



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
1-0048172
(51)^{2022.01} C21C 7/072; C21C 7/10; C21C 7/00; (13) B
C21C 7/06

(21) 1-2023-00178 (22) 20/05/2021
(86) PCT/JP2021/019248 20/05/2021 (87) WO 2021/256161 23/12/2021
(30) 2020-104061 16/06/2020 JP
(45) 25/07/2025 448 (43) 25/05/2023 422A
(73) JFE STEEL CORPORATION (JP)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011, Japan
(72) HARADA Akifumi (JP); MATSUI Akitoshi (JP); NAKAI Yoshie (JP); KONDO
Hirokazu (JP).
(74) Công ty Cổ phần Sở hữu công nghiệp INVESTIP (INVESTIP)

(54) PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT THÉP CÓ ĐỘ SẠCH CAO

(21) 1-2023-00178

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao mà ngăn chặn hoàn toàn hơn sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ và có tuổi thọ mỗi cán ưu việt. Theo sáng chế, quá trình tinh luyện trong thùng rót bao gồm giai đoạn thứ nhất mà trong đó công suất khuấy của thép nóng chảy là giá trị thứ nhất, và giai đoạn thứ hai tiếp theo mà trong đó công suất khuấy của thép nóng chảy là giá trị thứ hai, mà nhỏ hơn giá trị thứ nhất. Al được bổ sung vào thép nóng chảy tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai. Sau đó, thời gian t (phút) từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót trong giai đoạn thứ hai thỏa mãn mối quan hệ $t \leq 1,6 \times 10^5 \times (V/A)^{2/3} \times \varepsilon_2^{-1/3} \times (a_{\text{O}}/a_{\text{MgO}})$, trong đó V : thể tích (m^3) của thép nóng chảy, A : diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ (m^2), ε_2 : công suất khuấy (W/t) của thép nóng chảy trong giai đoạn thứ hai, a_{O} : hoạt độ của oxy (-) trong thép nóng chảy sau khi bổ sung Al trong giai đoạn thứ hai, và a_{MgO} : hoạt độ của MgO (-) trong xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp sản xuất thép với lượng bao thể phi kim gốc oxit thấp, nghĩa là, thép có độ sạch cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong các vật liệu thép điển hình như thép chịu lực, mà cần có độ êm và tuổi thọ mỗi cán ướt, cần phải giảm các bao thể phi kim trong thép càng nhiều càng tốt. Các bao thể phi kim trong thép bao gồm các sản phẩm khử oxy gốc oxit được tạo ra trong quá trình khử oxy, các sản phẩm từ việc lẫn xỉ hoặc vật liệu chịu lửa, và cacbua, nitrua, và sulfua của các nguyên tố hợp kim trong thép.

Khi quá trình khử oxy bằng Al được thực hiện lên thép nóng chảy để tạo ra các sản phẩm thép chẳng hạn như thép chịu lực, các bao thể ngay sau quá trình khử oxy về cơ bản là các bao thể gốc Al_2O_3 . Tuy nhiên, điều đã được biết đến là các bao thể gốc Al_2O_3 tạo thành kết tụ với các bao thể gốc CaO có nguồn gốc từ xỉ lơ lửng trong thép nóng chảy để tạo thành các bao thể gốc CaO- Al_2O_3 và Al trong thép nóng chảy phản ứng với MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa để tạo ra Mg trong thép, từ đó phản ứng với các bao thể gốc Al_2O_3 trong thép để tạo thành các bao thể gốc MgO- Al_2O_3 . Trong số các bao thể này, các bao thể gốc MgO- Al_2O_3 cứng và có ảnh hưởng lớn đến tuổi thọ mỗi cán, và do đó việc làm giảm chúng là một vấn đề quan trọng. Do đó, điều quan trọng là phải có phương thức bổ sung Al thích hợp làm chất khử oxy để hạn chế quá trình khử MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa.

Các công nghệ sau đây được biết đến với phương thức bổ sung Al làm chất khử oxy trong quá trình sản xuất thép có độ sạch cao như này. Tài liệu sáng chế 1 (JP2009074151A) mô tả phương pháp mà trong đó, trong quá trình tinh luyện trong thùng rót, quá trình khử oxy được thực hiện bằng cách sử dụng chất khử oxy khác với Al và chứa Si, và sau đó, khi lượng oxy hòa tan trong thép nóng chảy ở mức 30 ppm hoặc nhỏ hơn, quá trình khử oxy được thực hiện bằng cách sử dụng chất khử oxy chứa Al với lượng Al trong thép nóng chảy thỏa mãn nhỏ hơn 0,010 %. Tài liệu sáng chế 2 (JP2012132094A)

mô tả phương pháp mà trong đó, trong việc xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy trong quá trình tinh luyện trong thùng rót, nhôm không được bổ sung vào thép nóng chảy, hoặc nếu nhôm được bổ sung, nồng độ nhôm trong thép nóng chảy là 0,003 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Tài liệu sáng chế 3 (JP2018141221A) mô tả phương pháp mà trong đó, trong quá trình tinh luyện trong thùng rót, chất trợ dung chứa CaO, SiO₂, Al₂O₃, và MgO được bổ sung vào thép nóng chảy không được bổ sung Al để thực hiện tinh luyện, Al được bổ sung vào thép nóng chảy trong quá trình tinh luyện trong tổng thời gian xử lý từ 40 phút đến 80 phút, và sau đó, quá trình được hoàn tất trong vòng 30 phút.

Danh sách tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: JP2009074151A

Tài liệu sáng chế 2: JP2012132094A

Tài liệu sáng chế 3: JP2018141221A

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

(Vấn đề kỹ thuật)

Tuy nhiên, các công nghệ thông thường nêu trên có các vấn đề sau. Có nghĩa là, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ rằng, khi lượng oxy hòa tan trong thép nóng chảy ở mức 30 ppm hoặc nhỏ hơn, quá trình khử oxy được thực hiện bằng cách sử dụng chất khử oxy chứa Al với lượng Al trong thép nóng chảy thỏa mãn nhỏ hơn 0,010 %. Tuy nhiên, ngay cả khi nếu nồng độ Al thấp, nếu thời gian xử lý sau khi bổ sung Al bị kéo dài, có sự lo ngại về sự hình thành của các bao thể gốc MgO-Al₂O₃ như Mg được tạo ra bằng cách khử MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa phản ứng với các bao thể gốc Al₂O₃.

Tài liệu sáng chế 2 bộc lộ rằng, trong việc xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy, Al không được bổ sung vào thép nóng chảy, hoặc nếu Al được bổ sung, thì nồng độ Al trong thép nóng chảy là 0,003 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Tuy nhiên, ngay cả khi nếu Al không được bổ sung, nếu thời gian xử lý bị kéo dài, thì Al bị khử từ xỉ có thể khử MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa để tạo

thành các bao thể $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$. Ngay cả khi nếu nồng độ Al được bổ sung thấp đến 0,003 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, tài liệu sáng chế 2 không đề cập cụ thể đến thời điểm bổ sung Al, tương tự như tài liệu sáng chế 1. So, nếu thời gian xử lý gia nhiệt hoặc thời gian sau khi bổ sung Al bị kéo dài, sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ có thể xảy ra.

Tài liệu sáng chế 3 bộc lộ rằng thời gian xử lý sau khi bổ sung Al trong quá trình tinh luyện trong thùng rót là trong vòng 30 phút để ngăn chặn quá trình khử MgO trong xỉ. Tuy nhiên, theo nghiên cứu của các tác giả sáng chế, đã phát hiện ra rằng, ngay cả khi nếu thời gian xử lý sau khi bổ sung Al là trong vòng 30 phút, thì hiệu quả hạn chế sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ bằng cách hạn chế quá trình khử MgO trong xỉ vẫn còn có thể cải thiện được hơn nữa.

Xét đến các vấn đề được mô tả ở trên, có thể hữu ích nếu đề xuất ra phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao mà hạn chế hoàn toàn hơn sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ và có tuổi thọ mỗi cán ưu việt.

(Giải pháp cho vấn đề)

Các tác giả sáng chế đề xuất:

[1] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao, phương pháp này bao gồm các bước:

lưu trữ thép nóng chảy không được bổ sung Al được xả ra từ lò chuyển hoặc lò điện, trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

quá trình tinh luyện trong thùng rót để tinh luyện thép nóng chảy trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, bao gồm xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy mà đưa khí vào trong thép nóng chảy trong khi gia nhiệt thép nóng chảy bằng cách phóng điện hồ quang, và

sau đó tinh luyện thép nóng chảy ở trong thiết bị khử khí chân không,

trong đó quá trình tinh luyện trong thùng rót bao gồm giai đoạn thứ nhất mà trong đó công suất khuấy $\dot{E}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ nhất $\dot{E}_1$, và giai đoạn thứ hai tiếp theo mà trong đó công suất khuấy $\dot{E}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ hai $\dot{E}_2$, mà nhỏ hơn giá trị thứ nhất $\dot{E}_1$, trong

đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy được tính toán theo công thức (1),

giai đoạn thứ nhất được thực hiện trong trạng thái mà chất trợ dung chứa CaO, SiO₂, Al₂O₃, và MgO được bổ sung vào thép nóng chảy và xỉ tồn tại tiếp xúc với thép nóng chảy,

Al được bổ sung vào thép nóng chảy tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai, và

sau đó, quá trình tinh luyện trong thùng rót kết thúc tại thời điểm khi công thức (2) dưới đây được thỏa mãn:

$$\dot{\epsilon} = \frac{6,18 Q_g T_L}{W} \left\{ \ln \left(1 + \frac{h}{1,46 \times 10^{-5} P_0} \right) + 0,06 \left(1 - \frac{298}{T_L} \right) \right\} \dots (1)$$

trong đó

Q_g : lưu lượng (Nm³/phút) của khí,

T_L : nhiệt độ (K) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

W : khối lượng (t) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

h : độ sâu (m) của thép nóng chảy ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, và

P_0 : áp suất khí quyển (Pa) ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, và

$$t \leq 1,6 \times 10^5 \times (V/A)^{2/3} \times \dot{\epsilon}_2^{-1/3} \times (a_0/a_{MgO}) \dots (2)$$

trong đó

t : thời gian (phút) từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót,

V : thể tích (m³) của thép nóng chảy,

A : diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ (m²),

$\dot{\epsilon}_2$: công suất khuấy (W/t) của thép nóng chảy trong giai đoạn thứ hai,

a_0 : hoạt độ của oxy (-) trong thép nóng chảy sau khi bổ sung Al trong giai đoạn thứ hai, và

a_{MgO} : hoạt độ của MgO (-) trong xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai.

[2] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục [1], phương pháp này bao gồm các bước:

thu các giá trị của năm tham số ở vế phải của công thức (2),

thay thế các giá trị thu được của năm tham số vào trong công thức (2), và xác định thời gian t (phút) để thỏa mãn công thức (2), và

kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót theo thời gian xác định t .

[3] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục [1] hoặc [2], trong đó $55 < \varepsilon_1 \leq 105$, và $25 \leq \varepsilon_2 \leq 55$.

[4] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [3], trong đó tổng thời gian xử lý của quá trình tinh luyện trong thùng rót là từ 50 phút đến 100 phút, và từ 40 % đến 70 % tổng thời gian xử lý là giai đoạn thứ nhất, và thời gian còn lại là giai đoạn thứ hai.

[5] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [4], trong đó hợp phần của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót thỏa mãn:

$$3,0 \leq CaO/SiO_2 \leq 12,0,$$

$$1,0 \leq CaO/Al_2O_3 \leq 3,0,$$

$$MgO \leq 8,0 \% \text{ theo khối lượng, và}$$

$$T.Fe + MnO \leq 1,5 \% \text{ theo khối lượng.}$$

[6] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục [5], trong đó hợp phần của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót còn thỏa mãn:

$$3,0 \leq CaO/SiO_2 \leq 6,0, \text{ và}$$

$$1,5 \leq CaO/Al_2O_3 \leq 2,5.$$

[7] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [6], trong đó việc tinh luyện ở trong thiết bị khử khí chân không được thực hiện tại độ chân không là 10 torr hoặc nhỏ hơn trong 20 phút hoặc lâu hơn.

[8] Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo mục bất kỳ trong

số các mục từ [1] đến [7], trong đó thép nóng chảy có nồng độ cacbon là 0,30 % theo khối lượng hoặc lớn hơn tại giai đoạn xả thép nóng chảy từ lò chuyển hoặc lò điện.

(Hiệu quả có lợi của sáng chế)

Theo sáng chế, sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ có thể được hạn chế đủ hơn để tạo ra thép có độ sạch cao với tuổi thọ mỗi cán ưu việt.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các tác giả sáng chế đã tiến hành nhiều thử nghiệm kiểm tra tuổi thọ mỗi trên thép có độ sạch cao, điển hình như thép chịu lực. Việc quan sát các phân vết nứt xảy ra trong quá trình thử nghiệm mỗi đã xác nhận sự có mặt của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ tại điểm bắt đầu của các vết nứt. Các nghiên cứu chuyên sâu hơn đã cho thấy rằng các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ cứng và có khả năng biến dạng khác với thép mà là pha nền, do đó các lỗ rỗng có khả năng được hình thành xung quanh các bao thể và các vết nứt có thể được hình thành. Các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ với nồng độ MgO là 10 % theo khối lượng hoặc lớn hơn là có hại. Cụ thể, các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ với nồng độ MgO lớn hơn 20 % theo khối lượng là các bao thể cứng với cấu trúc spinel. Do đó, điều quan trọng là phải kiểm soát nồng độ MgO trung bình trong các bao thể sao cho nó ít nhất là dưới 10 % theo khối lượng để cải thiện tuổi thọ mỗi.

Tiếp theo, cơ chế hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ phụ thuộc vào công thức (3) và công thức (4). Có nghĩa là, trong quá trình tinh luyện trong thùng rót mà việc tinh luyện xỉ mạnh được thực hiện, MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa được khử bởi Al trong thép nóng chảy, và Mg hòa tan được tạo ra trong thép nóng chảy sẽ phản ứng với các bao thể gốc Al_2O_3 để tạo thành các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$:



trong đó các oxit trong dấu ngoặc đơn () là các oxit trong xỉ, vật liệu chịu lửa, hoặc các bao thể, và các thành phần trong dấu ngoặc vuông [] là các thành phần được hòa tan trong thép nóng chảy. Để ngăn chặn không cho các

phản ứng này tiến triển sang về phải, nghĩa là, để ngăn chặn sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$, việc ngăn chặn sự hình thành của Mg hòa tan vào trong thép nóng chảy và sự hình thành tiếp nữa của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ được xem là có hiệu quả, để ngăn chặn phản ứng giữa Al trong thép nóng chảy và MgO trong xỉ hoặc vật liệu chịu lửa, như được thể hiện trong công thức (3), càng nhiều càng tốt, nghĩa là, làm cho Al không được bổ sung tại thời điểm bắt đầu quá trình tinh luyện trong thùng rót và kiểm soát thời gian bổ sung một cách hợp lý để làm cho thời gian phản ứng với MgO càng ngắn càng tốt.

Các tác giả sáng chế cũng tập trung vào công suất khuấy của thép nóng chảy. Trong quá trình tinh luyện trong thùng rót, việc khuấy khí được tiến hành từ đáy của thùng rót trong khi gia nhiệt hồ quang được sử dụng để điều chỉnh các thành phần của thép nóng chảy bằng cách bổ sung chất trợ dung và các hợp kim và để điều chỉnh nhiệt độ thép nóng chảy. Hơn nữa, công suất khuấy áp dụng cho thép nóng chảy được cho là ảnh hưởng đến sự hình thành kết tụ của các bao thể và sự phân tách nổi của các bao thể, cũng như những thay đổi trong hợp phần của các bao thể. Các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng việc thiết lập công suất khuấy tương đối cao trong giai đoạn ban đầu của quá trình tinh luyện trong thùng rót để thúc đẩy quá trình tạo xỉ sau khi bổ sung chất trợ dung là có hiệu quả, và sau đó thay đổi công suất khuấy xuống thấp để hạn chế việc lẫn xỉ trong khi hạn chế quá trình khử MgO trong xỉ sau khi bổ sung Al.

Ngoài ra, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng sẽ có hiệu quả trong việc hạn chế sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ và làm giảm nồng độ MgO trung bình trong các bao thể mà thời gian từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót ngắn hơn giới hạn trên được xác định trước được xác định dựa trên năm tham số: (I) thể tích của thép nóng chảy, (II) diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ, (III) công suất khuấy của thép nóng chảy, (IV) hoạt độ của oxy trong thép nóng chảy sau khi bổ sung Al, và (V) hoạt độ của MgO trong xỉ tại thời điểm giảm công suất khuấy.

Do đó, phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo một trong số các phương án được bộc lộ được đặc trưng như sau. Phương pháp này bao gồm

bước lưu trữ thép nóng chảy mà không được bổ sung Al được xả ra từ lò chuyển hoặc lò điện, trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, quá trình tinh luyện trong thùng rót để tinh luyện thép nóng chảy trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, bao gồm xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy mà đưa khí vào trong thép nóng chảy trong khi gia nhiệt thép nóng chảy bằng cách phóng điện hồ quang, và sau đó tinh luyện thép nóng chảy ở trong thiết bị khử khí chân không một cách liên tục, trong đó quá trình tinh luyện trong thùng rót bao gồm giai đoạn thứ nhất mà trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ nhất $\dot{\epsilon}_1$, và giai đoạn thứ hai tiếp theo mà trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ hai $\dot{\epsilon}_2$, nhỏ hơn giá trị thứ nhất $\dot{\epsilon}_1$, trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy được tính toán theo công thức (1), giai đoạn thứ nhất được thực hiện trong trạng thái mà chất trợ dung chứa CaO, SiO₂, Al₂O₃, và MgO được bổ sung vào thép nóng chảy và xỉ tồn tại tiếp xúc với thép nóng chảy, Al được bổ sung vào thép nóng chảy tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai, và sau đó, quá trình tinh luyện trong thùng rót được kết thúc tại thời điểm khi công thức (2) dưới đây được thỏa mãn:

$$\dot{\epsilon} = \frac{6,18Q_g T_L}{W} \left\{ \ln \left(1 + \frac{h}{1,46 \times 10^{-5} P_0} \right) + 0,06 \left(1 - \frac{298}{T_L} \right) \right\} \dots (1)$$

trong đó

Q_g : lưu lượng (Nm³/phút) của khí,

T_L : nhiệt độ (K) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

W : khối lượng (t) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

h : độ sâu (m) của thép nóng chảy ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, và

P_0 : áp suất khí quyển (Pa) ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót. T_L , W , h , và P_0 về cơ bản là các hằng số được xác định cho từng hoạt động của quá trình tinh luyện trong thùng rót. Do đó, tham số kiểm soát quan trọng đối với công suất khuấy là lưu lượng khí Q_g .

$$t \leq 1,6 \times 10^5 \times (V/A)^{2/3} \times \dot{\epsilon}_2^{-1/3} \times (a_O/a_{MgO}) \dots (2)$$

trong đó

t: thời gian (phút) từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót,

V: thể tích (m^3) của thép nóng chảy,

A: diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ (m^2),

ε_2 : công suất khuấy (W/t) của thép nóng chảy trong giai đoạn thứ hai,

a_o : hoạt độ của oxy (-) trong thép nóng chảy sau khi bổ sung Al trong giai đoạn thứ hai, và

a_{MgO} : hoạt độ của MgO (-) trong xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai. Có thể thu được thể tích thép nóng chảy V ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót dưới dạng giá trị đo hoặc giá trị thiết lập cho mỗi hoạt động của quá trình tinh luyện trong thùng rót. Diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ A có thể được lấy xấp xỉ bằng tiết diện của thùng rót ở độ cao của bề mặt bề thép trong trạng thái tĩnh được giữ trong thùng rót. Công suất khuấy ε_2 của thép nóng chảy trong giai đoạn thứ hai có thể được tính toán dựa trên công thức (1) bằng cách thu được năm giá trị tham số của công thức (1) làm các giá trị đo hoặc các giá trị thiết lập. Hoạt độ của oxy a_o trong thép nóng chảy có thể được đo ngay sau khi bổ sung Al (cụ thể, tại bất kỳ thời điểm nào trong vòng 5 phút sau khi bổ sung Al) bằng cách sử dụng cảm biến hoạt độ của oxy. Ở đây, a_o được định nghĩa là hệ số hoạt độ của dung dịch pha loãng vô hạn là 1 (tiêu chuẩn Henry), và hoạt độ khi nồng độ oxy hòa tan trong thép nóng chảy là 1 % theo khối lượng là 1 (không có thứ nguyên). Hoạt độ của MgO a_{MgO} trong xỉ nghĩa là hoạt độ tại nhiệt độ thép nóng chảy và có thể sử dụng, ví dụ, hoạt độ của MgO giá trị được tính toán bởi phần mềm tính toán cân bằng nhiệt động Fact Sage, dựa trên hợp phần của xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai. Ở đây, có thể thu được hợp phần của xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai bằng cách thu thập các mẫu xỉ để phân tích ngay sau khi bắt đầu giai đoạn thứ hai (cụ thể, tại bất kỳ thời điểm nào trong vòng 5 phút sau khi bắt đầu giai đoạn thứ hai) để thực hiện phân tích nhanh hoặc có thể thu được bằng cách tính toán từ hợp phần và lượng chất trợ dung được bổ sung khi bắt đầu giai đoạn thứ hai. Ở đây, a_{MgO} được định nghĩa là hệ số hoạt độ của nguyên liệu

tinh khiết (tiêu chuẩn Raoult) là 1, và hoạt độ của nguyên liệu tinh khiết (MgO tinh khiết) là 1 (không có thứ nguyên).

Phần dưới đây mô tả lý do mà thời gian từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót được xác định như được mô tả ở trên. Quá trình tinh luyện trong thùng rót đặc trưng ở chỗ trước tiên bổ sung chất trợ dung vào thép nóng chảy, sau đó tạo xỉ bằng cách xử lý gia nhiệt để thực hiện quá trình tinh luyện xỉ. Trong trường hợp này, khí thổi từ đáy khuấy mạnh thép nóng chảy để thúc đẩy quá trình tạo xỉ. Tuy nhiên, nếu Al được bổ sung, phản ứng với xỉ cũng được thúc đẩy để có thể khử MgO trong xỉ. Do đó, tốt hơn là thực hiện quá trình với Al không được bổ sung vào thép nóng chảy trong giai đoạn thứ nhất của quá trình tinh luyện trong thùng rót. Mặt khác, trong giai đoạn thứ hai của quá trình tinh luyện trong thùng rót, Al cần phải được bổ sung để thúc đẩy phản ứng khử oxy và phản ứng khử lưu huỳnh của thép nóng chảy. Tuy nhiên, nếu thời gian sau khi bổ sung Al dài, thì quá trình khử MgO trong xỉ tiếp tục làm tăng nồng độ Mg trong thép nóng chảy. Do đó, sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ có thể được thúc đẩy. Sau đó, mối quan hệ giữa thời gian sau khi bổ sung Al, nồng độ Mg trong thép nóng chảy, và hợp phần bao thể được kiểm tra, tập trung vào hợp phần thép nóng chảy, hợp phần của xỉ, và các điều kiện khuấy. Kết quả là, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng công suất khuấy lớn hơn của thép nóng chảy dẫn đến sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ trong thời gian ngắn hơn sau khi bổ sung Al.

Ngoài ra, hoạt độ của MgO cao hơn trong xỉ và hoạt độ của oxy thấp hơn trong thép nóng chảy có xu hướng tạo ra các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ tương tự trong thời gian ngắn hơn. Hơn nữa, tỷ lệ thể tích thép nóng chảy so với diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ nhỏ hơn dẫn đến tốc độ phản ứng thép nóng chảy/xỉ cao hơn, dẫn đến việc khử MgO trong xỉ nhanh hơn và làm tăng nồng độ Mg trong thép nóng chảy để tạo thành các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ trong thời gian ngắn hơn. Dựa trên các kết quả của các nghiên cứu khác nhau này, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng khi thời gian t (phút) từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót thỏa mãn công thức (2), sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ có thể được hạn chế, và khi thời gian t (phút) không thỏa mãn công thức (2), một số lượng lớn các

bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ được tạo ra. Al có thể được bổ sung tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai của quá trình tinh luyện trong thùng rót.

Dựa trên những phát hiện ở trên, theo phương án này, ưu tiên thu các giá trị của năm tham số ở vế phải của công thức (2) bằng phương pháp được mô tả trước đó, thay thế các giá trị thu được của năm tham số vào trong công thức (2), và xác định thời gian t (phút) để thỏa mãn công thức (2), và kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót theo thời gian xác định t . Điều này có thể hạn chế hoàn toàn hơn sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ để chắc chắn tạo ra thép có độ sạch cao với tuổi thọ mỗi cán nguội.

Các tác giả sáng chế cũng phát hiện ra rằng có phạm vi tối ưu của công suất khuấy trong các giai đoạn thứ nhất và thứ hai của quá trình tinh luyện trong thùng rót. Trong giai đoạn thứ nhất, công suất khuấy ưu tiên lớn hơn 55 W/t để thúc đẩy quá trình tạo xỉ sau khi bổ sung chất trợ dung. Nếu công suất khuấy là 55 W/t hoặc nhỏ hơn, quá trình tạo xỉ và phản ứng khử lưu huỳnh không diễn ra, và sự cố tinh luyện xỉ vẫn có thể xảy ra trong giai đoạn thứ hai. Mặt khác, nếu công suất khuấy được tăng lên quá nhiều, hiệu quả thúc đẩy quá trình tạo xỉ sẽ đạt cực đại, và xỉ dư sẽ bị lẫn trong thép nóng chảy. Do đó, công suất khuấy ưu tiên là 105 W/t hoặc nhỏ hơn trong giai đoạn thứ nhất. Trong giai đoạn thứ hai, công suất khuấy ưu tiên là 25 W/t hoặc lớn hơn để thúc đẩy quá trình khử lưu huỳnh của thép nóng chảy. Nếu công suất khuấy quá mức, sẽ xảy ra hiện tượng lẫn xỉ và quá trình khử MgO trong xỉ sau khi bổ sung Al được tăng tốc để thúc đẩy sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$. Do đó, công suất khuấy ưu tiên là 55 W/t hoặc nhỏ hơn trong giai đoạn thứ hai.

Ưu tiên tổng thời gian xử lý của quá trình tinh luyện trong thùng rót là từ 50 phút đến 100 phút, và từ 40 % đến 70 % tổng thời gian xử lý là giai đoạn thứ nhất, và thời gian còn lại là giai đoạn thứ hai. Trước tiên, chất trợ dung được bổ sung vào thép nóng chảy, sau đó bắt đầu đưa khí thổi từ đáy vào, tiếp theo là bắt đầu cấp điện. Trong bản mô tả này, quá trình tinh luyện trong thùng rót (nghĩa là, giai đoạn thứ nhất) được giả định là bắt đầu tại thời điểm bắt đầu đưa khí thổi từ đáy vào. Tại thời điểm kết thúc của quá trình tinh luyện trong thùng rót, trước tiên ngừng cấp điện, và sau đó dừng khí thổi từ đáy. Trong bản mô tả này, quá trình tinh luyện trong thùng rót (nghĩa là, giai đoạn thứ

hai) được giả định là kết thúc khi dừng khí thổi từ đáy. Do đó, "tổng thời gian xử lý" được định nghĩa ở trong bản mô tả này là thời gian từ khi bắt đầu đưa khí thổi từ đáy vào cho đến khi dừng khí thổi từ đáy trong quá trình tinh luyện trong thùng rót. Nếu tổng thời gian xử lý cho quá trình tinh luyện trong thùng rót ngắn hơn 50 phút, thì không thể đảm bảo được thời gian để hình thành xỉ và tinh luyện xỉ, khiến cho quá trình khử lưu huỳnh và khử oxy không đủ. Mặt khác, nếu tổng thời gian xử lý của quá trình tinh luyện trong thùng rót lâu hơn 100 phút, mức giảm oxy trong thép đạt đến mức trần và chi phí vận hành sẽ tăng lên. Ngoài ra, nếu thời gian xử lý bị kéo dài, Al_2O_3 trong xỉ bị khử bởi Si trong thép nóng chảy và C trong điện cực, và Al trong thép nóng chảy tăng lên để khử MgO trong xỉ, dẫn đến phản ứng với Al_2O_3 trong các sản phẩm của quá trình khử oxy để tạo thành các bao thể góc MgO- Al_2O_3 . Nếu giai đoạn thứ nhất chiếm ít hơn 40 % tổng thời gian xử lý, thì sự cố hình thành xỉ xảy ra, khiến cho quá trình tinh luyện xỉ chẳng hạn như khử lưu huỳnh là không đủ. Mặt khác, nếu giai đoạn thứ nhất chiếm nhiều hơn 70 % tổng thời gian xử lý, thì việc lẫn xỉ tăng lên đáng kể, khiến cho khó loại bỏ xỉ trong quá trình khử khí chân không tiếp theo.

Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng hợp phần của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót cũng có phạm vi thích hợp. Nếu CaO/SiO_2 nhỏ hơn 3,0, xỉ có thể là nguồn tái oxy hóa cho thép nóng chảy sau khi bổ sung Al, và sự cố khử lưu huỳnh có thể xảy ra. Mặt khác, nếu CaO/SiO_2 lớn hơn 12,0, hoạt độ của MgO trong xỉ tăng lên làm cho Mg có nhiều khả năng được hình thành trong thép nóng chảy. Do đó, ưu tiên CaO/SiO_2 của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót được kiểm soát ở mức 3,0 hoặc lớn hơn. Ưu tiên CaO/SiO_2 của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót được kiểm soát ở mức 12,0 hoặc nhỏ hơn, ưu tiên hơn là 8,0 hoặc nhỏ hơn, và ưu tiên hơn nữa là 6,0 hoặc nhỏ hơn.

Nếu $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ nhỏ hơn 1,0, thì điều đáng lo ngại là độ nhớt của xỉ tăng lên, và xỉ dính vào điện cực gây ra sự ức chế gia nhiệt và khả năng hấp thụ của các bao thể Al_2O_3 giảm xuống dẫn đến độ sạch kém đi. Nếu $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ lớn hơn 3,0, hoạt độ của MgO trong xỉ tăng lên, và hoạt độ của Al_2O_3 trong xỉ giảm xuống. Điều này gây ra quá trình khử MgO trong xỉ bằng Al trong thép

nóng chảy, như được thể hiện trong công thức (3), có khả năng xảy ra, gây ra sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$. Do đó, ưu tiên $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót được kiểm soát ở mức 1,0 hoặc lớn hơn, và ưu tiên hơn là 1,5 hoặc lớn hơn. Ưu tiên $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót được kiểm soát ở mức 3,0 hoặc nhỏ hơn, và ưu tiên hơn là 2,5 hoặc nhỏ hơn.

Nếu nồng độ MgO cao hơn 8,0 % theo khối lượng, quá trình khử MgO trong xỉ bằng Al trong thép nóng chảy được thể hiện trong công thức (3) có khả năng xảy ra, gây ra sự hình thành của các bao thể gốc $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$. Do đó, nồng độ MgO trong quá trình tinh luyện trong thùng rót ưu tiên là 8,0 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, và tốt hơn nữa là 5 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Điều được mong muốn là nồng độ MgO thấp hơn. Do đó, không có giới hạn dưới cụ thể nào được đặt ra. Có nghĩa là, nồng độ MgO có thể là 0,0 % theo khối lượng hoặc lớn hơn.

Nếu tổng nồng độ của nồng độ T.Fe và nồng độ MnO cao hơn 1,5 % theo khối lượng, thép nóng chảy được cung cấp oxy để tạo thành các bao thể. Điều này làm cho thép nóng chảy bị nhiễm bẩn, làm giảm đáng kể độ sạch. Do đó, tổng nồng độ của nồng độ T.Fe và nồng độ MnO trong quá trình tinh luyện trong thùng rót ưu tiên là 1,5 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, ưu tiên hơn là 1,0 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, và ưu tiên hơn nữa là 0,5 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn. Điều được mong muốn là tổng nồng độ thấp hơn. Do đó, không có giới hạn dưới cụ thể nào được đặt ra. Có nghĩa là, tổng nồng độ có thể là 0,0 % theo khối lượng hoặc lớn hơn. MnO trong xỉ được hình thành do bị lẫn các tạp chất trong các nguyên liệu trợ dung hoặc Mn như vậy trong thép nóng chảy bị oxy hóa.

Hơn nữa, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng trong quá trình tinh luyện bằng cách sử dụng thiết bị khử khí chân không sau quá trình tinh luyện trong thùng rót, có mối quan hệ giữa độ chân không và thời gian xử lý để thu được thép có độ sạch cao. Al được bổ sung trong giai đoạn thứ hai của quá trình tinh luyện trong thùng rót. Do đó, trong quá trình tinh luyện tiếp theo mà sử dụng thiết bị khử khí chân không, cần phải nhanh chóng loại bỏ các bao thể mà chưa được loại bỏ hoàn toàn. Khi áp suất trong bình chân không là 10 torr

hoặc nhỏ hơn, có thể thu được đủ công suất khuấy thép nóng chảy, cho phép tách các bao thể bằng phương pháp tuyển nổi một cách hiệu quả. Mặt khác, nếu thời gian ngắn, các bao thể tương đối thô có hại trong các sản phẩm thép không thể được loại bỏ hoàn toàn. Vì lý do này, ưu tiên thực hiện việc vận hành ở độ chân không cao là 10 torr hoặc nhỏ hơn trong 20 phút hoặc lâu hơn. Hơn nữa, tốt hơn nữa là thực hiện xử lý tại 5 torr hoặc nhỏ hơn trong 40 phút hoặc lâu hơn. Độ chân không cao hơn được ưu tiên. Do đó, không có giới hạn dưới được đặt ra cho áp suất ở trong bình chân không. Tuy nhiên, nếu áp suất ở trong bình chân không nhỏ hơn 0,1 torr, hiệu quả của độ chân không cao hơn có xu hướng bị bão hòa. Do đó, ưu tiên thiết lập áp suất ở mức 0,1 torr hoặc lớn hơn. Cũng không có giới hạn dưới nào được đặt ra cho thời gian xử lý. Tuy nhiên, từ phương diện chi phí xử lý và độ giảm nhiệt độ, thời gian xử lý ưu tiên là 60 phút hoặc nhỏ hơn. Tại thời điểm này, đối với xử lý khử khí chân không, có thể thu được các hiệu quả được mô tả theo sáng chế nếu chức năng xử lý chân không, chẳng hạn như xử lý RH hoặc xử lý VOD, được sử dụng.

Sáng chế có thể áp dụng được cho thép có độ sạch cao nói chung, nhưng đặc biệt mong muốn áp dụng nó cho thép chứa 0,30 % cacbon theo khối lượng hoặc lớn hơn tại giai đoạn xả thép nóng chảy từ lò chuyển hoặc lò điện. Theo sáng chế, như đã đề cập ở trên, Al được bổ sung để thực hiện quá trình khử oxy trong quá trình tinh luyện trong thùng rót. Tuy nhiên, việc nấu chảy thép sạch để làm giảm sơ bộ oxy trước khi bổ sung Al là có hiệu quả. Có nghĩa là, bằng cách chứa C là 0,30 % theo khối lượng hoặc lớn hơn, có thể kỳ vọng hiệu quả khử oxy trước bằng C sẽ giảm thiểu lượng bao thể được tạo thành sau khi khử oxy bằng Al. Không có giới hạn trên cụ thể nào được đặt ra cho hàm lượng C tại giai đoạn xả thép nóng chảy từ lò chuyển hoặc lò điện. Tuy nhiên, về cơ bản rất khó thực hiện xử lý khử cacbon sau quá trình tinh luyện trong thùng rót. Do đó, hàm lượng C ưu tiên là 1,00 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn để đáp ứng các tiêu chuẩn của hợp phần sản phẩm.

Với bộc lộ nêu trên, có thể thu được thép có độ sạch cao mà trong đó số lượng bao thể gốc oxit với đường kính trung bình là 3 μm hoặc lớn hơn là 70/1000 mm^2 hoặc nhỏ hơn tại giai đoạn thành phẩm.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trong thiết bị thực tế với quy mô khoảng 200 tấn thép nóng chảy trên mỗi mẻ nạp, thép chịu lực, là thép có độ sạch cao điển hình, được sản xuất theo quy trình sau: lò chuyển - lò tinh luyện kiểu thùng rót - lò khử khí chân không RH - đúc liên tục. Thép chịu lực có hợp phần hóa học chứa: nồng độ cacbon là 0,90 % theo khối lượng hoặc lớn hơn và 1,10 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ silic là 0,15 % theo khối lượng hoặc lớn hơn và 0,25 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ mangan là 0,45 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ phospho là 0,020 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ lưu huỳnh là 0,0050 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ nhôm là 0,030 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, nồng độ crom là 1,4 % theo khối lượng hoặc lớn hơn và 1,7 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, và nồng độ nitơ là 0,0050 % theo khối lượng hoặc nhỏ hơn, với phần còn lại là Fe và các tạp chất không thể tránh được.

Quá trình tinh luyện trong thùng rót bao gồm giai đoạn thứ nhất mà trong đó công suất khuấy của thép nóng chảy, được tính toán theo công thức (1) như được mô tả ở phần trước, có từng giá trị được thể hiện trong bảng 1 và giai đoạn thứ hai tiếp theo mà trong đó công suất khuấy có từng giá trị được thể hiện trong bảng 1, mà trong đó quá trình tinh luyện bao gồm xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy mà đưa khí vào trong thép nóng chảy trong khi thực hiện gia nhiệt thép nóng chảy bằng phóng điện. Công suất khuấy được kiểm soát bằng lưu lượng khí Ar. Thời gian xử lý cho giai đoạn thứ nhất và giai đoạn thứ hai cũng được thể hiện trong bảng 1. Giai đoạn thứ nhất được thực hiện trong trạng thái mà trong đó chất trợ dung chứa CaO, SiO₂, Al₂O₃, và MgO được bổ sung vào thép nóng chảy và xỉ tồn tại tiếp xúc với thép nóng chảy. Sau đó, Al được bổ sung vào thép nóng chảy tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai. Tiếp theo, thời gian t từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót trong giai đoạn thứ hai được thay đổi khác nhau như được thể hiện trong bảng 1. Các giá trị của năm tham số ở vế phải của công thức (2) và mỗi giá trị của vế phải của công thức (2) được tính toán từ chúng cũng được thể hiện trong bảng 1. Hợp phần xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót được thay đổi khác nhau như được thể hiện trong bảng 2 bằng cách thay đổi

hợp phần của chất trợ dung sẽ được bổ sung tại mỗi mức độ. Sau đó, thông qua xử lý khử khí chân không RH mà trong đó thời gian xử lý với độ chân không là 10 torr hoặc nhỏ hơn được thiết lập như được thể hiện trong bảng 2, các miếng phôi thanh (tiết diện 300 mm × 400 mm) được sản xuất bằng cách đúc liên tục.

Sau đó các miếng phôi thanh được đưa vào xử lý nhiệt, chúng được cán thành phôi trụ với đường kính 215 mm. Phôi trụ được cán nóng tiếp thành các thanh thép với đường kính 60 mm. Các thanh thép được đưa vào xử lý ủ để tạo thành các sản phẩm thanh tròn. Mặt cắt dọc theo hướng cán ở phần 1/4 chiều dày của mỗi sản phẩm thanh tròn được quan sát bằng kính hiển vi. Diện tích thử nghiệm được thiết lập đến 3000 mm². Hợp phần của bao thể được xác định bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX), ngoài phép đo số lượng bao thể bằng kính hiển vi, để đo lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃, từ đó đánh giá độ sạch. Bảng 3 thể hiện lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ với đường kính trung bình là 3 µm hoặc lớn hơn, số lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ với đường kính trung bình là 10 µm hoặc lớn hơn (trên mỗi 1000 mm²), và nồng độ MgO trung bình của các bao thể, mà trong đó đường kính trung bình được tính toán bằng lũy thừa một phần hai của tích chiều dài và chiều rộng. Ở đây, "nồng độ MgO trung bình" là giá trị thu được bằng cách lấy trung bình nồng độ MgO của các bao thể được phát hiện với số lượng bao thể được phát hiện.

Hơn nữa, thử nghiệm tuổi thọ mỗi cán được tiến hành để đánh giá tuổi thọ sản phẩm. Đối với thử nghiệm, các sản phẩm thanh tròn ở trên được cắt thành từng lát tròn và được xử lý thô thành đĩa. Sau khi đưa các đĩa vào quá trình tôi luyện thông thường và xử lý nhiệt ram ở nhiệt độ thấp, bề mặt của chúng được gia công máy và được hoàn thiện để tạo ra các mẫu thử nghiệm. Thử nghiệm tuổi thọ mỗi cán được tiến hành trên các mẫu thử nghiệm này. Thử nghiệm tuổi thọ mỗi cán được thực hiện bằng cách sử dụng máy thử nghiệm tiếp xúc cán kiểu đẩy Mori dưới tập hợp các điều kiện bao gồm ứng suất tiếp xúc Hertzian cực đại: 5260 MPa, tần suất ứng suất được lặp lại: 30 Hz, và chất bôi trơn: #68 dầu tuabin. Đối với thử nghiệm này, số lần tải cho đến khi từng mẫu thử tách lớp được đo, và giả định rằng các kết quả thử nghiệm tuân theo

phân bố Weibull, tuổi thọ mà trong đó 10 % mẫu thử nghiệm bị gãy do mỏi (tuổi thọ B10) được xác định bằng giấy xác suất Weibull. Các kết quả được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 1

Số thứ tự	Phân loại	Giai đoạn thứ nhất (phút)	Giai đoạn thứ hai (phút)	Thời gian từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót (phút)	Công suất khuấy của giai đoạn thứ nhất (W/t)	Công suất khuấy của giai đoạn thứ hai (W/t)	Diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xi (m ²)	Thể tích thép nóng chảy (m ³)	Hoạt độ của MgO trong xỉ	Hoạt độ của oxy trong thép nóng chảy	Về phải của công thức (2)
1	Ví dụ so sánh	43	29	24	80,3	53,2	9,0	30,0	-	0,0002	-
2	Ví dụ so sánh	41	37	18	101,0	70,3	9,1	29,0	0,58	0,0001	23
3	Ví dụ so sánh	38	31	19	77,4	39,7	8,5	31,1	0,67	0,0001	14
4	Ví dụ so sánh	40	41	27	81,6	54,9	8,9	31,4	0,59	0,0001	17
5	Ví dụ so sánh	36	18	15	91,3	69,6	8,9	30,1	0,74	0,0001	17
6	Ví dụ so sánh	34	38	22	89,9	89,6	8,7	30,4	0,40	0,0001	12
7	Ví dụ so sánh	53	42	30	102,3	102,3	9,8	28,9	0,20	0,0001	21
8	Ví dụ so sánh	39	58	15	85,5	85,5	9,0	29,9	0,59	0,0002	35
9	Ví dụ so sánh	42	27	8	62,4	86,7	8,2	29,4	0,84	0,0002	28
10	Ví dụ so sánh	40	31	9	71,6	93,4	7,7	30,7	0,46	0,0001	20
11	Ví dụ so sánh	44	44	23	81,6	81,6	9,0	29,4	0,46	0,0001	19
12	Ví dụ so sánh	45	22	18	84,6	53,4	8,9	30,0	0,78	0,0001	18
13	Ví dụ so sánh	38	37	28	78,9	32,5	9,1	31,6	0,99	0,0002	12
14	Ví dụ	42	31	9	84,6	61,0	9,0	29,6	0,64	0,0001	23
15	Ví dụ	35	42	10	102,4	97,1	9,0	30,9	0,99	0,0002	14
16	Ví dụ	41	33	11	81,8	80,4	9,1	30,7	0,99	0,0002	16
											17

Bảng 1 (tiếp tục)

Số thứ tự	Phân loại	Giai đoạn thứ nhất (phút)	Giai đoạn thứ hai (phút)	Thời gian t từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót (phút)	Công suất khuấy của giai đoạn thứ nhất (W/t)	Công suất khuấy của giai đoạn thứ hai (W/t)	Diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xi (m ²)	Thể tích thép nóng chảy (m ³)	Hoạt độ của MgO trong xỉ	Hoạt độ của oxy trong thép nóng chảy	Vé phải của công thức (2)
17	Ví dụ	40	24	14	83,8	70,2	8,9	30,1	-	0,0002	-
18	Ví dụ	39	24	12	75,7	63,4	9,0	30,4	0,59	0,0001	20
19	Ví dụ	37	52	9	83,9	54,8	9,0	30,6	0,80	0,0001	15
20	Ví dụ	39	29	7	80,2	50,4	9,1	29,7	0,84	0,0001	12
21	Ví dụ	37	36	16	69,4	35,7	8,8	30,0	0,97	0,0002	11
22	Ví dụ	43	13	8	77,6	27,6	9,2	30,1	0,58	0,0001	23
23	Ví dụ	41	29	7	94,9	53,8	9,0	29,7	0,75	0,0001	20
24	Ví dụ	38	21	14	89,6	52,3	9,0	31,1	0,40	0,0001	12
25	Ví dụ	45	28	15	79,8	46,5	8,5	31,4	0,99	0,0002	24
26	Ví dụ	32	39	20	95,0	26,9	7,9	30,9	0,99	0,0002	21
27	Ví dụ	34	40	35	68,9	52,3	8,8	28,3	0,17	0,0001	27
28	Ví dụ	44	19	13	76,6	48,5	9,0	29,1	0,46	0,0001	54
29	Ví dụ	39	36	31	83,1	40,1	9,1	30,7	0,25	0,0001	21
30	Ví dụ	40	38	11	97,5	29,8	8,9	31,6	0,68	0,0001	43
31	Ví dụ	36	36	18	79,3	52,3	8,8	30,6	0,76	0,0002	18
32	Ví dụ	35	39	21	83,7	47,9	9,0	31,0	0,41	0,0001	26
33	Ví dụ	42	19	14	84,5	42,2	9,0	30,4	0,29	0,0001	24
											36

Bảng 2

Số thứ tự	Phân loại	Hợp phần xi trong quá trình tinh luyện trong thùng rót						Thời gian xử lý khử khí chân không với độ chân không 10 torr hoặc nhỏ hơn (phút)
		CaO (% theo khối lượng)	SiO ₂ (% theo khối lượng)	Al ₂ O ₃ (% theo khối lượng)	MgO (% theo khối lượng)	T.Fe + MnO (% theo khối lượng)	CaO/SiO ₂	CaO/Al ₂ O ₃
1	Ví dụ so sánh	59,2	9,0	23,9	4,1	0,5	6,6	2,5
2	Ví dụ so sánh	57,4	6,7	28,6	3,1	0,4	8,6	2,0
3	Ví dụ so sánh	56,1	9,9	24,3	3,3	0,5	5,7	2,3
4	Ví dụ so sánh	57,8	6,7	28,0	5,4	0,6	8,3	2,1
5	Ví dụ so sánh	60,3	8,2	23,6	6,3	0,5	7,4	2,6
6	Ví dụ so sánh	55,3	11,1	25,8	4,8	0,6	5,0	2,1
7	Ví dụ so sánh	57,1	13,8	21,2	2,7	0,4	4,1	2,7
8	Ví dụ so sánh	58,0	7,2	27,5	4,0	0,6	8,1	2,1
9	Ví dụ so sánh	58,7	9,3	23,7	3,9	0,6	6,3	2,5
10	Ví dụ so sánh	50,1	13,8	27,8	4,3	0,7	3,6	1,8
11	Ví dụ so sánh	49,6	14,2	28,1	4,5	0,7	3,5	1,8
12	Ví dụ so sánh	59,9	9,0	22,7	5,0	0,5	6,7	2,4
13	Ví dụ so sánh	51,8	11,7	26,6	5,3	0,6	4,4	1,9
14	Ví dụ	61,6	6,8	24,8	4,3	0,6	9,1	2,5
15	Ví dụ	61,9	4,1	26,3	6,8	0,4	15,1	2,4
16	Ví dụ	63,9	5,9	19,9	5,2	0,4	10,8	3,2

Bảng 2 (tiếp tục)

Số thứ tự	Phân loại	Hợp phần xi trong quá trình tinh luyện trong thùng rót							Thời gian xử lý khử khí chân không với độ chân không 10 torr hoặc nhỏ hơn (phút)
		CaO (% theo khối lượng)	SiO ₂ (% theo khối lượng)	Al ₂ O ₃ (% theo khối lượng)	MgO (% theo khối lượng)	T.Fe + MnO (% theo khối lượng)	CaO/SiO ₂ -	CaO/Al ₂ O ₃ -	
17	Ví dụ	60,5	7,5	24,4	4,3	0,4	8,1	2,5	47
18	Ví dụ	57,6	6,9	27,7	3,8	0,7	8,3	2,1	51
19	Ví dụ	52,3	8,6	31,7	5,4	0,6	6,1	1,6	52
20	Ví dụ	59,4	9,1	24,0	4,2	0,4	6,5	2,5	46
21	Ví dụ	57,3	8,2	27,4	5,2	0,6	7,0	2,1	48
22	Ví dụ	61,9	7,8	21,6	3,9	0,4	7,9	2,9	44
23	Ví dụ	59,9	7,8	23,6	3,7	0,8	7,7	2,5	54
24	Ví dụ	57,9	10,4	24,2	3,2	0,4	5,6	2,4	55
25	Ví dụ	52,2	11,5	26,8	6,4	0,4	4,5	1,9	53
26	Ví dụ	58,2	11,6	22,4	5,1	0,5	5,0	2,6	52
27	Ví dụ	45,1	11,3	35,3	3,4	0,6	4,0	1,3	54
28	Ví dụ	49,7	14,3	28,0	4,4	0,9	3,5	1,8	56
29	Ví dụ	50,4	16,3	25,7	3,6	0,9	3,1	2,0	58
30	Ví dụ	55,8	10,1	24,4	4,1	0,5	5,5	2,3	56
31	Ví dụ	59,3	8,0	24,3	3,7	0,8	7,4	2,4	52
32	Ví dụ	53,9	10,8	25,8	3,0	0,5	5,0	2,1	54
33	Ví dụ	54,6	12,6	25,0	4,3	0,7	4,3	2,2	57

Bảng 3

Số thứ tự	Phân loại	Số lượng bao thể gốc MgO-Al ₂ O ₃		Nồng độ MgO trung bình trong các bao thể (% theo khối lượng)	Xác định	Tuổi thọ B10 (chu kỳ)
		3 μ m hoặc lớn hơn (/1000 mm ²)	10 μ m hoặc lớn hơn (/1000 mm ²)			
1	Ví dụ so sánh	75	1,4	7,2	×	$6,9 \times 10^7$
2	Ví dụ so sánh	78	1,6	7,8	×	$6,8 \times 10^7$
3	Ví dụ so sánh	79	1,5	8,7	×	$6,4 \times 10^7$
4	Ví dụ so sánh	81	1,6	10,1	×	$6,0 \times 10^7$
5	Ví dụ so sánh	78	1,7	8,3	×	$6,5 \times 10^7$
6	Ví dụ so sánh	83	1,7	9,4	×	$6,2 \times 10^7$
7	Ví dụ so sánh	86	1,7	10,9	×	$5,7 \times 10^7$
8	Ví dụ so sánh	89	1,7	12,8	×	$5,3 \times 10^7$
9	Ví dụ so sánh	98	1,9	15,3	×	$4,6 \times 10^7$
10	Ví dụ so sánh	96	1,8	14,5	×	$5,0 \times 10^7$
11	Ví dụ so sánh	99	1,9	17,2	×	$4,4 \times 10^7$
12	Ví dụ so sánh	82	1,6	8,8	×	$6,3 \times 10^7$
13	Ví dụ so sánh	83	1,6	9,3	×	$6,2 \times 10^7$
14	Ví dụ	54	1,1	5,4	○	$8,4 \times 10^7$
15	Ví dụ	62	1,3	5,9	○	$8,0 \times 10^7$
16	Ví dụ	61	1,3	5,7	○	$8,1 \times 10^7$

Bảng 3 (tiếp tục)

Số thứ tự	Phân loại	Số lượng bao thể gốc MgO-Al ₂ O ₃		Nồng độ MgO trung bình trong các bao thể (% theo khối lượng)	Xác định	Tuổi thọ B10 (chu kỳ)
		3 μm hoặc lớn hơn (/1000 mm ²)	10 μm hoặc lớn hơn (/1000 mm ²)			
17	Ví dụ	51	1,0	5,1	○	$8,5 \times 10^7$
18	Ví dụ	50	0,9	4,8	○	$8,7 \times 10^7$
19	Ví dụ	39	0,7	3,9	○	$9,6 \times 10^7$
20	Ví dụ	42	0,8	4,0	○	$9,3 \times 10^7$
21	Ví dụ	46	0,7	4,0	○	$9,1 \times 10^7$
22	Ví dụ	49	0,8	4,5	○	$8,9 \times 10^7$
23	Ví dụ	40	0,6	4,3	○	$9,2 \times 10^7$
24	Ví dụ	40	0,6	3,4	○	$9,6 \times 10^7$
25	Ví dụ	36	0,5	2,1	○	$10,0 \times 10^7$
26	Ví dụ	39	0,6	3,0	○	$9,7 \times 10^7$
27	Ví dụ	32	0,4	1,4	○	$10,4 \times 10^7$
28	Ví dụ	31	0,4	1,5	○	$10,6 \times 10^7$
29	Ví dụ	26	0,3	0,8	○	$10,8 \times 10^7$
30	Ví dụ	34	0,4	2,2	○	$10,0 \times 10^7$
31	Ví dụ	33	0,4	2,8	○	$10,2 \times 10^7$
32	Ví dụ	30	0,5	1,9	○	$10,5 \times 10^7$
33	Ví dụ	29	0,4	1,3	○	$10,7 \times 10^7$

Trong các ví dụ, số lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ cỡ 3 μm hoặc lớn hơn là từ 26/1000mm² đến 62/1000mm², và số lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ cỡ 10 μm hoặc lớn hơn là từ 0,3/1000 mm² đến 1,3/1000 mm², đây là các mức thấp, và tuổi thọ B10 là từ $8,0 \times 10^7$ chu kỳ đến $10,8 \times 10^7$ chu kỳ, đây là mức cao. Mặt khác, trong ví dụ so sánh, số lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ cỡ 3 μm hoặc lớn hơn là từ 75/1000mm² đến 99/1000mm², và số lượng bao thể gốc MgO-Al₂O₃ cỡ 10 μm hoặc lớn hơn là từ 1,4/1000 mm² đến 1,9/1000 mm², đây là các mức cao, và tuổi thọ B10 là từ $4,4 \times 10^7$ chu kỳ đến $6,9 \times 10^7$ chu kỳ, đây là mức thấp.

Khả năng ứng dụng trong công nghiệp

Theo sáng chế, sự hình thành của các bao thể gốc MgO-Al₂O₃ có thể được hạn chế đủ hơn để tạo ra thép có độ sạch cao với tuổi thọ mỗi cán ưu việt.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao, phương pháp này bao gồm các bước:

lưu trữ thép nóng chảy không được bổ sung Al được xả ra từ lò chuyển hoặc lò điện, trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

quá trình tinh luyện trong thùng rót để tinh luyện thép nóng chảy trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, bao gồm xử lý gia nhiệt và xử lý khuấy mà đưa khí vào trong thép nóng chảy trong khi gia nhiệt thép nóng chảy bằng cách phóng điện hồ quang, và

sau đó tinh luyện thép nóng chảy ở trong thiết bị khử khí chân không,

trong đó quá trình tinh luyện trong thùng rót bao gồm giai đoạn thứ nhất mà trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ nhất $\dot{\epsilon}_1$, và giai đoạn thứ hai tiếp theo mà trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy là giá trị thứ hai $\dot{\epsilon}_2$, mà nhỏ hơn giá trị thứ nhất $\dot{\epsilon}_1$, trong đó công suất khuấy $\dot{\epsilon}$ (W/t) của thép nóng chảy được tính toán theo công thức (1),

giai đoạn thứ nhất được thực hiện trong trạng thái mà chất trợ dung chứa CaO, SiO₂, Al₂O₃, và MgO được bổ sung vào thép nóng chảy và xỉ tồn tại tiếp xúc với thép nóng chảy,

Al được bổ sung vào thép nóng chảy tại thời điểm bắt đầu hoặc trong giai đoạn thứ hai, và

sau đó, quá trình tinh luyện trong thùng rót kết thúc tại thời điểm khi công thức (2) dưới đây được thỏa mãn:

$$\dot{\epsilon} = \frac{6,18Q_g T_L}{W} \left\{ \ln \left(1 + \frac{h}{1,46 \times 10^{-5} P_0} \right) + 0,06 \left(1 - \frac{298}{T_L} \right) \right\} \dots (1)$$

trong đó

Q_g : lưu lượng (Nm³/phút) của khí,

T_L : nhiệt độ (K) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

W: khối lượng (t) của thép nóng chảy được chứa trong lò tinh luyện kiểu thùng rót,

h: độ sâu (m) của thép nóng chảy ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, và

P_0 : áp suất khí quyển (Pa) ở trong lò tinh luyện kiểu thùng rót, và

$$t \leq 1,6 \times 10^5 \times (V/A)^{2/3} \times \varepsilon_2^{-1/3} \times (a_O/a_{MgO}) \dots (2)$$

trong đó

t: thời gian (phút) từ khi bổ sung Al đến khi kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót,

V: thể tích (m^3) của thép nóng chảy,

A: diện tích tiếp giáp của phản ứng thép nóng chảy/xỉ (m^2),

ε_2 : công suất khuấy (W/t) của thép nóng chảy trong giai đoạn thứ hai,

a_O : hoạt độ của oxy (-) trong thép nóng chảy sau khi bổ sung Al trong giai đoạn thứ hai, và

a_{MgO} : hoạt độ của MgO (-) trong xỉ tại thời điểm bắt đầu giai đoạn thứ hai.

2. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm 1, phương pháp này bao gồm các bước:

thu các giá trị của năm tham số ở vế phải của công thức (2),

thay thế các giá trị thu được của năm tham số vào trong công thức (2), và xác định thời gian t (phút) để thỏa mãn công thức (2), và

kết thúc quá trình tinh luyện trong thùng rót theo thời gian xác định t.

3. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm 1 hoặc 2, trong đó $55 < \varepsilon_1 \leq 105$, và $25 \leq \varepsilon_2 \leq 55$.

4. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó tổng thời gian xử lý của quá trình tinh luyện trong thùng rót là từ 50 phút đến 100 phút, và từ 40 % đến 70 % tổng thời gian xử lý là giai đoạn thứ nhất, và thời gian còn lại là giai đoạn thứ hai.

5. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó hợp phần của xỉ trong quá trình tinh luyện trong

thùng rót thỏa mãn:

$$3,0 \leq \text{CaO/SiO}_2 \leq 12,0,$$

$$1,0 \leq \text{CaO/Al}_2\text{O}_3 \leq 3,0,$$

$$\text{MgO} \leq 8,0 \% \text{ theo khối lượng, và}$$

$$\text{T.Fe} + \text{MnO} \leq 1,5 \% \text{ theo khối lượng.}$$

6. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm 5, trong đó hợp phần của xỉ trong quá trình tinh luyện trong thùng rót còn thỏa mãn:

$$3,0 \leq \text{CaO/SiO}_2 \leq 6,0, \text{ và}$$

$$1,5 \leq \text{CaO/Al}_2\text{O}_3 \leq 2,5.$$

7. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, trong đó việc tinh luyện ở trong thiết bị khử khí chân không được thực hiện tại độ chân không là 10 torr hoặc nhỏ hơn trong 20 phút hoặc lâu hơn.

8. Phương pháp sản xuất thép có độ sạch cao theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, trong đó thép nóng chảy có nồng độ cacbon là 0,30 % theo khối lượng hoặc lớn hơn tại giai đoạn xả thép nóng chảy từ lò chuyển hoặc lò điện.