



(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)



1-0023753

(51)⁷ C22C 38/00; C22C 38/38; C22C 38/14; (13) B
C21D 9/46

(21) 1-2014-02672

(22) 08/01/2013

(86) PCT/JP2013/050134 08/01/2013

(87) WO2013/105555A1 18/07/2013

(30) 2012-004554 13/01/2012 JP

(45) 25/05/2020 386

(43) 27/10/2014 319A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan

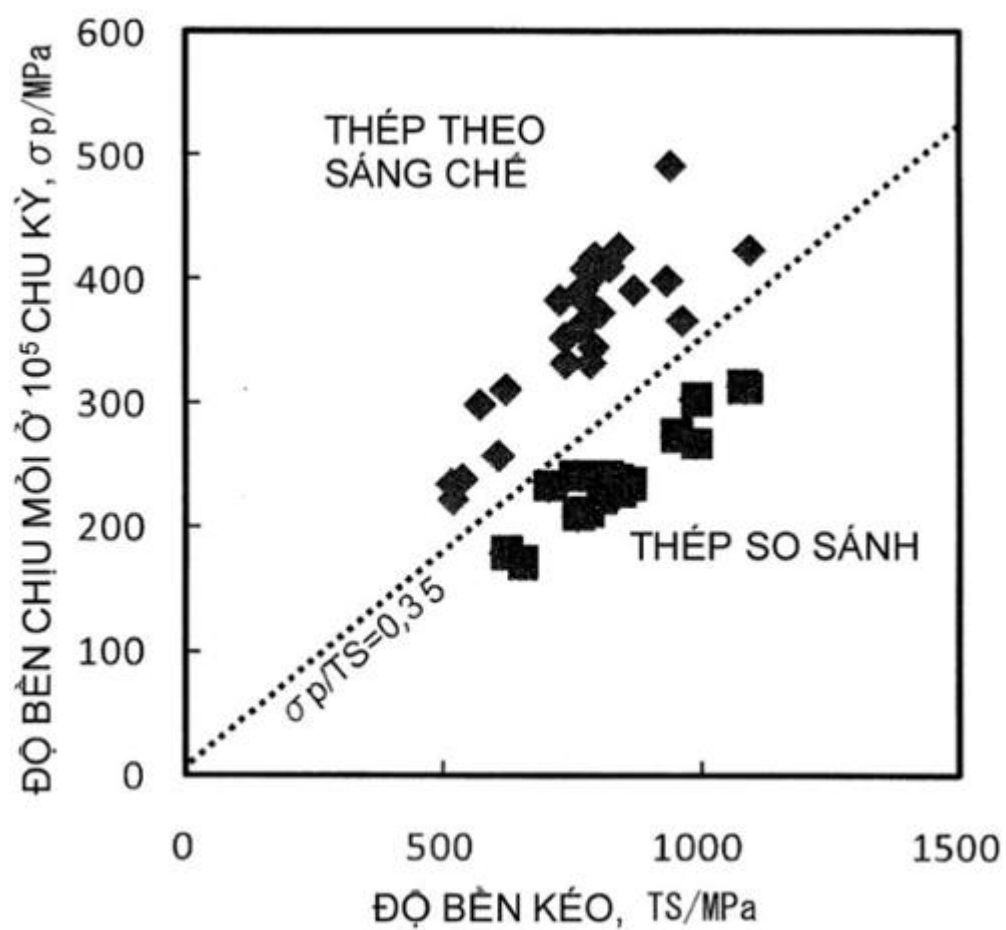
(72) SAKURADA, Eisaku (JP); HAYASHI, Kunio (JP); SATO, Koichi (JP);

HIWATASHI, Shunji (JP)

(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) TẤM THÉP CÁN NÓNG VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT TẤM THÉP NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến tấm thép cán nóng bao gồm, tính theo % khối lượng: C: 0,030 - 0,120, Si: 1,20 hoặc nhỏ hơn, Mn: 1,00 - 3,00, Al: 0,01 - 0,70, Ti: 0,05 - 0,20, Nb: 0,01 - 0,10, P: 0,020 hoặc nhỏ hơn, S: 0,010 hoặc nhỏ hơn, và N: 0,005 hoặc nhỏ hơn, và lượng còn lại Fe và các tạp chất, trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$ được thỏa mãn; mật độ cực của {112} (110) ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn; tỷ lệ cạnh (trục dài/trục ngắn) của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn; mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb) C có kích thước 20 nm hoặc nhỏ hơn là 10^9 phần tử/mm³ hoặc cao hơn; tỷ lệ ứng biến dẻo (YR), là tỷ lệ của độ bền kéo với ứng suất chảy là 0,80 hoặc cao hơn; và độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn. Ngoài ra sáng chế còn đề cập đến phương pháp sản xuất tấm thép này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới tấm thép cán nóng được gia cường bằng sự kết tủa, có các đặc tính chịu mỏi và khả năng tạo hình của mép bị cắt tuyệt vời, và phương pháp sản xuất tấm thép này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong những năm gần đây, nỗ lực để làm giảm trọng lượng của các xe ô tô hoặc các bộ phận cơ khí khác đã được tiến hành. Việc làm giảm trọng lượng có thể được thực hiện nhờ sự thiết kế tối ưu hình dạng của bộ phận để đảm bảo độ vững chắc. Trong trường hợp các bộ phận rỗng như các bộ phận được tạo ra bằng áp lực, việc làm giảm trọng lượng có thể được thực hiện trực tiếp bằng cách làm giảm độ dày tấm. Tuy nhiên, để duy trì độ bền chịu đứt gãy tĩnh và giới hạn chảy trong khi làm giảm độ dày tấm, thì cần sử dụng vật liệu có độ bền cao để làm các bộ phận này. Nhằm mục đích đó, những nỗ lực ứng dụng tấm thép có độ bền kéo 590 MPa hoặc cao hơn cho vật liệu thép có giá thành thấp có các đặc tính về độ bền tuyệt vời đã được thực hiện. Trong khi đó, để gia cường ở mức độ cao cho vật liệu này, cần thỏa mãn cả độ bền cao lẫn khả năng tạo hình dưới dạng giới hạn gãy trong khi tạo hình dạng hoặc khả năng tạo hình gờ sắc. Hơn nữa, khi các bộ phận này được sử dụng cho các bộ phận khung gầm, tấm thép trên cơ sở sự gia cường bằng sự kết tủa nhờ sự bổ sung các nguyên tố hợp kim vi lượng đã phát triển để đảm bảo độ bền của bộ phận được hàn hình cung và để ngăn chặn việc mềm hóa HAZ (Heat Affected Zone - vùng bị tác động bởi nhiệt). Ngoài ra, các tấm thép khác nhau đã được phát triển (chẳng hạn, xem các tài liệu sáng chế từ 1 đến 5).

Các nguyên tố hợp kim vi lượng được mô tả ở trên thúc đẩy sự kết tủa của các chất kết tủa cố kết từ vài nanomet tới vài chục nanomet về kích thước ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ A_{c1} . Trong quy trình sản xuất tấm thép cán nóng, độ bền của tấm thép có thể được cải thiện đáng kể bằng các chất kết tủa cố kết như

vậy, nhưng có vấn đề ở chỗ các đường nứt nhỏ hình thành ở mép bị cắt và khả năng tạo hình bị suy giảm, như được bộc lộ trong tài liệu phi sáng chế 1 chẳng hạn. Hơn nữa, sự suy giảm ở mép bị cắt làm suy giảm đáng kể các đặc tính chịu mỏi của mép bị cắt. Trong tài liệu phi sáng chế 1, vấn đề này được giải quyết bằng cách ứng dụng việc gia cường cấu trúc tế vi trong khi sử dụng các cấu tử hợp kim mà các nguyên tố hợp kim vi lượng được bổ sung vào. Tuy nhiên, khi gia cường cấu trúc tế vi được sử dụng, thì khó để đạt được giới hạn chảy cao cần thiết cho các bộ phận này, và việc ngăn chặn sự suy giảm mép bị cắt của tấm thép cán nóng được gia cường bằng sự kết tủa vẫn còn là vấn đề.

Tài liệu sáng chế 1: Đơn yêu cầu cấp patent Nhật Bản (JP-A) số 2002-161340

Tài liệu sáng chế 2: JP-A số 2004-27249

Tài liệu sáng chế 3: JP-A số 2005-314796

Tài liệu sáng chế 4: JP-A số 2006-161112

Tài liệu sáng chế 5: JP-A số 2012-1775

Tài liệu phi sáng chế 1: Kunishige và đồng sự, TETSU-TO-HAGANE, tập 71, số 9, các trang từ 1140 đến 1146 (1985)

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề cần được giải quyết bởi sáng chế

Sáng chế có thể giải quyết vấn đề nêu trên liên quan đến sự suy giảm về khả năng tạo hình và các đặc tính chịu mỏi của mép bị cắt trong tấm thép cán nóng được gia cường bằng sự kết tủa. Sáng chế đề xuất tấm thép cán nóng có các đặc tính chịu mỏi và khả năng tạo hình tuyệt vời của mép bị cắt có độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn, và phương pháp sản xuất tấm thép này.

Phương tiện giải quyết vấn đề

Các tác giả sáng chế đạt được việc ngăn chặn sự suy giảm của mép bị cắt ở tấm thép được mô tả ở trên chứa các nguyên tố được kết tủa bằng cách điều chỉnh các hàm lượng riêng của các nguyên tố hợp kim vi lượng và cacbon tới

các khoảng thích hợp tương ứng của chúng và kiểm soát sự định hướng tinh thể. Nội dung của sáng chế này là như sau.

(1) Tấm thép cán nóng gồm các nguyên tố sau, tính theo % khối lượng, C với lượng từ 0,030% đến 0,120%, Si với lượng là 1,20% hoặc nhỏ hơn là, Mn với lượng từ 1,00% đến 3,00%, Al với lượng từ 0,01% đến 0,70%, Ti với lượng từ 0,05% đến 0,20%, Nb với lượng từ 0,01% đến 0,10%, P với lượng là 0,020% hoặc nhỏ hơn, S với lượng là 0,010% hoặc nhỏ hơn, và N với lượng là 0,005% hoặc nhỏ hơn, và lượng còn lại chỉ gồm có Fe và các tạp chất,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$ được thỏa mãn; mật độ cực của {112}(110) ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn; tỷ lệ cạnh (trục dài/trục ngắn) của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn; mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb)C có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn là 10^9 phần tử/mm³ hoặc cao hơn; tỷ lệ ứng biến dẻo YR, là tỷ lệ của độ bền kéo đối với ứng suất chảy, là 0,80 hoặc cao hơn; và độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn.

(2) Tấm thép cán nóng theo mục (1), còn gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều nguyên tố trong số B với lượng từ 0,0005% đến 0,0015%, Cr với lượng là 0,09% hoặc nhỏ hơn, V với lượng từ 0,01% đến 0,10%, hoặc Mo với lượng từ 0,01% đến 0,2%,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93 - V\% * 12/51) \geq 0,012$ được thỏa mãn trong trường hợp mà tấm thép cán nóng này chứa V.

(3) Phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng, phương pháp này gồm các bước:

nung thép tới nhiệt độ 1250°C hoặc cao hơn, thép này chứa, tính theo % khối lượng, C với lượng từ 0,030% đến 0,120%, Si với lượng là 1,20% hoặc nhỏ hơn, Mn với lượng từ 1,00% đến 3,00%, Al với lượng từ 0,01% đến 0,70%, Ti với lượng từ 0,05% đến 0,20%, Nb với lượng từ 0,01% đến 0,10%, P với lượng là 0,020% hoặc nhỏ hơn, S với lượng là 0,010% hoặc nhỏ hơn, và N với lượng

là 0,005% hoặc nhỏ hơn, và lượng còn lại chỉ gồm có Fe và các tạp chất, trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$ được thỏa mãn;

cán nóng thép đã được nung ở nhiệt độ cán cuối là 960°C hoặc cao hơn khi cán hoàn thiện với tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 30% hoặc cao hơn khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,05\% \leq Ti \leq 0,10\%$, hoặc ở nhiệt độ cán cuối là 980°C hoặc cao hơn khi cán hoàn thiện với tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 40% hoặc cao hơn khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,10\% < Ti \leq 0,20\%$; và

cuộn thép cán nóng này ở nhiệt độ từ 450°C tới 650°C.

(4) Phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng theo mục (3), trong đó thép này còn bao gồm, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều nguyên tố trong số B với lượng từ 0,0005% đến 0,0015%, Cr với lượng là 0,09% hoặc nhỏ hơn, V với lượng từ 0,01% đến 0,10%, hoặc Mo với lượng từ 0,01% đến 0,2%,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93 - V\% * 12/51) \geq 0,012$ được thỏa mãn trong trường hợp thép chứa V.

Hiệu quả của sáng chế

Theo sáng chế, có thể tạo ra tấm thép cán nóng có các đặc tính chịu mỏi và khả năng tạo hình tuyệt vời của mép bị cắt trong đó sự hình thành các đường nứt nhỏ được ngăn chặn ở mép bị cắt của tấm thép cán nóng được gia cường bằng sự kết tủa có độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 thể hiện kết quả thử nghiệm về sự tương quan giữa hàm lượng C dư và tỷ lệ phát triển phân tách.

Fig.2 thể hiện sự thâm định về hiệu quả của tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước và mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm đối với sự phát triển phân tách.

Fig.3 thể hiện kết quả quan sát về sự phân tách ở mép bị cắt của tấm thép mẫu A có tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là cao hơn 5,3.

Fig.4 thể hiện kết quả quan sát về phân tách ở mép bị cắt của tấm thép mẫu B có tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn và mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc cao hơn.

Fig.5 thể hiện kết quả quan sát về sự phân tách ở mép bị cắt của tấm thép mẫu C trong đó tất cả các đặc trưng cấu trúc tế vi của kim loại theo sáng chế-phần còn lại là C, Ti, và Nb, mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm, tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước, và kích thước và mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb)C - được thỏa mãn.

Fig.6 là biểu đồ thể hiện các kết quả của các thử nghiệm độ mỏi bằng đột dập đối với các tấm thép mẫu A, B, và C.

Fig.7 là sự so sánh về các bề mặt đứt gãy do mỏi giữa tấm thép mẫu A và tấm thép mẫu C.

Fig.8 thể hiện kết quả thử nghiệm về các hiệu quả của nhiệt độ cán cuối và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối đối với mật độ cực của $\{112\}(110)$ khi hàm lượng Ti là từ 0,05% đến 0,10%.

Fig.9 thể hiện kết quả thử nghiệm về các hiệu quả của nhiệt độ cán cuối và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối đối với tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước khi hàm lượng Ti là từ 0,05% đến 0,10%.

Fig.10 thể hiện kết quả thử nghiệm về các hiệu quả của nhiệt độ cán cuối và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối đối với mật độ cực của $\{112\}(110)$ khi hàm lượng Ti là lớn hơn 0,10% và 0,20% hoặc nhỏ hơn.

Fig.11 thể hiện kết quả thử nghiệm về các hiệu quả của nhiệt độ cán cuối và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối đối với tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước khi hàm lượng Ti là cao hơn 0,10% và 0,20% hoặc nhỏ hơn.

Fig.12 thể hiện kết quả thử nghiệm về sự tương quan giữa tỷ trọng của các chất kết tủa có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn và nhiệt độ cuộn.

Fig.13 thể hiện kết quả thử nghiệm về sự tương quan giữa tỷ trọng của các chất kết tủa có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn và tỷ lệ ứng biến dẻo YR.

Fig.14 thể hiện kết quả thử nghiệm về hiệu quả của sáng chế trên cơ sở sự tương quan giữa độ bền mỏi ở 10^5 chu kỳ và độ bền kéo TS, ở thép theo sáng chế thỏa mãn tất cả các đặc trưng về các cấu tử và cấu trúc tế vi kim loại và trong đó sự phân tách được ngăn chặn và thép so sánh không thỏa mãn tất cả các đặc trưng về các cấu tử và cấu trúc tế vi kim loại và trong đó sự phân tách được phát triển.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

Thông thường, có vấn đề là các đường nứt nhỏ hình thành ở mép bị cắt và khả năng tạo hình và các đặc tính chịu mỏi bị suy giảm khi gia cường bằng sự kết tủa nhờ sử dụng các nguyên tố hợp kim vi lượng. Để giải quyết vấn đề này, cần gia cường tấm thép bằng cách ứng dụng sự gia cường cấu trúc tế vi sử dụng mactensit hoặc bainit thấp. Các tác giả sáng chế đã khảo sát các giá trị thích hợp đối với các hàm lượng riêng của các nguyên tố hợp kim vi lượng và cacbon trong tấm thép được gia cường bằng sự kết tủa, và phát hiện ra rằng sự suy giảm của mép bị cắt của thép được gia cường bằng sự kết tủa, mà thông thường khó ngăn chặn, có thể được ngăn chặn bằng cách kiểm soát hình thái cấu trúc tế vi của kim loại và sự định hướng tinh thể của chúng, nhờ đó phát triển thành công tấm thép cán nóng.

Dưới đây, các lý do để giới hạn các cấu tử của tấm thép cán nóng, là đặc trưng của sáng chế, được giải thích.

Khi hàm lượng của C là thấp hơn 0,030%, độ bền mong muốn có thể không thu được. Hơn nữa, sự thiếu hàm lượng C so với các giới hạn dưới của các hàm lượng Ti và Nb để thu được độ bền mong muốn gây ra sự thiếu hụt C được kết tủa ở đường biên hạt. Kết quả là, độ bền của đường biên hạt tinh thể giảm đi và độ nhám của mép bị cắt tăng lên đáng kể, do đó sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt.

Khi hàm lượng của C vượt quá 0,120%, tỷ trọng của xementit tăng lên. Kết quả là, các đặc tính giãn dài và khả năng tạo hình gờ sắc bị suy giảm và sự

phân tách được phát triển ở mép bị cắt do sự hình thành của cấu trúc tế vi peclit. Vì vậy, hàm lượng của C được thiết lập từ 0,030% đến 0,120%.

Si là nguyên tố có hiệu quả để ngăn chặn sự tăng trưởng thô của xementit và tạo ra gia cường bằng dung dịch chất rắn. Tuy nhiên, khi hàm lượng của Si vượt quá 1,20%, sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt. Vì vậy, hàm lượng của Si được thiết lập là 0,120% hoặc nhỏ hơn. Vì Si tạo ra sự gia cường bằng dung dịch chất rắn và có hiệu quả làm tác nhân khử oxy, nên ưu tiên là chứa Si với lượng là 0,01% hoặc cao hơn.

Hàm lượng của Mn được thiết lập từ 1,00% đến 3,00%. Vì Mn là nguyên tố để tạo ra sự gia cường bằng dung dịch chất rắn, nên chủ yếu chứa Mn với lượng là 1,00% hoặc cao hơn để đạt được độ bền 590 MPa hoặc cao hơn. Khi hàm lượng của Mn vượt quá 3,00%, Ti sulfua được tạo ra trong phần chia tách Mn, do đó các đặc tính giãn dài bị suy giảm đáng kể. Vì vậy, hàm lượng của Mn được thiết lập là 3,00% hoặc nhỏ hơn.

Al được bổ sung làm nguyên tố khử oxy và là nguyên tố có hiệu quả để làm giảm oxit trong thép và cải thiện các đặc tính giãn dài bằng cách tăng tốc sự biến hình của ferit. Vì vậy, hàm lượng của Al được thiết lập là 0,01% hoặc cao hơn. Khi hàm lượng của Al vượt quá 0,70%, độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn có thể không đạt được, và thêm nữa, tỷ lệ ứng biến dẻo YR là 0,80 hoặc cao hơn có thể không đạt được. Vì vậy, hàm lượng của Al được thiết lập từ 0,01% đến 0,70%.

Ti tạo ra sự gia cường bằng sự kết tủa bởi sự hình thành của cacbua. Cần chứa Ti với lượng nhiều hơn 0,05% là để đạt được độ bền của thép là 590 MPa hoặc cao hơn. Cụ thể, khi được kết tủa ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ A_{c1} , sự gia cường bằng sự kết tủa tốt do sự kết tủa cố kết có thể được tạo ra. Tuy nhiên, khi hàm lượng C là thấp, hàm lượng của chất tan C giảm đi, do đó độ bền của đường biên hạt tinh thể giảm đi và độ nhám của mép bị cắt tăng lên đáng kể, và sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt.

Theo sáng chế, đã phát hiện ra rằng sự suy giảm của mép bị cắt được ngăn

chặn và sự phân tách được ngăn chặn khi hàm lượng Ti và hàm lượng C thỏa mãn công thức (1) dưới đây, và các đặc trưng của hình thái cấu trúc tế vi của kim loại được mô tả dưới đây được thỏa mãn. Ở đây, trong công thức (1) dưới đây, dấu "*" chỉ " $\times$ (phép nhân)".

$$\text{Công thức (1): } 0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$$

Sự tương quan giữa tỷ lệ phát triển phân tách và C dư được thể hiện trên Fig.1. Tỷ lệ phát triển phân tách là 100% khi hàm lượng C dư là thấp hơn 0,012 hoặc vượt quá 0,106, mà cho thấy một khoảng thích hợp của C dư. Các mẫu có hàm lượng C dư nằm trong khoảng thích hợp thể hiện các tỷ lệ về sự phát triển phân tách là 50% hoặc nhỏ hơn, thậm chí khi hàm lượng của nguyên tố khác nằm ngoài khoảng được ấn định cụ thể cho nó. Vì vậy, khẳng định được rằng hiệu quả ngăn chặn sự phân tách thu được bằng cách thỏa mãn hàm lượng C dư được ấn định cụ thể bằng công thức (1). Trong khi đó, tỷ lệ phát triển phân tách vượt quá 0% ngay cả trong một số mẫu có các hàm lượng các cấu tử nằm trong các khoảng tương ứng của chúng được ấn định cụ thể bởi sáng chế. Đã phát hiện ra rằng sự phát triển phân tách trong các mẫu như vậy thu được từ cấu trúc tế vi của kim loại. Chi tiết được mô tả dưới đây.

Ở đây, C dư nghĩa là hàm lượng C dư được tính toán theo " $(C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93)$ ".

Tỷ lệ phát triển phân tách là giá trị được xác định bằng cách cắt phôi có kích thước là 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ độ dày tấm của tấm thép cán nóng, thực hiện thử nghiệm đột dập mười lần sử dụng đầu đột dập hình trụ có đường kính 10 mm với khoảng hở là 10%, và quan sát bề mặt được đột dập. Trong trường hợp trong đó sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt, bề mặt đứt gãy của mép bị cắt thể hiện biên dạng bề mặt tương tự thêm có bậc, và độ cao tối đa được đo bằng dụng cụ đo độ nhám theo hướng cắt là 50 μ m hoặc cao hơn. Vì vậy, sự phát triển phân tách được xác định bởi biên dạng bề mặt tương tự bậc của mép bị cắt và độ cao tối đa là 50 μ m hoặc cao hơn. Ở đây, tỷ lệ phát triển phân tách là tần số phát triển phân tách trong mười lần thử nghiệm đột dập.

Khi hàm lượng của Ti vượt quá 0,20%, là khó tạo ra dung dịch chất rắn của Ti hoàn toàn ngay cả bằng sự xử lý dung dịch. Hơn nữa, khi hàm lượng của Ti vượt quá 0,20%, Ti chưa được đóng rắn tạo ra cacbonitrua thô cùng với C và N trong dải phôi. Cacbonitrua thô còn lại trong tấm được sản xuất, do đó độ bền bị suy giảm đáng kể và sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt. Vì vậy, hàm lượng của Ti được thiết lập từ 0,05% đến 0,20%. Để đảm bảo độ bền của dải phôi được cán nóng, hàm lượng của Ti ưu tiên là được thiết lập là 0,15% hoặc nhỏ hơn.

Nb có thể tạo ra cacbua của riêng Nb và có thể cũng tạo ra dung dịch chất rắn của (Ti, Nb)C trong TiC, nhờ đó làm giảm kích thước của cacbua và đưa vào khả năng gia cường bằng sự kết tủa rất cao. Khi hàm lượng của Nb là thấp hơn 0,01%, không thu được hiệu quả gia cường bằng sự kết tủa. Mặt khác, khi hàm lượng của Nb vượt quá 0,10%, hiệu quả gia cường bằng sự kết tủa bão hòa. Vì vậy, hàm lượng của Nb được thiết lập từ 0,01% đến 0,10%.

P là nguyên tố để gia cường bằng dung dịch chất rắn. Khi hàm lượng của P trong thép vượt quá 0,020%, P cách ly đường biên hạt tinh thể. Kết quả là, độ bền của đường biên hạt giảm đi, và sự phân tách được phát triển trong thép, và ngoài vấn đề này, độ bền giảm đi, và độ bền khi gia công thứ cấp giảm đi. Vì vậy, hàm lượng của P được thiết lập là 0, 020% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng P không giới hạn cụ thể, và ưu tiên là được thiết lập là 0,001% xét về mặt chi phí khử phospho và năng suất.

S làm suy giảm khả năng kéo căng mép bởi sự hình thành của hợp chất với Mn. Vì vậy, hàm lượng của S ưu tiên là càng thấp càng tốt. Khi hàm lượng của S vượt quá 0,010%, sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt do sự cách ly tương tự dải của MnS. Vì vậy, hàm lượng của S được thiết lập là 0,010% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng S không giới hạn cụ thể, và ưu tiên là được thiết lập là 0,001% xét về mặt chi phí và năng suất.

N tạo ra TiN trước khi cán nóng. TiN có cấu trúc tinh thể dạng NaCl, và có bề mặt phân cách không cố kết sắt nền. Vì vậy, các đường nứt bắt nguồn từ

TiN được hình thành trong khi cắt, và sự phân tách ở mép bị cắt tăng nhanh. Khi hàm lượng của N vượt quá 0,005%, thì khó để ngăn chặn sự phân tách ở mép bị cắt. Vì vậy, hàm lượng của N được thiết lập là 0,005% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới của hàm lượng N không giới hạn cụ thể, và ưu tiên là 5 ppm% từ quan điểm về chi phí khử nitơ và năng suất.

Dưới đây, các nguyên tố tùy ý được giải thích.

B có thể tạo ra dung dịch chất rắn ở đường biên hạt và ngăn chặn sự cách ly của P đối với đường biên hạt, nhờ đó cải thiện độ bền của đường biên hạt và làm giảm độ nhám của mép bị cắt. Hàm lượng B là 0,0005% hoặc cao hơn được ưu tiên, vì độ bền là 1080 MPa hoặc cao hơn có thể đạt được và sự phân tách ở mép bị cắt có thể được ngăn chặn. Thậm chí khi hàm lượng của B vượt quá 0,0015%, không có hiệu quả cải thiện nào liên quan đến hàm lượng này được quan sát. Vì vậy, ưu tiên là hàm lượng của B được thiết lập từ 0,0005% đến 0,0015%.

Cr có thể tạo ra dung dịch chất rắn trong MC tương tự V, và có thể tạo ra sự gia cường nhờ sự hình thành cacbua của riêng Cr. Khi hàm lượng của Cr vượt quá 0,09%, hiệu quả này bão hòa. Vì vậy, hàm lượng của Cr được thiết lập là 0,09% hoặc nhỏ hơn. Ưu tiên là hàm lượng của Cr được thiết lập là 0,01% hoặc cao hơn, về mặt đảm bảo độ bền sản phẩm.

V được thay thế bằng TiC và các chất kết tủa dưới dạng (Ti, V)C, nhờ đó thu được tấm thép có độ bền cao. Khi hàm lượng của V là thấp hơn 0,01%, không có hiệu quả nào được tạo ra. Mặt khác, khi hàm lượng của V vượt quá 0,10%, sự nứt bề mặt của tấm thép cán nóng tăng nhanh. Vì vậy, hàm lượng của V được thiết lập từ 0,01% đến 0,10%. Khi công thức $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93 - V\% * 12/51) \geq 0,012$ không được thỏa mãn, hàm lượng của chất tan C giảm đi, do đó độ bền của đường biên hạt tinh thể giảm và độ nhám của mép bị cắt tăng lên đáng kể, và như vậy, sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt.

Mo cũng là nguyên tố để kết tủa. Khi hàm lượng của Mo là thấp hơn

0,01%, không có hiệu quả nào được tạo ra. Mặt khác, khi hàm lượng của Mo vượt quá 0,2%, các đặc tính giãn dài bị suy giảm. Vì vậy, hàm lượng của Mo được thiết lập từ 0,01% đến 0,2%.

Tiếp theo, các đặc trưng của sáng chế, đó là, cấu trúc tế vi và biên dạng bề mặt, được mô tả.

Khi tấm thép theo sáng chế thỏa mãn các khoảng các cấu tử được mô tả ở trên và mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí $1/4$ chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn, sự phân tách ở mép bị cắt có thể được ngăn chặn.

$\{112\}(110)$ là sự định hướng tinh thể được phát triển trong quy trình cán, và được xác định từ mẫu hình tán xạ ngược điện tử thu được sử dụng chùm điện tử được tăng tốc bởi điện áp 25 kV hoặc cao hơn (mẫu hình tán xạ ngược điện tử thu được bởi phương pháp EBSP), và sử dụng một mẫu trong đó các sức căng bề mặt của bề mặt cần được đo đã được loại trừ bởi sự đánh bóng điện hóa của tiết diện theo hướng cán của tấm thép sử dụng axit pecloric 5%. Ở đây, phép đo được thực hiện nằm trong khoảng 1000 μm hoặc cao hơn theo hướng cán và 500 μm theo hướng độ dày tấm, và khoảng cách đo ưu tiên là 3 μm tới 5 μm . Các phương pháp nhận dạng khác như là phương pháp trên cơ sở mẫu hình nhiễu xạ bởi TME hoặc Nhiễu xạ bụi tia X là không phù hợp làm phương pháp đo, vì không thể xác định rõ vị trí đo bởi các phương pháp như vậy.

Đối với hình thái của các hạt austenit có trước, đã phát hiện ra rằng sự phân tách ở mép bị cắt có thể được ngăn chặn khi tỷ lệ cạnh (trục dài/trục ngắn) của nó là 5,3 hoặc nhỏ hơn. Vì vậy, tỷ lệ cạnh được thiết lập là 5,3 hoặc nhỏ hơn.

Sự tương quan của sự phát triển phân tách với tỷ lệ cạnh và mật độ cực của $\{112\}(110)$ được thể hiện trên Fig.2. Trên hình vẽ này, đường tròn chỉ ra rằng tỷ lệ phát triển phân tách là 0% khi đánh giá về sự phân tách, và dấu thập chỉ ra rằng tỷ lệ phát triển phân tách vượt quá 0%. Thậm chí khi các hàm lượng của các cấu tử nằm trong các khoảng thích hợp tương ứng của chúng, tỷ lệ cạnh vượt quá 5,3 dẫn đến sự phát triển phân tách ở bất kỳ mật độ cực nào. Mặt khác,

không mẫu nào trong số các mẫu có các hàm lượng của các cấu tử nằm trong các khoảng thích hợp tương ứng của chúng, tỷ lệ cạnh là 5,3 hoặc nhỏ hơn, và mật độ cực là 5,7 hoặc nhỏ hơn thể hiện sự phát triển phân tách. Ở đây, trong phương pháp phát hiện các hạt austenit có trước, ưu tiên là sử dụng dodecylbenzen sulfonat, axit picric, hoặc axit oxalic.

Kết quả quan sát về sự phân tách ở mép bị cắt của tấm thép mẫu A có tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là hơn 5,3, sử dụng phương pháp được mô tả ở trên để phát hiện các hạt austenit có trước được thể hiện trên Fig.3, Sự phân tách ở mép bị cắt được thể hiện là bề mặt nứt tương tự thêm được phát triển theo hướng giao cắt với hướng cắt. Kết quả của sự quan sát chi tiết là, đã phát hiện ra rằng đường nứt kéo dài dọc theo đường biên hạt của austenit có trước. Mặt khác, như được thể hiện trên Fig.4, trong tấm thép mẫu B có tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn và mật độ cực của $\{112\}(110)$ là 5,7 hoặc cao hơn, diện tích của vùng phân tách giảm đi theo tỷ lệ cạnh, nhưng sự phân tách không được ngăn chặn hoàn toàn. Tuy nhiên, như được thể hiện trên Fig.5, trong tấm thép mẫu C thỏa mãn tất cả các đặc trưng của cấu trúc tế vi của kim loại theo sáng chế, đó là, phần còn lại là C, Ti, và Nb, mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm, tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước, và kích thước và mật độ của các chất kết tủa $(Ti, Nb)C$, sự ngăn chặn phân tách đã phát hiện, và không có sự phát triển của các đường nứt ở đường biên hạt tinh thể cụ thể được quan sát.

Các kết quả của các thử nghiệm đối với độ mỏi chịu đột dập của các thép thử nghiệm A, B, và C được thể hiện trên Fig.6. Các thử nghiệm đối với độ mỏi chịu đột dập được thực hiện bằng dụng cụ thử nghiệm độ mỏi dạng Shank, và đánh giá được thực hiện sử dụng một mảnh thử nghiệm mà đã được đưa đi xử lý cắt đột dập có đường kính 10 mm với khoảng hở bên là 10% ở phần trung tâm của mảnh thử nghiệm nhấn theo JISZ2275. Mỗi loại trong số các thép thử nghiệm A, B, và C có độ bền kéo là khoảng 980 MPa. Ngược với thép C trong đó sự phân tách được ngăn chặn, độ bền mỏi ở 105 chu kỳ trong các thép thử nghiệm A và B giảm đi khoảng 50 MPa. Sự so sánh về các bề mặt đứt gãy do

mỗi giữa thép thử nghiệm A và thép thử nghiệm C được thể hiện trên Fig.7. Trong thép thử nghiệm C, đã phát hiện ra rằng các đường nứt do mỏi được hình thành từ các phần được phân tách và sự giảm về độ bền mỏi ở tuổi thọ hạn chế gây ra bởi sự phát triển phân tách. Trong quá trình cắt, các đường nứt khởi đầu từ nơi đột dập và các mép khuôn phát triển theo hướng độ dày tấm dọc theo các cú đập của đầu đột dập và được kết hợp lại để tạo ra mép bị cắt. Đã cho rằng, trong tấm thép được gia cường bởi các chất kết tủa cố kết trên cơ sở Ti, sự phát triển phân tách có thể không được ngăn chặn vì sự giảm về độ bền. Trong sáng chế, sự phân tách được quan sát chi tiết, cơ chế phát triển phân tách được làm rõ, và đã phát hiện ra rằng sự phân tách ở mép bị cắt có thể được ngăn chặn và độ bền mỏi của mép bị cắt có thể được cải thiện bằng việc điều chỉnh phù hợp hợp phần của các cấu tử và kiểm soát cấu trúc tế vi của kim loại để có sự định hướng tinh thể và hình thái hạt tinh thể thích hợp.

Mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb)C có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn trong cấu trúc tế vi của kim loại cần là 109 phần tử/mm³ hoặc hơn. Đó là vì tỷ lệ ứng biến dẻo YR, của độ bền kéo và ứng suất chảy, là 0,80 hoặc cao hơn có thể không đạt được khi mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb)C có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn là thấp hơn 109 phần tử/mm³. Mặt khác, tỷ trọng của các chất kết tủa ưu tiên là 1012 phần tử/mm³ hoặc nhỏ hơn. Ưu tiên là các chất kết tủa được đo bằng sự quan sát 5 trường hoặc hơn bởi kính hiển vi điện tử truyền qua ở độ khuếch đại cao là 10000-lần hoặc cao hơn, sử dụng mẫu sao chép được điều chế bằng phương pháp được mô tả trong JP-A 2004-317203. Ở đây, kích thước của chất kết tủa coi như đường kính hình tròn tương đương của chất kết tủa. Chất kết tủa có kích thước là 1 nm tới 20 nm được lựa chọn để đo tỷ trọng kết tủa.

Dưới đây, các đặc trưng của phương pháp sản xuất tấm thép theo sáng chế được mô tả. Trong phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng theo sáng chế, nhiệt độ nung dài phơi ưu tiên là 1250°C hoặc cao hơn, để đủ đóng rắn các nguyên tố được kết tủa chứa trong đó. Mặt khác, khi nhiệt độ nung vượt quá 1300°C, sự tăng trưởng thô của đường biên hạt austenit được quan sát. Vì vậy, nhiệt độ nung

ưu tiên là 1300°C hoặc nhỏ hơn. Theo sáng chế, đã phát hiện ra rằng có một khoảng thích hợp đối với điều kiện cán hoàn thiện mà thay đổi với hàm lượng của Ti. Khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,05\% \leq \text{Ti} \leq 0,10\%$, nhiệt độ cán cuối trong cán hoàn thiện cần được thiết lập là 960°C hoặc cao hơn, và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối cần được thiết lập là 30% hoặc cao hơn. Khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,10\% < \text{Ti} \leq 0,20\%$, nhiệt độ cán cuối trong cán hoàn thiện cần được thiết lập là 980°C hoặc cao hơn, và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối cần được thiết lập là 40% hoặc cao hơn. Khi bất kỳ điều kiện nào trong số các điều kiện này nằm ngoài các khoảng nêu trên, sự tái kết tinh austenit trong khi cán không được thúc đẩy, và các yêu cầu về mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn và tỷ lệ cạnh (trục dài/trục ngắn) của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn không đáp ứng. Nhiệt độ cán cuối trong cán hoàn thiện (đôi khi được coi là "nhiệt độ cán hoàn thiện") là nhiệt độ được đo bằng nhiệt kế được đặt trong 15 m từ phía ra của vị trí cuối của máy cán hoàn thiện. Tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối (hai vị trí từ vị trí cuối đôi khi được coi là "hai vị trí cuối", và tổng mức giảm chiều dày cán đôi khi được coi là "tổng mức giảm chiều dày cán") nghĩa là tổng giá trị (cộng đơn thuần) thu được bằng cách cộng giá trị của mức giảm chiều dày cán ở riêng vị trí cuối và giá trị của mức giảm chiều dày cán ở vị trí thứ hai vào riêng vị trí cuối. Sự tương quan giữa các điều kiện cán cuối và mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm và sự tương quan giữa các điều kiện cán cuối và tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước trong khoảng hàm lượng Ti là $0,05\% \leq \text{Ti} \leq 0,10\%$ được thể hiện lần lượt trên các hình vẽ Fig.8 và 9. Đã phát hiện ra rằng, trong khoảng hàm lượng Ti là $0,05\% \leq \text{Ti} \leq 0,10\%$, tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước vượt quá 5,3 khi nhiệt độ cán hoàn thiện hoặc tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối nằm ngoài các điều kiện theo sáng chế. Các kết quả về các tham định tương tự trong khoảng hàm lượng Ti là $0,10\% < \text{Ti} \leq 0,20\%$ được thể hiện trên các hình vẽ Fig.10 và Fig.11, nằm trong khoảng $0,10\% < \text{Ti} \leq 0,20\%$, mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm vượt quá 5,7 trong một số các mẫu

thậm chí khi nhiệt độ cán hoàn thiện là 960°C hoặc cao hơn; việc thiết lập nhiệt độ cán hoàn thiện là 980°C hoặc cao hơn dẫn đến mật độ cực của {112}(110) ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn. Hơn nữa, khi nhiệt độ cán hoàn thiện là 980°C hoặc cao hơn và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 40% hoặc cao hơn, cả hai trong số các điều kiện về mật độ cực và tỷ lệ cạnh được thỏa mãn. Đó là do hiệu quả của Ti ức chế sự tái kết tinh của austenit, và chỉ ra rằng có điều kiện cán hoàn thiện tối ưu để tạo ra hiệu quả này, mà thay đổi với hàm lượng Ti. Các thăm định này đã phát hiện các điều kiện cán hoàn thiện tối ưu cho khoảng cấu tử theo sáng chế. Ở đây, ưu tiên là thiết lập nhiệt độ cán hoàn thiện là 1080°C hoặc nhỏ hơn và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 70% hoặc nhỏ hơn, cả nằm trong khoảng $0,05\% \leq \text{Ti} \leq 0,10\%$ và nằm trong khoảng $0,10\% < \text{Ti} \leq 0,20\%$.

Cuộn sau khi cán hoàn thiện cần thiết được thực hiện ở nhiệt độ là 450°C hoặc cao hơn. Khi nhiệt độ là thấp hơn 450°C, thì khó tạo ra tấm thép cán nóng được gia cường bằng sự kết tủa có cấu trúc tế vi đồng nhất, và đạt được tỷ lệ ứng biến dẻo YR là 0,80 hoặc cao hơn. Thường là trường hợp mà tấm thép cán nóng chủ yếu được dùng cho các bộ phận treo, và vì vậy, cần gia tăng ứng suất đứt gãy của các bộ phận cũng như làm giảm sự biến dạng cố định của các bộ phận này. Trong tấm thép cán nóng theo sáng chế, tỷ lệ ứng biến dẻo YR được tăng lên bằng sự kết tủa của (Ti, Nb)C. Khi bước cuộn được thực hiện ở nhiệt độ vượt quá 650°C, sự tăng trưởng thô của chất kết tủa tăng nhanh, và độ bền của tấm thép theo hàm lượng của Ti có thể không thu được. Hơn nữa, khi nhiệt độ cuộn vượt quá 650°C, cơ chế Orowan kém hiệu quả do sự tăng trưởng thô của (Ti, Nb)C, nhờ đó việc giảm ứng suất chảy, và tỷ lệ ứng biến dẻo YR mong muốn là 0,80 hoặc cao hơn có thể không đạt được.

Sự tương quan giữa nhiệt độ cuộn của tấm thép cán nóng có hàm lượng Ti là từ 0,05% đến 0,20% và tỷ trọng của các chất kết tủa có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn được thể hiện trên Fig.12. Khi nhiệt độ cuộn là thấp hơn 450°C hoặc vượt quá 650°C, tỷ trọng của các chất kết tủa là thấp hơn 109 phần tử/mm³; kết quả là, tỷ lệ ứng biến dẻo YR là 0,80 hoặc cao hơn có thể không đạt

được như được thể hiện trên Fig.13, và đã phát hiện ra rằng tấm thép cán nóng có ứng suất chảy cao có thể không được sản xuất.

Trong tấm thép cán nóng theo sáng chế,
 hàm lượng C có thể nằm trong khoảng từ 0,36% đến 0,100%,
 hàm lượng Si có thể nằm trong khoảng từ 0,01% tới 1,19%,
 hàm lượng Mn có thể nằm trong khoảng từ 1,01% tới 2,53%
 hàm lượng Al có thể nằm trong khoảng từ 0,03% đến 0,43%,
 hàm lượng Ti có thể nằm trong khoảng từ 0,05% đến 0,17%,
 hàm lượng Nb có thể nằm trong khoảng từ 0,01% đến 0,04%,
 hàm lượng P có thể là 0,008% hoặc nhỏ hơn,
 hàm lượng S có thể là 0,003% hoặc nhỏ hơn,
 hàm lượng N có thể là 0,003% hoặc nhỏ hơn,
 $"C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93"$ có thể nằm trong khoảng từ 0,061 đến 0,014,
 mật độ cực có thể nằm trong khoảng từ 1,39 tới 5,64,
 tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước có thể nằm trong khoảng từ 1,42 tới 5,25, và
 tỷ trọng của các chất kết tủa có thể nằm trong khoảng từ $1,55 \times 10^9$ phần tử/mm³ đến $3,10 \times 10^{11}$ phần tử/mm³,

Trong phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng theo sáng chế,
 nhiệt độ cán cuối trong bước cán hoàn thiện có thể nằm trong khoảng từ 963°C tới 985°C trong khoảng hàm lượng Ti là $0,05\% \leq Ti \leq 0,10\%$,
 tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối có thể nằm trong khoảng từ 32,5% tới 43,2% trong khoảng hàm lượng Ti là $0,05\% \leq Ti \leq 0,10\%$,
 nhiệt độ cán cuối trong bước cán hoàn thiện có thể nằm trong khoảng từ 981°C tới 1055°C trong khoảng hàm lượng Ti là $0,10\% < Ti \leq 0,20\%$,
 tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối có thể nằm trong

khoảng từ 40,0% tới 45,3% trong khoảng hàm lượng Ti là $0,10\% < \text{Ti} \leq 0,20\%$, và

hiệu độ cuộn có thể nằm trong khoảng từ 480°C tới 630°C.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, các ví dụ của sáng chế được mô tả.

Thép chứa các cấu tử hóa học được thể hiện trong bảng 1 được sản xuất bằng cách làm nóng chảy, và dải phôi thu được. Dải phôi được nung tới nhiệt độ 1250°C hoặc cao hơn, và được đưa tới sáu ray cán của bước cán hoàn thiện ở nhiệt độ cán hoàn thiện được thể hiện trong bảng 2. Dải thép thu được được làm nguội trong vùng làm nguội ở tốc độ làm nguội trung bình là 5°C/giây, và được giữ trong 1 giờ ở nhiệt độ từ 450°C tới 630°C trong lò tái tạo cuộn sau đó là làm nguội bằng không khí, nhờ đó tạo ra 2,9 mm tấm thép. Cặn bề mặt của tấm thép thu được được loại bỏ sử dụng dung dịch nước axit hydrocloric 7%, nhờ đó tạo ra tấm thép cán nóng. Theo tổng mức giảm chiều dày cán được chỉ ra trong bảng 2, tổng mức giảm chiều dày cán ở ray cán thứ 5 và thứ 6 được thể hiện là tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối từ vị trí cuối trong bước sản xuất tấm thép cán nóng. Độ bền kéo TS và các đặc tính giãn dài El của các tấm thép cán nóng tương ứng được tính toán theo phương pháp thử nghiệm được mô tả trong JIS-Z2241 bằng cách sản xuất mảnh thử nghiệm số 5 như được mô tả trong JIS-Z2201. Khả năng tạo hình gờ sắc λ được tính toán theo phương pháp thử nghiệm được mô tả trong JIS-Z2256. Đối với sự thẩm định về biên dạng bề mặt của mép bị cắt, có hoặc không có sự phát triển phân tách do cắt được thẩm tra theo hướng theo chu vi bằng cách kiểm tra bằng mắt đối với mẫu, mà đã được đưa đi xử lý cắt bằng đột dập sử dụng đầu đột dập hình trụ có đường kính 10 mm và khuôn có khoảng hở 10%. Xác định về tỷ lệ phát triển phân tách và phép đo của nó được mô tả ở trên. Để thẩm định các đặc tính chịu mỏi của mép bị cắt của tấm thép, mỗi trong số các tấm thép thử nghiệm được gia công thành mảnh thử nghiệm phẳng, và sau đó được gia công thành mảnh thử nghiệm để đánh giá độ mỏi của mép bị cắt dưới điều kiện đột dập được mô tả ở trên. Mảnh thử

nghiệm thu được được tính toán đối với độ bền mỏi σ_p để làm gãy ở 10⁵ chu kỳ sử dụng dụng cụ uốn cong mặt phẳng dạng Shank.

Tấm thép của tấm thép số 10 tương ứng với tấm thép so sánh vì tấm thép không thỏa mãn công thức (1) (xem bảng 2).

Bảng 1

Tấm thép số	C	Si	Mn	Al	P	S	Ti	Nb	N	B	V	Mo	Cr	
1	0,027	0,60	1,26	0,02	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
2	0,126	0,60	1,32	0,02	0,008	0,003	0,06	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
3	0,081	1,51	2,52	0,02	0,008	0,003	0,13	0,02	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
4	0,060	0,60	0,76	0,02	0,008	0,003	0,06	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
5	0,061	0,60	3,10	0,02	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
6	0,038	0,06	1,32	0,73	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
7	0,062	0,16	1,96	0,02	0,021	0,003	0,09	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
8	0,060	0,16	1,96	0,02	0,008	0,012	0,09	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
9	0,061	0,02	1,30	0,02	0,008	0,003	0,03	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
10	0,060	0,15	1,96	0,02	0,008	0,003	0,18	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
11	0,061	0,16	1,96	0,02	0,008	0,003	0,21	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
12	0,036	0,65	1,28	0,02	0,008	0,003	0,05	0	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
13	0,071	0,15	1,92	0,02	0,008	0,003	0,05	0,13	0,003	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
14	0,060	0,96	1,37	0,02	0,008	0,003	0,13	0,04	0,008	—	—	—	—	Ví dụ so sánh
15	0,081	1,37	2,51	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	0,0007	—	—	—	Ví dụ so sánh
16	0,045	0,06	0,81	0,03	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	0,05	—	—	Ví dụ so sánh
17	0,082	1,31	2,52	0,02	0,008	0,003	0,14	0,02	0,003	0,0008	—	0,18	—	Ví dụ so sánh
18	0,079	1,41	2,54	0,02	0,008	0,003	0,15	0,02	0,003	0,0008	—	0,09	—	Ví dụ so sánh
19	0,135	0,60	1,32	0,02	0,008	0,003	0,06	0,01	0,003	—	—	—	0,08	Ví dụ so sánh
20	0,036	0,02	1,37	0,31	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
21	0,060	0,95	1,38	0,03	0,008	0,003	0,13	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
22	0,060	0,15	1,97	0,03	0,008	0,003	0,10	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
23	0,046	0,71	1,23	0,03	0,008	0,003	0,05	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
24	0,081	0,02	1,01	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
25	0,080	0,02	1,50	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	-	-	Ví dụ theo sáng chế
26	0,080	0,01	2,02	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
27	0,062	0,02	1,52	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế

Bảng 1-tiếp theo

Tám thép số	C	Si	Mn	Al	P	S	Ti	Nb	N	B	V	Mo	Cr	
28	0,062	0,02	1,51	0,03	0,008	0,003	0,15	0,03	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
29	0,100	0,01	1,51	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
30	0,080	0,01	1,52	0,03	0,008	0,003	0,11	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
31	0,082	0,02	1,52	0,03	0,008	0,003	0,13	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
32	0,081	0,31	1,53	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
33	0,081	0,01	2,53	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
34	0,081	0,01	1,53	0,03	0,008	0,003	0,15	0,04	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
35	0,061	0,01	2,52	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
36	0,061	1,15	2,50	0,03	0,008	0,003	0,14	0,02	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
37	0,062	1,19	2,51	0,03	0,008	0,003	0,17	0,01	0,003	0,0015	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
38	0,062	0,06	1,33	0,46	0,008	0,003	0,11	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
39	0,040	0,01	1,50	0,03	0,008	0,003	0,10	0,01	0,003	—	—	—	—	Ví dụ theo sáng chế
40	0,072	1,17	2,45	0,03	0,008	0,003	0,15	0,01	0,003	—	0,08	—	—	Ví dụ theo sáng chế
41	0,081	1,18	2,46	0,03	0,008	0,003	0,14	0,02	0,003	—	—	0,18	—	Ví dụ theo sáng chế
42	0,062	0,01	1,50	0,03	0,008	0,003	0,10	0,01	0,003	—	0,08	—	0,08	Ví dụ theo sáng chế
43	0,082	1,18	2,51	0,03	0,008	0,003	0,14	0,01	0,003	0,0013	0,09	—	—	Ví dụ theo sáng chế
44	0,075	1,09	2,51	0,03	0,008	0,003	0,16	0,01	0,003	0,0013	—	0,16	—	Ví dụ theo sáng chế
45	0,060	0,95	1,38	0,03	0,008	0,003	0,13	0,04	0,003	—	—	—	0,09	Ví dụ theo sáng chế

Trong bảng 2, đối với tất cả các số lượng thử nghiệm, ứng suất chảy, độ bền kéo, độ giãn dài toàn phần, khả năng tạo hình gờ sắc λ , xuất hiện hoặc không xuất hiện sự phát triển phân tách ở mép bị cắt, độ bền mỏi ở 10^5 chu kỳ của mép bị cắt, và tỷ lệ σ_p/TS của độ bền mỏi ở 10^5 chu kỳ đối với độ bền kéo được chỉ ra.

Bảng 2

Thứ nghiệm số	Tấm thép số	Nhiệt độ cán nguội (°C) trong bước cán hoàn thiện	Tổng mức giảm chiều dày cần ở hai vị trí cuối (%)	Nhiệt độ cuộn (°C)	Công thức (1)	Mật độ cực	Tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước	Tỷ trọng của các chất kết tủa là 20 nm hoặc nhỏ hơn (mảnh /mm ³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ ứng biến dẻo YR	Độ giãn dài toàn phần (%)	Khả năng tạo hình gờ sắc λ (%)	Xuất hiện phân tách ở mép bị cắt	Độ bền mối op ở 10 ⁵ chu kỳ của mép bị cắt (MPa)	Tỷ lệ op/TS của độ bền mối ở 10 ⁵ chu kỳ so với độ bền kéo	Phương pháp sản xuất	Các cầu từ	Lưu ý
1	1	964	35,1	570	0,013	1,84	2,16	8,98E+09	482	519	0,93	32,0	151,0	Xuất hiện	234	0,45	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
2	2	965	36,2	570	0,109	1,96	3,29	8,47E+09	581	622	0,93	30,3	43,0	Không xuất hiện	178	0,29	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
3	3	989	41,0	550	0,046	2,86	3,35	6,96E+10	859	991	0,87	16,2	67,0	Không xuất hiện	303	0,31	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
4	4	968	34,4	570	0,044	2,06	1,78	7,78E+09	483	523	0,92	29,8	76,0	Xuất hiện	222	0,42	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
5	5	966	32,4	550	0,047	4,31	6,92	7,41E+09	952	1082	0,88	8,9	52,0	Không xuất hiện	313	0,29	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
6	6	962	35,2	600	0,024	2,37	2,49	1,01E+09	415	563	0,74	29,1	112,0	Xuất hiện	231	0,41	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
7	7	983	34,1	570	0,034	2,46	2,76	1,86E+10	701	765	0,92	16,3	71,0	Không xuất hiện	208	0,27	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
8	8	988	34,5	550	0,032	2,67	2,20	1,55E+10	689	761	0,91	15,9	79,2	Không xuất hiện	241	0,32	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
9	9	964	31,7	550	0,052	1,35	1,20	8,14E+08	429	541	0,79	31,0	66,0	Xuất hiện	238	0,44	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
10	10	1034	43,1	580	0,010	4,67	3,90	2,40E+11	726	862	0,84	16,2	89,0	Không xuất hiện	234	0,27	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
11	11	1026	41,4	600	0,007	4,98	6,59	2,83E+11	769	842	0,91	14,3	71,0	Không xuất hiện	227	0,27	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
12	12	968	34,7	580	0,023	2,41	2,61	1,67E+10	427	575	0,74	25,5	124,0	Xuất hiện	298	0,52	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh

Bảng 2-tiếp theo

Thứ nghiệm số	Tầm thép số	Nhiệt độ cán nguội (°C) trong bước cán hoàn thiện	Tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối (%)	Nhiệt độ cuộn (°C)	Công thức (1)	Mật độ cực	Tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước	Tỷ trọng của các chất kết tủa là 20 nm hoặc nhỏ hơn (mảnh /mm ³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ ứng biến dẻo YR	Độ giãn dài toàn phần (%)	Khả năng tạo hình ở sắc λ (%)	Xuất hiện phân tách ở mép bị cắt	Độ bền mới ở 10 ⁵ chu kỳ của mép bị cắt (MPa)	Tỷ lệ σ _p /T _S ở độ bền mới ở 10 ⁵ chu kỳ so với độ bền kéo	Phương pháp sản xuất	Các cấu tử	Lưu ý
13	13	1063	45,0	550	0,041	5,87	4,84	7,08E+09	756	839	0,90	19,7	61,0	Không xuất hiện	237	0,28	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
14	14	1027	40,5	550	0,022	3,01	2,97	1,05E+10	739	808	0,91	19,6	96,0	Không xuất hiện	223	0,28	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
15	15	1054	44,9	550	0,042	4,84	5,15	6,15E+10	890	1081	0,82	13,5	62,5	Không xuất hiện	315	0,29	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
16	16	968	37,5	510	0,031	2,01	2,49	3,13E+09	499	571	0,87	28,2	127,0	Không xuất hiện	165	0,29	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
17	17	1051	40,5	550	0,044	5,11	5,12	7,26E+10	938	1132	0,83	13,5	67,1	Không xuất hiện	277	0,25	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
18	18	1041	41,2	550	0,039	4,89	4,78	8,16E+10	936	1110	0,84	14,2	67,1	Không xuất hiện	350	0,32	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
19	19	976	37,3	570	0,118	1,84	3,15	9,16E+09	534	648	0,82	29,9	45,0	Không xuất hiện	201	0,31	Sáng chế	So sánh	Thép so sánh
20	20	966	38,0	510	0,022	1,76	2,85	2,13E+09	580	624	0,93	27,0	132,0	Xuất hiện	310	0,50	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
21	20	899	40,5	510	0,022	5,21	5,48	1,64E+09	598	655	0,91	28,0	88,0	Không xuất hiện	170	0,26	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
22	21	988	43,1	510	0,022	2,98	2,93	1,71E+11	747	800	0,93	21,0	92,0	Xuất hiện	404	0,51	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
23	22	984	42,1	630	0,030	1,98	2,71	3,19E+10	690	773	0,89	18,7	79,2	Xuất hiện	391	0,51	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
24	22	903	40,3	630	0,030	3,67	6,04	4,58E+10	747	817	0,91	19,0	63,0	Không xuất hiện	239	0,29	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh

Bảng 2-tiếp theo

Thứ nghiệm số	Tâm thép số	Nhiệt độ cán cuối (°C) trong bước cán hoàn thiện	Tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối (%)	Nhiệt độ cuộn (°C)	Công thức (I)	Mật độ cực	Tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước	Tỷ trọng của các chất kết tủa là 20 nm hoặc nhỏ hơn (mảnh /mm ³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ ứng biến dẻo YR	Độ giãn dài toàn phần (%)	Khả năng tạo hình gờ sắc λ (%)	Xuất hiện phần tách ở mép bị cắt	Độ bền mới ở 105 chu kỳ của mép bị cắt (MPa)	Tỷ lệ σp/TS ở độ bền mới ở 105 chu kỳ so với độ bền kéo	Phương pháp sản xuất	Các cấu tử	Lưu ý
25	23	967	32,5	480	0,032	2,42	1,73	5,57E+09	537	609	0,88	26,0	121,0	Xuất hiện	257	0,42	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
26	24	1027	42,8	530	0,042	3,48	2,06	8,31E+10	702	770	0,91	16,2	67,5	Xuất hiện	360	0,47	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
27	25	1011	40,7	530	0,041	3,67	2,01	6,92E+10	695	795	0,87	17,8	78,0	Xuất hiện	344	0,43	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
28	26	1028	40,1	530	0,041	4,01	2,56	8,99E+10	742	844	0,88	15,5	59,5	Xuất hiện	424	0,50	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
29	27	1021	40,8	530	0,022	3,32	2,27	7,58E+10	690	788	0,88	19,0	83,0	Xuất hiện	331	0,42	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
30	28	1022	43,6	530	0,020	3,78	3,47	5,04E+10	680	797	0,85	18,8	70,3	Xuất hiện	417	0,52	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
31	29	1028	41,6	530	0,061	3,14	3,36	6,11E+10	721	806	0,89	17,4	78,1	Xuất hiện	372	0,46	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
32	30	981	40,7	530	0,051	2,79	2,54	6,64E+09	682	743	0,92	15,1	62,5	Xuất hiện	332	0,45	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
33	31	1024	42,4	530	0,048	2,97	3,79	5,31E+10	691	774	0,89	16,5	66,8	Xuất hiện	384	0,50	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
34	32	1027	42,6	530	0,042	2,91	3,30	8,55E+10	736	825	0,89	18,4	61,0	Xuất hiện	409	0,50	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
35	33	1022	40,6	530	0,042	3,89	1,65	6,60E+10	879	944	0,93	13,9	50,6	Xuất hiện	490	0,52	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
36	34	1024	41,9	530	0,038	4,11	3,46	6,15E+10	801	874	0,92	16,2	47,0	Xuất hiện	390	0,45	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế

Bảng 2-tiếp theo

Thứ nghiệm số	Tấm thép số	Nhiệt độ cán cuối (°C) trong bước cán hoàn thiện	Tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí cuối (%)	Nhiệt độ cuộn (°C)	Công thức (1)	Mật độ cực	Tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước	Tỷ trọng của các chất kết tủa là 20 nm hoặc nhỏ hơn (mảnh /mm ³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ ứng biến dẻo YR	Độ giãn dài toàn phần (%)	Khả năng tạo hình gờ sắc λ (%)	Xuất hiện phân tách ở mức bị cắt	Độ bền mới op ở 10 ⁵ chu kỳ của thép bị cắt (MPa)	Tỷ lệ op/TS ở độ bền mới ở 10 ⁵ chu kỳ so với độ bền kéo	Phương pháp sản xuất	Các cầu từ	Lưu ý
37	35	1028	42,7	530	0,022	4,89	1,42	7,17E+10	860	938	0,92	16,6	63,4	Xuất hiện	398	0,42	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
38	35	962	42,6	530	0,022	5,97	3,48	1,06E+11	855	955	0,90	15,3	49,0	Không xuất hiện	273	0,29	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
39	36	1055	43,4	550	0,022	4,38	2,71	9,70E+10	860	967	0,89	15,1	68,0	Xuất hiện	366	0,38	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
40	36	939	40,6	550	0,022	6,78	3,63	3,51E+10	864	991	0,87	18,5	51,0	Không xuất hiện	267	0,27	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
41	37	1030	43,2	520	0,018	5,64	2,04	4,76E+09	887	1095	0,81	13,4	61,8	Xuất hiện	423	0,39	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
42	37	935	45,3	520	0,018	7,03	5,93	5,59E+09	874	1088	0,80	14,2	43,0	Không xuất hiện	312	0,29	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
43	38	989	41,1	600	0,033	1,68	2,27	3,93E+10	672	731	0,92	21,8	121,0	Xuất hiện	382	0,52	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
44	38	983	40,0	400	0,033	2,45	2,48	4,25E+08	620	791	0,78	18,5	81,0	Xuất hiện	352	0,44	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
45	39	985	40,2	600	0,014	1,39	2,48	3,29E+10	734	781	0,94	20,8	115,0	Xuất hiện	408	0,52	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
46	39	939	43,2	530	0,014	3,48	7,45	6,79E+09	685	779	0,88	16,0	106,0	Không xuất hiện	211	0,27	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
47	20	971	26,3	510	0,022	2,84	5,35	1,55E+09	544	638	0,85	29,2	109,0	Không xuất hiện	186	0,29	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
48	30	984	38,1	530	0,051	4,79	6,16	8,54E+09	658	739	0,89	16,3	54,6	Không xuất hiện	244	0,33	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh

Bảng 2-tiếp theo

Thứ nghiệm số	Tấm thép số	Nhiệt độ cán nguội (°C) trong bước cán hoàn thiện	Tổng mức giảm chiều dày cần ở hai vị trí cuối (%)	Nhiệt độ cuộn (°C)	Công thức (1)	Mật độ cực	Tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước	Tỷ trọng của các chất kết tủa là 20 nm hoặc nhỏ hơn (mảnh /mm ³)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ ứng biến dẻo YR	Độ giãn dài toàn phần (%)	Khả năng tạo hình gờ sắc λ (%)	Xuất hiện phần tách ở mép bị cắt	Độ bền mới ở 10 ⁵ chu kỳ của mép bị cắt (MPa)	Tỷ lệ σp/TS ở độ bền mới ở 10 ⁵ chu kỳ so với độ bền kéo	Phương pháp sản xuất	Các cầu từ	Lưu ý
49	40	1041	40,8	530	0,014	3,85	3,73	5,20E+10	899	1054	0,85	14,3	64,1	Xuất hiện	437	0,42	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
50	41	1030	40,2	530	0,042	4,45	5,25	3,10E+11	867	1071	0,81	13,4	68,1	Xuất hiện	411	0,38	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
51	20	963	40,4	660	0,022	2,01	2,96	8,62E+08	446	563	0,79	31,2	132,0	Xuất hiện	265	0,47	So sánh	Sáng chế	Thép so sánh
52	31	986	40,5	600	0,014	1,84	2,78	4,68E+10	745	821	0,91	21,6	121,0	Xuất hiện	377	0,46	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
53	43	1024	40,5	600	0,039	3,99	3,59	6,30E+10	889	1093	0,81	14,5	52,0	Xuất hiện	486	0,45	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
54	44	1015	42,1	600	0,027	4,67	4,55	5,91E+09	954	1135	0,84	13,9	63,0	Xuất hiện	547	0,48	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
55	45	998	43,4	530	0,017	3,41	2,98	5,26E+10	729	815	0,89	20,1	85,3	Xuất hiện	341	0,42	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế
56	42	985	42,8	600	0,036	3,75	4,65	7,52E+09	734	781	0,94	22,1	115,0	Xuất hiện	316	0,41	Sáng chế	Sáng chế	Thép theo sáng chế

Đối với các thử nghiệm số 1, 4, 6, 9, 12, và 16, hợp phần các cấu tử của tấm thép nằm ngoài phạm vi sáng chế, và kết quả là, tấm thép có độ bền kéo là 590 MPa hoặc nhỏ hơn. Đối với các thử nghiệm số 2 và 10, phần còn lại giữa Ti, Nb, và C được chỉ ra bởi công thức (1) nằm ngoài phần xác định các cấu tử theo sáng chế, và kết quả là, sự phân tách được phát triển ở mép bị cắt. Đối với thử nghiệm số 3, có chứa lượng dư của Si, và kết quả là, khả năng xử lý phủ chuyển đổi hóa học bị suy giảm, và sự phát triển phân tách được quan sát mặc dù độ bền và khả năng tạo hình không bị suy giảm. Đối với các thử nghiệm số 7 và 8, sự cách ly của P và S được quan sát, và sự phát triển phân tách bắt nguồn từ sự cách ly này được quan sát ở mép bị cắt. Đối với thử nghiệm số 2, có chứa lượng dư của C, và kết quả là, sự phân tách gây ra bởi cấu trúc dải peclit được quan sát, và suy giảm đáng kể về khả năng tạo hình gờ sắc λ được khẳng định. Đối với các tấm thép chứa B, ở các điều kiện sản xuất thích hợp theo sáng chế, tấm thép có độ bền 1080 MPa hoặc cao hơn được sản xuất, và sự phân tách được ngăn chặn. Đối với các thử nghiệm chứa V, Mo, và/hoặc Cr, do hiệu quả kết hợp với Ti và Nb, độ bền kéo thu được cao mà không làm suy yếu độ giãn dài và khả năng tạo hình gờ sắc. Việc không chứa các nguyên tố cơ bản theo sáng chế với các lượng được ấn định cụ thể tương ứng dẫn đến sự phát triển phân tách cũng thấy trong các mẫu trong đó có chứa một hoặc nhiều nguyên tố gồm V, Mo, Cr, và/hoặc B, như trong thử nghiệm số 15, 16, 17, 18, và 19.

Từ các kết quả này, đã phát hiện ra rằng các hiệu quả về mặt ngăn chặn sự phân tách ở mép bị cắt trên cơ sở các đặc trưng của cấu trúc tế vi của kim loại không được đưa vào khi hợp phần các cấu tử nằm ngoài khoảng được ấn định cụ thể theo sáng chế. Vì vậy, đã khẳng định được rằng khoảng các cấu tử theo sáng chế là thích hợp để tạo ra hiệu quả ngăn chặn phân tách liên quan đến mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí $1/4$ chiều dày tấm và tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước. Đối với các tấm thép khác nhau có các hợp phần nằm trong các khoảng cấu tử thích hợp, các kết quả thử nghiệm về các tấm thép cán nóng mà có mật độ cực $\{112\}(110)$ ở vị trí $1/4$ chiều dày tấm thay đổi và các tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước thay đổi và được sản xuất ở các điều kiện nằm trong hoặc

ngoài phạm vi của phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng theo sáng chế, được chỉ ra các thử nghiệm số từ 15 tới 56, Khi nhiệt độ cán hoàn thiện và tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối cả hai không nằm trong các khoảng thích hợp tương ứng của chúng, thì sự phân tách ở mép bị cắt được quan sát do không đáp ứng một trong số yếu tố là mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn hoặc tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn. Khi nhiệt độ cuộn nằm ngoài khoảng theo sáng chế, sự phân tách tỷ lệ ứng biến dẻo không phát triển. Tuy nhiên, các tấm thép như vậy là không thích hợp là tấm thép cán nóng theo sáng chế vì tỷ trọng của các chất kết tủa là 10^9 phần tử/mm³ hoặc nhỏ hơn, và YR nằm dưới 0,80. Các kết quả này chỉ ra rằng mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm và tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước nằm trong các khoảng thích hợp tương ứng của chúng có thể đạt được và sự phân tách ở mép bị cắt được ngăn chặn bằng cách sử dụng tấm thép chứa các cấu tử nằm trong các khoảng được ấn định cụ thể bởi sáng chế và sử dụng các điều kiện sản xuất thích hợp. Sự tương quan giữa độ bền mỏi σ_p ở 10^5 chu kỳ và độ bền kéo TS của mép bị cắt được thể hiện trên Fig.14, trong bất kỳ thép nào theo sáng chế, độ bền mỏi σ_p ở 10^5 chu kỳ của mép bị cắt là không thấp hơn 0,35 lần độ bền kéo TS. Mặt khác, trong các thép so sánh trong đó sự phân tách được phát triển, độ bền mỏi σ_p ở 10^5 chu kỳ của mép bị cắt là thấp hơn 0,35 lần độ bền kéo TS.

Thông thường, đã được giải thích rằng, trong tấm thép được gia cường bằng sự kết tủa chứa Ti, sự phân tách khi triển do suy giảm về độ bền liên quan đến sự tăng tốc kết tủa. Tuy nhiên, trong sáng chế, đã phát hiện ra rằng, bằng cách điều chỉnh các hàm lượng của C, Ti, và Nb ở các khoảng thích hợp tương ứng của chúng, cấu trúc tế vi của kim loại thỏa mãn $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$, mật độ cực của $\{112\}(110)$ ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn, và tỷ lệ cạnh của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn, có thể đạt được sự ngăn chặn phân tách ở mép bị cắt, mà khó giải quyết được cho đến nay. Kết quả là, tấm thép cán nóng có độ bền mỏi σ_p tuyệt vời ở 10^5 chu kỳ đối với mép bị cắt có thể được phát triển.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tấm thép cán nóng chứa các nguyên tố sau, tính theo % khối lượng:

C với lượng từ 0,030% đến 0,120%,

Si với lượng là 1,20% hoặc nhỏ hơn,

Mn với lượng từ 1,00% đến 3,00%,

Al với lượng từ 0,01% đến 0,70%,

Ti với lượng từ 0,05% đến 0,20%,

Nb với lượng từ 0,01% đến 0,10%,

P với lượng là 0,020% hoặc nhỏ hơn,

S với lượng là 0,010% hoặc nhỏ hơn,

N với lượng là 0,005% hoặc nhỏ hơn, và

lượng còn lại chỉ gồm có Fe và các tạp chất,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$ được thỏa mãn; mật độ cực của {112}(110) ở vị trí 1/4 chiều dày tấm là 5,7 hoặc nhỏ hơn; tỷ lệ cạnh (trục dài/trục ngắn) của các hạt austenit có trước là 5,3 hoặc nhỏ hơn; mật độ của các chất kết tủa (Ti, Nb)C có kích thước là 20 nm hoặc nhỏ hơn là 10^9 phần tử/mm³ hoặc cao hơn; tỷ lệ ứng biến dẻo YR, là tỷ lệ của độ bền kéo so với ứng suất chảy, là 0,80 hoặc cao hơn; và độ bền kéo là 590 MPa hoặc cao hơn.

2. Tấm thép cán nóng theo điểm 1, trong đó thép này còn chứa, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều nguyên tố trong số:

B với lượng từ 0,0005% đến 0,0015%,

Cr với lượng là 0,09% hoặc nhỏ hơn,

V với lượng từ 0,01% đến 0,10%, hoặc

Mo với lượng từ 0,01% đến 0,2%,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93 - V\% * 12/51) \geq 0,012$ được thỏa mãn trong trường hợp mà tấm thép cán nóng này chứa V.

3. Phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng, phương pháp này bao gồm các bước:

nung thép tới nhiệt độ 1250°C hoặc cao hơn, thép này chứa, tính theo % khối lượng:

C với lượng từ 0,030% đến 0,120%,

Si với lượng là 1,20% hoặc nhỏ hơn,

Mn với lượng từ 1,00% đến 3,00%,

Al với lượng từ 0,01% đến 0,70%,

Ti với lượng từ 0,05% đến 0,20%,

Nb với lượng từ 0,01% đến 0,10%,

P với lượng là 0,020% hoặc nhỏ hơn,

S với lượng là 0,010% hoặc nhỏ hơn,

N với lượng là 0,005% hoặc nhỏ hơn, và

lượng còn lại chỉ gồm có Fe và các tạp chất,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93) \geq 0,012$ được thỏa mãn;

cán nóng thép đã được nung ở nhiệt độ cán cuối là 960°C hoặc cao hơn trong bước cán hoàn thiện với tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 30% hoặc cao hơn khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,05\% \leq Ti \leq 0,10\%$, hoặc ở nhiệt độ cán cuối là 980°C hoặc cao hơn trong bước cán hoàn thiện với tổng mức giảm chiều dày cán ở hai vị trí từ vị trí cuối là 40% hoặc cao hơn khi hàm lượng Ti nằm trong khoảng: $0,10\% < Ti \leq 0,20\%$; và

cuộn thép cán nóng này ở nhiệt độ từ 450°C tới 650°C.

4. Phương pháp sản xuất tấm thép cán nóng theo điểm 3, trong đó thép này còn chứa, tính theo % khối lượng, một hoặc nhiều nguyên tố trong số:

B với lượng từ 0,0005% đến 0,0015%,

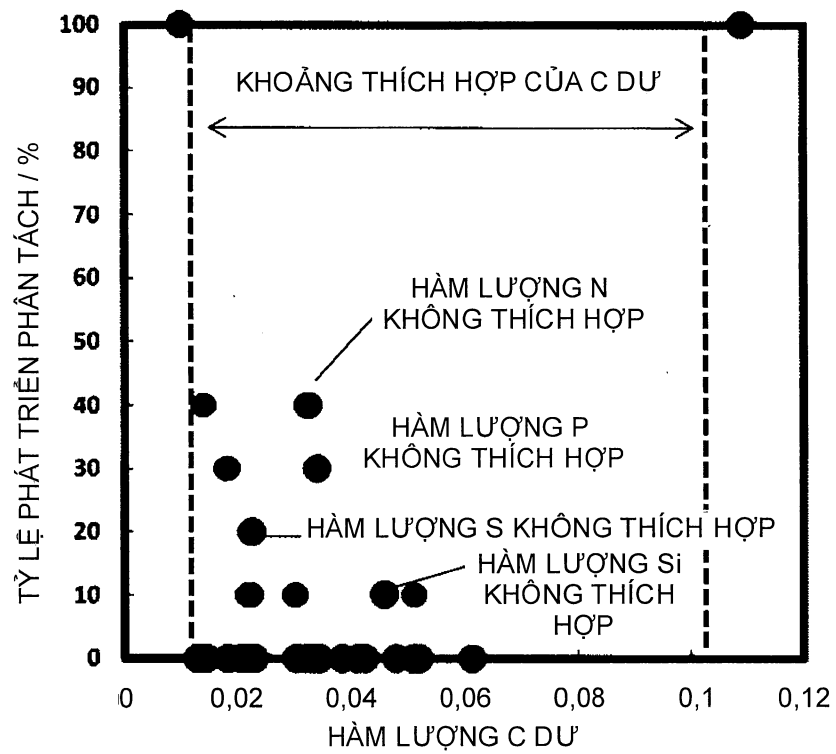
Cr với lượng là 0,09% hoặc nhỏ hơn,

V với lượng từ 0,01% đến 0,10%, hoặc

Mo với lượng từ 0,01% đến 0,2%,

trong đó điều kiện $0,106 \geq (C\% - Ti\% * 12/48 - Nb\% * 12/93 - V\% * 12/51) \geq 0,012$ được thỏa mãn trong trường hợp nếu thép chứa V.

FIG.1



CÔNG THỨC (1) C DƯ = C% - Ti% X 12/48 - Nb% X 12/93

FIG.2

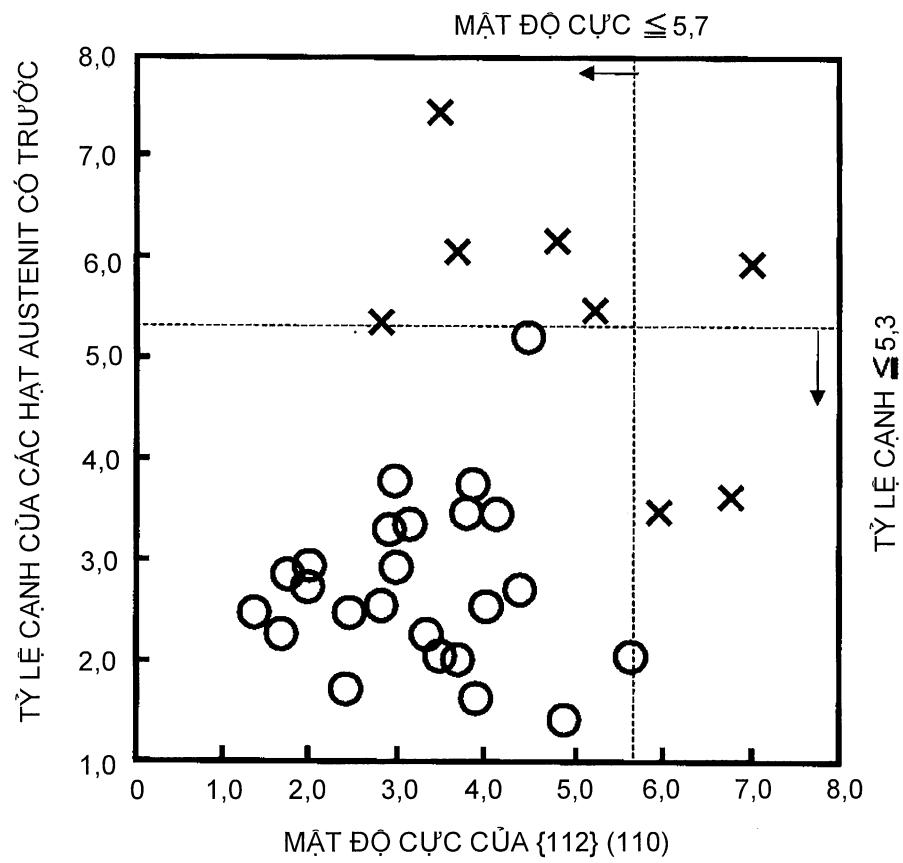
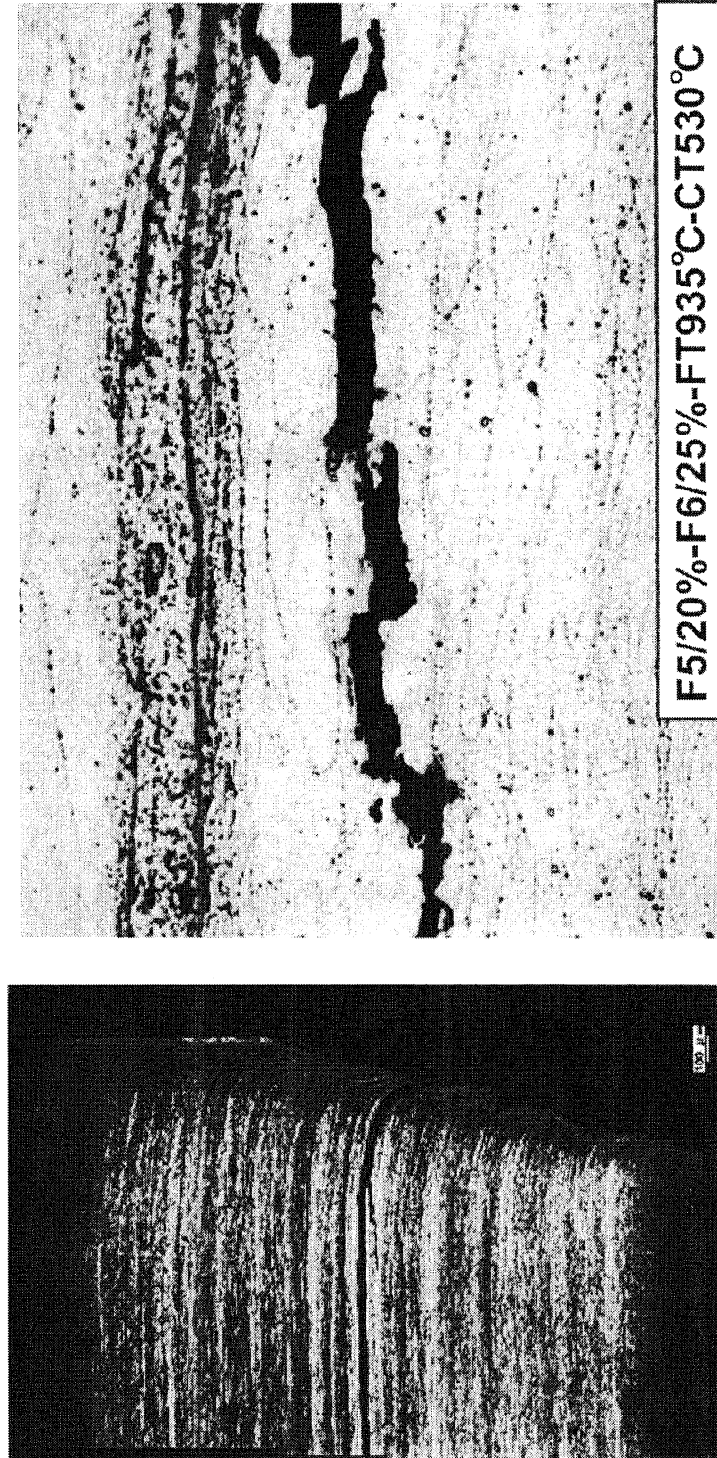
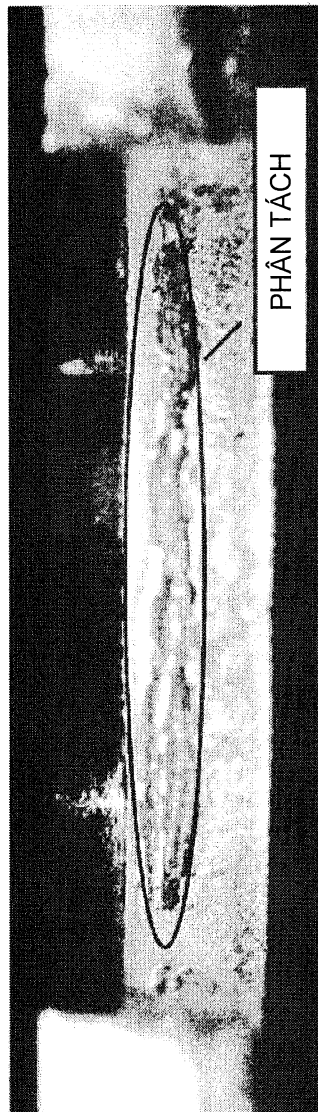
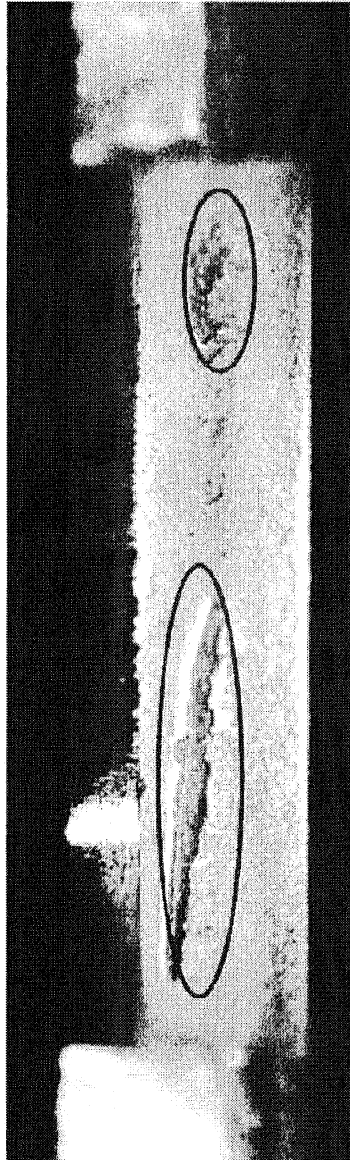


FIG.3



TẤM THÉP MẪU A: 0,06%C-0,01%Si-2,5%Mn-0,15%Ti-0,01%Nb-15ppmB

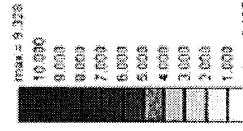
FIG.4



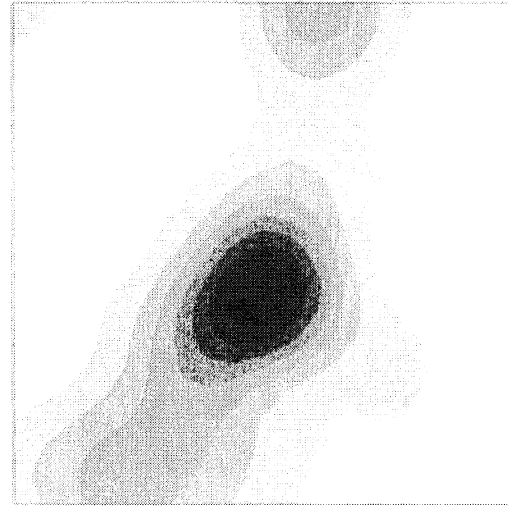
F5/13%-F6/30%-FT965°C-CT530°C



Tên biên dạng bề mặt: Harmonic; L=16; HW=5,0
 Phương pháp tính: mở rộng chuỗi điều hòa
 Hàng chuỗi (l): 16
 Lạm mịn Gauss: 5,0°
 Đối xứng mẫu: tam tả
 Biểu diễn: các góc Euler (Bunge)



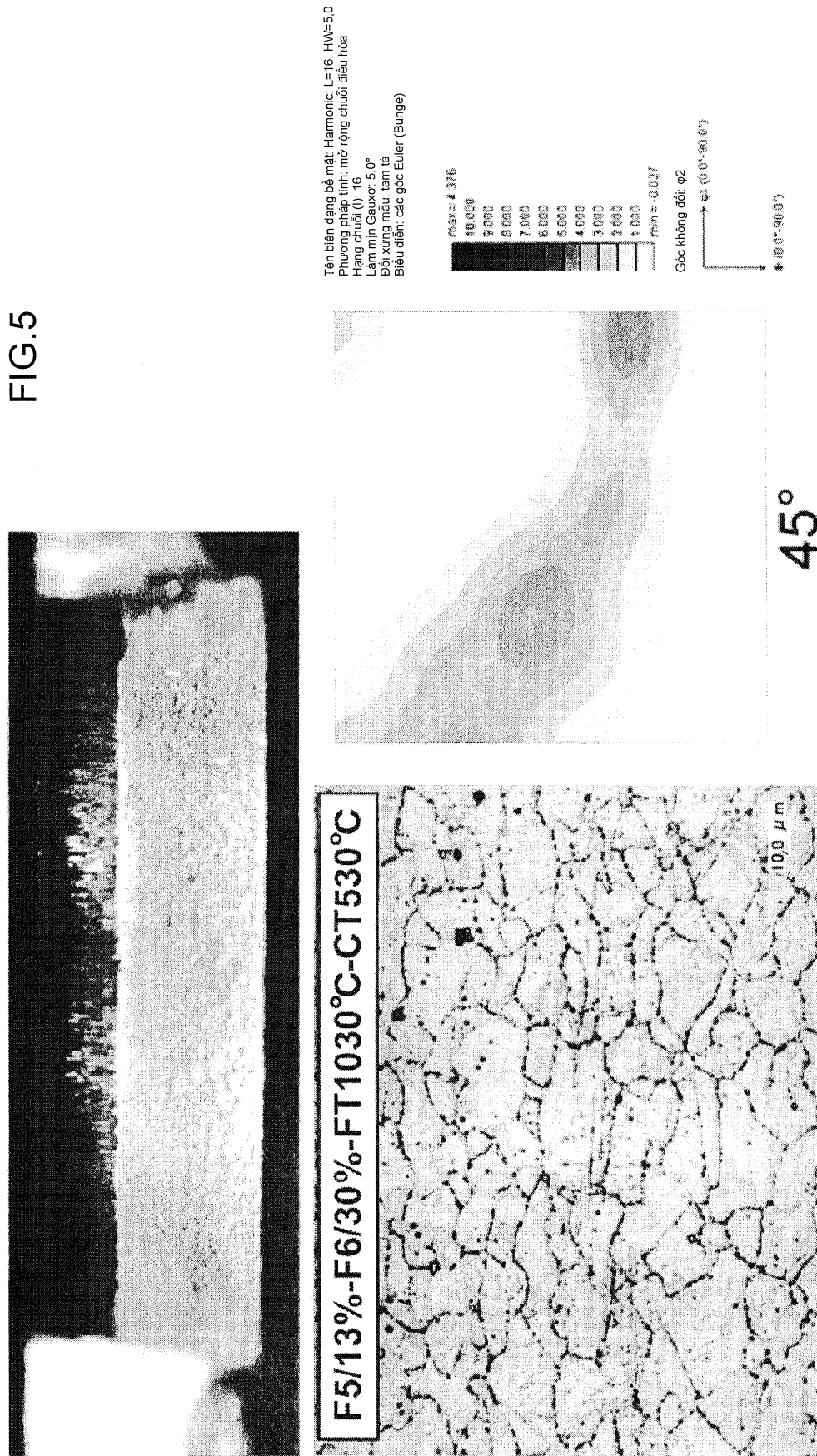
Góc không đối: ϕ_2
 → ϕ_1 ϕ_2 ϕ_3 ϕ_4 ϕ_5 ϕ_6 ϕ_7



45°

TẤM THÉP MẪU B: 0,06%C-0,01%Si-2,5%Mn-0,15%Ti-0,01%Nb-15ppmB

FIG.5



TẤM THÉP MẪU C: 0,06%C-0,01%Si-2,5%Mn-0,15%Ti-0,01%Nb-15ppmB

FIG.6

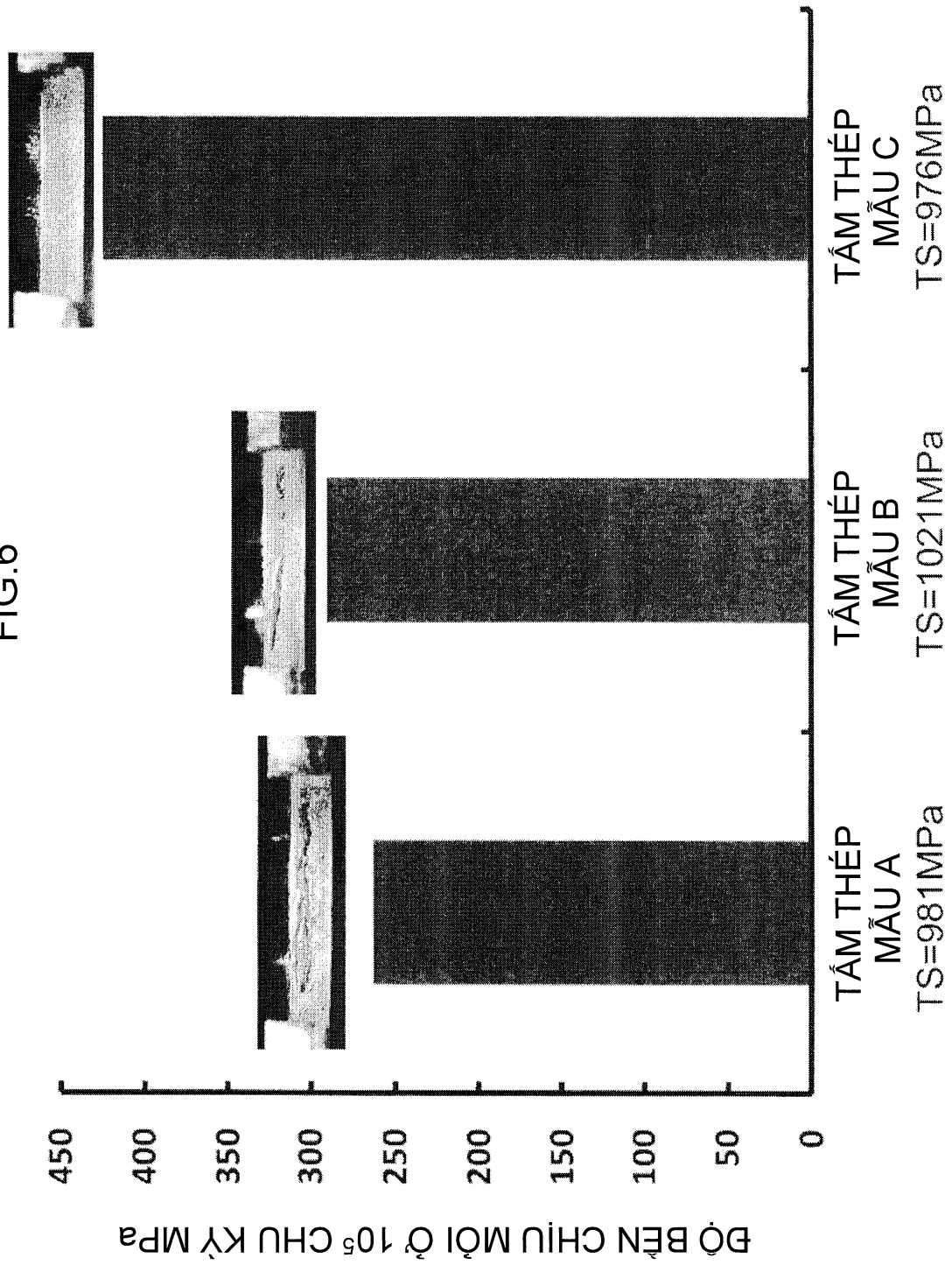
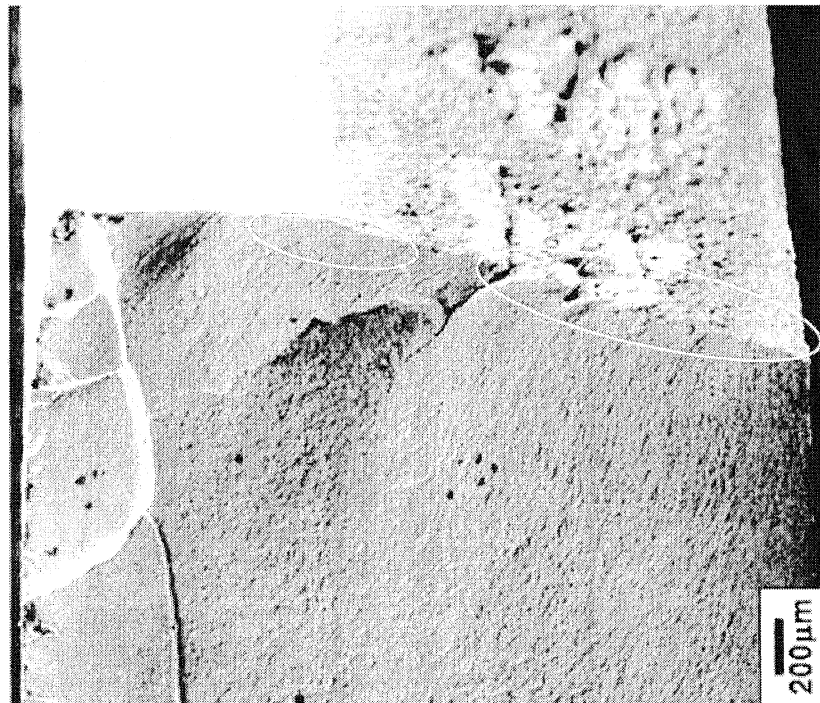
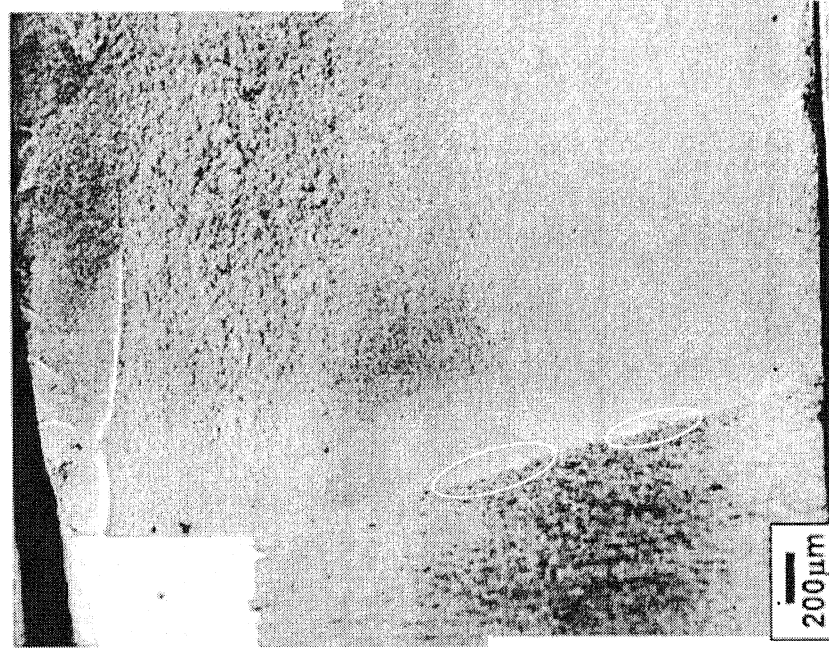


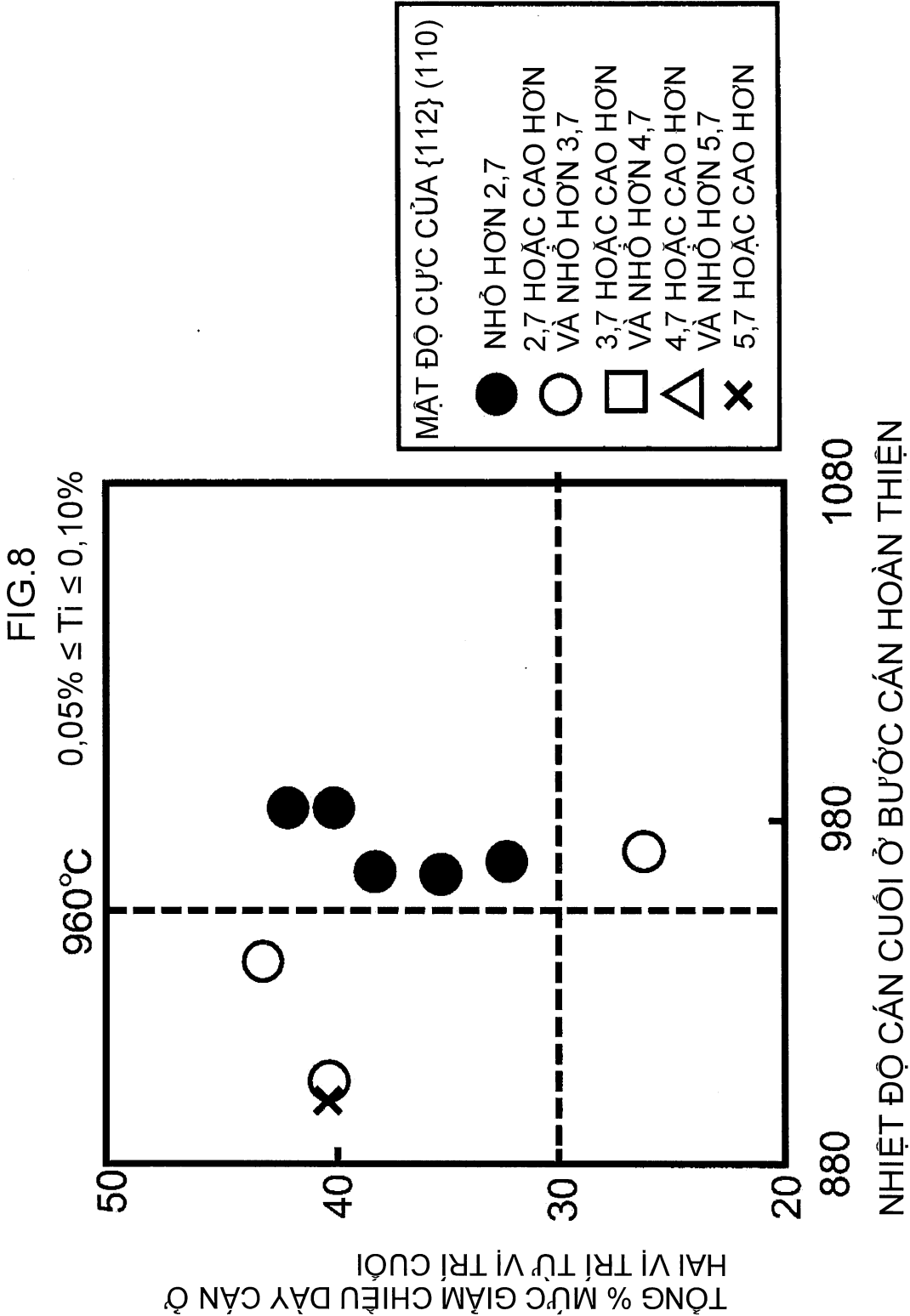
FIG.7

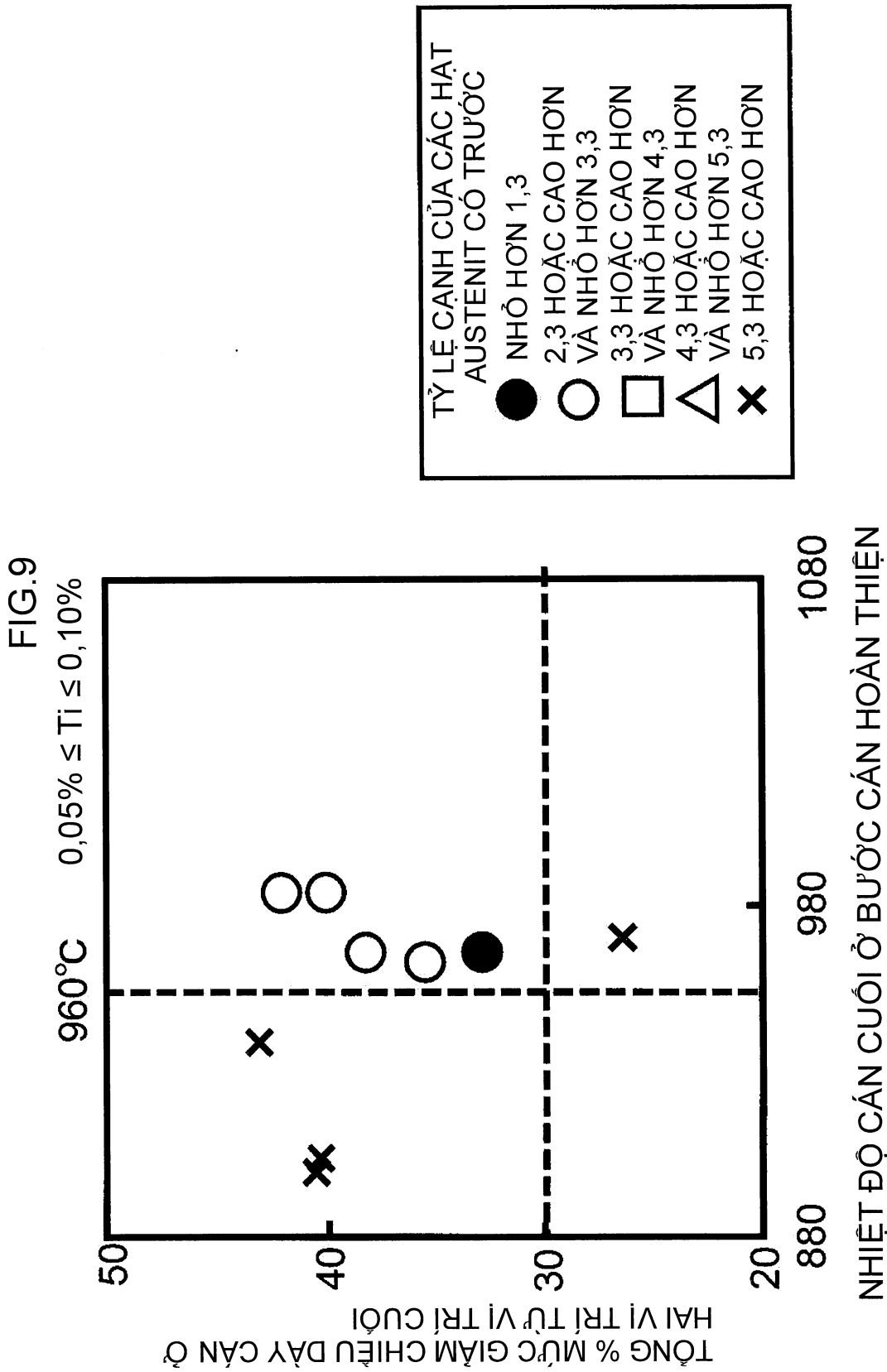
TẤM THÉP MẪU A

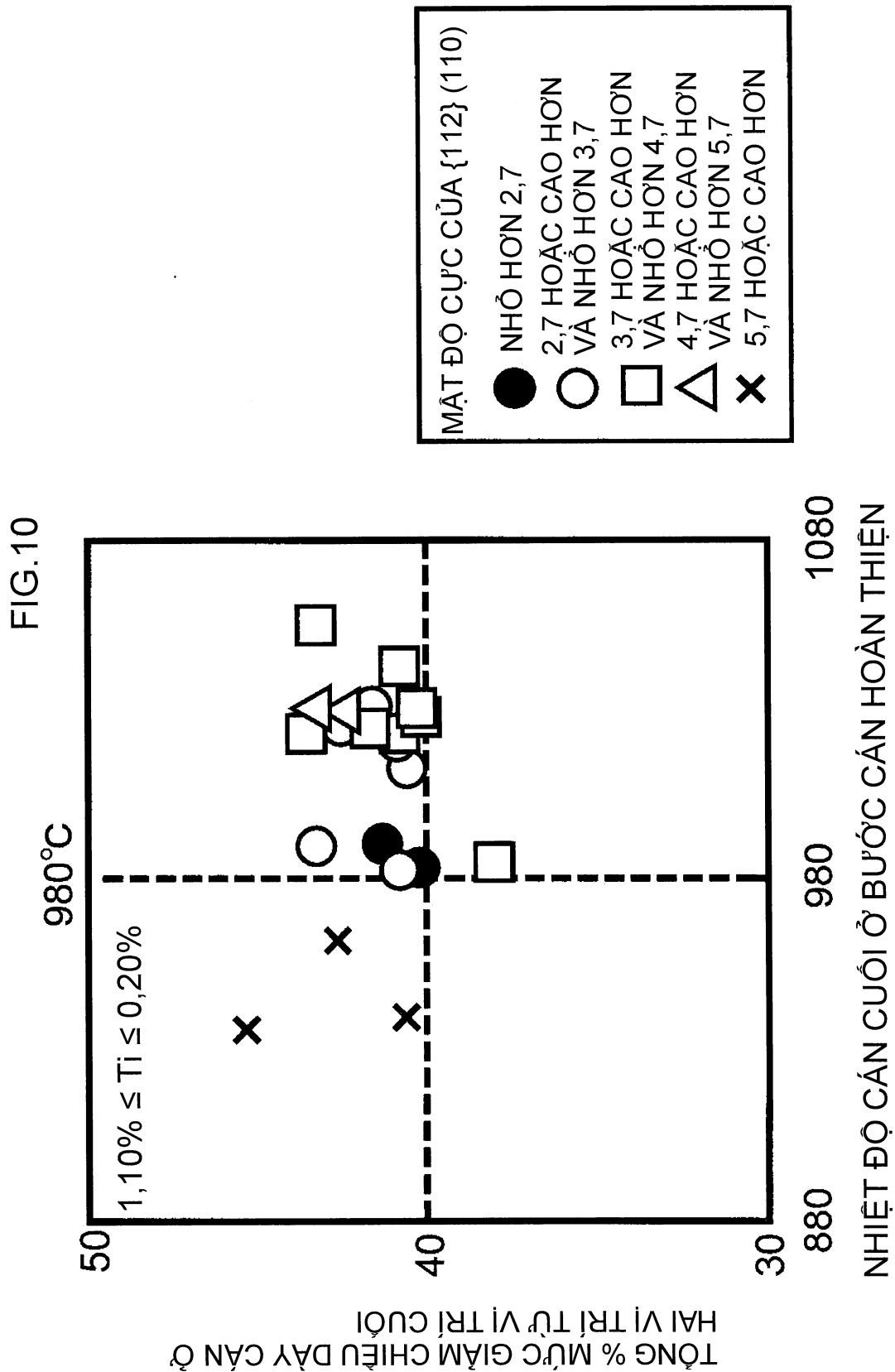
 $\sigma_a=260\text{MPa}, N_f=1,02 \times 10^5$

TẤM THÉP MẪU C

 $\sigma_a=430\text{MPa}, N_f=1,10 \times 10^5$







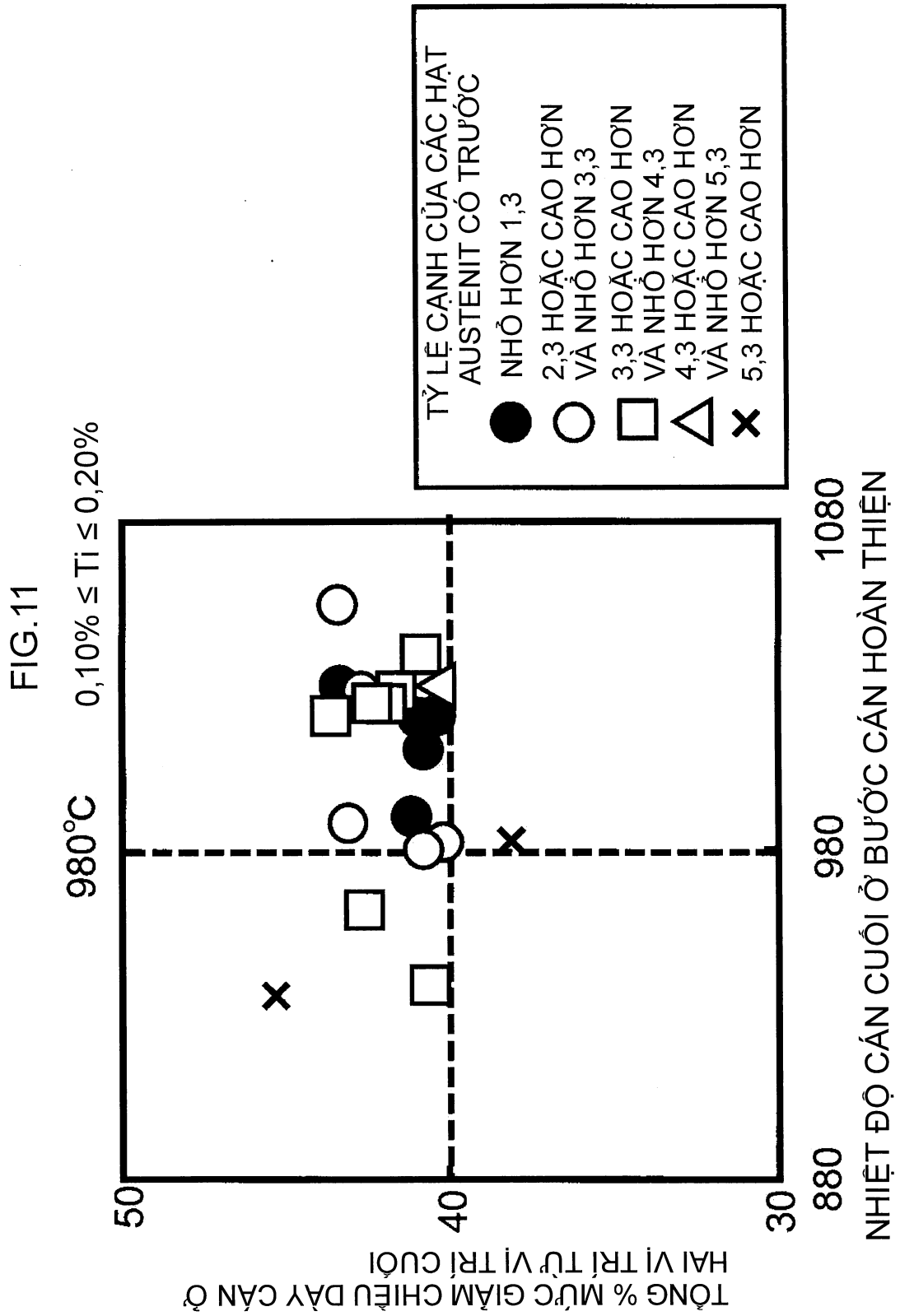


FIG.12

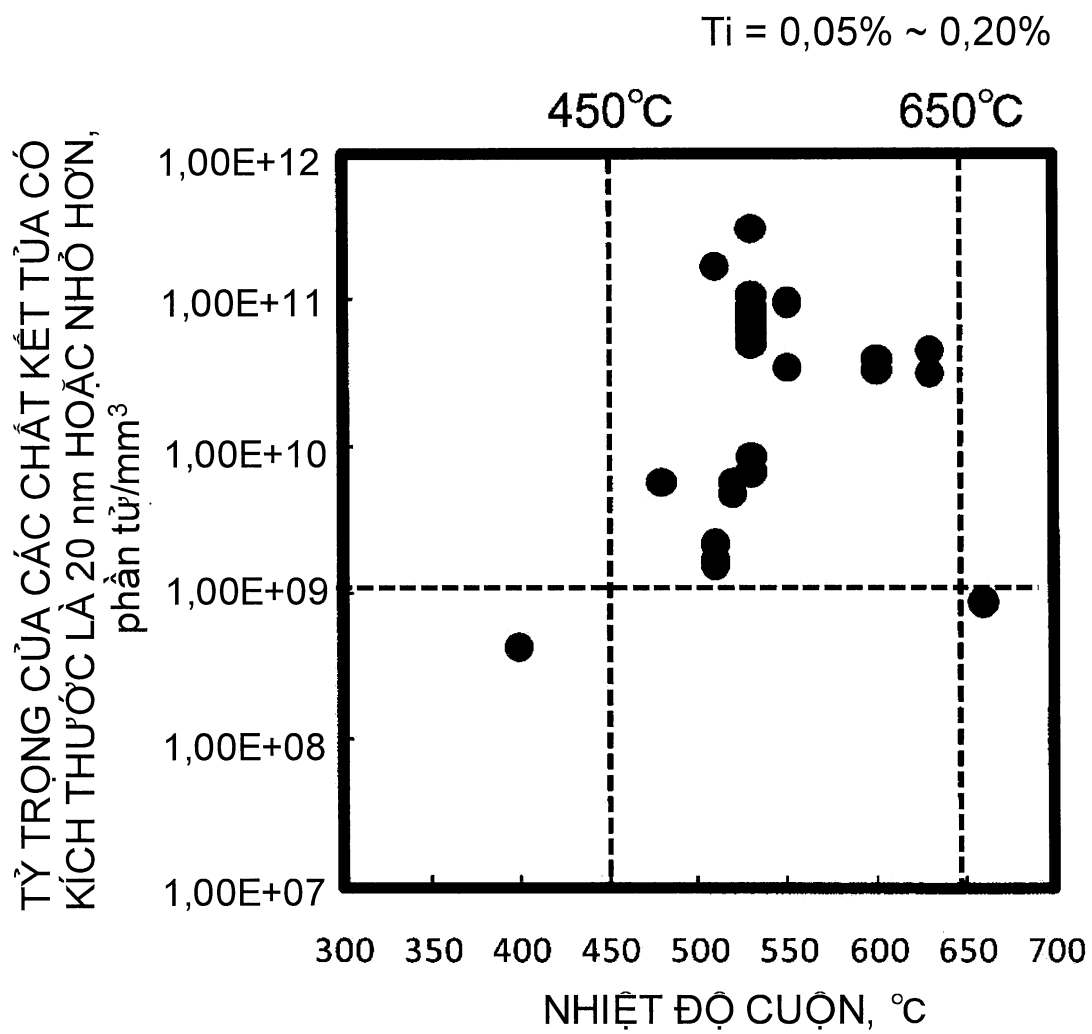


FIG.13

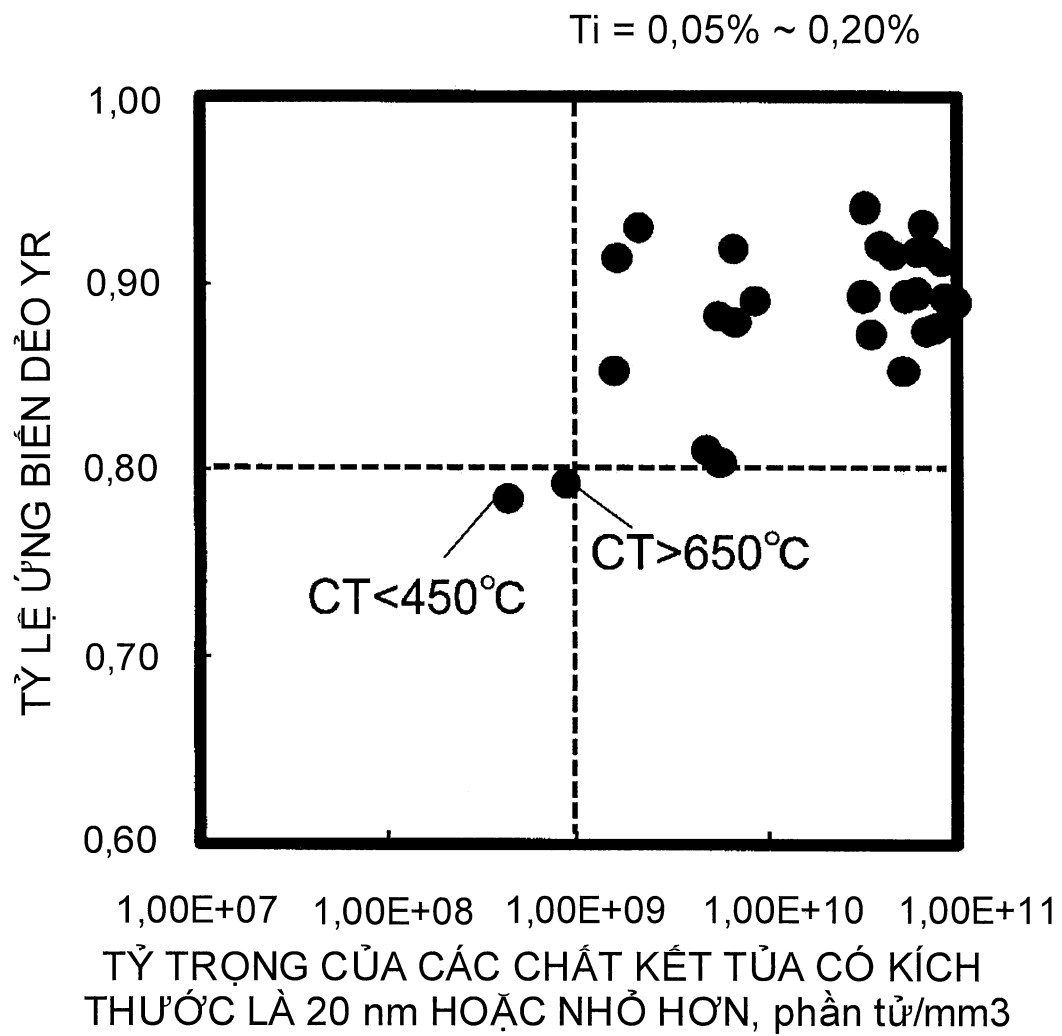


FIG.14

