

LUYỆN FERROTITAN BẰNG PHƯƠNG PHÁP NHIỆT NHÔM NGOÀI LÒ

HUỲNH CÔNG KHANH^{1,2*} - VŨ QUANG ĐÔNG^{1,2} - NGUYỄN CHÍ TRUNG^{1,2}

¹Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh

Ho Chi Minh City University of Technology

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

* Email: hckhanh@hcmut.edu.vn

Ngày nhận bài: 6/7/2026

Ngày sửa bài: 24/7/2026

Ngày duyệt đăng bài: 7/8/2026

Tóm tắt:

Hợp kim FeTi được luyện từ tinh quặng inmenit và xỉ titan bằng phương pháp nhiệt nhôm ngoài lò. Thành phần phối liệu được tính toán và điều chỉnh lại theo kết quả thí nghiệm để luyện được hợp kim tương ứng với mức hợp kim ferrotitan FeTi35C8. Khi sử dụng xỉ titan thay cho tinh quặng inmenit có thể nâng cao hàm lượng Ti trong hợp kim FeTi. Chất nhiệt nhôm giúp tăng nhiệt độ và giảm độ sệt của xỉ, tạo điều kiện lắng tách hợp kim ra khỏi xỉ nên tăng được hàm lượng Ti trong hợp kim. Hợp kim FeTi được luyện từ xỉ titan đạt hàm lượng Ti cao (39,9-42,8% Ti) nhưng hàm lượng Al trong hợp kim (18,2-25,5% Al) cũng vượt quá giới hạn của hợp kim FeTi35C8. Tuy nhiên, hợp kim FeTi có thể được sử dụng như một hợp kim ferro phức hợp để hợp kim hoá và khử oxi, tiết kiệm được Al trong quá trình luyện thép.

Từ khóa: hợp kim ferrotitan, hoàn nguyên nhiệt nhôm, inmenit, xỉ titan

Smelting ferrotitanium by an out-of-furnace aluminothermic process

Abstract:

FeTi alloys were produced from ilmenite concentrate and titanium slag using an out-of-furnace aluminothermic process. Charge compositions were calculated and subsequently adjusted based on experimental results to obtain an alloy corresponding to the FeTi35C8 ferrotitanium grade. Replacing ilmenite concentrate with titanium slag increased the Ti content of the FeTi alloy. The thermite mixture increased the reaction temperature and reduced slag viscosity, facilitating alloy - slag separation and improving Ti recovery. FeTi produced from titanium slag contained 39.9 - 42.8% Ti, although its Al content of 18.2 - 25.5% exceeded the permissible limit for FeTi35C8. Nevertheless, the resulting FeTi alloy may be used as a complex ferroalloy for alloying and deoxidation, thereby reducing aluminum consumption during steelmaking.

Keywords: ferrotitanium alloy, aluminothermic reduction, ilmenite, titanium slag

1. Đặt vấn đề

Ferrotitan (FeTi) được sử dụng để hợp kim hóa, khử oxy và khử khí trong các quá trình luyện thép và hợp kim. Titan là nguyên tố tạo cacbit mạnh nên khi luyện thép không gỉ, titan hạn chế sự hình thành cacbit crom, cải thiện tính chống ăn mòn. Khi luyện thép bền nóng, titan tạo ra các pha cacbit và liên kim phân tán ở biên giới hạt và bên trong hạt của dung dịch rắn, nâng cao tính bền nóng của thép (Gasik M. I., Lyakishev N. P. & Emlin B. I., 1988; Nghiêm Hùng, 1993).

Nước ta có trữ lượng và tài nguyên dự báo khoáng sản titan-inmenit khoảng 611.345.000 tấn khoáng vật nặng (Thủ tướng Chính phủ, 2023) nhưng hiện nay, việc chế biến khoáng sản titan-inmenit chỉ mới dừng lại ở công đoạn sản xuất xỉ titan và inmenit hoàn nguyên. Theo Quyết định số 866/QĐ-TTg ngày 18/7/2023Phê duyệt Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các loại khoáng sản thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 của Thủ tướng Chính phủ, trong giai đoạn đến năm 2030 sẽ đầu tư xây dựng mới 1-2 nhà máy sản xuất FeTi với tổng công suất 20.000-25.000 tấn/năm, trong giai đoạn 2031-2050 có thể cấp phép mới 1-2 dự án có tổng công suất dự kiến 15.000-25.000 tấn/năm.

Bài viết nhằm nghiên cứu luyện FeTi từ tinh quặng titan và xỉ titan, nhằm chế biến sâu và tạo ra sản phẩm có giá trị cao từ khoáng sản titan-inmenit.

2. Tổng quan nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tổng quan nghiên cứu

Hợp kim FeTi chứa hàm lượng Ti cao (khoảng 70% Ti) được nấu luyện từ phế liệu chứa titan (Ti) và sắt (Fe) trong lò cảm ứng. Lò hồ quang plasma và lò điện xỉ cũng được sử dụng để nấu luyện FeTi từ phế liệu. Tuy nhiên, do giá phế liệu Ti tăng cao và nguồn cung phế liệu Ti không ổn định nên việc nấu luyện FeTi theo phương pháp này bị hạn chế. Hơn nữa, phương pháp này còn gặp khó khăn trong việc bảo vệ hợp kim, tránh sự xâm nhập của oxy (O) và nitơ (N) nên thường phải tiến hành nấu luyện trong môi trường chân không hoặc khí argon (Choi J-H., Chang H., Ryu T., Nam C-W., & Kim B-S., 2020; Bernard N. G. & Bultitude-Paull J. M., 2013).

Cacbon là chất hoàn nguyên được sử dụng sớm nhất và rộng rãi nhất trong luyện kim vì khả năng hoàn nguyên mạnh ở nhiệt độ cao, giá rẻ nhưng do ái lực hóa học của cacbon với nhiều kim loại cao nên tạo ra cacbit trong hợp kim, đặc biệt là những kim loại chuyển tiếp tạo cacbit mạnh như titan. Do vậy, phương pháp hoàn nguyên inmenit bằng cacbon chỉ có thể sản xuất FeTi chứa hàm lượng cacbon cao, không đáp ứng được yêu cầu chất lượng trong sản xuất thép không gỉ. Hơn nữa, quá trình hoàn nguyên trực tiếp inmenit bằng cacbon là quá trình thu nhiệt nên cần phải cung cấp nhiệt để các xảy ra các phản ứng hoàn nguyên (Gasik M. I. et al., 1988):



Phản ứng tổng (1) + (2):



Phương pháp nhiệt nhôm được ứng dụng rộng rãi trong luyện FeTi. Quá trình hoàn nguyên nhiệt nhôm TiO_2 từ inmenit xảy ra theo các phản ứng sau (Gasik M. I. et al., 1988):



Các phản ứng (5)|(7) là các phản ứng tỏa nhiệt nên có thể tiến hành luyện FeTi ngoài lò nhờ nhiệt của các phản ứng hoàn nguyên nhiệt nhôm. Ngoài ra, phương pháp nhiệt nhôm cho phép sản xuất FeTi có hàm lượng cacbon thấp với tốc độ của quá trình nhanh và thiết bị đơn giản. Nhược điểm của phương pháp hoàn nguyên nhiệt nhôm titan từ inmenit là hàm lượng Ti trong FeTi thấp (khoảng 20-40% Ti), hàm lượng nhôm (Al) trong FeTi cao và giá của nhôm cao nên trước năm 1950 phương pháp này ít được quan tâm. Đến năm 1960, khi ngành công nghiệp luyện nhôm phát triển, giá nhôm giảm và có đủ phương tiện để giảm hàm lượng các nguyên tố tạp chất và oxit trong hợp kim thì phương pháp này bắt đầu phát triển mạnh (Bernard N. G. & Bultitude-Paull J. M., 2013; Akerkar D. D., 1994).

Khi tăng mức độ hoàn nguyên inmenit trong thành phần liệu, hàm lượng Ti và Al trong FeTi tăng, còn hàm lượng O trong FeTi giảm. Hàm lượng Al trong FeTi tăng dẫn đến hàm lượng Al_2O_3 trong xỉ giảm. Khi hàm lượng Al_2O_3 trong xỉ giảm, hàm lượng hợp chất có nhiệt độ nóng chảy cao $CaAl_2O_4$ trong xỉ giảm, còn hàm lượng các hợp chất có nhiệt độ nóng chảy thấp như $CaAl_2O_4$ và CaF_2 trong xỉ tăng, tạo điều kiện phân tách hợp kim FeTi và xỉ (Gao Z., Cheng G., Yang H., Xue X., & Ri J., 2019). Khi sử dụng xỉ titan thay thế tinh quặng inmenit, có thể sản xuất được FeTi chứa khoảng 30-55% Ti (Vorobkalo N., Baisanov A., Makhambetov Y., Mynzhasar Y., & Nurgali N., 2023). Ngoài ra xỉ titan chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp nên không phải thiêu oxi hóa trước khi luyện FeTi.

Do vậy, hướng nghiên cứu của bài viết này là luyện FeTi từ tinh quặng inmenit và xỉ titan bằng phương pháp nhiệt nhôm ngoài lò và so sánh kết quả luyện từ 2 loại nguyên liệu này để tìm ra thành phần nguyên liệu và công nghệ phù hợp nhằm luyện FeTi chứa hàm lượng Ti cao, đáp ứng được yêu cầu trong các quá trình luyện thép và hợp kim.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

+ Vật liệu

Nguyên liệu để luyện FeTi gồm có: tinh quặng inmenit, xỉ titan, bột nhôm, bột sắt oxit Fe_2O_3 , ferrosilic FeSi75 và bột vôi CaO. Thành phần hóa học của nguyên liệu như sau:

Bảng 1. Thành phần hóa học của nguyên liệu luyện FeTi

Thành phần liệu	Hàm lượng (%)										
	TiO ₂	Al	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Fe	Si	CaO	S	P	C
Tinh quặng inmenit	52,03		17,07	13,00							
Xỉ titan	92,50		3,00		5,36				0,04		
Bột nhôm		97,00				0,60	0,30				
Bột Fe ₂ O ₃			98,10		0,03						
FeSi75		≤ 2,0					72-74,5		≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,2
Bột CaO								82,0			

+ Phương pháp

Quá trình luyện FeTi theo phương pháp nhiệt nhôm ngoài lò được thực hiện trong ống thép dày 5 mm có đường kính 150 mm và chiều cao 300 mm. Ống thép được hàn kín một đầu, bên trong được đảm bằng một lớp vật liệu chịu lửa dày 35 mm, có thành phần: 95% bột manhezit; 0,7% thủy tinh lỏng; 4,3% đất sét chịu lửa (Gasik M. I. et al., 1988). Trước khi đảm hỗn hợp bột chịu lửa và chất kết dính được trộn đều với

một lượng nước vừa đủ để đầm. Sau khi đầm lớp đáy, một dưỡng bằng thép tấm có đường kính 80 mm được đặt vào giữa ống rồi tiếp tục đầm để tạo phần không gian làm việc của ống hoàn nguyên. Dưỡng thép có độ côn để có thể rút ra dễ dàng sau khi đầm xong. Trước khi luyện FeTi, ống hoàn nguyên được sấy khô và thiêu kết để tạo được lớp lót chịu lửa cho ống hoàn nguyên. Để tránh phun bắn kim loại lỏng trong quá trình luyện, các thành phần nguyên liệu như tinh quặng titan, xỉ titan, Fe_2O_3 , CaO được sấy nóng ở nhiệt độ 150-250°C, làm bay hơi ẩm hoàn toàn.

Tính toán thành phần liệu của mẻ luyện hợp kim FeTi35C8, có thành phần hóa học như ở Bảng 2, được thực hiện trên 100 g tinh quặng inmenit hay xỉ titan với các điều kiện sau: 70-80 % TiO_2 hoàn nguyên đến Ti kim loại; ~90% SiO_2 hoàn nguyên đến Si; 97-99% Fe_2O_3 hoàn nguyên đến Fe kim loại; Lượng bột nhôm trong liệu bằng 103-106% lượng nhôm tính theo lý thuyết; khối lượng vôi bằng 20-22% khối lượng bột nhôm (Edneral F. P. & Filippob A. F., 1962; Ngô Trí Phúc và Nguyễn Sơn Lâm, 2006). Bảng 3 và 4 thể hiện các thành phần liệu của các mẻ luyện được thiết lập sau khi tính toán.

Bảng 2. Thành phần hóa học của hợp kim ferrotitan FeTi35C8 (theo Tiêu chuẩn GOST 4761-91)

Hợp kim	Thành phần hoá học, %										
	Ti	Al	Si	C	P	S	Cu	V	Mo	Zr	Sn
			≤								
FeTi35C8	28,0=40	14	8	0,2	0,07	0,07	3	1,0	1,0	0,7	0,08

Bảng 3. Thành phần liệu tính trên 100 g tinh quặng inmenit

Thành phần liệu	Khối lượng, g
Tinh quặng inmenit	100
Bột Al	46,70
Bột Fe_2O_3	25,20
FeSi75	5,30
Bột CaO	10,27

Bảng 4. Thành phần liệu tính trên 100 g xỉ titan

Thành phần liệu	Khối lượng, g
Xỉ titan	100
Bột Al	87,72
Bột Fe_2O_3	103,17
FeSi75	12,27
Bột CaO	20

Các mẻ luyện thí nghiệm được phối liệu theo tỷ lệ của các thành phần liệu đã được tính toán trong Bảng 3 và 4 và được điều chỉnh lại theo kết quả thí nghiệm thực tế.

Hỗn hợp nhóm lửa gồm có bột 40g Mg và 20 g NaNO_3

Bảng 5. Thành phần phối liệu của các mẻ luyện

Mẻ luyện	Liệu	Tinh quặng inmenit, g	Xỉ titan, g	Bột Al, g	Bột Fe_2O_3 , g	FeSi75, g	Bột CaO, g
1	Liệu chính	100		46,70	25,20	5,30	10,27
2	Liệu chính	100		46,70	10	2	9
3	Liệu chính		81,64	71,62	84,23	10,02	16,33
4	Liệu chính		80	66,7	60,3	5,52	14,4
	Chất nhiệt nhôm			3,5	22,24	4,3	1,6

Bảng 5 thể hiện thành phần phối liệu của các mẻ luyện. Ở các mẻ luyện này, sau khi sấy khô, tất cả các thành phần phối liệu được trộn đều rồi cho vào ống hoàn nguyên. Hỗn hợp nhóm lửa được rải đều lên bề mặt phối liệu chính (Hình 1a) rồi đốt cháy hỗn hợp nhóm lửa, cung cấp nhiệt để xảy ra quá trình hoàn nguyên nhiệt nhôm trong phối liệu chính. Nhiệt tỏa ra từ các phản ứng hoàn nguyên nhiệt nhôm đã được tính toán đủ để duy trì quá trình hoàn nguyên mà không phải cung cấp nhiệt từ bên ngoài. Phản ứng hoàn nguyên xảy ra với tốc độ rất nhanh. Sau khi phản ứng hoàn nguyên kết thúc (Hình 1b), để nguội rồi lấy hợp kim ra khỏi ống hoàn nguyên, tách bỏ lớp xỉ bề mặt ra khỏi hợp kim FeTi.

Hình 1. Ống hoàn nguyên để luyện hợp kim FeTi



a)

a) Nạp liệu chuẩn bị cho quá trình hoàn nguyên



b)

b) Kết thúc quá trình hoàn nguyên

Trong các mẻ luyện 1 và 2, FeTi được luyện từ tinh quặng inmenit. Thành phần phối liệu của mẻ 1 là thành phần phối liệu đã được tính toán trong Bảng 1, còn trong thành phần phối liệu của mẻ 2, hàm lượng Fe_2O_3 và FeSi75 được giảm xuống nhằm tăng hàm lượng Ti trong FeTi. Trong mẻ 3 và 4, FeTi được luyện từ xỉ titan với tỷ lệ phối trộn theo tỷ lệ đã tính toán ở Bảng 2. Tuy nhiên, phối liệu của mẻ 4 được chia thành 2 phần gồm phối liệu chính và chất nhiệt nhôm. Sau khi nạp phối liệu chính vào ống hoàn nguyên và rải đều hỗn hợp nhóm lửa lên bề mặt phối liệu chính, rồi nhóm lửa để xảy ra quá trình hoàn nguyên. Ngay sau khi kết thúc phản ứng hoàn nguyên, cho chất nhiệt nhôm lên trên bề mặt xỉ để xảy ra phản ứng hoàn nguyên nhiệt nhôm Fe_2O_3 cung cấp nhiệt làm loãng xỉ, giúp cho quá trình lắng tách hợp kim FeTi ra khỏi xỉ được dễ dàng, tăng hiệu suất thu hồi Ti vào hợp kim.

Khi phản ứng hoàn nguyên kết thúc thì nạp tiếp 20 g vôi để mặt xỉ nguội từ từ và lắng tách hợp kim. Sau khi hợp kim nguội, lấy sản phẩm ra khỏi ống hoàn nguyên và loại bỏ lớp xỉ phía trên ra khỏi hợp kim FeTi.

Thành phần hóa học của xỉ titan và sắt oxit Fe_2O_3 được kiểm tra tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3.

Thành phần hóa học của xỉ titan được thử nghiệm theo các tiêu chuẩn và phương pháp: Thử nghiệm hàm lượng TiO_2 theo TCVN 8911 : 2012, hàm lượng Fe_2O_3 theo QTTN/KT3 - 290 : 2021 (PL5), hàm lượng SiO_2 theo ISO 2598-1 : 1992, còn hàm lượng S theo ASTM E 1019 - 18.

Thành phần hóa học của bột sắt oxit được thử nghiệm theo các tiêu chuẩn: Thử nghiệm hàm lượng Fe_2O_3 theo ASTM D 50-90 (2019), còn hàm lượng SiO_2 theo ISO 2598-1 : 1992.

Thành phần hóa học của bột nhôm, FeSi75 và bột CaO theo số liệu của nhà cung cấp.

Thành phần hóa học của FeTi được phân tích theo phương pháp phân tích hoá học (Theo TCN 01-II

PTH/94 tại Trung tâm phân tích thí nghiệm, Liên đoàn bản đồ địa chất miền nam), phân tích quang phổ phát xạ nguyên tử và phân tích quang phổ huỳnh quang tia X (XRF).

3. Kết quả và thảo luận kết quả nghiên cứu

Thành phần hóa học của FeTi sau khi luyện được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Thành phần hoá học của FeTi trong các mẻ luyện

Mẻ luyện	Thành phần hoá học, %		
	Ti	Al	Si
1	15,48	>10	0,15
2	21,39	>10	0,20
3	39,90	25,50	5,60
4	42,80	18,20	6,00

Trong các mẻ luyện 1 và 2, FeTi được luyện từ tinh quặng inmenit có hàm lượng TiO_2 thấp (52,03%) nên hàm lượng Ti trong FeTi không đạt yêu cầu về hàm lượng Ti của hợp kim $\text{FeTi}_{35}\text{C}_8$ (28-40%). Trong mẻ luyện 1, hàm lượng Ti của FeTi chỉ đạt 15,48%. Để tăng hàm lượng Ti trong hợp kim, trong mẻ luyện 2, hàm lượng Fe_2O_3 và FeSi75 được giảm xuống nhằm giảm hàm lượng sắt trong FeTi và tăng hàm lượng Ti lên được

21,39%. Nhưng FeTi trong mẻ 2 vẫn không đạt yêu cầu về hàm lượng Ti. Để tăng hàm lượng Ti trong hợp kim có thể tăng mức độ hoàn nguyên inmenit, tăng hàm lượng của bột nhôm và hàm lượng ferrosilic trong thành phần phối liệu (Gasik M. I. et al., 1988; Gao Z. et al., 2019; Ngô Trí Phúc và Nguyễn Sơn Lâm, 2006; Cheng C., Dou Z., & Zhang T. 2020). Do vậy trong mẻ luyện 3, tinh quặng inmenit được thay bằng xỉ titan có hàm lượng TiO_2 cao (92,50%). Để đảm bảo hàm lượng sắt trong FeTi và lượng nhiệt cung cấp cho quá trình luyện từ phản ứng hoàn nguyên nhiệt nhôm, hàm lượng Fe_2O_3 trong thành phần phối liệu của các mẻ 3 và 4 tăng lên so với các mẻ 1 và 2.

Trong thành phần phối liệu của các mẻ luyện 3 và 4, hàm lượng nhôm cần để thực hiện các phản ứng hoàn nguyên cũng cao hơn so với các mẻ 1 và 2. Khi hàm lượng nhôm trong liệu tăng lên thì hàm lượng nhôm oxit Al_2O_3 tạo thành trong các phản ứng (5) - (7) sẽ tăng lên. TiO được tạo thành từ phản ứng (6) là oxit có tính kiềm nên có khả năng liên kết với oxit lưỡng tính Al_2O_3 tạo thành hợp chất $\text{TiO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ làm giảm hoạt độ của TiO gây khó khăn cho việc hoàn nguyên Ti theo phản ứng (7). CaO là oxit có tính kiềm mạnh hơn TiO nên có khả năng thay thế TiO tạo thành hợp chất $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Do vậy, hàm lượng CaO trong các mẻ luyện 3 và 4 cũng cao hơn so với các mẻ 1 và 2. Nhưng lượng dư CaO quá nhiều cũng làm giảm hoạt độ của oxit TiO_2 gây khó khăn cho phản ứng hoàn nguyên (5) vì TiO_2 là oxit có tính axit nên có thể liên kết với CaO tạo thành các hợp chất $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$ (Gasik M. I. et al., 1988). Do vậy, hàm lượng của CaO và Al trong thành phần phối liệu của các mẻ 3 và 4 được tăng lên nhưng tỷ lệ giữa CaO và Al trong liệu của các mẻ 3 và 4 vẫn giữ trong khoảng 20-22%.

Để tăng hàm lượng Ti trong hợp kim FeTi và hạn chế Al đi vào hợp kim, hợp kim FeSi75 trong các mẻ 3 và 4 được đưa vào nhiều hơn do các hợp chất liên kim của Ti và Si bền hơn các hợp chất liên kim của Ti và Al nên Si (ở dạng ferrosilic) trong liệu sẽ liên kết với Ti được hoàn nguyên và dịch chuyển cân bằng về hướng tăng lượng Ti di chuyển vào FeTi. Hàm lượng Ti trong FeTi tỷ lệ thuận với tổng hàm lượng Al và Si (Lyakishev N. P., Pliner Yu. L., Ignatenko G. F., & Lappo S. I., 1978):

$$\% \text{Ti} = k(\% \text{Al} + \% \text{Si}) \quad (8)$$

Liệu của mẻ luyện 4 được chia thành 2 phần: liệu chính và chất nhiệt nhôm. Nhiệt của phản ứng nhiệt nhôm trong chất nhiệt nhôm làm tăng nhiệt độ và giảm độ sệt của xỉ, tạo điều kiện lắng tách các giọt kim loại tốt hơn. Do Ti có tỷ trọng thấp nên các giọt FeTi nhẹ, khó lắng tách ra khỏi xỉ. Các giọt sắt lỏng được

hoàn nguyên từ chất nhiệt nhôm chảy qua lớp xỉ, hòa tan các giọt FeTi nhẹ hơn, chuyển chúng từ xỉ vào kim loại (Gasik M. I. et al., 1988), làm tăng hàm lượng Ti trong FeTi cao hơn so với mẻ 3.

Hàm lượng Ti trong mẻ 3 đạt yêu cầu, còn hàm lượng Ti trong mẻ 4 cao hơn so với yêu cầu của hợp kim FeTi₃₅C₈ nhưng hàm lượng Al cũng cao hơn so với giới hạn của nguyên tố này trong hợp kim FeTi₃₅C₈. Tuy nhiên, Al là chất khử oxi nên FeTi được nấu luyện có thể sử dụng để hợp kim hoá kết hợp với khử oxi, tiết kiệm Al trong quá trình luyện thép (Vorobkalo N. et al., 2023).

4. Kết luận

- Hợp kim FeTi chứa 39,9-42,8% Ti, 18,2-25,5% Al, 5,6-6,0% Si đã được luyện thành công từ xỉ titan bằng phương pháp nhiệt nhôm ngoài lò. Hợp kim FeTi có hàm lượng Al cao nên có thể được sử dụng như một hợp kim ferro phức hợp để hợp kim hóa và khử oxi, tiết kiệm Al trong quá trình luyện thép.

- Khi sử dụng xỉ titan thay cho tinh quặng ilmenit có thể tăng hàm lượng Ti trong hợp kim FeTi.

- Chất nhiệt nhôm giúp làm loãng xỉ, lắng tách hợp kim ra khỏi xỉ nên tăng được hàm lượng Ti trong hợp kim FeTi ■

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ công trình nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Chính phủ. (2023). Quyết định số 866/QĐ-TTg ngày 18/7/2023 Phê duyệt Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các loại khoáng sản thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.

Nghiêm Hùng. (1993). Kim loại học và nhiệt luyện. Nhà xuất bản Giáo dục

Ngô Trí Phúc, Nguyễn Sơn Lâm. (2006). Công nghệ sản xuất ferro (hợp kim sắt). Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, tr. 311-330.

Akerkar D. D. (1994), Physico Chemical Aspects of Alumino-Thermic Reduction in the Production of Low Carbon Ferro-Alloys, In: 4th Refresher Course on Ferro Alloys, January 12-14, 1994, Jamshedpur.

Bernard N. G. & Bultitude-Paull J. M. (2013), Production of ferrotitanium by aluminothermic reduction, WO2013029119A1 WIPO (PCT).

Cheng C., Dou Z. & Zhang T. (2020), Mechanism of Melt Separation in Preparation of Low-Oxygen High Titanium Ferroalloy Prepared by Multistage and Deep Reduction, Metals, 10(3), 309; doi:10.3390/met10030309

Choi J. H., Chang H., Ryu T., Nam C. W., & Kim B. S. (2020), Investigating the Aluminothermic Process for Producing Ferrotitanium Alloy from Ilmenite Concentrate, Metals, 10(11), 1493, DOI:10.3390/met10111493

Edneral F. P. & Filippov A. F. (1962), Calculations for the electrometallurgy of steel and ferroalloys, Moscow: Metallurgiya, pp. 215-225 (In Russian).

Gasik M. I., Lyakishev N. P., & Emlin B. I. (1988), Theory and technology of ferroalloys production, Moscow: Metallurgiya, pp. 444-472 (In Russian)

Gao Z., Cheng G., Yang H., Xue X., & Ri J. (2019), Preparation of ferrotitanium using ilmenite with different reduction degrees, Metals, 9(9), 962, DOI:10.3390/met9090962

Lyakishev N. P., Pliner Yu. L., Ignatenko G. F., & Lappo S. I., (1978), Aluminothermy, Moscow "Metallurgiya", pp. 312-331 (In Russian)

Vorobkalo N., Baisanov A., Makhambetov Y., Mynzhasar Y., & Nurgali N. (2023). Technological research of processes for producing titanium rich slag and complex titanium-containing ferroalloy. Heliyon, 9(8), e18989, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18989>.