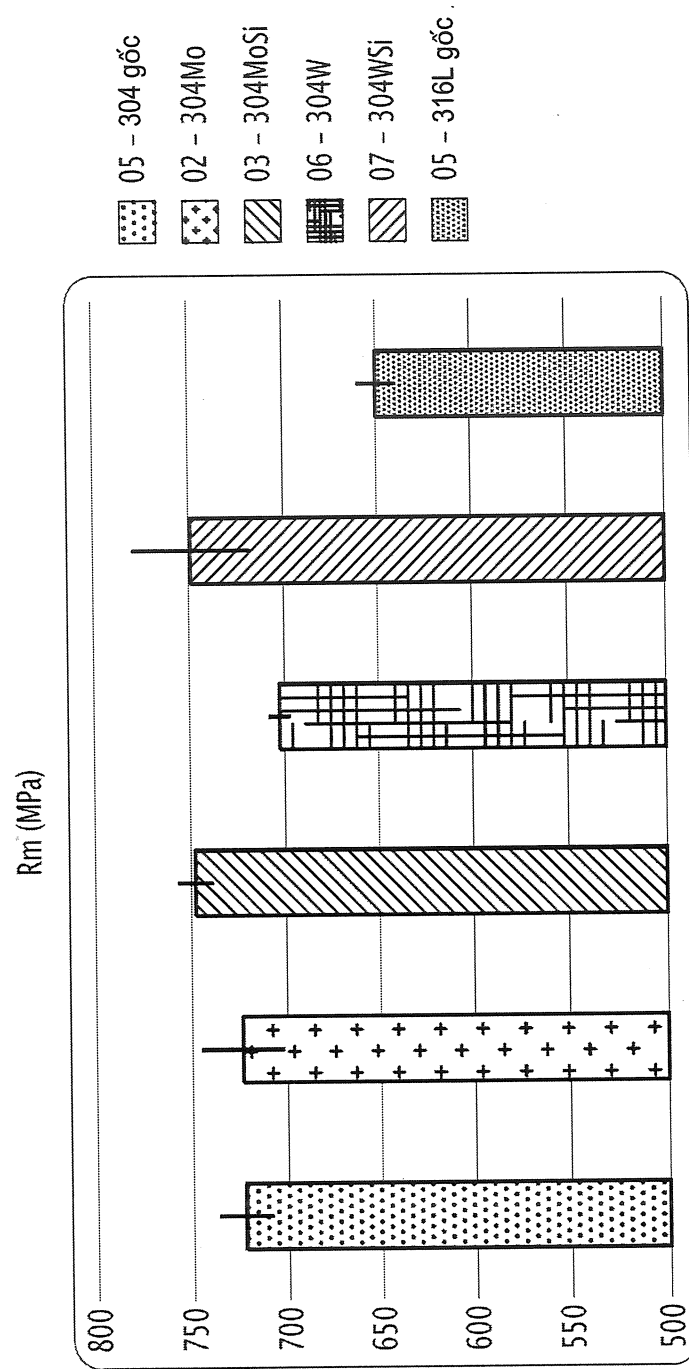
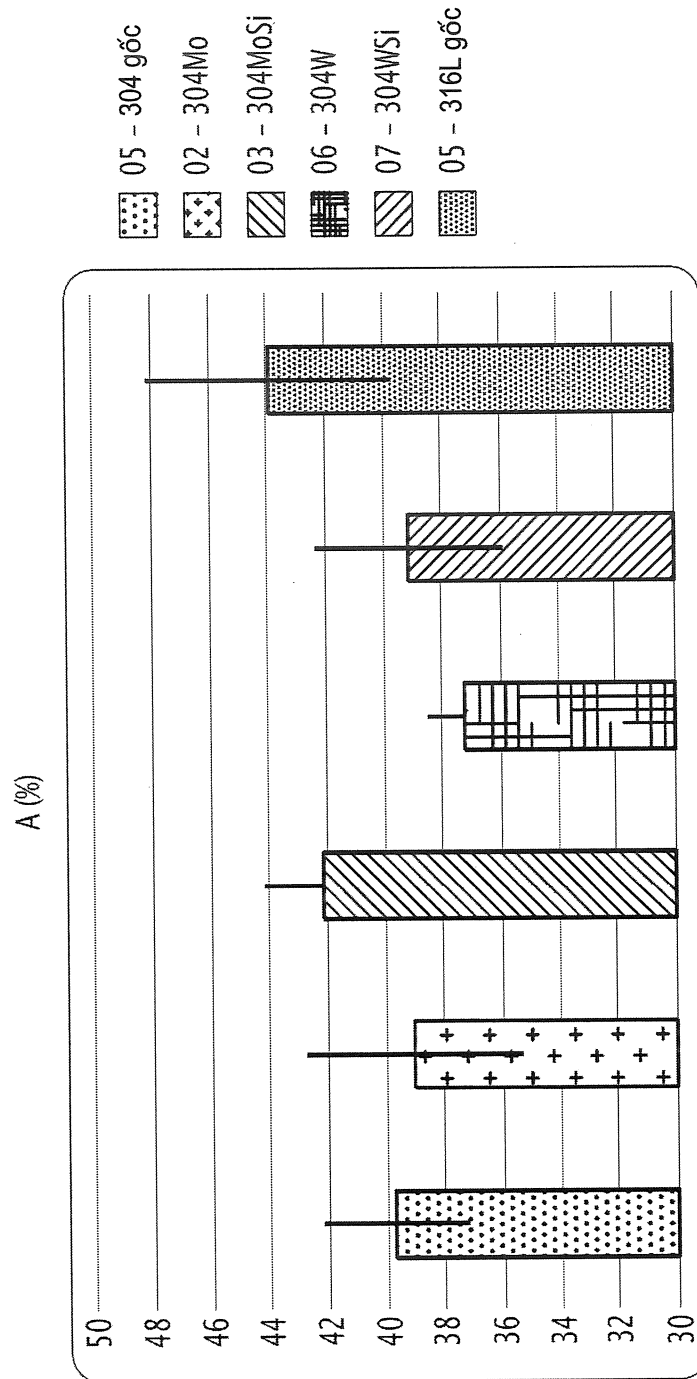


FIG.1

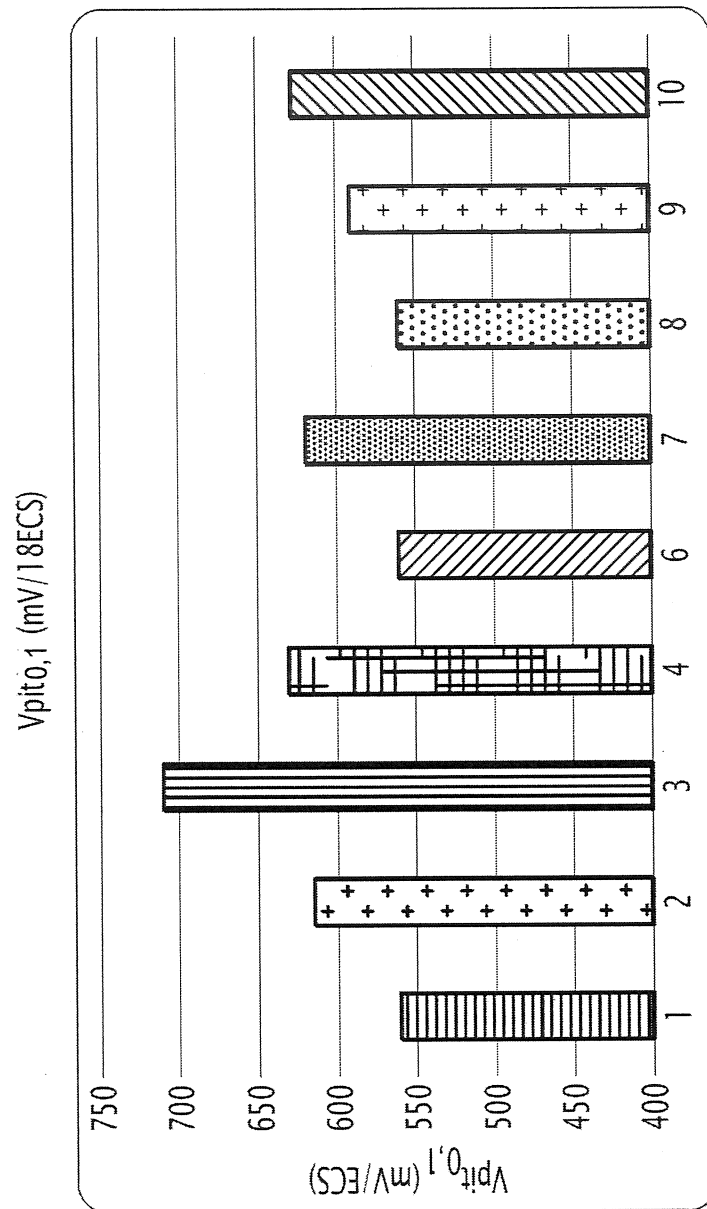
2/18

**FIG.2**

3/18

**FIG.3**

4/18

**FIG.4**

5/18

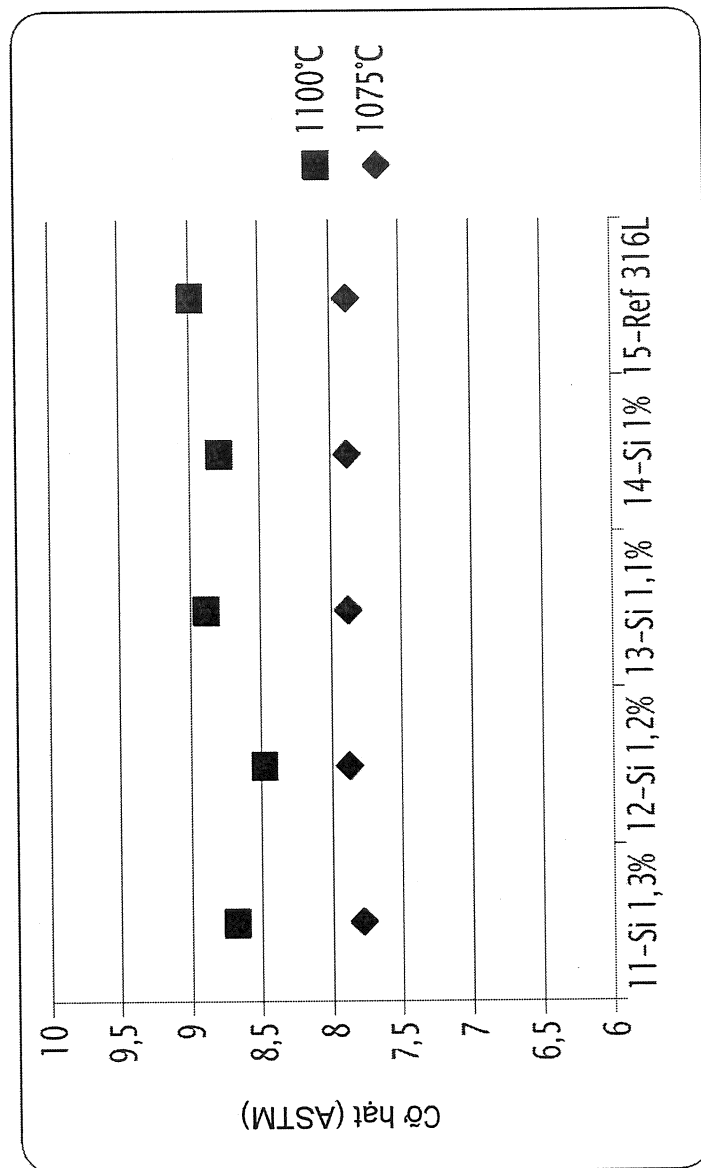


FIG.5

6/18

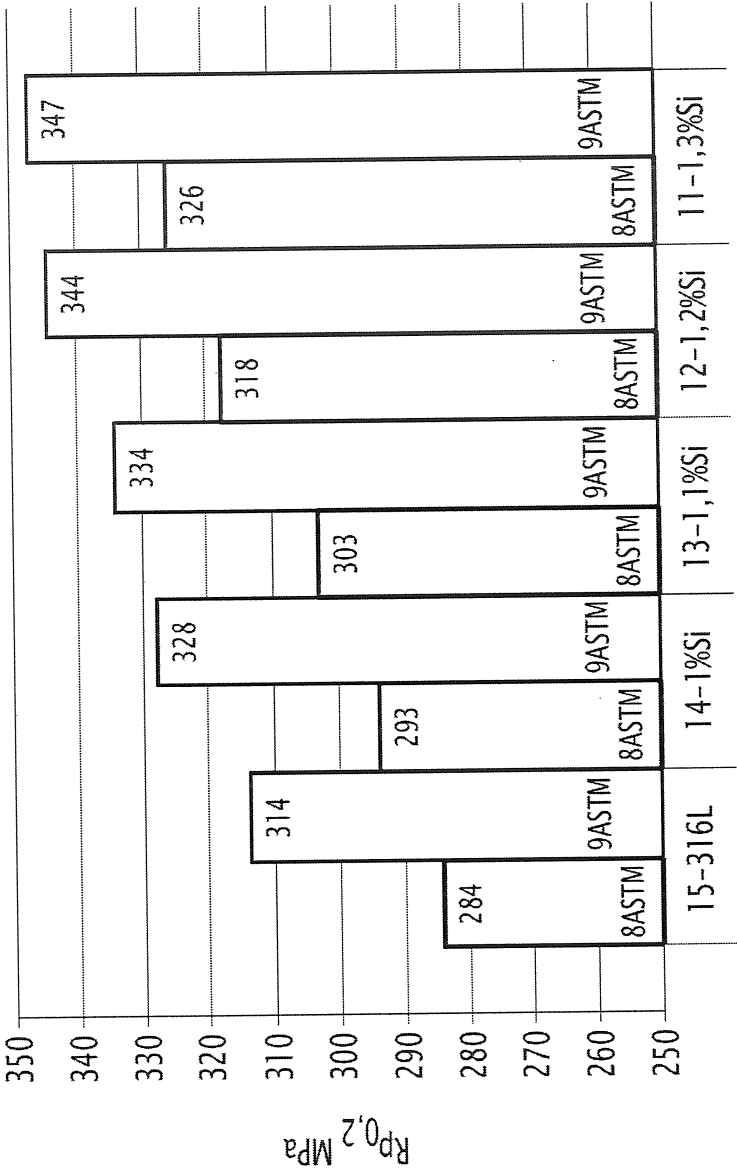


FIG.6

7/18

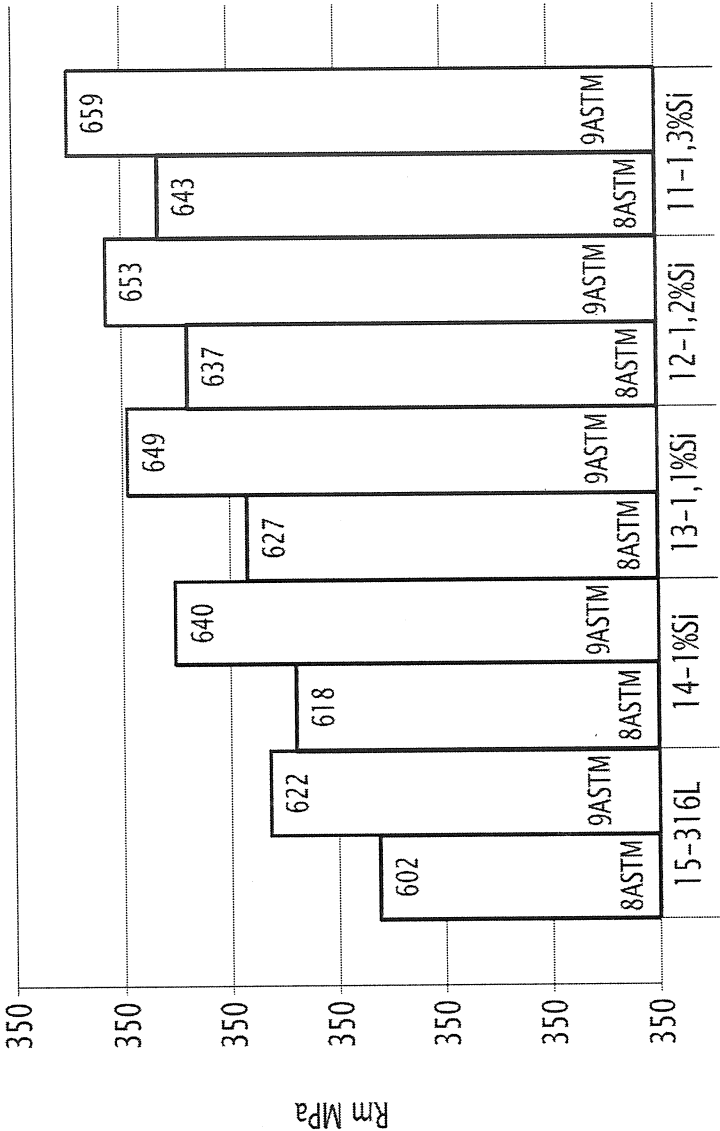


FIG.7

8/18

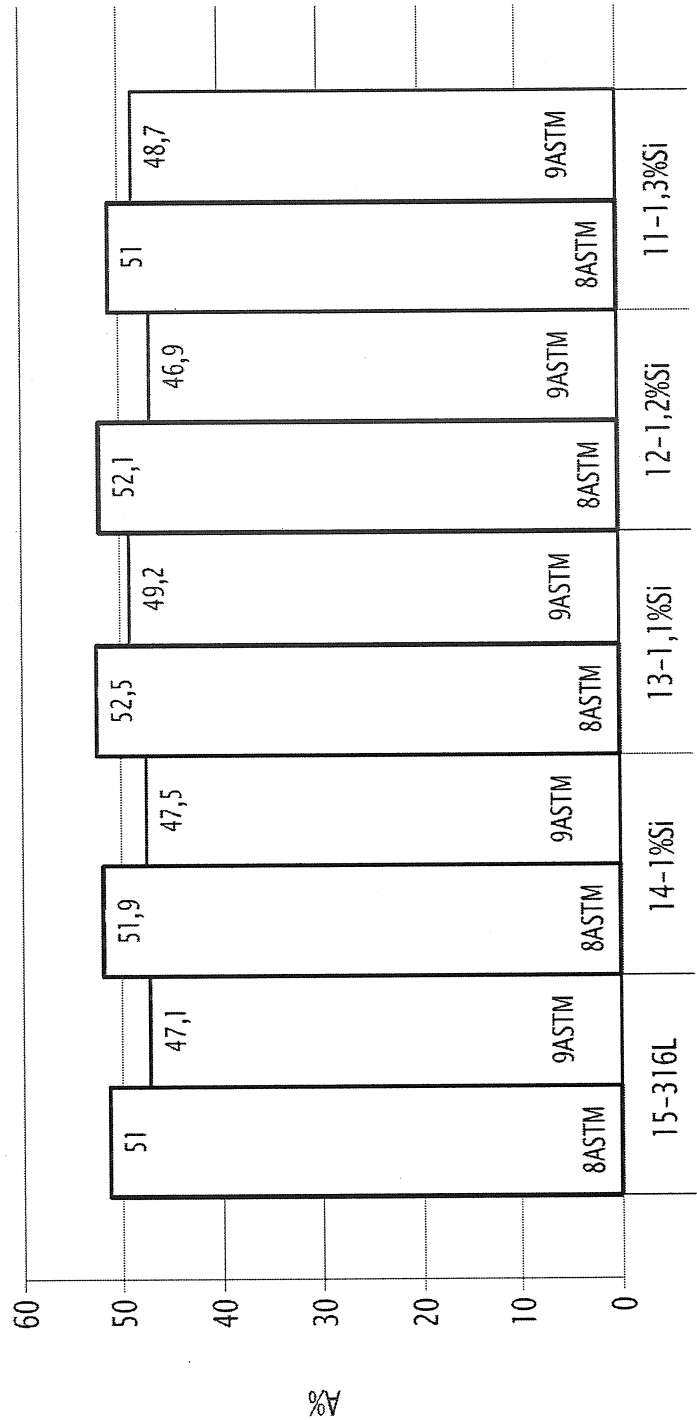


FIG.8

9/18

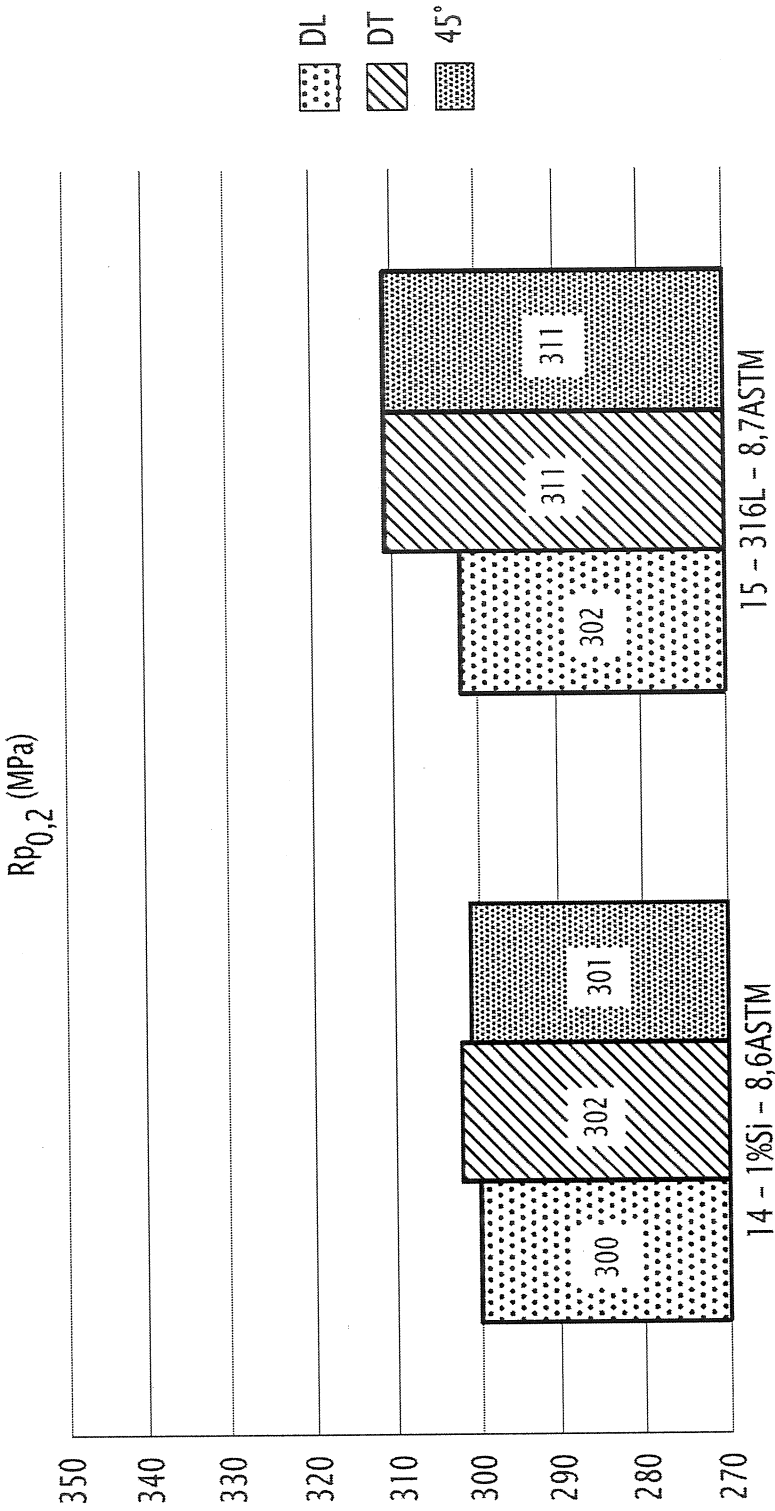
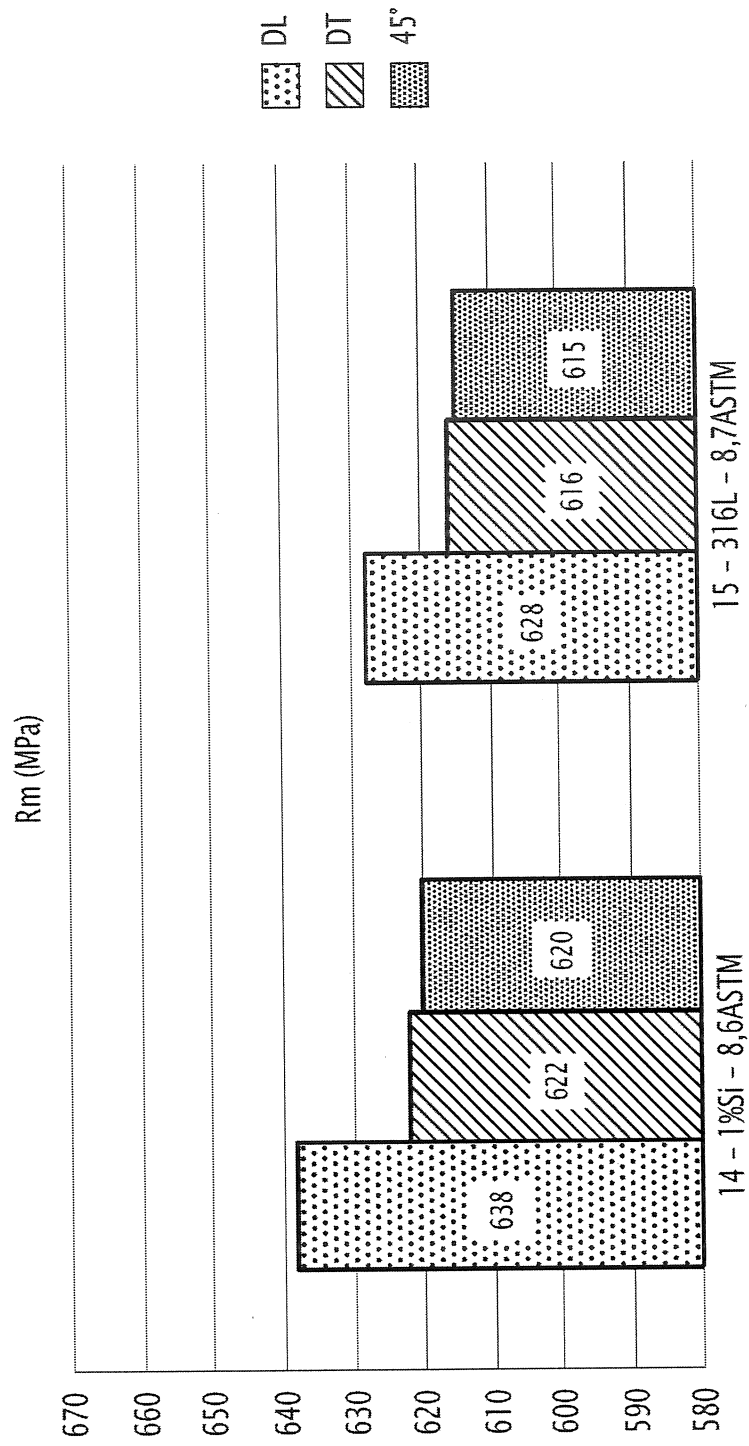
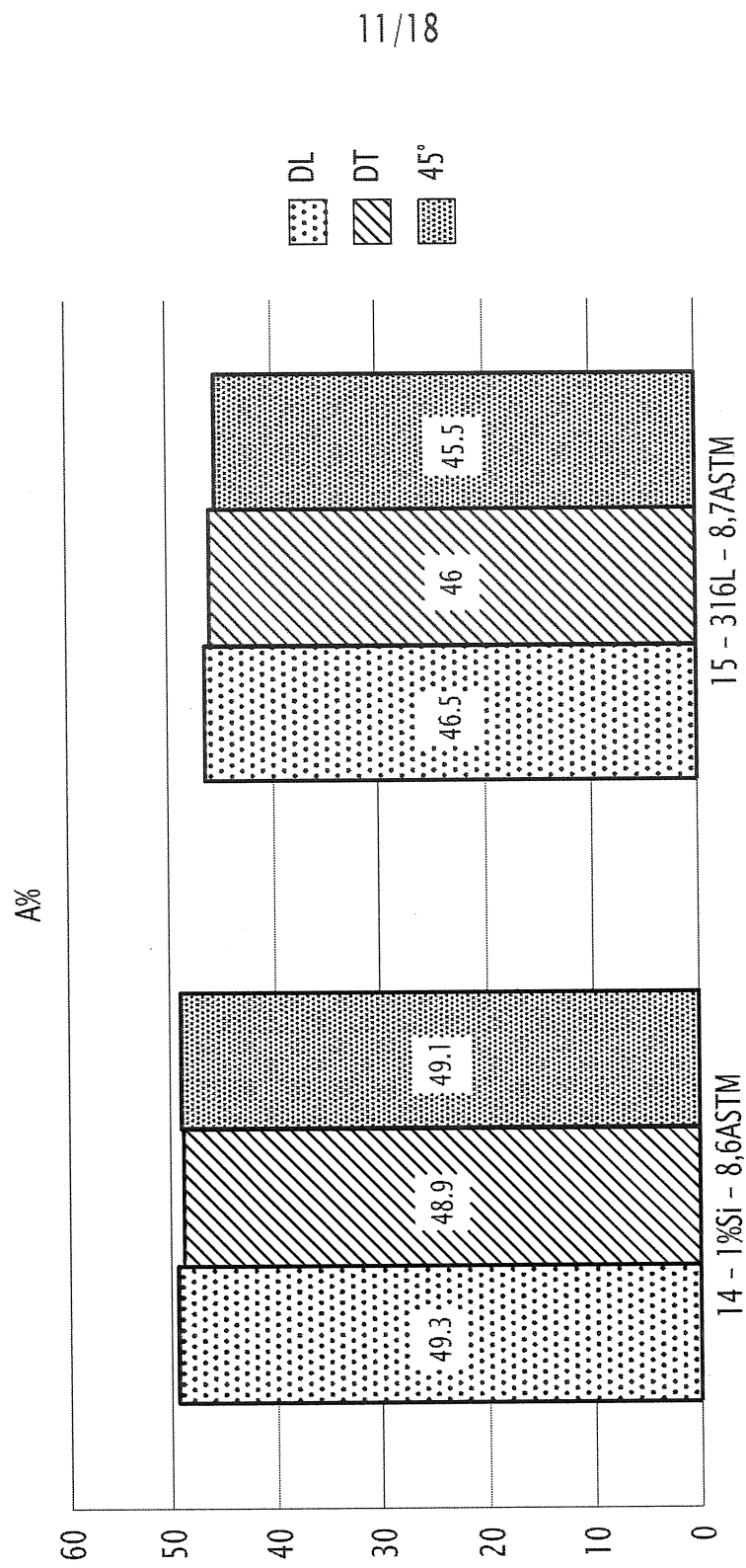


FIG.9

10/18

FIG.10

**FIG.11**

12/18

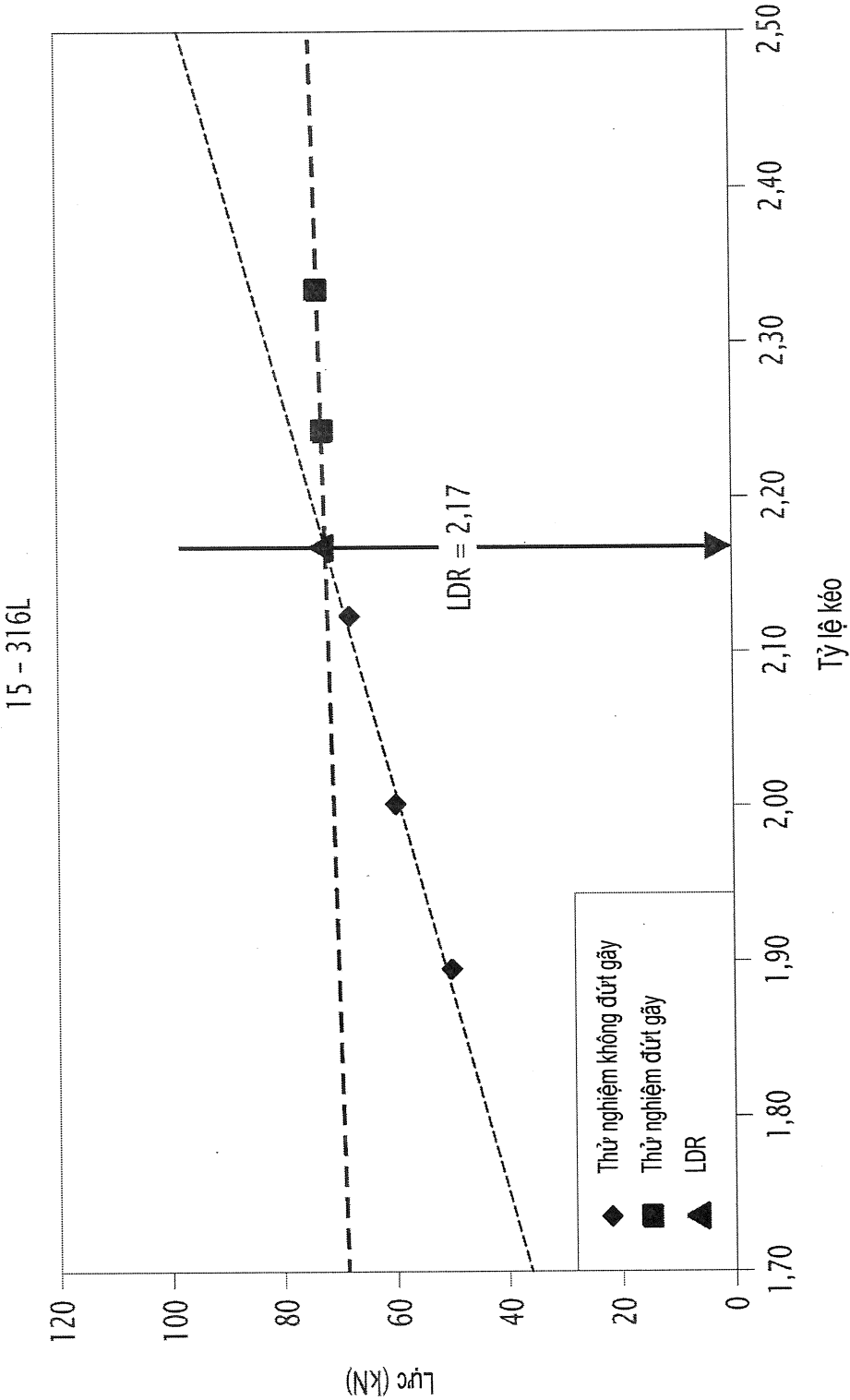
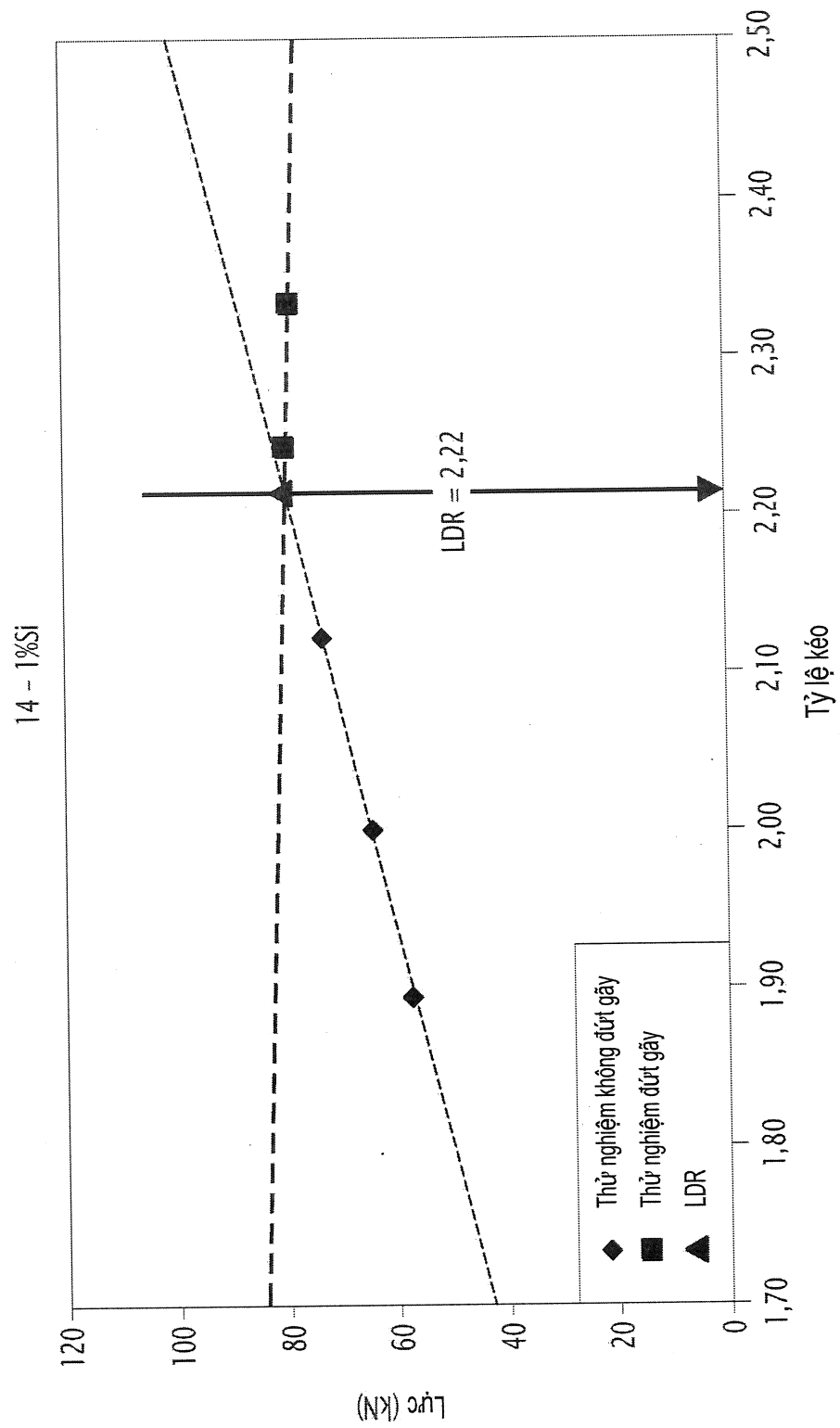
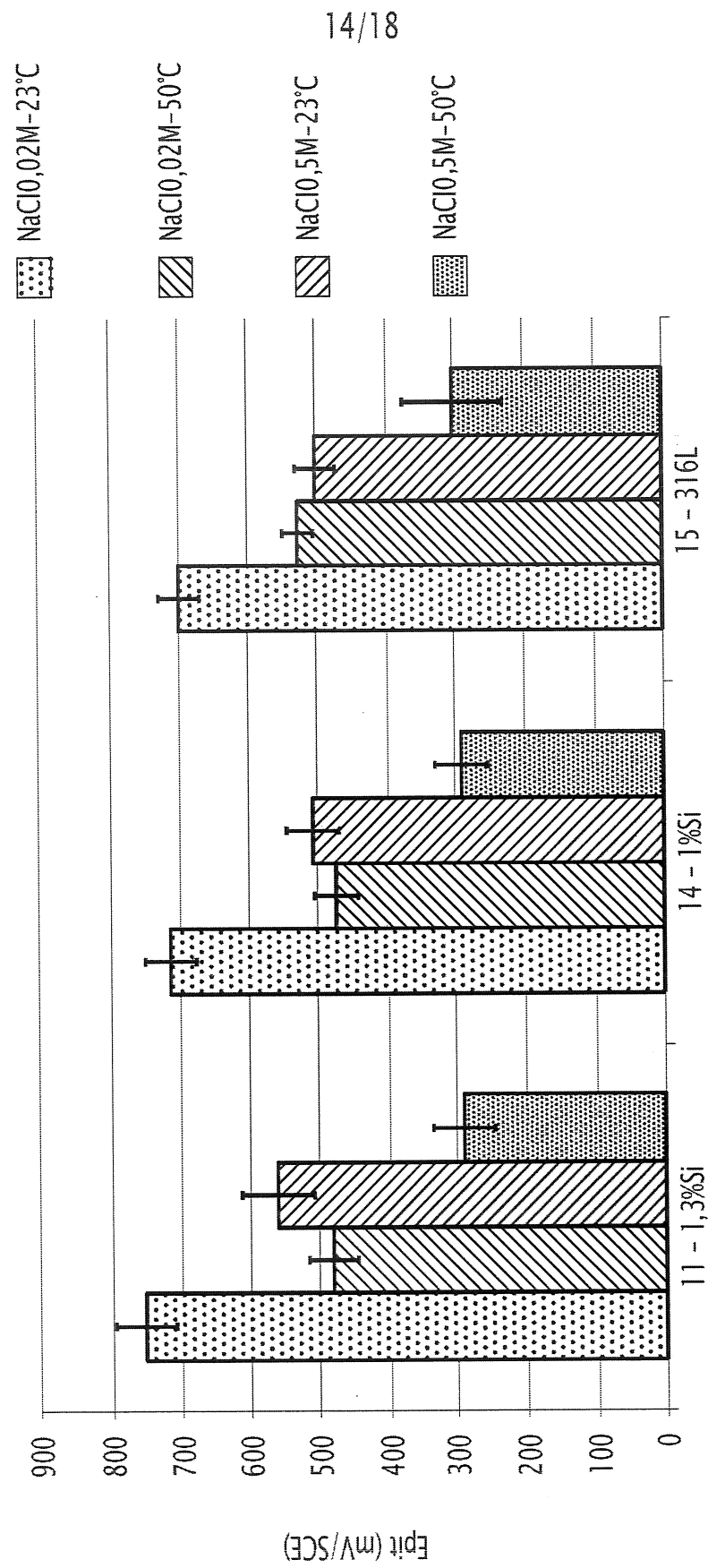


FIG.12

13/18

**FIG.13**

**FIG.14**

15/18

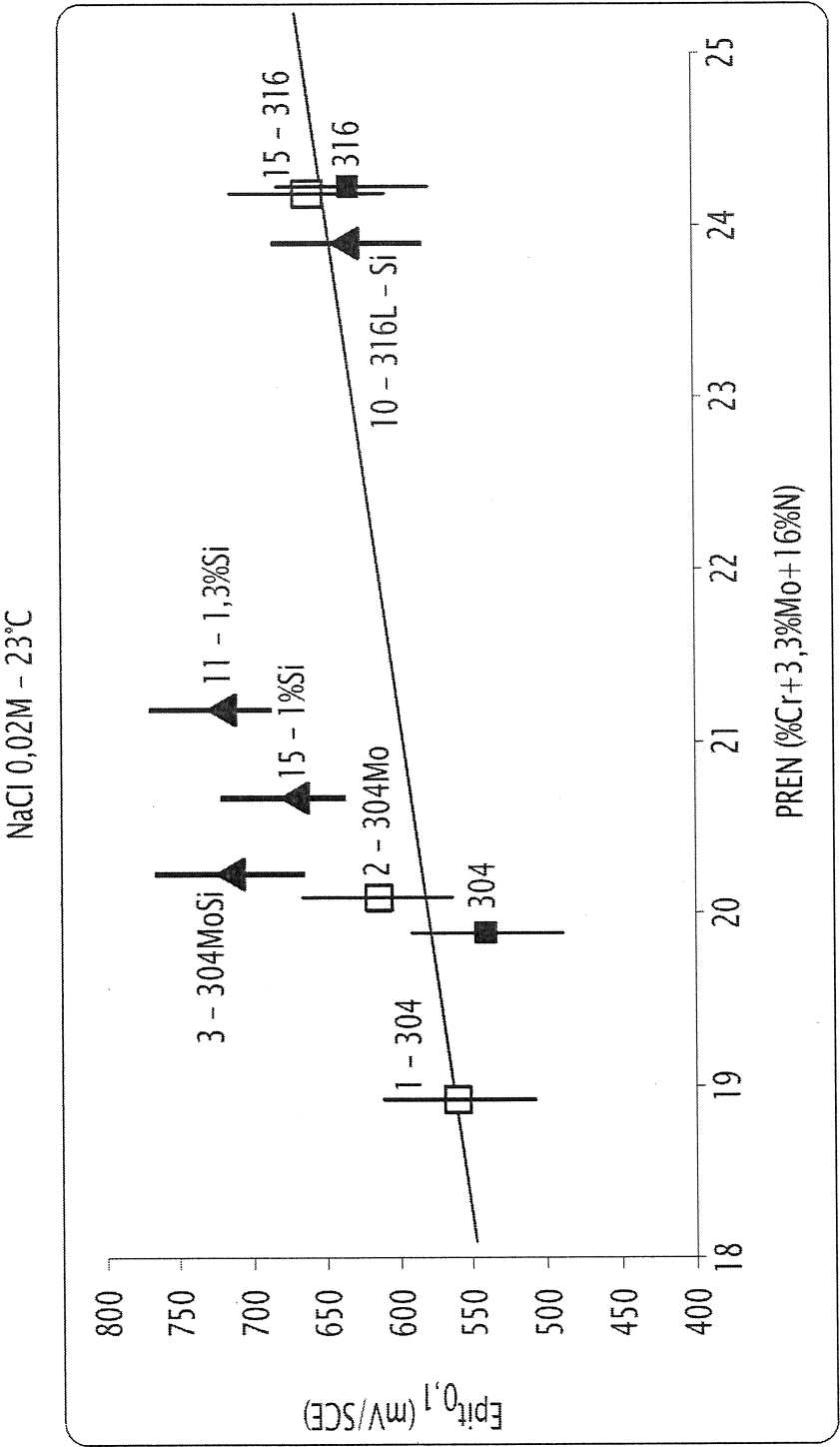
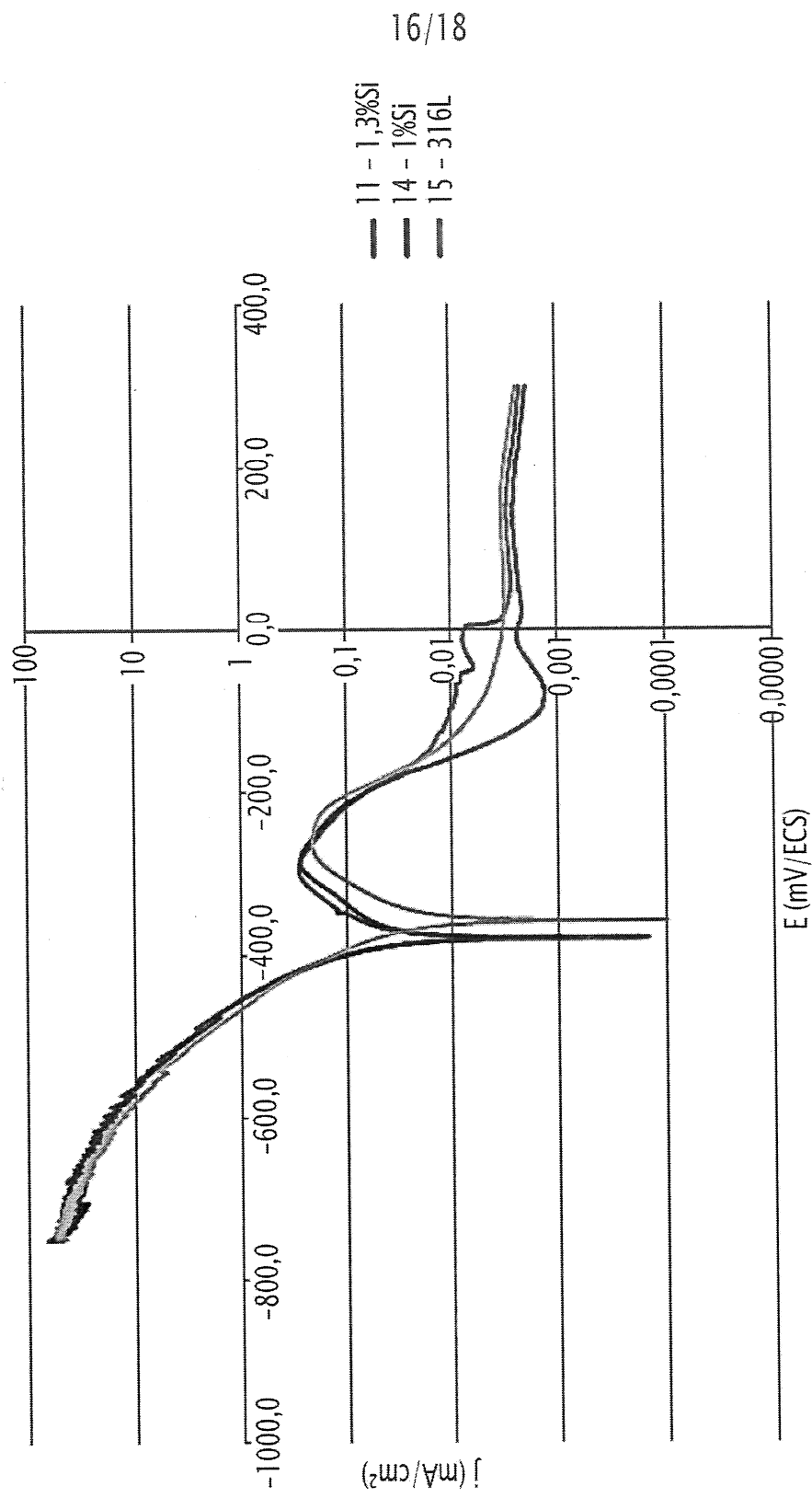
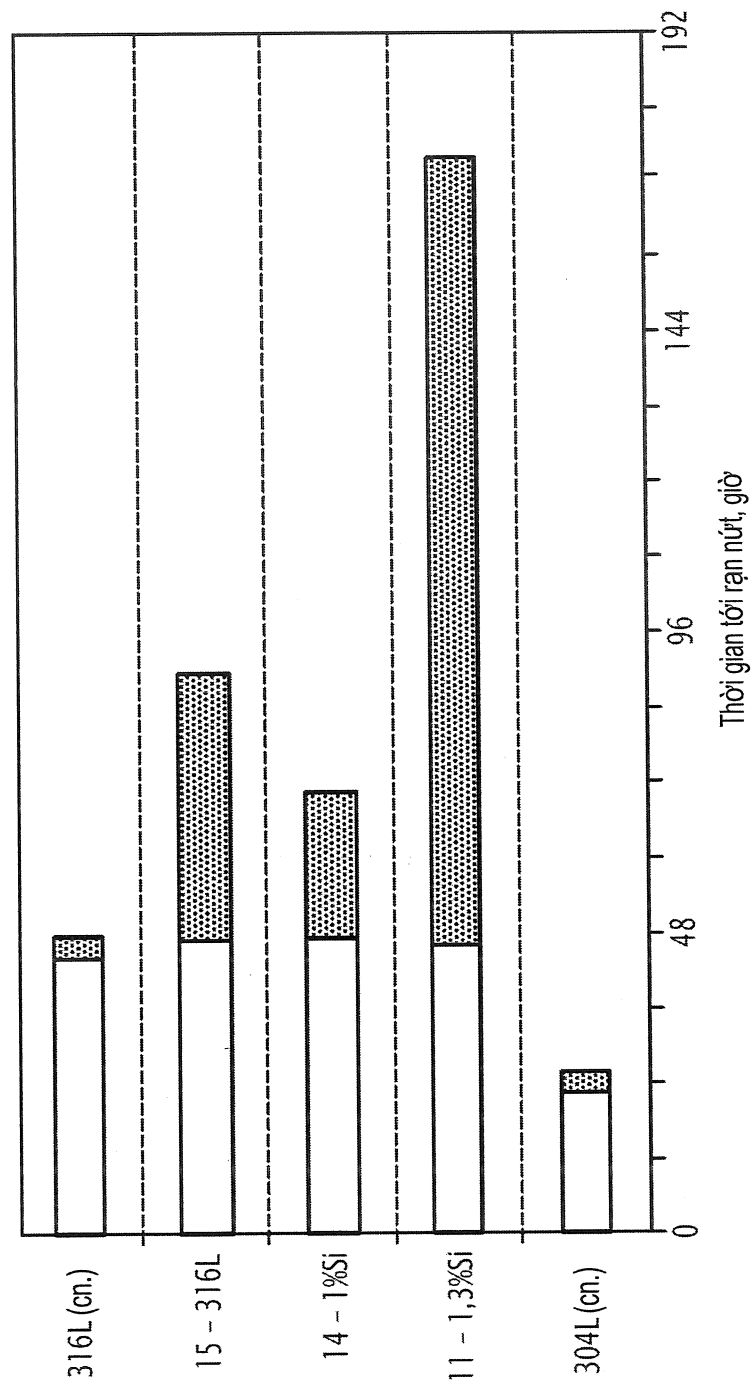


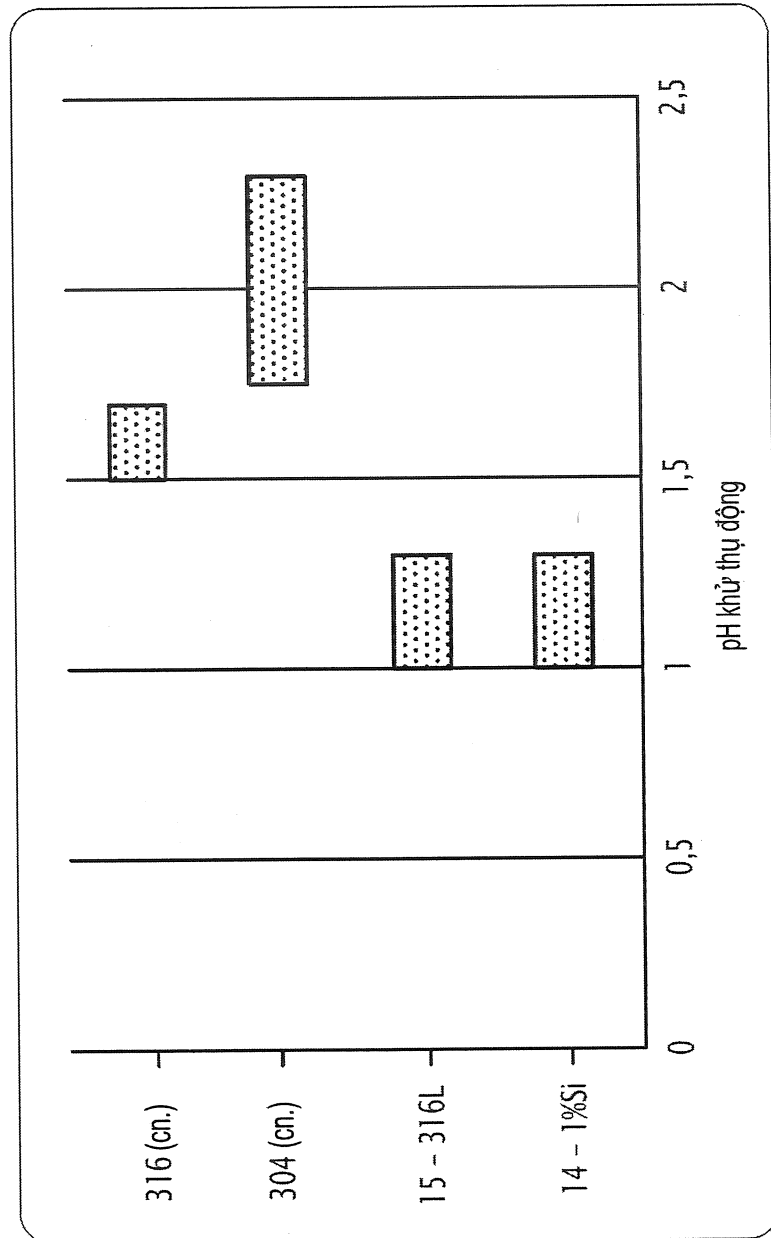
FIG.15

**FIG.16**

17/18

**FIG.17**

18/18

FIG.18