



(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)



1-0028797

(51)⁷ C22C 38/00; C21D 1/18; C21D 6/02; (13) B
C21D 9/46; C22C 38/04; C23C 2/40;
C22C 38/28; C22C 38/38; C22C 38/42;
C22C 38/58; C23C 2/12; B32B 15/01;
C22C 38/26

(21) 1-2015-03304

(22) 13/03/2014

(86) PCT/JP2014/056669 13/03/2014

(87) WO 2014/142238 A1 18/09/2014

(30) 2013-051953 14/03/2013 JP

(45) 25/07/2021 400

(43) 25/12/2015 333A

(73) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

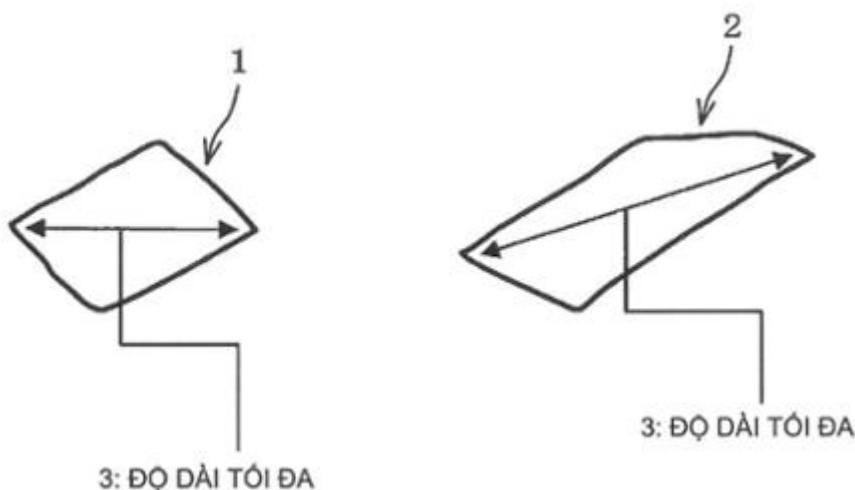
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071 Japan

(72) TANAHASHI, Hiroyuki (JP); TOMOKIYO, Toshimasa (JP).

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

(54) THÉP TẤM CÓ ĐỘ BỀN CAO VÀ CHI TIẾT CÓ ĐỘ BỀN CAO ĐƯỢC SẢN XUẤT BẰNG CÁCH SỬ DỤNG THÉP TẤM NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến thép tấm cán nguội có độ bền cao chỉ chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng: C: 0,20-0,42, Si: 0,06-0,5, Mn: 0,2-2,2, Cr: 0,1-2,5, B: 0,0005-0,01, O: 0,0020-0,020, Al: 0,001-0,03, Ti: 0,001-0,05, N: $\leq 0,1$, P: $\leq 0,03$, S: $\leq 0,02$, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi. Trong thép này, oxit Mn có độ dài tối đa từ 1 μ m hoặc lớn hơn đến 5 μ m hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ từ 5×10^3 miếng/mm² hoặc lớn hơn đến 1×10^5 miếng/mm² hoặc nhỏ hơn và các oxit phức hợp Mn-Si có độ dài trực ngắn là 1 μ m hoặc lớn hơn và độ dài trực dài là 10 μ m hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ từ $1,7 \times 10^2$ miếng/mm² hoặc lớn hơn đến 5×10^3 miếng/mm² hoặc nhỏ hơn. Ngoài ra, sáng chế còn đề cập đến chi tiết có độ bền cao được sản xuất bằng cách sử dụng thép tấm này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến các thép tấm có độ bền cao thích hợp để dập nóng, ví dụ, và cụ thể hơn là đề cập đến thép tấm có độ bền cao có độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp tuyệt vời.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đã có các nỗ lực mạnh mẽ được thực hiện nói chung, nhằm làm giảm khối lượng của xe cộ, gồm có xe ô tô, bằng cách sử dụng các vật liệu có độ bền cao trong công nghiệp sản xuất thiết bị vận chuyển. Tuy nhiên, trong ngành công nghiệp ô tô, khối lượng của xe xộ gần đây có xu hướng gia tăng bởi việc bổ sung thêm các tính năng an toàn khi va chạm và các chức năng mới khác. Việc sử dụng các thép tấm có độ bền cao đã tăng lên một cách đều đặn trong nỗ lực bù đắp một phần của sự gia tăng khối lượng thân xe ô tô cũng như cải thiện một cách hiệu quả sự tiêu hao nhiên liệu và giảm sự phát xạ cacbon dioxit.

Trong xu hướng gia tăng sử dụng các thép tấm có độ bền cao, điều xảy ra đối với bề mặt làm vật cản lớn là hiện tượng được gọi là “suy giảm khả năng cố định hình dạng” mà chắc chắn xảy ra khi độ bền của thép tấm được gia tăng. Hiện tượng này nói chung đề cập đến thực tế là khó thu được hình dạng mong muốn do sự nảy ngược sau khi tạo hình. Lượng nảy ngược gia tăng khi thép tấm trở nên bền hơn. Để khắc phục nhược điểm này, các nỗ lực được thực hiện nhằm thay đổi các hình dạng của sản phẩm hoặc thêm quy trình sản xuất (ví dụ, quy trình dập theo mẫu) mà không cần thiết trong trường hợp các vật liệu có độ bền thấp (mà là tuyệt vời và không có nhược điểm xét về khả năng cố định hình dạng).

Để làm giải pháp khắc phục nhược điểm này, phương pháp tạo hình nóng gọi là dập nóng thu hút sự chú ý của mọi người. Với dập nóng, thép tấm (vật liệu cần được tạo hình) được nung đến nhiệt độ xác định trước (thường là dành cho pha auxtenit) và độ bền được làm giảm đi (tức là, dễ dàng tạo hình). Thép tấm sau đó

được tạo hình với các khuôn có nhiệt độ thấp hơn (ví dụ, ở nhiệt độ trong phòng) so với nhiệt độ của vật liệu cần được tạo hình. Theo cách này, vật liệu được tạo hình một cách dễ dàng và làm nguội nhanh (tôi) bằng cách sử dụng sự chênh lệch nhiệt độ này, sao cho đảm bảo độ bền của sản phẩm sau khi tạo hình.

Quá trình dập nóng được thừa nhận một cách rộng rãi là hữu ích trong những năm gần đây và khả năng ứng dụng cho một phạm vi rộng các chi tiết thép đã được nghiên cứu. Trong số các chi tiết thép này, một số chi tiết tiếp xúc với môi trường khắc nghiệt xét về sức chịu ăn mòn, như các phần thân dưới của ô tô, hoặc một số chi tiết có các phần đục lỗ để cho phép các phần tùy ý được lắp vào. Đối với các chi tiết thép này, tính chịu mỏi gãy vỡ cũng như độ bền sản phẩm là các phần được coi là một trong số các đặc tính quan trọng cần thiết.

Mặt gãy vỡ trở thành mối quan tâm ở điều kiện mà sự thấm hydro được mong đợi là lớn do tiếp xúc với môi trường ăn mòn và/hoặc ứng suất dư còn lại ở phần đục lỗ trở nên đáng kể với mức độ không bỏ qua được.

Nói chung, sức chịu mỏi gãy vỡ của thép tấm đã biết là bị giảm khi độ bền thép tấm gia tăng. Các nghiên cứu đã được thực hiện trước tiên là đối với một số thép tấm (các sản phẩm thép) có độ bền được gia tăng bằng cách dập nóng.

Ví dụ, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ kỹ thuật liên quan đến thép tấm có các tính chất cản trở các mặt gãy vỡ. Nhằm mục đích này, một hoặc nhiều oxit của các nguyên tố, các sulfit, và các tinh thể composit và các kết tủa composit của Mg, mỗi tinh thể có cỡ hạt trung bình trong khoảng định trước, được bổ sung ở mật độ định trước trong thép tấm.

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ kỹ thuật nâng cao độ bền mặt gãy vỡ bằng cách thực hiện việc đột lỗ (đục) ở nhiệt độ cao (gia công nóng) sau khi nung nóng để dập nóng và trước khi nén, và do đó cải thiện chất lượng đột lỗ.

Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ kỹ thuật thu được thép tấm với độ bền mặt gãy vỡ tuyệt vời nhờ việc có các oxit phức hợp Fe-Mn có các kích thước định trước ở mật độ định trước trong thép tấm.

Tuy nhiên, kỹ thuật được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 1 là không dễ dàng thực hiện, thậm chí đối với chuyên gia trong lĩnh vực. Mg, mà không dễ có trong thép, cần phải có trong thép và sản phẩm chứa Mg cần được kiểm soát cao.

Kỹ thuật được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 2 gợi ý trước rằng việc đục lỗ được thực hiện trong khi gia công nóng. Tuy nhiên, hiệu quả là không rõ ràng, trong trường hợp mà công việc đục lỗ được thực hiện sau khi dập nóng, tức là, ứng suất dư có thể duy trì ở mức độ không bỏ qua được.

Mặt khác, kỹ thuật được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 3 là tuyệt vời do các vị trí giữ hydro hữu hiệu được tạo ra trong thép bằng cách phối hợp kiểm soát khử oxy trong quá trình luyện thép với các điều kiện cán phù hợp, và do vậy hiệu quả tốt nhất định có thể đạt được.

Các tác giả sáng chế đã thực hiện các thử nghiệm lặp đi lặp lại để nghiên cứu các tính chất cơ học của các thép tấm được tạo ra sau khi ép nóng dựa vào tài liệu sáng chế 3. Các kết quả thử nghiệm thể hiện tác dụng có lợi nhất định về độ bền mặt gãy trễ. Tuy nhiên, phát hiện ra các nhược điểm là độ dai ở nhiệt độ thấp là không đủ và các khuyết tật xuất hiện thường xuyên đặc biệt ở các trường hợp nồng độ C (cacbon) cao trong đó vật liệu đúc không thể cán được, hoặc nếu cán được, thì năng suất giảm đi đáng kể.

Như được mô tả ở trên, thực tế là không phát hiện ra kỹ thuật mà có thể dễ dàng tạo ra các chi tiết thép, ở tốc độ chảy thỏa đáng, mà được xử lý sau khi dập nóng theo cách duy trì ứng suất dư, như trong việc đục lỗ, và đồng thời có độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp.

Danh mục tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: JP 2006-9116A

Tài liệu sáng chế 2: JP 2010-174291A

Tài liệu sáng chế 3: WO 2012/120692

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề được giải quyết bởi sáng chế

Để khắc phục các nhược điểm nêu trên, mục đích của sáng chế là đề xuất thép tấm để dập nóng, mà có thể được sản xuất một cách dễ dàng bằng các thiết bị luyện thép hiện hành với năng suất cao và có độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp tuyệt vời ngay cả khi chi tiết thép được xử lý theo cách mà ứng suất dư được mong đợi là giữ nguyên, như trong công việc đục lỗ, sau khi được tạo hình ở thiết bị dập nóng.

Phương tiện để giải quyết vấn đề

Các tác giả sáng chế đã nghiên cứu kỹ các thép tấm để dập nóng nhằm khắc phục các nhược điểm nêu trên. Các tác giả sáng chế đã áp dụng kỹ thuật cơ bản tạo ra oxit Mn, mà có thể dễ dàng được tạo ra trong thép, được bao gồm trong các thép tấm, và nghiên cứu tiếp các nhược điểm mà không thể được giải quyết chỉ với kỹ thuật cơ bản này.

Cụ thể, hai vấn đề sau đây được giải quyết:

(A) Thép tấm có độ bền kéo là 1500MPa hoặc lớn hơn thu được sau khi dập nóng chứa cacbon với lượng 0,2% hoặc lớn hơn (tính theo % khối lượng, sau đây % là theo khối lượng). Tuy nhiên, trong thép cacbon có nồng độ cacbon cao, cacbon tự nó có khả năng khử oxy, và các phản ứng khử oxy tạo ra CO, mà tạo ra các bong bóng trong thép nóng chảy. Các bong bóng còn lại trong các sản phẩm đúc và có xu hướng gây ra các khuyết tật.

(B) Nhược điểm khác cần nghiêm khắc tính đến là mặc dù có hiệu quả trong việc phân tán các oxit trong thép tấm ở các vị trí giữ hydro, sự phân tán của các oxit có thể làm giảm độ dai ở nhiệt độ thấp tùy thuộc vào các dạng và mật độ của các oxit.

Để khắc phục nhược điểm (A), các tác giả sáng chế đã nghiên cứu phương pháp làm cản trở liên kết của cacbon với oxy bằng cách bổ sung lượng nhỏ Si và phát hiện ra rằng nồng độ thích hợp của Si có trong khoảng được mô tả là không phù hợp với tài liệu sáng chế 3. Các tác giả sáng chế cũng đã phát hiện ra rằng các

dạng của các chất lẫn (các oxit) có thể được biến đổi bằng cách bổ sung Si ở các nồng độ định trước, mà cũng có hiệu quả khắc phục các nhược điểm (B).

Bây giờ, sáng chế mà sẽ được hoàn tất qua các nghiên cứu nêu trên sẽ được tóm tắt như sau.

(1) Thép tấm có độ bền cao chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng,

C: nằm trong khoảng từ 0,20 đến 0,42%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,06 đến 0,5%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 2,2%,

Cr: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 2,5%,

B: nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,01%,

O: nằm trong khoảng từ 0,0020 đến 0,020%,

Al: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,03%,

Ti: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,05%,

Nb: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,1%,

Mo: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%,

W: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%,

V: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%,

Ni: nằm trong khoảng từ 0 đến 5,0%,

Cu: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%,

N: 0,1% hoặc nhỏ hơn,

P: 0,03% hoặc nhỏ hơn,

S: 0,02% hoặc nhỏ hơn, và

phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Trong thép, các oxit Mn có độ dài tối đa là 1µm hoặc lớn hơn đến 5µm

hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ 5×10^3 miếng/mm² hoặc lớn hơn đến 1×10^5 miếng/mm² hoặc nhỏ hơn, và

các oxit phức hợp Mn-Si có độ dài trục ngắn là 1μm hoặc lớn hơn và độ dài theo chiều dọc là 10μm hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ $1,7 \times 10^2$ miếng/mm² hoặc lớn hơn 5×10^3 miếng/mm² hoặc nhỏ hơn.

(2) Thép tấm có độ bền cao theo mục (1), trong đó thép tấm còn chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm chứa các thành phần sau, tính theo % khối lượng,

Nb: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,1%,

Mo: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 1,0%,

W: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,5%,

V: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,5%,

Ni: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 5,0%, và

Cu: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 1,0%.

(3) Thép tấm có độ bền cao theo mục (1) hoặc (2), trong đó thép tấm được cán nguội từ 35 đến 70%.

(4) Thép tấm có độ bền cao theo mục (3), trong đó thép tấm được mạ.

(5) Thép tấm có độ bền cao theo mục (4), trong đó thép tấm có lớp Al mạ nhúng nóng trên bề mặt của nó, và lớp hợp kim Fe-Al-Mn-Cr-B có độ dày là 1μm hoặc lớn hơn và 10μm hoặc nhỏ hơn có mặt ở mặt phân cách giữa lớp Al và thép tấm.

(6) Chi tiết có độ bền cao, trong đó thép tấm có độ bền cao theo mục (3) được nung đến nhiệt độ mà tại nhiệt độ này ít nhất phần thép tấm được chuyển hóa thành pha auxtenit, và sau đó được dập bằng khuôn dập sao cho việc tạo hình và tôi được tiến hành trong một quy trình.

(7) Chi tiết có độ bền cao, trong đó thép tấm có độ bền cao theo mục (4) hoặc (5) được nung đến nhiệt độ mà tại nhiệt độ đó ít nhất một phần thép tấm được chuyển hóa thành pha auxtenit, và sau đó được dập bằng khuôn dập sao cho việc tạo hình

và tôi được tiến hành trong một quy trình.

Hiệu quả của sáng chế

Thép tấm sáng chế có thể được sản xuất bằng thiết bị luyện thép có sẵn. Ngay cả khi thép tấm, mà được tạo hình trong thiết bị dập nóng, qua xử lý, như gia công đục lỗ, trong đó ứng suất dư được mong đợi là giữ nguyên, thép tấm vẫn có độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp tuyệt vời. Sau đó, thép tấm theo sáng chế có tác dụng mở rộng phạm vi áp dụng của việc dập nóng (phạm vi các bộ phận được áp dụng).

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 minh họa dưới dạng giản đồ độ dài tối đa của các oxit trong thép tấm, trong đó (a) là oxit có dạng hình chữ nhật và (b) là oxit hình đa giác.

Fig.2 minh họa dưới dạng giản đồ các độ dài theo hướng trục ngắn và hướng chiều dọc của oxit được vẽ.

Fig.3 trình bày các ảnh làm ví dụ cho các thay đổi về các khuyết tật lỗ thổi phụ thuộc vào các nồng độ Si khác nhau.

Fig.4 minh họa mối tương quan giữa tỷ lệ giảm cán nguội (%) và nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn (°C).

Fig.5 minh họa dưới dạng giản đồ hình dạng mũ trong đó các hình vẽ là các kích thước gần đúng được biểu thị bằng đơn vịmm.

Mô tả chi tiết sáng chế

Bây giờ, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

Lý do giới hạn các thành phần hóa học của thép tấm theo sáng chế trước tiên được mô tả, trong đó “%” là % khối lượng.

<C: nằm trong khoảng từ 0,20 đến 0,42%>

C là nguyên tố quan trọng nhất trong việc gia tăng độ bền của thép tấm bằng cách dập nóng. C cần được chứa trong thép tấm ở 0,20% hoặc lớn hơn để thu được độ bền ít nhất khoảng 1500MPa. Mặt khác, nếu nồng độ C vượt quá 0,42%,

thép tấm không thể đảm bảo độ dai ở nhiệt độ thấp ngay cả khi sự kiểm soát oxit theo sáng chế được áp dụng. Do đó, nồng độ tối đa của C được đặt là 0,42%. Để có độ dai ở nhiệt độ thấp tốt hơn nữa, ưu tiên là 0,36% hoặc nhỏ hơn.

<Si: nằm trong khoảng từ 0,06 đến 0,5%>

Si góp phần ngăn cản sự tạo ra các bong bóng CO gây ra các khuyết tật từ sự khử oxit C. Các tác giả sáng chế đã tiến hành các thử nghiệm nấu chảy và đúc thép chứa các thành phần sau: C: nằm trong khoảng từ 0,20 đến 0,42%, Mn: nằm trong khoảng từ 1 đến 1,5%, Cr: 0,2%, B: 0,0020% làm các thành phần chính và phần còn lại là Fe, để thu được thép trong đó các oxit Mn được phân tán. Các kết quả chỉ ra rằng các khuyết tật dạng bong bóng đôi khi được tạo ra trên bề mặt của các sản phẩm đúc. Các kết quả cũng thể hiện rằng các khuyết tật dạng bong bóng không thường xuyên tạo ra từ nồng độ C khoảng 0,25% và thường xuyên tạo ra từ 0,3% hoặc cao hơn. Cũng có các khuyết tật sâu trong một số sản phẩm đúc nên các tác giả đã xác định là không thích hợp để cán ngay cả khi bề mặt được xử lý.

Để khắc phục nhược điểm này, các tác giả đã bổ sung một lượng nhỏ Si (để khử oxit Si). Si là nguyên tố mà có khả năng khử oxy tốt hơn Mn và xu hướng ít kết tụ của các oxit thu được hơn Al. Kết quả là, các tác giả đã phát hiện ra rằng lượng Si là 0,06% hoặc lớn hơn ngăn chặn hoàn toàn sự tạo thành khuyết tật lỗ thối. Do đó, nồng độ tối thiểu của Si được đặt là 0,06%. Nhằm mục đích ngăn chặn khuyết tật lỗ thối, không có giới hạn về ranh giới trên. Tuy nhiên, việc tạo thành quá nhiều oxit gây ra sự giảm độ dai ở nhiệt độ thấp. Do đó, giới hạn trên được phép là 0,5%, tốt hơn là 0,3% hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 0,2% hoặc nhỏ hơn.

Lượng Si là tổng của Si tạo ra các oxit (gồm có các oxit phức hợp Si-Mn) và Si mà được hòa tan trong thép không gắn kết với oxy. Si đóng vai trò làm nguyên tố khử oxy để ngăn chặn sự tạo ra các bong bóng CO như được mô tả ở trên. Ngoài ra, các tác giả đã phát hiện ra rằng Si tạo ra các oxit phức hợp với Mn và các oxit góp phần nâng cao một cách hữu hiệu độ dai ở nhiệt độ thấp, mà cũng cần nằm trong phạm vi của sáng chế.

<Mn: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 2,2%>

Mn là nguyên tố quan trọng nhất đối với sáng chế. Các oxit Mn tương đối quan trọng không chỉ có chức năng làm các vị trí giữ hydro mà còn đóng vai trò làm các oxit phức hợp với Si. Các oxit phức hợp với Si là cực kỳ quan trọng trong việc đảm bảo độ dai ở nhiệt độ thấp. Tác dụng này xuất hiện khi nồng độ Mn là 0,2% hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, tác dụng này trở nên bão hòa và nguy cơ giảm các tính chất cơ học trở nên lớn do sự hóa cứng kết tụ khi nồng độ Mn vượt quá 2,2%. Do đó, giới hạn trên của nồng độ Mn được đặt là 2,2%, tốt hơn là 2,0%, và tốt hơn nữa là 1,8%.

<Cr: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 2,5%>

Cr có tác dụng gia tăng khả năng hóa cứng và bởi vậy được chứa trong thép tấm. Tác dụng này trở nên rõ ràng ở 0,1% hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, hiệu quả trở nên bão hòa ở nồng độ vượt quá 2,5% và bởi vậy giới hạn trên được đặt là 2,5%, tốt hơn là 2,0%, và tốt hơn nữa là 1,8%.

<B: nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,01%>

Như với Cr, B có tác dụng nâng cao khả năng hóa cứng và do vậy được chứa trong thép tấm. Tác dụng trở nên rõ ràng ở 0,0005% hoặc lớn hơn. Nồng độ dư làm giảm khả năng gia công trong gia công nóng và khả năng uốn, và bởi vậy giới hạn trên được đặt là 0,01%. Để nâng cao hơn nữa khả năng hóa cứng và ngăn chặn sự giảm khả năng gia công trong gia công nóng và giảm khả năng uốn, nồng độ B tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,0010 đến 0,007%.

<O: nằm trong khoảng từ 0,0020 đến 0,020%>

O là nguyên tố không thể thiếu để tạo ra các oxit. Các oxit là cực kỳ quan trọng để tạo ra các vị trí giữ hydro và ảnh hưởng đến độ dai ở nhiệt độ thấp, và bởi vậy phải được kiểm soát một cách thích đáng. Khi nồng độ nhỏ hơn 0,0020%, mật độ của các oxit là không đủ. Nếu nồng độ này cao hơn 0,02%, sự thô hóa của các oxit có thể dẫn đến làm giảm các tính chất cơ học. Do đó, các giới hạn oxy được đặt ở phạm vi mô tả ở trên.

<Al: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,03%>

Al là nguyên tố khử oxy mạnh và phải được kiểm soát cẩn thận. Chứa Al ở nồng độ vượt quá 0,03% khiến cho khó đảm bảo các lượng định trước của các oxit Mn mà là hiệu quả đối với độ bền mặt gãy bề và oxit phức hợp của Mn-Si là quan trọng để đảm bảo độ dai ở nhiệt độ thấp. Do đó, giới hạn trên được đặt là 0,03% và tốt hơn là 0,01%. Giới hạn dưới được đặt là 0,001% do nồng độ bất kỳ nhỏ hơn 0,001% sẽ đặt quá nhiều gánh nặng lên quá trình luyện thép.

<Ti: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,05%>

Ti là nguyên tố có khả năng khử oxy và có ảnh hưởng đến việc tạo ra các oxit Mn và các oxit phức hợp Mn-Si. Ti phải được kiểm soát ở nồng độ là 0,05% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn là 0,03% hoặc nhỏ hơn. Giới hạn dưới được đặt là 0,001% do nồng độ nhỏ hơn 0,001% sẽ đặt quá nhiều gánh nặng lên quá trình luyện thép.

Bây giờ, các thành phần được bổ sung một cách chọn lọc sẽ được giải thích như sau.

<Nb: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,1%>

Nb có thể được chứa một cách thích hợp do việc bổ sung Nb có tác dụng giảm tới mức tối thiểu các hạt tinh thể và gia tăng độ dai. Tác dụng này xuất hiện ở nồng độ 0,01% hoặc lớn hơn. Tốt hơn là đặt giới hạn dưới ở 0,01% để thu được hiệu quả này. Giới hạn trên được đặt là 0,1% do hiệu quả này bão hòa ở nồng độ vượt quá 0,1%.

Một hoặc nhiều nguyên tố <Mo: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%>, <W: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%>, và <V: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%>

Mỗi một trong số các nguyên tố này có tác dụng gia tăng khả năng hóa cứng và có thể được chứa một cách phù hợp. Tác dụng này trở nên rõ ràng đối với mỗi nguyên tố ở 0,01% hoặc lớn hơn. Mỗi nguyên tố này là nguyên tố có giá thành cao và bởi vậy giới hạn trên tốt hơn được đặt là nồng độ trong đó tác dụng trở nên bão hòa, cụ thể, 1,0% đối với Mo, và 0,5% đối với W và V.

<Ni: nằm trong khoảng từ 0 đến 5,0%>

Ni là nguyên tố có tác dụng gia tăng khả năng hóa cứng và được sử dụng

một cách hữu hiệu. Tác dụng này trở nên rõ ràng ở 0,01% hoặc lớn hơn. Ni là nguyên tố giá thành cao và giới hạn trên được đặt là nồng độ ở đó tác dụng trở nên bão hòa, cụ thể là 5,0%. Người ta mong muốn là có Ni cùng với Cu bởi vì Ni có tác dụng cản trở sự giảm chất lượng bề mặt của thép tấm được cán nóng do sự bổ sung Cu gây ra như được mô tả dưới đây.

<Cu: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%>

Cu có tác dụng gia tăng độ bền của thép tấm bằng cách bổ sung với lượng 0,01% hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, việc bổ sung quá nhiều dẫn đến làm giảm chất lượng bề mặt của thép tấm cán nóng. Do đó, giới hạn trên được đặt là 1,0%.

Nguyên tố còn lại trong sáng chế khác với các nguyên tố nêu trên là Fe. Các tạp chất không thể tránh khỏi có nguồn gốc từ các vật liệu nóng chảy như các phế liệu kim loại và từ các vật liệu chịu lửa được phép có trong đó. Các tạp chất tiêu biểu được liệt kê dưới đây.

<N: 0,1% hoặc nhỏ hơn>

N được gắn kết với Ti và B một cách dễ dàng và cần được kiểm soát ở mức nồng độ mà sẽ không làm giảm các tác dụng được mong chờ đối với Ti và B. Các mức nồng độ chấp nhận được là 0,1% hoặc nhỏ hơn và tốt hơn là 0,01% hoặc nhỏ hơn. Mong muốn là đặt giới hạn dưới ở 0,0010% do nồng độ nhỏ hơn mức cần thiết sẽ đặt quá nhiều gánh nặng lên quá trình luyện thép.

<P: 0,03% hoặc nhỏ hơn>

P, mà được chứa ở dạng tạp chất, có ảnh hưởng bất lợi đến khả năng gia công trong khi gia công nóng và bởi vậy phải được giới hạn ở 0,03% hoặc nhỏ hơn. Tốt hơn là giới hạn P càng thấp càng tốt. Tuy nhiên, mong muốn là đặt giới hạn dưới ở 0,001% do nồng độ nhỏ hơn mức cần thiết sẽ đặt quá nhiều gánh nặng lên quá trình luyện thép.

<S: 0,02% hoặc nhỏ hơn>

S, mà được chứa ở dạng tạp chất, có ảnh hưởng bất lợi đến các tính chất cơ học gồm khả năng gia công trong khi gia công nóng, khả năng uốn, và độ dai, và

bởi vậy phải được giới hạn ở 0,02% hoặc nhỏ hơn. Tốt hơn là giới hạn S càng thấp càng tốt. Tuy nhiên, mong muốn là đặt giới hạn dưới ở 0,0001% do nồng độ nhỏ hơn mức cần thiết sẽ đặt quá nhiều gánh nặng lên quá trình luyện thép.

Bây giờ các lý do dẫn đến các giới hạn về oxit Mn và oxit phức hợp Mn-Si sẽ được mô tả.

Về oxit Mn, bản thân oxit này và lỗ rỗng được tạo ra xung quanh oxit trong khi cán nguội trở thành vị trí giữ hydro trong thép tấm, do đó độ bền mặt gãy trở tuyệt vời được phát triển. Vì vậy, oxit Mn cần được phân tán ở mật độ định trước. Như sẽ được thể hiện trong các ví dụ, tác dụng không xuất hiện rõ ràng nếu mật độ các oxit nhỏ hơn 5×10^3 miếng/mm². Mặt khác, xét về độ bền mặt gãy trở, giới hạn trên không nhất thiết được đặt lên mật độ này. Tuy nhiên, giới hạn trên của mật độ được đặt là 1×10^5 miếng/mm² để tránh được ảnh hưởng bất lợi đến các tính chất cơ học gồm khả năng uốn và độ dai.

Để nhận dạng oxit Mn, phép phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (energy dispersive X-ray spectroscopy - EDS) sử dụng kính hiển vi điện tử quét (SEM) được sử dụng. Đối tượng từ đó Mn và O (oxy) phát hiện được tại cùng thời điểm được gọi là oxit Mn. Nếu độ dài tối đa của đối tượng được phân tích nhỏ hơn 1µm, không đảm bảo được độ chính xác phân tích đầy đủ. Do đó, giới hạn dưới của độ dài tối đa là oxit Mn được đặt là 1µm hoặc lớn hơn. Xét về độ bền mặt gãy trở, giới hạn trên không nhất thiết được đặt lên kích cỡ của oxit. Giới hạn trên của kích cỡ, tuy nhiên được đặt là 5µm hoặc nhỏ hơn để tránh được ảnh hưởng bất lợi đến các tính chất cơ học gồm khả năng uốn và độ dai. Dựa vào Fig.1 minh họa dưới dạng sơ đồ hình dạng của các oxit, độ dài tối đa 3 của oxit như được sử dụng ở đây được biểu thị là đường chéo dài nhất của oxit dạng hình chữ nhật 1 hoặc oxit hình đa giác 2.

Theo nghiên cứu của các tác giả sáng chế, oxit Mn được tạo hình dạng hình chữ nhật hoặc hình đa giác và duy trì hình dạng sau khi cán nguội. Ngược lại, oxit phức hợp Mn-Si có khả năng kéo với sự cán nguội. Sự phân tán của các oxit phức hợp Mn-Si kéo vừa đủ trong thép có khả năng góp phần đảm bảo độ dai ở nhiệt độ

thấp. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ oxit phức hợp Mn-Si được kéo là một oxit có độ dài theo chiều dọc xấp xỉ bằng 3 lần hoặc lớn hơn so với độ dài trực ngắn. Các chất lẫn được phân tán trong thép tấm được nghiên cứu bằng cách phân tích EDS sử dụng SEM. Các chất lẫn mà từ đó Mn, Si, và O (oxy) phát hiện được tại cùng thời điểm được gọi là các oxit phức hợp Mn-Si. Để phân tích có thể tin cậy, các kích thước của vật cần có độ dài trực ngắn là $1\mu\text{m}$ hoặc lớn hơn. Vì lý do này, giới hạn dưới của kích cỡ của oxit phức hợp Mn-Si được đặt là độ dài trực ngắn là $1\mu\text{m}$. Từ khía cạnh đảm bảo độ tin cậy phân tích, giới hạn trên không nhất thiết được đặt ở độ dài trực ngắn. Tuy nhiên, giới hạn trên của độ dài trực ngắn được đặt là $3\mu\text{m}$, tốt hơn là $2\mu\text{m}$, để tránh được việc giảm các tính chất cơ học (như độ giãn dài và độ dai). Nhằm mục đích đảm bảo độ dai, giới hạn trên không nhất thiết được đặt ở độ dài theo chiều dọc. Tuy nhiên, giới hạn trên của độ dài theo chiều dọc được đặt là $10\mu\text{m}$, tốt hơn là $5\mu\text{m}$, để tránh được việc giảm khả năng uốn xuất hiện nếu kích cỡ là quá lớn (quá dài). Như được minh họa dưới dạng giản đồ trên Fig.2, độ dài trực ngắn 5 và độ dài theo chiều dọc 6 như được sử dụng ở đây tương ứng đề cập đến độ dài theo hướng trực ngắn (độ dài trực ngắn) 5 và độ dài theo hướng chiều dọc (độ dài theo chiều dọc) 6 của oxit phức hợp Mn-Si được kéo 4.

Như sẽ được minh họa trong các ví dụ, các oxit phức hợp Mn-Si cần được bao gồm với mật độ $1,7 \times 10^2$ miếng/ mm^2 hoặc lớn hơn. Mật độ nhỏ hơn số này không đảm bảo độ dai tuyệt vời ở nhiệt độ thấp. Mặt khác, nếu mật độ các oxit phức hợp Mn-Si lớn hơn 5×10^3 miếng/ mm^2 , khả năng uốn theo phương vuông góc với hướng cán giảm đáng kể, và bởi vậy giới hạn trên được đặt là 5×10^3 miếng/ mm^2 .

Quy trình thu được mật độ của các oxit là như sau: số các oxit mong muốn trong các trường nhìn thấy được tính (lấy tổng) bằng cách sử dụng SEM với độ khuếch đại 3000 lần và 10 trường nhìn. Một trường có kích thước khoảng $40\mu\text{m}$ với $30\mu\text{m}$. Số các oxit ở diện tích $1,2 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ (cụ thể, $40 \times 30 \times 10$) được chuyển hóa thành mật độ trên milimet vuông (mm^2).

Phương pháp sản xuất thép tấm sáng chế bây giờ sẽ được mô tả.

Thép tấm sáng chế được sản xuất bằng cách tiến hành luyện kim, đúc, cán nóng, cán nguội, và ủ trên cơ sở các quy trình thông thường. Việc mạ có thể được thực hiện. Thép có thể được sản xuất và đúc trên dây chuyền với các điều kiện hiện hành của nhà sản xuất xét về các vật liệu được sản xuất (nồng độ của các tạp chất), tốc độ chảy của mỗi nguyên tố và v.v.. Ví dụ, thép được tạo ra từ các vật liệu trừ Si bằng quy trình bình thường, và Si được bổ sung vào thép, và sau đó thép được đúc sau khoảng thời gian định trước.

Như sẽ được giải thích trong các ví dụ, mật độ của các oxit Mn giảm khi thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và thép đúc trở nên lâu hơn. Ngược lại, mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si gia tăng khi thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và thép đúc trở nên dài hơn. Phạm vi thích hợp của thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và thép đúc là từ 35 đến 145 giây bằng nồi lò nấu chảy quy mô nhỏ mà các tác giả sáng chế áp dụng. Tuy nhiên, thời gian có thể được đặt cùng với các điều kiện hiện hành của thiết bị sử dụng. Xét về năng suất, việc đúc liên tục được mong muốn.

Để cán nóng, ví dụ, các tham số sau đây có thể được sử dụng: nhiệt độ nằm trong khoảng từ 1200 đến 1250°C để gia nhiệt sản phẩm đúc, tỷ lệ giảm nằm trong khoảng từ 50 đến 90% đối với sự cán thô, tỷ lệ giảm nằm trong khoảng từ 60 đến 95% đối với sự cán tinh, và nhiệt độ kết thúc khoảng 900°C.

Tỷ lệ giảm cán nguội trong khi cán nguội là rất quan trọng, cần nằm trong khoảng từ 35% đến 70%. Cán cán với tỷ lệ giảm là 35% hoặc lớn hơn để tạo ra lỗ rỗng xung quanh oxit Mn và để kéo và biến dạng oxit phức hợp Mn-Si một cách phù hợp. Tuy nhiên, nếu tỷ lệ giảm là quá cao, lỗ rỗng được tạo ra một lần xung quanh oxit Mn được ép và biến mất. Ngoài ra, oxit phức hợp Mn-Si được kéo và biến dạng và không còn góp phần vào độ dai. Giới hạn trên do đó cần được đặt ở 70%.

Mong muốn là đặt nhiệt độ để ủ thép tấm cán nguội ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700 đến 850°C. Tuy nhiên, nhiệt độ có thể được đặt là nhỏ hơn 700°C

hoặc cao hơn 850°C để phân biệt sản phẩm nhờ việc có tính chất cơ học đồng nhất. Từ khía cạnh năng suất, việc ủ liên tục được mong muốn.

Thép tấm có thể là thép tấm được mạ Al, Zn, hoặc tương tự sau khi ủ. Từ khía cạnh năng suất, mong muốn là thực hiện việc ủ và mạ như một thao tác liên tục. Thép tấm mạ Zn có thể được nung để chuyển lớp mạ thành hợp kim Fe-Zn. Trong trường hợp thép tấm mạ Al, lớp hợp kim Fe-Al-Mn-Cr-B được tạo ra ở mặt phân cách giữa lớp mạ Al và nền thép tấm. Đối với thép tấm mạ Al, việc chuyển của hydro từ lớp mạ Al lên nền thép tấm bị cản trở bởi vì lớp hợp kim Fe-Al-Mn-Cr-B được tạo ra ở mặt phân cách giữa lớp mạ Al và nền thép tấm. Bất ngờ, hầu như không có Si được chứa trong lớp hợp kim này của thép tấm theo sáng chế. Sở dĩ như vậy là do, hầu hết Si bổ sung được tiêu thụ làm giảm các oxit Mn thành các oxit phức hợp Mn-Si dưới trạng thái nồng độ oxy này, mà các oxit Mn và các oxit phức hợp Mn-Si được tạo ra như trong sáng chế, và bởi vậy hầu như không có Si được chứa trong lớp hợp kim Fe-Al-Mn-Cr-B ở mặt phân cách giữa lớp mạ Al và nền thép tấm.

Thép tấm ủ và mạ (đai sắt) có thể chịu cán qua da và xử lý làm phẳng nhờ con lăn. Ứng suất thu được được kiểm soát tốt hơn là 10% hoặc nhỏ hơn.

Thép tấm tạo ra theo sáng chế được làm thành chi tiết có độ bền cao bằng cách dập nóng trong đó việc tạo hình và tôi được thực hiện là một quy trình, chẳng hạn. Trong khi sản xuất chi tiết có độ bền cao, thép tấm (phôi), mà được cắt thành các kích thước định trước theo yêu cầu, được nung và sau đó được dập bằng khuôn dập. Để gia nhiệt, phương pháp như nhúng trong lò nung, nung điện, gia nhiệt cảm ứng và v.v. có thể được áp dụng. Nhiệt độ mà toàn bộ phôi được nung ở đó nói chung được đặt ở mức đối với pha auxtenit. Chỉ một phần của phôi có thể được làm nóng tới mức đối với pha auxtenit để bổ sung tính chất đồng nhất cho chi tiết. Việc làm nguội bởi các khuôn nói chung được thực hiện ở tốc độ làm nguội mà cho phép phần đã được làm nóng tới mức đối với pha auxtenit được chuyển hóa thành pha martensit. Để bổ sung tính chất đồng nhất cho chi tiết, tuy nhiên, tốc độ làm nguội có thể được đặt chậm hơn sao cho phần được gia nhiệt tới mức đối với

pha auxtenit không được chuyển hóa thành pha martensit.

Độ bền mặt gãy trễ của thép tấm được đánh giá bằng cách tiến hành thử nghiệm đục lỗ với các khoảng hở khác nhau và bằng cách quan sát sự có mặt hay không có mặt của việc tạo thành các vết rạn trên phần thành của mỗi lỗ đục.

Cụ thể hơn, lỗ có đường kính 10mm ϕ được đục qua thép tấm (mm) theo chiều dày. Đường kính của đột Dp được đặt không đổi là 10mm. Đường kính trong của khuôn Di thay đổi theo phạm vi khoảng hở từ 5 đến 30% ở đó khoảng hở được tính là $(D_i - D_p) / 2t \times 100$. Sau đó, sự có mặt hoặc không có mặt các vết nứt ở phần vách lỗ được quan sát. Thép tấm trong đó không có sự tạo ra vết nứt quan sát được được xác định là tuyệt vời về độ bền mặt gãy trễ. Số lỗ đục đối với mỗi loại khoảng hở là 5 hoặc lớn hơn và tất cả các vách lỗ được quan sát.

Độ dai được đánh giá bằng cách sử dụng thử nghiệm va đập Charpy theo JIS Z 2242. Miếng thử nghiệm được chuẩn bị theo miếng thử nghiệm số 4 theo JIS Z 2202. Độ dày của miếng thử nghiệm là giống như độ dày của mẫu mẫu vốn có.

Các thử nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ -120°C đến 20°C và nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn được xác định dựa vào các thay đổi về năng lượng hấp thụ.

Ví dụ thực hiện sáng chế

[Ví dụ 1]

Các thử nghiệm nấu chảy và đúc các vật liệu thô bằng cách sử dụng lò nấu chảy cỡ nhỏ được tiến hành. Các thành phần hóa học được điều chỉnh để chứa C: 0,36%, Mn: 1,3%, P: 0,02%, S: 0,004%, Cr: 0,2%, B: 0,0025%, Ti: 0,01%, Al: 0,002%, N: 0,003%, O: 0,0150%, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Lượng định trước của Si sau đó được bổ sung tiếp vào các vật liệu nóng chảy, các vật liệu này được đúc thành khuôn đúc có các kích thước bên trong (theo milimet) là 110 × 220 × 400 (độ cao tối đa) 90 giây sau khi bổ sung Si. Lượng Si bổ sung nằm trong khoảng từ 0 (không bổ sung) đến 0,3%. Nồng độ được tính với

việc giả sử rằng tất cả Si bổ sung giữ nguyên trong sản phẩm đúc. Các bề mặt hóa rắn (hai mặt) của sản phẩm đúc có các kích thước là 220 x 400 được mài trơn nhẵn 5mm, và sự tạo ra các khuyết tật dẫn đến từ các bọt được nghiên cứu. Sản phẩm đúc sau đó được cán nóng từ 110mm đến 30mm. Vật liệu cán nóng được phân tích để xác định nồng độ của các thành phần chính. Các kết quả được tóm tắt trong bảng 1.

[Bảng 1]

Số	Lượng Si bổ sung (%)	Các thành phần chính (%)				Các khuyết tật	Ghi chú
		C	Si	Mn	O		
1	Không bổ sung	0,35	Nhỏ hơn 0,001	1,22	0,0091	Quan sát được	Ví dụ so sánh
2	0,02	0,35	0,020	1,28	0,0048	Quan sát được (xem Fig.3 (a))	Ví dụ so sánh
3	0,07	0,36	0,060	1,29	0,0042	Không quan sát được (xem Fig.3 (b))	Sáng chế
4	0,1	0,35	0,101	1,27	0,0039	Không quan sát được	Sáng chế
5	0,3	0,35	0,287	1,25	0,0034	Không quan sát được	Sáng chế

Một số lớn các khuyết tật lỗ thối được quan sát ở mẫu số 1 mà Si không được bổ sung vào đó (nồng độ nhỏ hơn 0,001%) và ở mẫu số 2 mà 0,02% Si được bổ sung (nồng độ là 0,020%). Ngược lại, không có khuyết tật lỗ thối được quan sát ở mẫu số 3, 4, và 5 ở mỗi một trong số đó, nồng độ Si là 0,06% hoặc lớn hơn. Các điều kiện bề mặt của mẫu số 2 và mẫu số 3 được thể hiện ngược lại tương ứng trên Fig.3(a) và Fig.3(b).

Mẫu số 1 và mẫu số 2 bắt đầu sự phát triển rạn nứt trong khi cán, điều này làm khó cán tới nhỏ hơn 30mm. Ngược lại, không phát hiện ra nhược điểm nào trong việc cán mẫu số 3 đến mẫu số 5, mà sau đó được cán xuống đến 2mm không có vấn đề gì (việc cán này tương ứng với cán tinh). Rõ ràng là các khuyết tật đúc có thể được ngăn chặn hoàn toàn theo cùng cách đối với các trường hợp nồng độ C khác với ví dụ này nếu Si được bổ sung đến 0,06% hoặc lớn hơn.

[Ví dụ 2]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng lò nấu chảy cỡ nhỏ và các thành phần hóa học được điều chỉnh để chứa: C: 0,3%, Mn: 1,3%, P: 0,02%, S: 0,004%, Cr: 0,2%, B: 0,0020%, Ti: 0,01%, Al: 0,002%, N: 0,004%, O: 0,0150%, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Si sau đó được bổ sung vào thép nóng chảy ở nồng độ là 0,15%. Thép nóng chảy được nạp vào khuôn đúc, việc này được lặp lại 5 lần ở các khoảng cách là 30 giây sau khi bổ sung Si.

Mỗi sản phẩm đúc thu được được gia nhiệt đến 1250°C và được cán nóng thành thép tấm cán nóng có độ dày 2,8mm với nhiệt độ hoàn thành là 900°C và nhiệt độ cuộn là 600°C. Thép tấm cán nóng được cán nguội sau khi tẩy gỉ và thu được thép tấm cán nguội có độ dày 1,4mm.

Các kết quả phân tích đối với các thành phần hóa học của các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 2. Mỗi một trong số các thép tấm có các số chỉ dẫn là 2a-1, 2a-2, 2a-3, 2a-4, và 2a-5 nằm trong phạm vi cấu thành của sáng chế.

Các thép tấm cán nóng được nhúng trong dung dịch muối và ủ ở nhiệt độ

800°C trong thời gian 1 phút và thu được các thép tấm để dập nóng.

Việc dập nóng được tiến hành bằng quy trình sau đây: mỗi thép tấm để dập nóng được giữ ở nhiệt độ 900°C trong thời gian 5 phút và sau đó dập ngay và giữ trong thời gian 30 giây bằng hai khuôn dạng tấm trên và dưới được làm nguội bằng nước.

Mặt cắt ngang của mỗi mẫu dập nóng (sau đây được gọi là mẫu HS), được lấy theo hướng song song với hướng cán nguội, được quan sát bằng cách sử dụng SEM. Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si được đo bằng các phương pháp nêu trên.

Độ cứng mặt cắt ngang của mỗi mẫu HS song song với hướng cán nguội cũng được đo. Độ cứng Vickers được đo ở tổng cộng 10 điểm gồm 5 điểm được bố trí ở $\frac{1}{4}$ bề dày và 5 điểm ở $\frac{3}{4}$ bề dày từ một bề mặt của mẫu HS. 10 phép đo được lấy trung bình để thu được độ cứng bề mặt cắt ngang. Tải trọng thử nghiệm tác động lên vết lõm là 1kgf.

Mẫu thử nghiệm 100mm x 100mm để đánh giá độ bền mặt gãy trễ và miếng thử nghiệm cho thử nghiệm Charpy được lấy từ mỗi một trong số các mẫu HS.

Lỗ có đường kính 10mmφ được đục ở tâm của lỗ thẳng hàng với giao diện của các đường chéo của miếng thử nghiệm 100mm x 100mm. Các khoảng hở là 8,9% (10,25mmφ), 12,5% (10,35mmφ), 21,4% (10,60mmφ), và 28,6% (10,80mmφ), ở đó số liệu trong ngoặc đơn thể hiện đường kính trong của mỗi khuôn. Số miếng là 5 trên mỗi khoảng hở. Bề mặt vách của mỗi lỗ đục được quan sát chi tiết để nhận dạng sự có mặt hoặc không có mặt các vết rạn nứt.

Đối với các miếng thử nghiệm dùng cho thử nghiệm Charpy, hướng dọc của mỗi miếng thử nghiệm là thẳng hàng song song với hướng cán nguội.

Các thử nghiệm Charpy được tiến hành ở các nhiệt độ thử nghiệm là 20°C, 0°C, -20°C, -40°C, -60°C, -80°C, -100°C, và -120°C, và nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn được xác định dựa vào các thay đổi về năng lượng hấp thụ.

Các kết quả thử nghiệm mô tả ở trên được nêu trong bảng 3.

Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa vượt quá $5\mu\text{m}$. Cũng không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá $10\mu\text{m}$. Cả độ dài tối đa của các oxit Mn phát hiện được lẫn độ dài trực ngắn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được là $1\mu\text{m}$ hoặc lớn hơn.

Mật độ của các oxit Mn được quan sát là giảm khi thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và đúc trở nên dài hơn, trong khi đó mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si gia tăng.

Các thay đổi về mật độ của các oxit này cũng tương ứng với các thay đổi về nồng độ của Si và O trong số các thành phần hóa học sau của thép tấm cán nguội và bởi vậy có thể được giải thích nhờ tiến triển trong khi khử oxy bởi Si.

Cụ thể,

- (1) các oxit Si nổi lên phần trên của thép nóng chảy, dẫn đến nồng độ Si thấp ở thép tấm;
- (2) nồng độ O giảm trong thép tấm do sự khử oxy bằng Si;
- (3) các oxit Mn, mà được tạo ra trước khi bổ sung Si, bị khử bởi Si và mật độ của nó giảm; và
- (4) Một số oxit Mn được thay thế bằng các oxit phức hợp Mn-Si.

Mặc dù (3) và (4) là các phản ứng có thể xảy ra, các chi tiết là chưa được biết.

Đã phát hiện ra rằng các kết quả của các thử nghiệm đục lỗ liên quan mật thiết đến mật độ của các oxit Mn. Cụ thể, trong lúc không quan sát được sự tạo thành rạn nứt đối với trường hợp khoảng hở bất kỳ nếu mật độ là $5,0 \times 10^3$ miếng/ mm^2 hoặc lớn hơn, sự tạo thành rạn nứt được quan sát đối với trường hợp khoảng hở bất kỳ nếu mật độ là $4,9 \times 10^3$ miếng/ mm^2 . Do đó, giới hạn dưới của mật độ oxit Mn hữu hiệu là cản trở độ bền mặt gãy trễ được đặt là 5×10^3 miếng/ mm^2 .

Đã phát hiện ra rằng nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn liên quan mật thiết đến

mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si. Nói cách khác, rõ ràng là, trong lúc nhiệt độ là lớn hơn hoặc nhỏ hơn -65°C , nếu mật độ là $1,7 \times 10^2$ miêng/ mm^2 hoặc lớn hơn, nếu mật độ là 83 miêng/ mm^2 , nhiệt độ là -35°C , tức là, độ dai ở nhiệt độ thấp được giảm đáng kể. Do đó, giới hạn dưới của mật độ oxit phức hợp Mn-Si hữu hiệu để độ dai ở nhiệt độ thấp được đặt là $1,7 \times 10^2$ miêng/ mm^2 .

[Bảng 2]

Thép số	Thời gian trôi qua giữa bổ sung Si và cán (giây)	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O
2a-1	30	0,31	0,15	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0120
2a-2	60	0,30	0,12	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0104
2a-3	90	0,31	0,11	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0018	0,01	0,002	0,004	0,0079
2a-4	120	0,30	0,10	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0059
2a-5	150	0,30	0,10	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0022	0,01	0,002	0,004	0,0062

Đơn vị của các thành phần hóa học là % theo khối lượng.

[Bảng 3]

Số	Thép	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si (miếng/mm ²)	Độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS	Sinh ra rạn nứt ở mỗi khoảng hở o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển giòn-dễ uốn (°C)	
					8,9%	12,5%	21,4%	28,6%		
1	2a-1	8,2x10 ⁴	83	602	o	o	o	o	-35	Ví dụ so sánh
2	2a-2	1,4x10 ⁴	1,7x10 ²	597	o	o	o	o	-68	Sáng chế
3	2a-3	9,6x10 ³	1,7x10 ³	599	o	o	o	o	-64	Sáng chế
4	2a-4	5,0x10 ³	2,2x10 ³	604	o	o	o	o	-66	Sáng chế
5	2a-5	4,9x10 ³	2,5x10 ³	596	x	x	x	x	-61	Ví dụ so sánh

Các giá trị được gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

[Ví dụ 3]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và các thành phần hóa học được điều chỉnh để chứa: C: 0,36%, Mn: 1,2%, P: 0,01%, S: 0,002%, Cr: 0,2%, B: 0,0025%, Ti: 0,02%, Al: 0,002%, N: 0,003%, O: 0,0160%, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi. Si do được bổ sung vào thép nóng chảy ở nồng độ là 0,16%. Thép nóng chảy được nạp vào 5 khuôn đúc, 20 giây sau khi bổ sung Si, theo thời gian ngắn trôi qua giữa các lần nạp. Các sản phẩm đúc được gia nhiệt đến 1200°C và cán nóng thành các thép tấm cán nóng có độ dày 2,8mm với nhiệt độ cuối cùng nằm trong khoảng từ 900 đến 910°C và nhiệt độ cuộn là 600°C. Các thép tấm cán nóng được cán nguội sau khi tẩy gỉ và các thép tấm cán nóng dày 1,4mm được thu được. Các kết quả phân tích thành phần hóa học của các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 4. Mỗi một trong số thép tấm có các số ký hiệu là 3a-1, 3a-2, 3a-3, 3a-4, và 3a-5 nằm trong phạm vi thành phần của sáng chế.

Các thép tấm cán nóng được nhúng trong dung dịch muối và ủ ở 780°C trong thời gian 1 phút và thu được các thép tấm để dập nóng. Việc dập nóng được tiến hành bằng quy trình sau đây: mỗi thép tấm để dập nóng được giữ ở nhiệt độ 900°C trong thời gian 5 phút, và sau đó thép tấm được dập nhanh và giữ trong thời gian 30 giây bởi hai khuôn dạng tấm trên và dưới được làm nguội bằng nước. Mặt cắt ngang A của mỗi mẫu HS, mà được lấy song song với hướng cán nguội, được quan sát bằng cách sử dụng SEM và kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si được đo bằng các phương pháp nêu trên.

Độ cứng Vickers của mặt cắt ngang của mỗi mẫu HS song song với hướng cán nguội cũng được đo. Điểm đo và điều kiện đo là giống như trong ví dụ 2. Độ bền mặt gãy trễ của các mẫu HS (quan sát sự tạo thành rạn nứt trên bề mặt của các lỗ đục) và độ dai ở nhiệt độ thấp (xác định nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn bằng thử nghiệm Charpy) được đánh giá. Phương pháp và các điều kiện là giống như trong ví dụ 2. Các kết quả của các thử nghiệm được nêu trong bảng 5.

Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa là 5µm hoặc lớn hơn. Cũng

như không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá $10\mu\text{m}$. Cũng có xu hướng được thể hiện như trong ví dụ 2 liên quan giữa mật độ của các oxit Mn cũng như mật độ của các oxit Mn-Si và thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và đúc. Rõ ràng là nếu thời gian trôi qua giữa việc bổ sung Si và đúc là từ 35 đến 145 giây, các mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si nằm trong khoảng theo sáng chế, và do đó thu được các thép tấm tuyệt vời về độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp.

[Bảng 4]

Thép số	Thời gian trời qua giữa bề sung Si và cán (giây)	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O
3a-1	20	0,36	0,16	1,2	0,01	0,002	0,2	0,0024	0,02	0,002	0,003	0,0135
3a-2	35	0,36	0,14	1,2	0,01	0,002	0,2	0,0025	0,02	0,002	0,003	0,0112
3a-3	80	0,36	0,12	1,2	0,01	0,002	0,2	0,0025	0,02	0,002	0,003	0,0084
3a-4	145	0,35	0,11	1,2	0,01	0,002	0,2	0,0025	0,02	0,002	0,003	0,0062
3a-5	165	0,36	0,11	1,2	0,01	0,002	0,2	0,0025	0,02	0,002	0,003	0,0058

Đơn vị của các thành phần hóa học là % theo khối lượng.

[Bảng 5]

Số	Thép	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của hợp chất oxit Mn-Si (miếng/mm ²)	Độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS	Tạo ra rạn nứt ở mỗi khoảng hở o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển hóa giòn-dễ uốn (°C)	
					8,9%	12,5%	21,4%	28,6%		
1	3a-1	$8,2 \times 10^4$	0 (<u>không phát hiện được</u>)	678	o	o	o	o	-26	Ví dụ so sánh
2	3a-2	$1,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^2$	681	o	o	o	o	-58	Sáng chế
3	3a-3	$1,0 \times 10^4$	$9,2 \times 10^2$	680	o	o	o	o	-55	Sáng chế
4	3a-4	$5,3 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	674	o	o	o	o	-56	Sáng chế
5	3a-5	<u>$4,7 \times 10^3$</u>	$3,3 \times 10^3$	677	x	x	x	x	-54	Ví dụ so sánh

Các giá trị được gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

[Ví dụ 4]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và các sản phẩm đúc với các thành phần hóa học được chuẩn bị. Các thành phần hóa học đích là nằm trong khoảng từ sau đây: C: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,43%, Mn: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 2,2%, P: 0,02% hoặc nhỏ hơn, S: 0,004% hoặc nhỏ hơn, Cr: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 2,5%, B: nằm trong khoảng từ 0,0020 đến 0,0035%, Ti: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,05%, Al: nằm trong khoảng từ 0,003 đến 0,04%, N: 0,004% hoặc nhỏ hơn, O: 0,020% hoặc nhỏ hơn, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Đối với mỗi trường hợp, các thành phần trừ Si trước tiên được điều chỉnh và Si (tương đương với từ 0,01 đến 0,5%) được bổ sung vào thép nóng chảy. Sau đó, 90 giây sau khi bổ sung Si, thép nóng chảy được đúc trong các khuôn đúc.

Các sản phẩm đúc thu được được cán nguội thành các thép tấm cán nóng dày 1,4mm với cùng các điều kiện như trong ví dụ 2. Các thành phần hóa học thu được bằng cách phân tích các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 6.

Các thép tấm cán nóng được ủ theo cùng cách và ở cùng các điều kiện như trong ví dụ 2. Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si trong các thép tấm được đo.

Sau đó, việc dập nóng được tiến hành với cùng phương pháp và các điều kiện như trong ví dụ 2. Đối với mỗi một trong số các thép tấm, phép đo độ cứng mặt cắt ngang, phép đánh giá độ bền mặt gãy trĩ bằng cách sử dụng thử nghiệm đục lỗ, và sự đánh giá độ dai ở nhiệt độ thấp sử dụng thử nghiệm Charpy được thực hiện. Các điều kiện thử nghiệm là giống như trong ví dụ 2.

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trong bảng 7.

Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa là 5μm hoặc lớn hơn. Cũng không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá 10μm. Độ dài tối đa là các oxit Mn phát hiện được và độ dài trực ngắn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được cả hai là 1μm hoặc lớn hơn.

Rõ ràng là sự tạo thành rạn nứt dựa vào thử nghiệm đục lỗ liên quan mật thiết đến mật độ của các oxit Mn. Cụ thể hơn, mẫu số 1, mẫu số 8, và mẫu số 15, trong đó mật độ của các oxit Mn không nằm trong khoảng theo sáng chế, thể hiện sự tạo thành rạn nứt đối với mỗi một trong số bốn khoảng hở, và cũng làm giảm độ bền mặt gãy trề. Đối với mẫu số 1, có khả năng là mật độ của oxit Mn cần thiết không thu được vì nồng độ Mn trong thép tấm không trong khoảng theo sáng chế. Đối với mẫu số 8, có khả năng là mật độ Mn cần thiết không thu được bởi vì hàm lượng O trong thép tấm ngoài khoảng theo sáng chế. Đối với mẫu số 15, có khả năng là không thu được mật độ Mn cần thiết bởi vì hàm lượng Al trong thép tấm ngoài khoảng theo sáng chế và khử oxy bởi Al trở nên nổi trội.

Rõ ràng là nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn, mà chỉ báo độ dai ở nhiệt độ thấp, liên quan mật thiết với mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si. Mẫu số 8, trong đó hàm lượng O và mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si trong thép tấm ngoài khoảng theo sáng chế, có nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn là -25°C . Ngược lại, các nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn nằm trong khoảng từ -55 đến -52°C đối với các mẫu từ số 9 đến 11, mỗi một trong số đó có độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS là tương tự với mẫu số 8, nhưng mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si nằm trong khoảng theo sáng chế. Điều này thể hiện rằng mẫu số 8 có độ dai kém ở nhiệt độ thấp.

Ngoài ra, nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn là -20°C đối với mẫu số 12 trong đó hàm lượng Si và mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si trong thép tấm ngoài khoảng theo sáng chế. Tương tự, nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn là -17°C đối với mẫu số 15 trong đó hàm lượng Al và mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si trong thép tấm ngoài khoảng theo sáng chế. Ngược lại, các nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn là -51°C và -50°C lần lượt đối với mẫu số 13 và mẫu số 14, mỗi một trong số chúng có mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si nằm trong khoảng theo sáng chế mặc dù độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS là tương tự với độ cứng của mẫu số 12 và mẫu số 15. Điều này thể hiện rằng Mẫu số 12 và mẫu số 15 có độ dai kém ở nhiệt độ thấp.

[Bảng 6]

Thép số	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O	
3a	0,20	0,15	<u>0,15</u>	0,02	0,004	0,3	0,0020	0,01	0,01	0,004	0,0080	Ví dụ so sánh
3b	0,20	0,12	0,2	0,02	0,004	0,3	0,0021	0,01	0,01	0,003	0,0075	Sáng chế
3c	0,21	0,12	1,3	0,01	0,004	0,3	0,0020	0,01	0,01	0,003	0,0060	Sáng chế
3d	0,20	0,10	2,2	0,01	0,003	0,3	0,0020	0,02	0,01	0,002	0,0070	Sáng chế
3e	0,28	0,12	0,6	0,02	0,002	0,1	0,0035	0,03	0,02	0,003	0,0044	Sáng chế
3f	0,28	0,12	0,6	0,01	0,002	1,5	0,0035	0,01	0,01	0,003	0,0034	Sáng chế
3g	0,29	0,10	0,6	0,01	0,002	2,5	0,0032	0,01	0,01	0,002	0,0022	Sáng chế
3h	0,36	0,15	1,2	0,01	0,002	0,3	0,0030	0,02	0,005	0,003	<u>0,0015</u>	Ví dụ so sánh
3i	0,36	0,10	1,3	0,01	0,002	0,2	0,0030	0,02	0,01	0,003	0,004	Sáng chế
3j	0,36	0,10	1,3	0,01	0,002	0,2	0,0030	0,02	0,01	0,002	0,012	Sáng chế
3k	0,37	0,15	0,8	0,02	0,004	0,2	0,0029	0,01	0,01	0,004	0,020	Sáng chế
3l	0,42	<u>0,005</u>	0,8	0,01	0,002	0,2	0,0020	0,02	0,006	0,003	0,0065	Ví dụ so sánh
3m	0,42	0,06	0,8	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,01	0,004	0,0050	Sáng chế
3n	0,41	0,5	0,8	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,01	0,004	0,0049	Sáng chế
3o	0,42	0,1	0,8	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	<u>0,04</u>	0,004	0,0035	Ví dụ so sánh

Đơn vị của các giá trị trên là % theo khối lượng. Các phần gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

[Bảng 7]

Số	Thép	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của oxit phức hợp Mn-Si (miếng/mm ²)	Độ cứng mặt cắt của mẫu HS	Rạn nứt tạo ra ở mỗi khe o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển hóa giòn-dễ uốn (°C)	
					8,9%	12,5%	21,4%	28,6%		
1	3a	<u>3,9x10³</u>	8,3x10 ²	411	x	x	x	x	-60	Ví dụ so sánh
2	3b	2,2x10 ⁴	5,0x10 ²	455	o	o	o	o	-66	Sáng chế
3	3c	5,8x10 ⁴	6,7x10 ²	459	o	o	o	o	-69	Sáng chế
4	3d	7,1x10 ⁴	5,0x10 ²	457	o	o	o	o	-64	Sáng chế
5	3e	3,4x10 ⁴	6,7x10 ²	549	o	o	o	o	-60	Sáng chế
6	3f	2,1x10 ⁴	6,7x10 ²	551	o	o	o	o	-62	Sáng chế
7	3g	1,6x10 ⁴	5,0x10 ²	566	o	o	o	o	-60	Sáng chế
8	3h	<u>2,6x10³</u>	<u>83</u>	601	x	x	x	x	-25	Ví dụ so sánh
9	3i	5,7x10 ⁴	4,2x10 ²	614	o	o	o	o	-53	Sáng chế
10	3j	8,2x10 ⁴	4,2x10 ²	610	o	o	o	o	-55	Sáng chế
11	3k	9,6x10 ⁴	6,7x10 ²	617	o	o	o	o	-52	Sáng chế
12	3l	3,6x10 ⁴	0 (không phát hiện được)	620	o	o	o	o	-20	Ví dụ so sánh
13	3m	4,2x10 ⁴	2,5x10 ²	633	o	o	o	o	-51	Sáng chế
14	3n	4,7x10 ⁴	2,7x10 ³	638	o	o	o	o	-50	Sáng chế
15	3o	<u>1,4x10³</u>	0 (không phát hiện được)	618	x	x	x	x	-17	Ví dụ so sánh

Các giá trị được gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

[Ví dụ 5]

Các vật liệu được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và một loạt các sản phẩm đúc với các thành phần hóa học khác nhau được chuẩn bị. Các thành phần hóa học mong muốn nằm trong khoảng sau đây: C: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,36%, Mn: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 1,3%, P: 0,02% hoặc nhỏ hơn, S: 0,004% hoặc nhỏ hơn, Cr: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1,5%, B: nằm trong khoảng từ 0,0020 đến 0,0035%, Ti: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,03%, Al: nằm trong khoảng từ 0,002 đến 0,02%, N: 0,004% hoặc nhỏ hơn, O: 0,010% hoặc nhỏ hơn, Nb: nằm trong khoảng từ 0,03 đến 0,07% (4c, 4f, 4h), Mo: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,5% (4a, 4g), W: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,3% (4b, 4i), V: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,3% (4d, 4j), Ni: nằm trong khoảng từ 0,3 đến 0,5% (4e, 4j), Cu: nằm trong khoảng từ 0,6 đến 1,0% (4e, 4j), và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Đối với mỗi trường hợp, các thành phần trừ Si trước tiên được điều chỉnh và Si (tương đương với 0,15%) được bổ sung vào thép nóng chảy. Sau đó, 90 giây sau khi bổ sung Si, thép nóng chảy được đúc trong các khuôn đúc.

Các sản phẩm đúc thu được được cán nguội thành các thép tấm cán nóng có độ dày 1,4mm với cùng các điều kiện như trong ví dụ 2. Các thành phần hóa học thu được bằng cách phân tích các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 8.

Các miếng thử nghiệm có dạng hình chữ nhật, mà được cắt từ các thép tấm cán nóng, được ủ và sau đó mạ bằng Al bằng cách sử dụng mô hình nhúng nóng. Việc ủ được thực hiện bằng cách giữ mỗi một trong số các miếng thử nghiệm trong một phút ở nhiệt độ 800°C. Miếng thử nghiệm sau đó được nhúng trong dung dịch Al nóng chảy (Al - 10%Si). Sau khi miếng thử nghiệm được lấy ra, độ dày lớp mạ (trọng lượng của lớp mạ) được điều chỉnh bằng cách phụt khí và miếng thử nghiệm được làm nguội đến nhiệt độ trong phòng để thu được mẫu. Tốc độ làm nguội là 15°C/giây cho đến khi nhiệt độ hạ xuống 500°C. Trọng lượng của lớp mạ là 60g/m² đối với mỗi bề mặt.

Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si trong thép tấm được đo. Độ dày và các nguyên tố cấu thành của lớp hợp kim được nghiên cứu. Lớp hợp kim được tạo ra ở mặt giao cắt giữa thép tấm và lớp mạ có độ dày là 1µm hoặc lớn hơn và 10µm hoặc nhỏ hơn. lớp hợp kim của mỗi một trong số các thép tấm cấu thành bởi Fe, Al, Mn, Cr, và B. Không quan sát thấy Si trong lớp hợp kim.

Việc dập nóng do đó được thực hiện bằng cùng phương pháp và các điều kiện như trong ví dụ 2. Đối với mỗi một trong số các thép tấm, phép đo độ cứng mặt cắt ngang, việc đánh giá độ bền mặt gãy thử sử dụng thử nghiệm đục lỗ, và việc đánh giá độ dai ở nhiệt độ thấp sử dụng thử nghiệm Charpy được thực hiện. Các điều kiện thử nghiệm là giống như trong ví dụ 2.

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trong bảng 9. Bảng 9 cũng liệt kê các ví dụ so sánh, các ví dụ so sánh là tương tự về các thành phần hóa học trừ Nb, Mo, W, V, Ni, và Cu để so sánh xét về các tác dụng của các nguyên tố này.

Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa là 5µm hoặc lớn hơn. Cũng không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá 10µm. Độ dài tối đa của cả các oxit Mn phát hiện được lẫn độ dài trực ngắn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được là 1µm hoặc lớn hơn.

Mật độ của các oxit Mn trong mỗi một trong số các thép tấm nằm trong khoảng theo sáng chế. Không tạo thành sự rạn nứt được quan sát trong thử nghiệm đục lỗ. Mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si trong mỗi một trong số các thép tấm nằm trong khoảng theo sáng chế.

Mẫu số 3 và mẫu số 6, mỗi mẫu chứa Nb, khi so sánh với mẫu số 6 lần lượt trong ví dụ 2 và mẫu số 3 trong ví dụ 1, thể hiện sự giảm đáng kể về nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn trong khi thể hiện rằng không có sự thay đổi về độ cứng mặt cắt ngang sau khi dập nóng.

Các mẫu số 1, 2, 4, 5, và các mẫu số 7 đến 10 mà Mo, W, V, và Ni và Cu được bổ sung vào đó thể hiện về cơ bản cùng nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn và thể hiện sự gia tăng về độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS, khi so sánh với các mẫu so

sánh tương ứng.

Các kết quả thể hiện rằng, nếu Nb, Mo, W, V, Ni, Cu được bổ sung nằm trong khoảng theo sáng chế, độ dai ở nhiệt độ thấp có thể được tăng hơn và độ cứng mặt cắt ngang sau khi đập nóng, tức là, khả năng hóa cứng, cũng có thể được gia tăng, mà không ảnh hưởng đến độ bền mặt gãy trễ.

[Bảng 8]

Thép số	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O	Nguyên tố khác	
4a	0,21	0,12	0,2	0,01	0,003	0,3	0,0022	0,01	0,01	0,003	0,0072	Mo:0,5	Sáng chế
4b	0,21	0,12	1,3	0,02	0,004	0,3	0,0020	0,02	0,01	0,003	0,0061	W:0,3	Sáng chế
4c	0,28	0,10	0,6	0,02	0,003	0,1	0,0035	0,03	0,02	0,003	0,0045	Nb:0,07	Sáng chế
4d	0,28	0,12	0,6	0,01	0,002	1,5	0,0035	0,01	0,01	0,003	0,0033	V:0,3	Sáng chế
4e	0,29	0,11	0,6	0,01	0,002	1,4	0,0035	0,01	0,01	0,003	0,0034	Ni:0,5, Cu:1,0	Sáng chế
4f	0,30	0,12	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0018	0,01	0,002	0,004	0,0075	Nb:0,03	Sáng chế
4g	0,31	0,11	1,3	0,02	0,004	0,2	0,0018	0,01	0,002	0,004	0,0079	Mo:0,2	Sáng chế
4h	0,36	0,10	1,2	0,02	0,003	0,2	0,0030	0,02	0,01	0,003	0,0043	Nb:0,05, Mo:0,3	Sáng chế
4i	0,35	0,10	1,3	0,01	0,002	0,2	0,0028	0,02	0,01	0,003	0,0044	W:0,1, V:0,1	Sáng chế
4j	0,36	0,10	1,3	0,02	0,002	0,2	0,0030	0,03	0,01	0,003	0,0042	Ni:0,3, Cu:0,6	Sáng chế

Đơn vị của các giá trị trên là % theo khối lượng.

[Bảng 9]

Số	Thép	Trường hợp so sánh	Các nguyên tố cấu thành lớp hợp kim ở mặt phân cách giữa thép tấm và lớp mạ	Mật độ của các oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của oxit phức hợp Mn-Si (miếng/m ²)	Độ cứng mặt cắt của mẫu HS	Tạo ra rạn nứt ở mỗi khe				Nhiệt độ chuyển giòn-đẽ uốn (°C)	
							O: Không quan sát được	x: Quan sát được				
							8,9%	12,5%	21,4%	28,6%		
1	4a	Số 2 của ví dụ 3	Fe, Al, Mn, Cr, B	2,3x10 ⁴	5,0x10 ²	475	0	0	0	0	-65	Sáng chế
2	4b	Số 3 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	5,7x10 ⁴	6,7x10 ²	478	0	0	0	0	-70	Sáng chế
3	4c	Số 6 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	3,5x10 ⁴	6,7x10 ²	549	0	0	0	0	-72	Sáng chế
4	4d	Số 7 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	2,2x10 ⁴	6,7x10 ²	572	0	0	0	0	-61	Sáng chế
5	4e	Số 7 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	2,3x10 ⁴	6,7x10 ²	570	0	0	0	0	-63	Sáng chế
6	4f	Số 3 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	9,5x10 ³	1,7x10 ³	461	0	0	0	0	-77	Sáng chế
7	4g	Số 3 của ví dụ 1	Fe, Al, Mn, Cr, B	9,4x10 ³	1,7x10 ³	617	0	0	0	0	-64	Sáng chế
8	4h	Số 12 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	5,6x10 ⁴	4,2x10 ²	633	0	0	0	0	-52	Sáng chế
9	4i	Số 12 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	5,8x10 ⁴	4,2x10 ²	615	0	0	0	0	-54	Sáng chế
10	4j	Số 12 của ví dụ 2	Fe, Al, Mn, Cr, B	5,5x10 ³	4,2x10 ²	612	0	0	0	0	-54	Sáng chế

[Ví dụ 6]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và hai sản phẩm đúc với các thành phần hóa học khác nhau được chuẩn bị. Các thành phần hóa học mong muốn đối với mỗi miếng là như sau: C: 0,22%, Mn: 1,3%, P: 0,02% hoặc nhỏ hơn, S: 0,004% hoặc nhỏ hơn, Cr: 0,3%, B: 0,0025%, Ti: 0,01%, Al: 0,01%, N: 0,004% hoặc nhỏ hơn, O: 0,010% hoặc nhỏ hơn, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi. Các thành phần hóa học mong muốn đối với với miếng khác là như sau: C: 0,32%, Mn: 0,6%, P: 0,01% hoặc nhỏ hơn, S: 0,002% hoặc nhỏ hơn, Cr: 0,3%, B: 0,0025%, Ti: 0,01%, Al: 0,01%, N: 0,003% hoặc nhỏ hơn, O: 0,0050% hoặc nhỏ hơn, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Các thành phần trừ Si trước tiên được điều chỉnh đối với cả hai trường hợp. Si tương đương với 0,06% sau đó được bổ sung vào thép nóng chảy trong trường hợp trước và Si tương đương với 0,25% đối với trường hợp sau. Đối với cả hai trường hợp, thép nóng chảy được đúc trong các khuôn đúc 90 giây sau khi bổ sung Si.

Các sản phẩm đúc này được gia nhiệt đến 1200°C và cán nóng để tạo ra các thép tấm có độ dày khác nhau với nhiệt độ kết thúc là 900°C. Các độ dày của các thép tấm cán nóng là 5,6mm, 3,5mm, 3,0mm, 2,3mm, và 1,9mm. Nhiệt độ cuộn là 650°C đối với mỗi độ dày. Sau khi tẩy gỉ, các thép tấm cán nóng được cán nguội thành các thép tấm cán nóng có cùng độ dày là 1,4mm nhưng với các tỷ lệ giảm khác nhau.

Các thành phần hóa học thu được bằng cách ủ các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 10.

Các thép tấm cán nóng sau đó được ủ sử dụng dung dịch muối. Điều kiện ủ giữ các thép tấm trong thời gian 1 phút ở nhiệt độ 760°C.

Các miếng thử nghiệm có các kích thước là 200mm x 150mm được lấy và sau đó dập nóng. Mỗi miếng thử nghiệm được giữ ở nhiệt độ 900°C trong thời gian

5 phút và sau đó ép ngay và giữ trong thời gian 30 giây bởi hai khuôn dạng tấm trên và dưới được làm nguội bằng nước.

Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si được nghiên cứu bằng cùng phương pháp như trong ví dụ 2.

Bằng cùng quy trình sau đây như trong ví dụ 2, độ cứng mặt cắt ngang của mẫu HS được đo, và độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp được nghiên cứu lần lượt dựa vào thử nghiệm đục lỗ (có mặt hoặc không có mặt các rạn nứt) và thử nghiệm Charpy.

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trong bảng 11.

Không quan sát thấy oxit Mn có độ dài tối đa là $5\mu\text{m}$ hoặc lớn hơn đối với bất kỳ một trong số các thép tấm. Mật độ là xấp xỉ giống nhau đối với mọi thép tấm, bất kể tỷ lệ giảm cán nguội. Tuy nhiên, lưu ý rằng các mẫu số 1 và 6 có tỷ lệ giảm cán nguội là 25% và các mẫu số 5 và 10 có tỷ lệ giảm cán nguội là 74% được quan sát là có ít lỗ rỗng xung quanh hơn ba thép tấm có các tỷ lệ giảm cán nguội khác nhau. Kết quả là, các mẫu số 1, 5, 6, và 10 ít có khả năng chứa hydro, mà được xác định để gây ra sự mất cản trở tạo thành rạn nứt đối với các thép tấm được đục có các khe bằng 21,4% và 28,6%.

Mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si hầu như là giống nhau trong các trường hợp các tỷ lệ giảm cán nguội là 25% và 40%, trong lúc đó mật độ gia tăng trong trường hợp là 47% hoặc lớn hơn và gia tăng đáng kể trong trường hợp là 74%.

Mn-Si các oxit phức hợp có tính chất kéo trong cán nguội. Tuy nhiên, với tỷ lệ giảm là 25%, tỷ lệ của các oxit được kéo không lớn. Khi tỷ lệ giảm gia tăng đến 40%, 47%, và 61%, tỷ lệ của các oxit kéo được quan sát là gia tăng. Tuy nhiên, với tỷ lệ giảm là 74%, tỷ lệ của các oxit được kéo giảm tới mức tỷ lệ giảm là 25% mặc dù các oxit có độ dài theo chiều dọc vượt quá $10\mu\text{m}$ được quan sát không thường xuyên. Đây có lẽ bởi vì một số oxit đã hút được tách, điều đó dẫn đến các kết quả quan sát được về tỷ lệ của các oxit đã hút giảm trong lúc mật độ của các oxit gia tăng đáng kể. Cả độ dài tối đa của oxit Mn phát hiện được lẫn độ dài trực

ngăn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được là 1 μm hoặc lớn hơn.

Tỷ lệ giảm cán nguội trong cán nguội là rất quan trọng vì nó ảnh hưởng mạnh tới độ dai ở nhiệt độ thấp nhờ tỷ lệ của các oxit được hút. Tỷ lệ giảm cán nguội cần nằm trong khoảng từ 35 đến 70%. Fig.4 minh họa tương quan giữa tỷ lệ giảm cán nguội và nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn, các số liệu về nó được thể hiện trong bảng 11. Đã phát hiện ra rằng nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn có thể là thấp hơn, và có thể thu được các thép tấm có độ dai tuyệt vời ở nhiệt độ thấp bằng cách giới hạn tỷ lệ giảm cán nguội tới khoảng theo sáng chế.

[Bảng 10]

Thép số	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O	
5a	0,22	0,06	1,3	0,02	0,004	0,3	0,0025	0,01	0,01	0,004	0,0078	Sáng chế
5b	0,32	0,20	0,6	0,01	0,002	0,3	0,0025	0,01	0,01	0,003	0,0044	Sáng chế

Đơn vị của các giá trị trên là % theo khối lượng.

[Bảng 11]

Số	Thép	Tỷ lệ giảm cán nguội (độ dày của thép tấm cán nóng)	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của oxit phức hợp Mn-Si (miếng/mm ²)	Độ cứng mặt cắt của mẫu HS	Tạo ra rạn nứt ở mỗi khoảng hở o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển giòn-dễ uốn (°C)	
1	5a	<u>25%</u> (5,6mm)	1,8x10 ⁴	2,5x10 ²	450	0	0	x	x	-52	Ví dụ so sánh
2		40% (3,5mm)	1,9x10 ⁴	2,5x10 ²	452	0	0	0	0	-64	Sáng chế
3		47% (3,0mm)	1,9x10 ⁴	1,6x10 ³	455	0	0	0	0	-65	Sáng chế
4		61% (2,3mm)	1,8x10 ⁴	1,7x10 ³	451	0	0	0	0	-67	Sáng chế
5		<u>74%</u> (1,9mm)	1,9x10 ⁴	3,5x10 ³	460	0	0	x	x	-47	Ví dụ so sánh
6	5b	<u>25%</u> (5,6mm)	1,3x10 ⁴	8,3x10 ²	600	0	0	x	x	-45	Ví dụ so sánh
7		40% (3,5mm)	1,2x10 ⁴	7,5x10 ²	594	0	0	0	0	-53	Sáng chế
8		47% (3,0mm)	1,3x10 ⁴	8,3x10 ²	592	0	0	0	0	-55	Sáng chế
9		61% (2,3mm)	1,3x10 ⁴	1,1x10 ³	590	0	0	0	0	-55	Sáng chế
10		<u>74%</u> (1,9mm)	1,5x10 ⁴	3,1x10 ³	602	0	0	x	x	-40	Ví dụ so sánh

Các giá trị được gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

[Ví dụ 7]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và các sản phẩm đúc được chuẩn bị. Các thành phần hóa học mong muốn là như sau: C: 0,26%, Mn: 1,0%, P: 0,02% hoặc nhỏ hơn, S: 0,004% hoặc nhỏ hơn, Cr: 0,3%, B: 0,0020%, Ti: 0,01%, Al: 0,01%, N: 0,004% hoặc nhỏ hơn, O: 0,010% hoặc nhỏ hơn, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi.

Các thành phần trừ Si trước tiên được điều chỉnh và Si tương đương với 0,15% được bổ sung vào thép nóng chảy. Sau đó, 90 giây sau khi bổ sung Si, thép nóng chảy được đúc trong khuôn đúc đối với mỗi trường hợp.

Các sản phẩm đúc được gia nhiệt đến 1250°C và cán nóng thành các thép tấm cán nóng có độ dày 3,0mm với nhiệt độ kết thúc là 910°C, và nhiệt độ cuộn là 600°C. Sau khi tẩy gỉ, các thép tấm cán nóng được cán nguội để thu được các thép tấm cán nóng có độ dày 1,5mm.

Các thành phần hóa học thu được bằng cách phân tích các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 12.

Các thép tấm cán nóng sau đó được ủ và mạ liên tục sử dụng mẫu tạo hình nhúng nóng. Việc ủ được thực hiện bằng cách giữ thép tấm trong thời gian 1 phút ở nhiệt độ 760°C. Các kiểu mạ gồm mạ Al, mạ Zn, và mạ Zn hợp kim.

Để mạ Al, dung dịch Al - 10%Si có nhiệt độ dung dịch là 670°C được sử dụng và độ dày lớp mạ mong muốn được đặt là 40µm. Để mạ Zn, dung dịch Zn - 0,15%Al với nhiệt độ dung dịch là 460°C được sử dụng và độ dày mạ mong muốn được đặt là 30µm. Sự tạo hợp kim của lớp mạ Zn được tiến hành bao gồm sự gia nhiệt đến nhiệt độ 480°C. Độ dày lớp mạ được điều chỉnh sử dụng thiết bị làm sạch bằng khí đối với mỗi loại lớp mạ.

Các thép tấm mạ được dập nóng dưới điều kiện gia nhiệt là 900°C trong thời gian 5 phút. Thép tấm không mạ nhằm mục so sánh và thép tấm mạ Al được dập nóng ngay sau khi sự gia nhiệt được hoàn tất. Ngược lại, thép tấm mạ Zn và thép tấm mạ Zn hợp kim được làm nguội bằng không khí để nhiệt độ 750°C sau

khi sự gia nhiệt được hoàn tất, và sau đó dập nóng. Mỗi một trong số các tấm được ép và giữ trong thời gian 30 giây bởi hai khuôn trên và dưới được làm nguội bằng nước và tạo dạng thành bảng dẹt và hình dạng dưới dạng sơ đồ được minh họa trong Fig.5 (dạng mũ). Trên Fig.5, tất cả các số liệu, mà thể hiện các kích thước, được thể hiện làm mm.

Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn và các oxit phức hợp Mn-Si trong các mẫu HS có dạng phẳng được đo theo cùng cách như trong ví dụ 2.

Bảng cùng quy trình sau đây như trong ví dụ 2, độ cứng mặt cắt ngang được đo, và độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp được nghiên cứu dựa vào thử nghiệm đục lỗ (có hay không có rạn nứt) và tương ứng về thử nghiệm Charpy. Trong các thử nghiệm đục lỗ, không các thép tấm mạ thể hiện khuyết tật này như sự tách ở mặt phân cách giữa lớp mạ và kim loại nền (thép tấm).

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trong bảng 13. Các kết quả của thép tấm không mạ cũng được thể hiện. Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa là 5 μm hoặc lớn hơn. Cũng không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá 10 μm . Ngoài ra, cả độ dài tối đa phát hiện được của các oxit Mn lẫn độ dài trực ngắn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được là 1 μm hoặc lớn hơn.

Mật độ của các oxit Mn trong mỗi mẫu nằm trong khoảng theo sáng chế và không quan sát được sự tạo thành rạn nứt đối với mỗi loại khoảng hở. Các kết quả thể hiện độ bền mặt gãy trễ tuyệt vời của sáng chế được phát triển, thậm chí đối với các thép tấm mạ.

Mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si trong mỗi mẫu nằm trong khoảng theo sáng chế. Điều đó thể hiện rằng độ dai ở nhiệt độ thấp tuyệt vời được phát triển thậm chí đối với các thép tấm mạ.

Các mẫu HS được tạo hình thành các dạng mũ được quan sát chi tiết. Các kích thước của bất kỳ một trong số các thép tấm mạ sau khi tạo hình chính xác giống như các kích thước của các thép tấm không mạ sau khi tạo hình. Không có khuyết tật như rạn nứt hoặc các vết trầy phát hiện được trên lớp mạ.

Độ cứng Vickers được đo ở mặt cắt ngang (ở tâm của bề dày) cùng với đường đứt nét trên Fig.5. Điểm đo chứa P1 ở tâm của mép trên của mũ, điểm ở 10mm và 20mm cách xa P1 dọc theo đường đứt nét, P2 ở đầu của phần vê tròn ở vai, điểm ở 10mm, 20mm, và 30mm cách xa P2 dọc theo đường đứt nét, điểm ở 10mm cách xa P3 ở đầu của mép dưới dọc theo đường đứt nét. Các kết quả được thể hiện trong bảng 14. Độ cứng Vickers thu được ở mặt cắt ngang của mẫu HS là từ 480 đến 488 dọc theo mép trên và mép dưới, cả hai mẫu được dập ở tốc độ làm nguội cao, và 459 đến 469 dọc theo phần thành dọc, mà được làm nguội ở tốc độ làm nguội tương đối thấp. Các kết quả này là giống nhau bất kể có hay không có lớp mạ và loại lớp mạ.

Các kết quả thể hiện rằng, nhờ việc sử dụng thép tấm theo sáng chế, chi tiết có độ bền cao có thể được tạo ra một cách dễ dàng và thép tấm mạ cũng có thể được sử dụng làm thép tấm có độ bền cao để bổ sung các tính đặc tính cần thiết bao gồm cả sức chịu ăn mòn, các thép này là tuyệt vời về độ bền mặt gãy trễ và độ dai ở nhiệt độ thấp.

[Bảng 12]

Thép số	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O	
6a	0,26	0,13	0,96	0,02	0,004	0,3	0,0022	0,01	0,01	0,004	0,0066	Sáng chế

Đơn vị của các giá trị trên là % theo khối lượng.

[Bảng 13]

Số	Kiểu mạ	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của oxit phức hợp Mn-Si (miếng/mm ²)	Độ cứng mặt cắt của mẫu HS	Tạo ra rạn nứt ở mỗi khoảng hở o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển giòn-dễ uốn (°C)	
					8,9%	12,5%	21,4%	28,6%		
1	Không mạ	$5,7 \times 10^4$	$6,7 \times 10^2$	493	o	o	o	o	-63	Sáng chế
2	Mạ Al	$5,6 \times 10^4$	$6,7 \times 10^2$	488	o	o	o	o	-64	Sáng chế
3	Mạ Zn	$5,7 \times 10^4$	$6,7 \times 10^3$	490	o	o	o	o	-65	Sáng chế
4	Mạ Zn hợp kim	$5,7 \times 10^4$	$6,7 \times 10^3$	489	o	o	o	o	-63	Sáng chế

[Bảng 14]

Số	Kiểu mạ	Mép trên			Vách đứng				Mép dưới
		P1	10mm từ P1	20mm từ P1	P2	10mm từ P2	20mm từ P2	30mm từ P2	
1	Không được mạ	483	488	485	469	462	460	468	10mm từ P3 480
2	Mạ Al	480	483	483	466	462	458	468	482
3	Mạ Zn	482	485	484	466	460	460	462	486
4	Mạ Zn hợp kim	481	484	486	469	465	459	464	488

[Ví dụ 8]

Các vật liệu thô được nấu chảy bằng cách sử dụng nồi lò nấu chảy cỡ nhỏ và các thành phần hóa học được điều chỉnh để chứa các thành phần sau: C: 0,26%, Mn: 2,2%, P: 0,02%, S: 0,004%, Cr: 0,2%, B: 0,0020%, Ti: 0,01%, Al: 0,002%, N: 0,004%, O: 0,020%, và phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi. Si do đó được bổ sung vào thép nóng chảy ở nồng độ là 0,17%. Thép nóng chảy được nạp vào khuôn đúc, thao tác này được lặp lại 6 lần với việc nạp trước tiên là 10 giây sau khi bổ sung Si và sau đó nạp ở các thời khoảng từ 25 đến 50 giây.

Mỗi sản phẩm đúc thu được được gia nhiệt đến nhiệt độ 1200°C và được cán nóng thành thép tấm cán nóng có độ dày 2,8mm với nhiệt độ kết thúc là 900°C và nhiệt độ cuộn là 600°C. Sau khi tẩy gỉ, thép tấm cán nóng được cán nguội và thu được thép tấm cán nguội có độ dày 1,4mm. Các kết quả phân tích đối với các thành phần hóa học sau của các thép tấm cán nóng được thể hiện trong bảng 15. Các thành phần hóa học của thép tấm bất kỳ nằm trong khoảng theo sáng chế.

Các thép tấm cán nguội thu được được nhúng trong dung dịch muối và ủ ở nhiệt độ 800°C trong thời gian 1 phút và thu được các thép tấm để dập nóng. Việc dập nóng được tiến hành bằng quy trình sau: mỗi thép tấm để dập nóng được giữ ở nhiệt độ 900°C trong thời gian 5 phút và sau đó lấy ra và dập ngay và giữ trong thời gian 30 giây bởi hai khuôn dạng tấm trên và dưới được làm nguội bằng nước.

Mặt cắt ngang của mỗi mẫu dập nóng (sau đây được gọi là mẫu HS), mà được lấy song song với hướng cán nguội, được quan sát bằng cách sử dụng SEM. Kích cỡ và mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si được đo bằng các phương pháp trên đây.

Miếng thử nghiệm dùng cho thử nghiệm kéo theo JIS số 5 được tách ra khỏi mẫu HS sao cho hướng kéo trở nên vuông góc với hướng cán nguội. Độ bền kéo và lượng kéo dài (tổng giãn dài tương ứng với độ dài định cỡ là 50mm)

được đo sử dụng miếng thử nghiệm này.

Miếng thử nghiệm 100mm x 100mm để đánh giá độ bền mặt gãy trễ và miếng thử nghiệm đối với thử nghiệm Charpy được lấy ra khỏi mỗi một trong số các mẫu HS. Về các miếng thử nghiệm đối với thử nghiệm Charpy, hướng dọc của mỗi miếng thử nghiệm là thẳng hàng song song với hướng cán nguội.

Lỗ có đường kính 10mmφ được đục ở tâm của lỗ thẳng hàng với mặt giao cắt của các đường chéo của miếng thử nghiệm 100mm x 100mm để đánh giá độ bền mặt gãy trễ. Các khoảng hở là 8,9% (10,25mmφ), 12,5% (10,35mmφ), 21,4% (10,60mmφ), và 28,6% (10,80mmφ), trong đó các số liệu trong ngoặc đơn thể hiện đường kính trong của mỗi khuôn. Số lượng đục lỗ là 5/khoảng hở. Bề mặt vách của mỗi lỗ đục được quan sát chi tiết để nhận dạng có hay không có sự rạn nứt.

Các thử nghiệm Charpy được tiến hành ở các nhiệt độ thử nghiệm là 20°C, 0°C, -20°C, -40°C, -60°C, -80°C, -100°C, và -120°C, và nhiệt độ chuyển uồn-hóa giòn được xác định dựa vào các thay đổi về năng lượng hấp thụ.

Các kết quả của các thử nghiệm nêu trên được nêu trong bảng 16.

Không quan sát được oxit Mn có độ dài tối đa vượt quá 5μm. Cũng không quan sát được oxit phức hợp Mn-Si có độ dài theo chiều dọc vượt quá 10μm. Ngoài ra, cả độ dài tối đa của các oxit Mn phát hiện được lẫn độ dài trực ngắn của các oxit phức hợp Mn-Si phát hiện được là 1μm hoặc lớn hơn.

Sự thay đổi về các mật độ của các oxit Mn và các oxit phức hợp Mn-Si có thể được giải thích bởi thời gian trôi qua giữa công đoạn bổ sung Si và công đoạn đúc, mà là giống như trong các ví dụ khác được mô tả từ trước. Tuy nhiên, trong ví dụ này, trường hợp như được thử nghiệm trong đó hàm lượng của Mn và hàm lượng ban đầu của oxy là cao và việc đúc được tiến hành ngay sau khi bổ sung Si (10 giây sau). Kết quả này thu được trong các thép tấm (8a-1 và 8a-2), trong đó mật độ của các oxit Mn vượt quá giới hạn trên của khoảng theo sáng chế. Một trường hợp khác được thử nghiệm tiếp, trong đó việc đúc được tiến hành vào thời điểm 175 giây và 200 giây sau khi bổ sung Si. Kết quả này

thu được trong thép tấm (8a-5), trong đó mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si vượt quá giới hạn trên của khoảng theo sáng chế, và cũng thu được trong thép tấm (8a-6), trong đó các mật độ của cả các oxit Mn lẫn các oxit phức hợp Mn-Si nằm ngoài khoảng theo sáng chế.

Đối với các thép tấm 8a-3 và 8a-4, các mật độ của cả các oxit Mn và các oxit phức hợp Mn-Si nằm trong khoảng theo sáng chế. Do đó, các thép tấm này thể hiện không có sự mất gãy trễ, độ dai tuyệt vời với các nhiệt độ chuyển uốn-hóa giòn nằm trong khoảng từ -67°C đến -65°C , độ bền kéo khoảng 1600MPa, và độ giãn dài là khoảng 9%, tất cả tính chất này là tuyệt vời.

Ngược lại, trong trường hợp (8a-6) trong đó mật độ của các oxit Mn nằm dưới giới hạn dưới của khoảng theo sáng chế, độ bền mất gãy trễ được phát hiện là kém do sự tạo thành rạn nứt được quan sát trong bất kỳ một trong số các khoảng hở.

Trong các trường hợp (8a-1 và 8a-2) trong đó mật độ của các oxit Mn vượt quá giới hạn trên của khoảng theo sáng chế, và cũng như trong các trường hợp (8a-5 và 8a-6), trong đó mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si vượt quá giới hạn trên của khoảng theo sáng chế, khả năng uốn được được thấy là kém hơn khả năng của các mẫu HS khác nằm trong khoảng theo sáng chế.

Trong trường hợp (8a-1) trong đó mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si nằm dưới giới hạn dưới của khoảng theo sáng chế, nhiệt độ chuyển hóa giòn-uốn là cao hơn trong các trường hợp khác và bởi vậy độ dai được thấy là kém. Trong trường hợp là 8a-2, mật độ của các oxit Mn vượt quá giới hạn trên của khoảng theo sáng chế trong khi mật độ của các oxit phức hợp Mn-Si nằm trong khoảng theo sáng chế, mà được coi là giảm nhẹ độ dai.

[Bảng 15]

Thép số	Thời gian trôi qua giữa bổ sung Si và cán (giây)	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Ti	Al	N	O
8a-1	10	0,26	0,17	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0180
8a-2	35	0,26	0,14	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0114
8a-3	85	0,26	0,12	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0018	0,01	0,002	0,004	0,0065
8a-4	125	0,26	0,12	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0020	0,01	0,002	0,004	0,0058
8a-5	175	0,26	0,12	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0019	0,01	0,002	0,004	0,0059
8a-6	200	0,26	0,12	2,2	0,02	0,004	0,2	0,0022	0,01	0,002	0,004	0,0062

Đơn vị của các thành phần hóa học là % theo khối lượng.

[Bảng 16]

Số	Thép	Mật độ của oxit Mn (miếng/mm ²)	Mật độ của oxit phức hợp Mn-Si (miếng/mm ²)	Sự tạo ra rạn nứt ở mỗi khoảng hở o: Không quan sát được x: Quan sát được				Nhiệt độ chuyển giòn-dễ uốn (°C)	Độ bền kéo (MPa)	Tỷ lệ giãn dài (%)	Ghi chú
				8,9%	12,5%	21,4%	28,6%				
1	8a-1	<u>1,4x10⁵</u>	0 (không phát hiện được)	o	o	o	o	-22	1590	3,6	Ví dụ so sánh
2	8a-2	<u>1,1x10⁵</u>	1,7x10 ²	o	o	o	o	-41	1594	4,3	Ví dụ so sánh
3	8a-3	6,6x10 ⁴	4,1x10 ²	o	o	o	o	-67	1602	9,1	Sáng chế
4	8a-4	2,2x10 ⁴	2,5x10 ³	o	o	o	o	-65	1598	8,8	Sáng chế
5	8a-5	5,1x10 ³	<u>5,1x10³</u>	o	o	o	o	-60	1592	4,2	Ví dụ so sánh
6	8a-6	<u>4,9x10³</u>	<u>5,3x10³</u>	x	x	x	x	-61	1597	3,8	Ví dụ so sánh

Các giá trị được gạch chân nằm ngoài khoảng của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thép tấm cán nguội có độ bền cao chỉ chứa các thành phần hóa học sau, tính theo % khối lượng:

C: nằm trong khoảng từ 0,20 đến 0,42%,

Si: nằm trong khoảng từ 0,06 đến 0,5%,

Mn: nằm trong khoảng từ 0,2 đến 2,2%,

Cr: nằm trong khoảng từ 0,1 đến 2,5%,

B: nằm trong khoảng từ 0,0005 đến 0,01%,

O: nằm trong khoảng từ 0,0020 đến 0,020%,

Al: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,03%,

Ti: nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,05%,

Nb: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,1%,

Mo: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%,

W: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%,

V: nằm trong khoảng từ 0 đến 0,5%,

Ni: nằm trong khoảng từ 0 đến 5,0%,

Cu: nằm trong khoảng từ 0 đến 1,0%,

N: 0,1% hoặc nhỏ hơn,

P: 0,03% hoặc nhỏ hơn,

S: 0,02% hoặc nhỏ hơn, và

phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh khỏi,

trong đó trong thép này, các oxit Mn có độ dài tối đa là 1µm hoặc lớn hơn đến 5µm hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ từ 5×10^3 miếng/mm² hoặc lớn hơn đến 1×10^5 miếng/mm² hoặc nhỏ hơn, và

các oxit phức hợp của Mn-Si có độ dài trực ngắn là 1µm hoặc lớn hơn và

độ dài theo chiều dọc là $10\mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn có mặt với mật độ từ $1,7 \times 10^2$ miếng/ mm^2 hoặc lớn hơn đến 5×10^3 miếng/ mm^2 hoặc nhỏ hơn, và

trong đó tấm thép này có tỷ lệ giảm cán nguội nằm trong khoảng từ 35 đến 70%.

2. Thép tấm cán nguội có độ bền cao theo điểm 1, trong đó thép tấm này còn chứa một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ nhóm chỉ gồm có các thành phần sau, tính theo % khối lượng:

Nb: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,1%,

Mo: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 1,0%,

W: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,5%,

V: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,5%,

Ni: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 5,0%, và

Cu: nằm trong khoảng từ 0,01 đến 1,0%.

3. Thép tấm cán nguội có độ bền cao theo điểm 1 hoặc 2, trong đó thép tấm này được mạ.

4. Thép tấm cán nguội có độ bền cao theo điểm 3, trong đó thép tấm này có lớp Al mạ nhúng nóng trên bề mặt của nó, trong đó lớp hợp kim Fe-Al-Mn-Cr-B có mặt ở mặt phân cách giữa lớp Al và thép tấm, và trong đó lớp hợp kim này có độ dày nằm trong khoảng từ $1\mu\text{m}$ đến $10\mu\text{m}$.

5. Chi tiết có độ bền cao có độ bền kéo là 1500MPa hoặc lớn hơn, thu được bằng quy trình mà trong đó thép tấm có độ bền cao theo điểm 1 hoặc điểm 2 được nung đến nhiệt độ mà tại đó ít nhất một phần thép tấm được chuyển hóa thành pha auxtenit, và sau đó được dập bằng khuôn sao cho bước tạo hình và tôi được tiến hành trong một quy trình.

6. Chi tiết có độ bền cao, có độ bền kéo là 1500MPa hoặc lớn hơn thu được bằng quy trình mà trong đó thép tấm có độ bền cao theo điểm 3 hoặc điểm 4 được nung đến nhiệt độ mà tại đó ít nhất một phần thép tấm được chuyển hóa thành pha auxtenit, và sau đó được dập bằng khuôn sao cho bước tạo hình và tôi được tiến

hành trong một quy trình.

FIG. 1

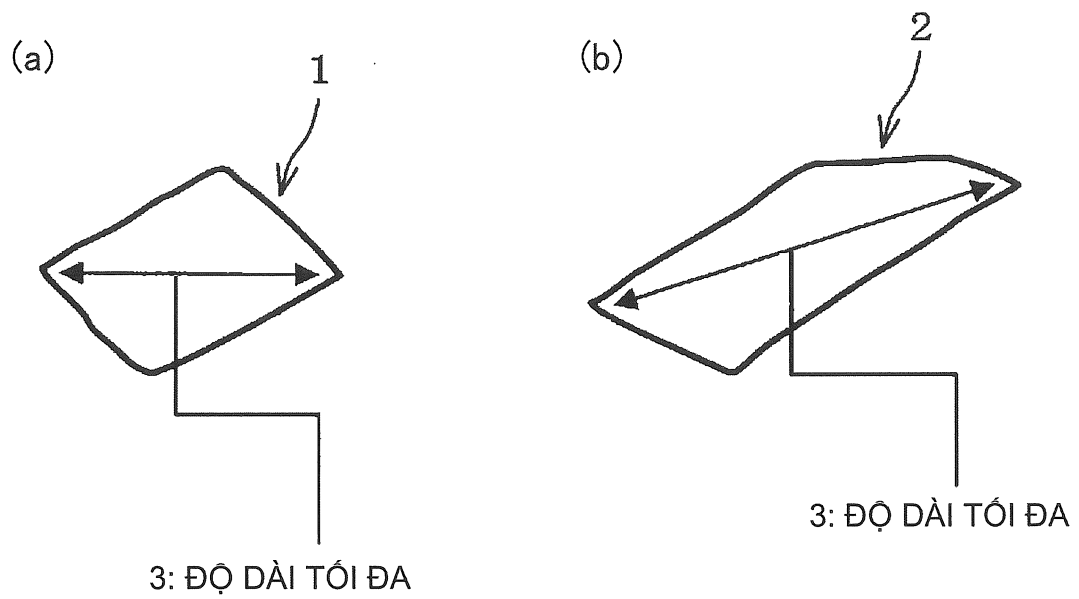


FIG. 2

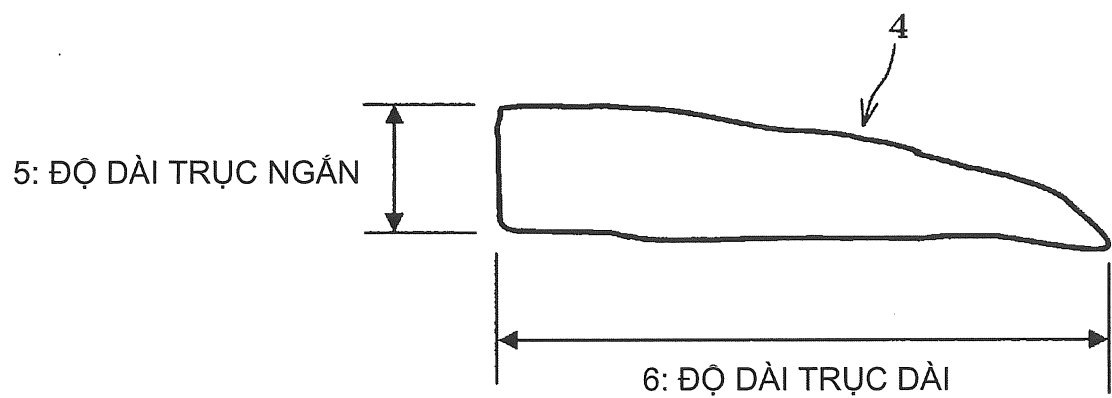


FIG. 3

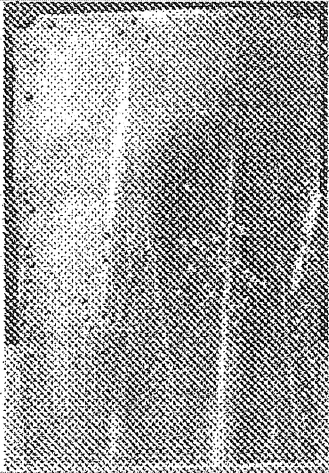
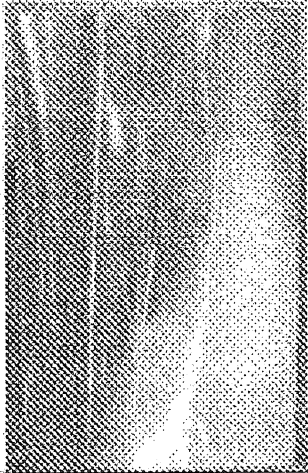
(a)	(b)
Số 2	Số 3
0,020%Si	0,060%Si
	

FIG. 4

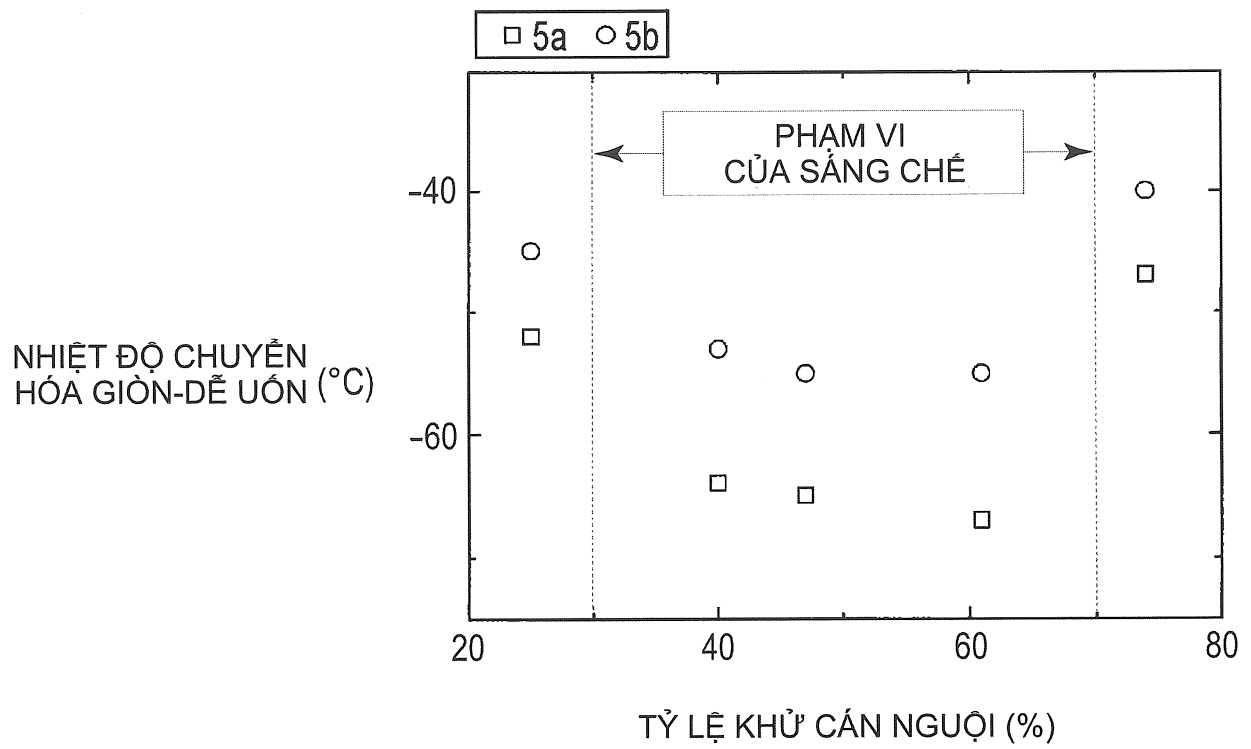


FIG. 5

