

# Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mật độ và độ bền của bánh sắt xốp ép nguội

Đào Văn Lưu, Tạ Thanh Cao, Chu Mạnh Cường, Đinh Văn Hiến

**Tóm tắt** - Sắt xốp đã được khoa học chứng minh là một loại nguyên liệu cho luyện thép chất lượng cao. Song do cấu trúc xốp và tỷ trọng nhẹ nên khi sử dụng sắt xốp trong luyện thép sẽ gặp nhược điểm là gây lên hiện tượng sôi, bào mòn mạnh tường lò do vậy dẫn đến giảm tuổi thọ của lò; thời gian tan chảy lâu do nổi trên bề mặt xỉ làm kéo dài thời gian luyện thép, ... Để khắc phục các nhược điểm này, cần thiết phải nâng cao mật độ, giảm rỗ xốp của sắt xốp bằng cách ép với áp lực cao và sử dụng các loại chất kết dính phù hợp. Bài báo trình bày ảnh hưởng của áp lực ép, độ hạt, tỷ lệ chất kết dính và nhiệt độ sấy đến mật độ và độ bền của bánh sắt xốp ép nguội trên máy ép thủy lực. Kết quả nghiên cứu đã cho được bộ thông số công nghệ có thể đưa bánh sắt xốp có mật độ trên  $3,5 \text{ g/cm}^3$  và xác định được bộ thông số công nghệ tối ưu theo độ bền nén của bánh sắt xốp.

**Từ khoá** - Sắt xốp, bánh sắt xốp, ép nguội, thông số công nghệ, mật độ, độ bền

## 1 GIỚI THIỆU

Hiện nay, Công ty Cổ phần khoáng sản và Luyện kim Việt Nam (Mirex) đã và đang sản xuất sắt xốp – một nguyên liệu đặc thù cho luyện thép chất lượng cao [1,2]. Sắt xốp Mirex được sản xuất bằng công nghệ hoàn nguyên trực tiếp ở trạng thái rắn bằng than đá trong lò kiểu đứng. Các kết quả nghiên cứu sử dụng sắt xốp Mirex luyện thép đã chứng tỏ ưu việt của sắt xốp trong việc nâng cao chất lượng thép, đặc biệt là có thể sản xuất các mác thép có hàm lượng các bon rất thấp (dưới 0,05%), đồng thời hàm lượng tạp chất P,

*Bài báo này được gửi vào ngày 17 tháng 06 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 10 tháng 09 năm 2017.*

Đào Văn Lưu, Học viện Kỹ thuật Quân sự (email: daoluumta@gmail.com)

Tạ Thanh Cao, Nhà máy Z115, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.

Chu Mạnh Cường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.

Đinh Văn Hiến, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự.

S rất thấp (dưới 0,025%). Mặc dù có nhiều ưu điểm, song luyện thép từ sắt xốp có nhược điểm lớn là gây lên hiện tượng sôi và bào mòn mạnh tường lò dẫn đến làm giảm tuổi thọ lò; đồng thời do tỷ trọng thấp ( $1,7-2,4 \text{ g/cm}^3$ ) nên thời gian tan chảy khi luyện thép kéo dài dẫn đến làm tăng thời gian luyện thép. Để khắc phục các nhược điểm này, ở các nước công nghiệp phát triển đã sử dụng công nghệ ép đóng bánh sắt xốp nhằm nâng cao mật độ, giảm tỷ lệ rỗ xốp, đồng thời cho độ bền phù hợp để thuận tiện cho việc bao gói, vận chuyển và nạp liệu khi luyện thép...

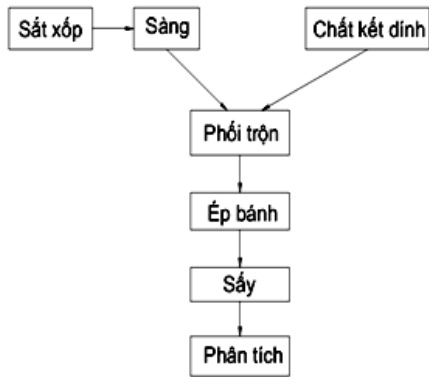
Tùy theo công nghệ sản xuất sắt xốp mà các công nghệ ép có thể sử dụng là ép đóng bánh nóng (thực hiện ở  $600-800^\circ\text{C}$ ) hoặc ép đóng bánh ở trạng thái nguội [3]. Sắt xốp Mirex được sản xuất bằng lò đứng, khi ra lò phải qua qua vùng làm mát có nhiệt độ khoảng  $300-400^\circ\text{C}$ , vì thế, công nghệ ép đóng bánh nóng không phù hợp. Trong nghiên cứu này, công nghệ ép đóng bánh nguội được lựa chọn để nghiên cứu. Mật độ và độ bền bánh sắt xốp phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: cỡ hạt sắt xốp trước khi ép; loại và tỷ lệ chất kết dính; áp lực ép; nhiệt độ và thời gian sấy. Nhiều tài liệu nghiên cứu và tiêu chuẩn bánh sắt xốp [5-10] của một số nước thấy: cỡ hạt sắt xốp ép phải đủ nhỏ để đảm bảo mật độ chất đóng của sắt xốp ban đầu trong vùng ép đủ lớn để khi giảm về thể tích ép cuối có đủ mật độ bánh ép đạt yêu cầu; chất kết dính cho ép nguội thường dùng là nước thủy tinh hoặc hỗn hợp nước thủy tinh và vôi bột hoặc hắc ín hoặc nhựa đường với tỷ lệ nhỏ để không hoặc ít ảnh hưởng đến thành phần bánh sắt xốp sau ép.

Như vậy, vấn đề đặt ra là cần phải nghiên cứu thực nghiệm để tìm ra tính quy luật tác động của các thông số công nghệ, từ đó tìm ra bộ thông số công nghệ hợp lý cho bánh sắt xốp đạt yêu cầu về mật độ và độ bền. Trong bài báo, ảnh hưởng của cỡ hạt, tỷ lệ chất kết dính, áp lực ép và nhiệt độ sấy

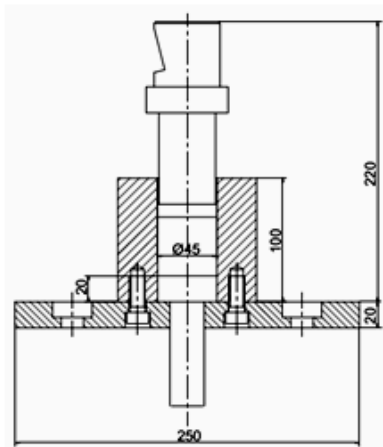
đến mật độ và độ bền bánh sắt xốp ép nguội trên máy ép thủy lực được khảo sát, nghiên cứu.

2 PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

Sơ đồ công nghệ nghiên cứu được chỉ ra trên hình 1. Sơ đồ khuôn ép chỉ ra trên hình 2.



Hình 1. Sơ đồ công nghệ nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ khuôn ép bánh sắt xốp



Hình 3. Thử nghiệm độ bền nén bánh sắt xốp sau ép

Phương trình mặt đáp ứng bậc 2 có dạng như sau:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

Trong phương trình trên, Y là hàm mục tiêu tiên

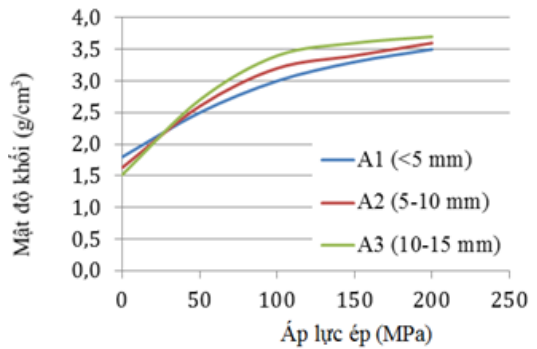
đoán;  $\beta_0$  hệ số độc lập;  $\beta_i$  hệ số tuyến tính;  $\beta_{ij}$  hệ số tương quan và  $\beta_{ii}$  hệ số bậc hai.

Các biến khảo sát theo quy hoạch thực nghiệm và mức của nó được xác định dựa trên kết quả thu được từ các thí nghiệm thăm dò trước đó.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Ảnh hưởng của áp lực ép và cỡ hạt lên mật độ bánh sắt xốp

Hình 4 trình bày quan hệ giữa mật độ khối và áp lực ép với các cỡ hạt khác nhau.



Hình 4. Quan hệ mật độ khối và áp lực ép với các cỡ hạt khác nhau.

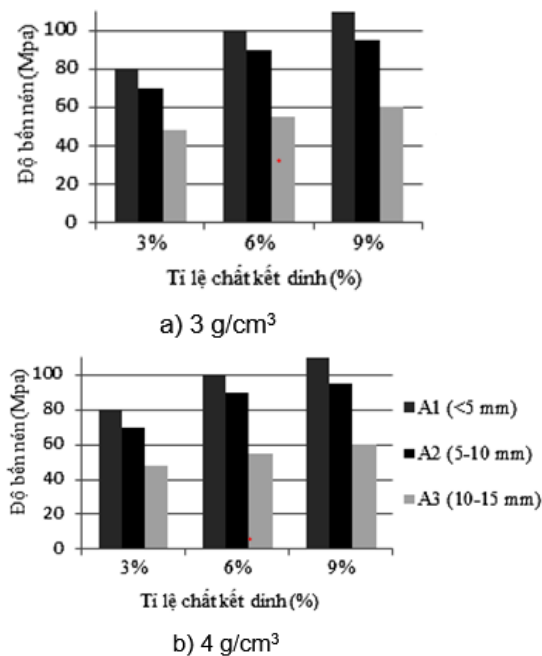
Hình 4 cho thấy, mật độ khối lượng tăng tỷ lệ thuận với áp lực ép, trong khi đó, cỡ hạt ảnh hưởng không nhiều đến mật độ khối với cùng áp lực ép tương tự. Dưới tác dụng của chày ép, các hạt sắt xốp có thể bị phá vỡ hoặc biến dạng để điền đầy các lỗ trống. Lực ép càng tăng, hạt sắt xốp bị phá vỡ càng nhiều và các lỗ trống cũng được điền đầy nhờ quá trình dịch chuyển của các hạt sắt xốp bị phá vỡ và có thể kèm theo biến dạng dẻo của các hạt sắt xốp.

3.2 Ảnh hưởng của tỉ lệ chất kết dính và cỡ hạt đến độ bền bánh sắt xốp

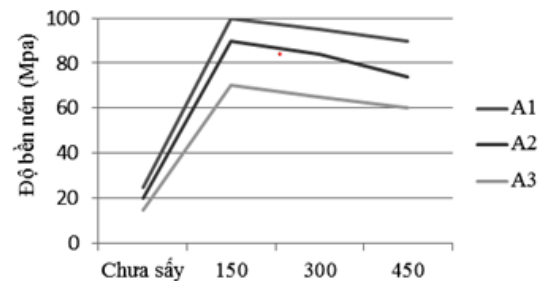
Hình 5 trình bày quan hệ độ bền nén với tỷ lệ chất kết dính của các mẫu bánh sắt xốp có mật độ khác nhau. Có thể thấy, cỡ hạt càng tăng, độ bền nén càng giảm. Khi hạt sắt xốp nhỏ khả năng liên kết giữa chúng với nhau tốt hơn do các hạt nhỏ, đều hơn so với hạt thô, do đó, độ bền nén tăng. Từ hình 5 cũng cho thấy, tăng tỷ lệ chất kết dính làm tăng độ bền nén của bánh sắt xốp. Tuy nhiên, khi tỷ lệ chất kết dính là 6% và 9%, độ bền nén sai khác không nhiều. Điều đó chứng tỏ chất kết dính đã đạt đến trạng thái bão hòa.

3.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ bền

Hình 6 trình bày quan hệ độ bền nén và nhiệt độ sấy với các cỡ hạt sắt xốp khác nhau. Có thể thấy, khi tăng nhiệt độ sấy từ nhiệt độ phòng đến 150°C, độ bền nén tăng lên, sau đó giảm khi tiếp tục tăng nhiệt độ sấy. Như đã biết, nước thủy tinh có ngậm một lượng nước nhất định. Khi tăng nhiệt độ sấy, nước bị bay hơi và thoát ra khỏi bánh sắt xốp nhanh hơn, chúng nhanh chóng bị đóng rắn, do đó, làm giảm hiệu quả kết dính của nước thủy tinh với các hạt sắt xốp. Vì vậy, khi tăng nhiệt độ sấy trên 150°C, độ bền nén của bánh sắt xốp có xu hướng giảm.



Hình 5. Quan hệ độ bền nén với tỷ lệ chất kết dính với mẫu bánh sắt xốp có mật độ



Hình 6. Quan hệ độ bền nén và nhiệt độ sấy với các cỡ hạt sắt xốp khác nhau.

3.4 Xác định bộ thông số công nghệ tối ưu độ bền bánh sắt xốp

Bánh ép sắt xốp ngoài việc cần có mật độ đủ cao ( $\geq 3,5 \text{ g/cm}^3$ ) cần phải đảm bảo có độ bền cao để thuận tiện cho việc nạp liệu và vận chuyển mà không vỡ vụn, mà sẽ làm ảnh hưởng xấu đến quá trình luyện thép sau đó. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định được bộ thông số công nghệ tối ưu độ bền nén là cần thiết.

Từ các thí nghiệm thăm dò nhận thấy:

- Áp lực ép có ảnh hưởng mạnh đến mật độ và độ bền của bánh sắt xốp, tăng áp lực ép, mật độ và độ bền tăng. Nhưng khi mật độ đạt giá trị tối hạn thì dù có tăng áp lực ép mật độ tăng rất chậm;
- Cỡ hạt ảnh hưởng không đáng kể đến mật độ, song ảnh hưởng nhất định đến độ bền nén. Cỡ hạt sắt xốp nhỏ, độ bền nén tăng;
- Tỷ lệ chất kết dính và nhiệt độ sấy có ảnh hưởng mạnh đến độ bền nén.

Trong thực tế sản xuất sắt xốp và sử dụng sắt xốp luyện thép tại Công ty Mirex, một lượng đáng kể sắt xốp vụn có cỡ hạt nhỏ hơn 10 mm (sau sàng) hầu như không thể sử dụng trực tiếp ngay cho luyện thép do việc nạp liệu khó khăn và hiệu quả kinh tế thấp. Vì vậy, trong nghiên cứu này, hai loại sắt xốp vụn có cỡ hạt  $d < 5 \text{ mm}$  và  $5 \text{ mm} \leq d < 10 \text{ mm}$  được dùng kết hợp với tỷ lệ 1:1 làm nguyên liệu đầu vào cho ép bánh để nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu độ bền bánh sắt xốp. Để thuận tiện cho việc xác định tối ưu công nghệ, hai thông số là tỷ lệ chất kết dính và nhiệt độ sấy được khảo sát ở các giá trị khác nhau, cụ thể: tỷ lệ chất kết dính ở 3 mức 7-9-11%; nhiệt độ sấy ở 3 mức 150-200-250°C. Áp lực ép được chọn khoảng 150 MPa để đảm bảo mật độ bánh sắt xốp khoảng  $3,5 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ . Thời gian sấy được chọn cố định là 1 giờ. Tỷ lệ chất kết dính (f) và nhiệt độ sấy (T) đã mã hóa tương ứng là  $x_1 (-1, 0, 1)$  và  $x_2 (-1, 0, 1)$  để sử dụng cho tính toán hàm hồi quy theo quy hoạch thực nghiệm. Bảng thí nghiệm được thiết kế theo quy hoạch trực giao cấp 2 và giá trị độ bền nén (y) theo từng thí nghiệm chỉ ra trong bảng 1. Thí nghiệm tại tâm miền khảo sát được lặp lại 3 lần.

Bảng 1. Ma trận thực nghiệm và kết quả độ bền nén theo các chế độ công nghệ.

STT	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$x_1'$	$x_2'$	y
1	+	+	+	+	1/3	1/3	69

2	+	-	+	-	1/3	1/3	52
3	+	+	-	-	1/3	1/3	74
4	+	-	-	+	1/3	1/3	63
5	+	0	0	0	-2/3	-2/3	74
6	+	0	0	0	-2/3	-2/3	72
7	+	0	0	0	-2/3	-2/3	75
8	+	+	0	0	1/3	-2/3	60
9	+	-	0	0	1/3	-2/3	53
10	+	0	+	0	-2/3	1/3	70
11	+	0	-	0	-2/3	1/3	80

Từ kết quả thực nghiệm, dựa trên phương pháp bình phương cực tiểu xác định các hệ số hồi quy, phân tích phương sai để kiểm định tính có nghĩa

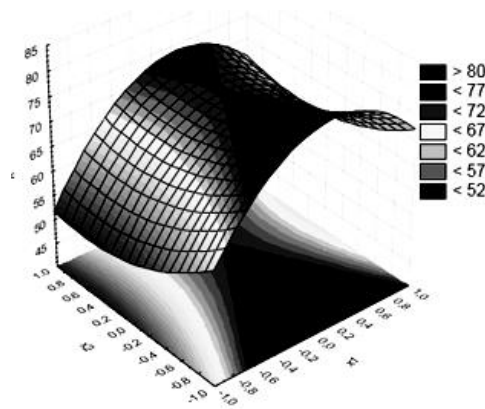
của hệ số hồi quy và sự phù hợp của mô hình, kết quả được trình bày trong bảng 2. Hàm hồi quy quan hệ giữa độ bền nén (y) với tỷ lệ chất kết dính ( $x_1$ ) và nhiệt độ sấy ( $x_2$ ) được biểu diễn như sau:

$$y = 66,07 + 5,83 * x_1 - 4,33 * x_2 - 12,72 * x_1^2 + 5,78 * x_2^2 \quad (2)$$

Mô hình hồi quy đảm bảo phù hợp trong chuẩn Fisher,  $F_{0,05}$ . Từ phương trình (2), thiết lập biểu đồ quan hệ giữa y với các biến  $x_1$  và  $x_2$  như trên hình 7. Từ hình này cho thấy, xu hướng chung là tăng giá trị  $x_2$  (nhiệt độ sấy), độ bền nén giảm; tăng giá trị  $x_1$  (tỷ lệ chất kết dính) đến khoảng 0,1 thì độ bền nén tăng lên, sau đó giảm khi tiếp tục tăng giá trị  $x_1$ ; khi giá trị  $x_1$  trong phạm vi từ -0,2 đến 0,4, độ bền nén đạt lớn nhất với mọi giá trị  $x_2$ .

Bảng 2. Kiểm định thống kê hệ số và mô hình hồi quy

Kiểm định tính có nghĩa của hệ số hồi quy						
TT	Hệ số $\beta_j$	Phương sai hệ số hồi quy $S_{\beta_j}$	Các thống kê hệ số hồi quy $t_{\beta_j}$	Chuẩn Student, $t_{0,05}$	Kết luận	
1	$\beta_0 = 66.07$	0,509	129,767	2,92 (bậc tự do 2)	Có ý nghĩa	
2	$\beta_1 = 5.83$	0,624	9,354		Có ý nghĩa	
3	$\beta_2 = -4.33$	0,624	6,949		Có ý nghĩa	
4	$\beta_{11} = -12.72$	1,080	11,778		Có ý nghĩa	
5	$\beta_{12} = 1.50$	0,764	1,964		Không có nghĩa	
6	$\beta_{22} = 5.78$	0,764	7,565		Có ý nghĩa	
Kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy						
TT	Giá trị		Phương sai	Thống kê $F = S_{du}^2 / S_{ts}^2$	Chuẩn Fisher, $F_{0,05}$	Kết luận
	$y_i$ (Thực nghiệm)	$Y_i$ (Lý thuyết)				
1	69	60,63	1. Phương sai tái hiện: $S_{ts} = 1,53$ 2. Phương sai dư $S_{du} = 6,31$	17,09	19,33	Mô hình hồi quy phù hợp
2	52	48,96				
3	74	69,3				
4	63	57,62				
5	73,67	66,07				
6	60	59,18				
7	53	47,52				
8	70	67,52				
9	80	76,19				



Hình 7. Biểu đồ quan hệ độ bền nén (y) với các tỷ lệ chất kết dính ( $x_1$ ) và nhiệt độ sấy ( $x_2$ )

Để xác định tối ưu độ bền nén, công cụ tối ưu mặt đáp của phần mềm Mathcad 15 được sử dụng. Kết quả thu được:  $y_{\max} = 81,55$  MPa tại  $x_1 = 0,227$  và  $x_2 = -1$ , quy đổi ra giá trị thực là: tỷ lệ chất kết dính,  $f = 9,46\%$  và nhiệt độ sấy,  $T = 150^\circ\text{C}$ .

#### 4 KẾT LUẬN

Đề tài nghiên cứu đã sử dụng phương pháp ép đóng bánh nguội sắt xốp trong khuôn kín trên máy ép thủy lực, đã tìm được chế độ công nghệ ép cho mật độ ép trên  $3,5 \text{ g/cm}^3$  và tìm được chế độ công nghệ tối ưu độ bền nén bánh sắt xốp.

Một số kết luận chính thu được từ nghiên cứu:

- Cỡ hạt ảnh hưởng không đáng kể đến mật độ, song ảnh hưởng nhất định đến độ bền nén. Cỡ hạt sắt xốp nhỏ, độ bền nén tăng;

- Tỷ lệ chất kết dính và nhiệt độ sấy có ảnh hưởng mạnh đến độ bền nén. Tăng nhiệt độ sấy trên  $150^\circ\text{C}$ , độ bền bánh sắt xốp giảm. Tỷ lệ chất kết dính/sắt xốp ép tốt nhất là khoảng  $9\div 10\%$  đảm bảo cho bánh sắt xốp có độ bền nén tối ưu.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở để chuẩn bị công nghệ cho ép bánh sắt xốp trên máy ép cán chu kỳ của Công ty Mirex theo quy mô sản xuất công nghiệp

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. KS. Nguyễn Ngọc Linh, KS. Nguyễn Thanh Bình, KS. Trần Văn Đoàn, PGS. Đinh Bá Trụ, *Các kết quả nghiên cứu ứng dụng về sản xuất sắt xốp MIREX và thép hợp kim*, Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Cơ khí lần thứ 3, Năm 2012
- [2]. KS. Nguyễn Xuân Liêu, Sắt xốp- nguyên

liệu tiên tiến cho luyện thép hợp kim ở Việt Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, ISSN 1895-4794, Số 15 .2013.

- [3]. Dr.-Ing, H. Rieschel, Hattingen, Present state of sponge iron briquetting in consideration of the selection of the binding agent, *Metallurgical Plant and Technology – Germany*, No. 10.7, 2012.
- [4]. G. Zayats, R. Kusin, V. Kapceovich, Modelling of plastic deformation of porous powder materials, *Mathematical Modelling Analysis*, Volume 8, Number 4, 2003, 351-360.
- [5]. Haus Rausch, Oberusel, Taunus, *Method of sponge iron briquetting*, Patent NoUS 3,556,772, United States Patent, 1971.
- [6]. Hans Goerg Bergendahl, *Process for producing sponge iron briquetting from fine ore*, Patent NoUS 5,666,638, United States Patent, 1997.
- [7]. IS 15774: 2007, *Sponge iron/direct reduced iron (DRI), hot briquetted iron (HBI)/cold briquetted iron (CBI) for steel making in induction furnaces*, Indian Standard.
- [8]. IS 10852: 2012, *Storage and transformation of sponge iron, direct reduced (DRI) and hot briquetted iron (HBI)– Guidelines*, Indian Standard.
- [9]. S. A. Ibitoye and A. A. Afonja, Characterization of Cold Briquetted Iron (CBI) By X-Ray Diffraction Technique, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 7, No.1, pp 39-48, 2007.
- [10]. S.K. Dutta, A.B. Lele and N.K. Pancholi,

Studies on direct reduced iron melting in induction furnace, *Trans. Indian Inst. Met.* Vol.57, No. 5, October 2004, pp. 467-473 TP 1904, October.



**Tiến sỹ Đào Văn Lưu**, tốt nghiệp Đại học ngành Công nghệ Cơ khí, năm 2000, cao học năm 2004 tại Học viện KTQS, tốt nghiệp nghiên cứu sinh tiến sỹ ngành Công nghệ cơ khí tại

Đại học Giao thông vận tải Tây An (Trung Quốc) năm 2012. Hiện đang công tác tại Trung tâm Công nghệ, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Hướng nghiên cứu chính: công nghệ cơ khí - vật liệu, cơ khí tự động hóa, CAD/CAE/CAM/CNC



**Th.S Tạ Thanh Cao**, thạc sỹ kỹ thuật, tốt nghiệp Đại học năm 2007, Cao học năm 2016 ngành Công nghệ Cơ khí tại Học viện KTQS. Hiện đang là kỹ sư tại nhà máy Z115, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng.

Hướng nghiên cứu chính: Công nghệ Cơ khí chế tạo máy, Cơ khí tự động hóa, CAD/CAM/CNC.



**Th.S Chu Mạnh Cường**, thạc sỹ kỹ thuật, giảng viên khoa Cơ điện, Đại học Mỏ - địa chất Hà Nội. Tốt nghiệp Đại học năm 2000 tại Đại học Lâm Nghiệp ngành Chế biến gỗ; Cao học năm 2015 ngành

Công nghệ Cơ khí tại Học viện KTQS. Hiện đang công tác tại Khoa Cơ điện, Đại học Mỏ - địa chất Hà Nội.

Hướng nghiên cứu chính: Công nghệ Cơ khí chế tạo máy, CAD/CAM/CNC



**Th.S Đinh Văn Hiến**, nghiên cứu viên, hiện đang công tác tại Viện Tên lửa - Viện Khoa học & Công nghệ quân sự. Tốt nghiệp đại học năm 2006, Cao học năm 2011 ngành Công nghệ cơ khí tại

Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hiện đang là NCS tại Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự.

Hướng nghiên cứu chính: công nghệ cơ khí - vật liệu, cơ khí tự động hóa, công nghệ chế tạo vật thể bay

# Effects of process parameters on density and strength of cold briquetted sponge iron

Dao Van Luu, Ta Thanh Cao, Chu Manh Cuong, Dinh Van Hien

**Abstract** - Sponge iron has been widely used for melting high-quality steels. However, there are several disadvantages of using sponge iron to melt steels, e.g boiling and furnace's wall wearing strongly... which leads to a reduction in life duration of furnace due to its porous structure and low density. The solutions for overcoming these disadvantages are rising the density and reducing the purity of sponge iron by compacting particles of sponge iron to briquets in a high pressure and using a suitable binder. In this paper, the effects of pressing pressure, particle size, a fraction of binder and baking temperature on the density and strength of the sponge iron briquet using hydraulic machine were investigated. The process parameters range to obtain the sponge iron briquet with the density over  $3.5 \text{ g/cm}^3$  were found, and the optimal processing parameter range for maximizing the compacting strength of the sponge iron briquet was determined.

**Index Terms** - *Sponge Iron, Sponge Iron Briquet, Cold Pressing, Process Parameters, Density, Compacting Strength*