

## Nghiên cứu sử dụng xỉ thép làm nguyên liệu sản xuất clanhke xi măng

Tạ Văn Luân<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thanh Bình<sup>2</sup>, Phạm Hữu Thiên<sup>1</sup>, Trịnh Thị Châm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Xi măng và bê tông, Viện Vật liệu xây dựng

<sup>2</sup> Trung tâm kiểm định Vật liệu xây dựng, Viện Vật liệu xây dựng

### TỪ KHOÁ

Xi thép  
Clanhke xi măng

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng xỉ thép từ các loại lò luyện thép (lò chuyển BOF, lò hồ quang điện EAF, lò điện cảm ứng IF) ở Việt Nam để làm nguyên liệu thay thế quặng sắt trong sản xuất clanhke xi măng. Các nguyên vật liệu (đá vôi, đất sét, quặng sắt, cao silic) và các mẫu xỉ thép được phân tích thành phần hóa học để tính toán chế tạo các bài phối liệu theo hệ số chế tạo đã chọn. Khả năng kết khối và khả năng nghiền của các bài phối liệu đã được đánh giá so với mẫu đối chứng. Các tính chất khoáng hóa của các mẫu clanhke thu được và các chỉ tiêu cơ lý (lượng nước yêu cầu, thời gian đông kết, cường độ nén) của xi măng được nghiền từ các mẫu clanhke với thạch cao đến độ mịn 3200 cm<sup>2</sup>/g cũng đã được đánh giá.

### KEYWORDS

Steel slag  
Cement clinker

### ABSTRACT

This paper presents results on utilization of steel slags from various steelmaking technologies in Vietnam (including BOF - Basic oxygen furnace, EAF - Electric arc furnace, IF - Electric induction furnace) for application as a substitute for iron ore in the production of cement clinker. The raw materials (limestone, clay, iron ore, siliceous rock) and steel slag samples were analyzed for their chemical composition to calculate and make raw meals according to the selected manufacturing coefficient. The grindability and burnability of raw meals were evaluated compared with the control sample. The mineralization properties of the obtained clinker samples and the physico-mechanical characteristics (water demand, setting time, compressive strength) of cement obtained by grinding clinker with gypsum up to a fineness of approx. 3200 cm<sup>2</sup>/g is also evaluated.

### 1. Giới thiệu

Xi thép là một sản phẩm phụ của quá trình luyện thép, ước tính lượng xi thép phát sinh hàng năm tại nước ta là 2,205 triệu tấn xi BOF (chiếm 63,17 %), 1,208 triệu tấn xi EAF (chiếm 34,59 %), 78,3 nghìn tấn xi IF (chiếm 1,24 %) [1]. Hiện nay, lượng xi thép đang tồn chứa và chưa được xử lý ở nước ta còn khá lớn, gây ảnh hưởng xấu tới môi trường. Việc nghiên cứu tái sử dụng xỉ thép vào các mục đích khác nhau như làm vật liệu san lấp, làm cốt liệu cho bê tông, làm nguyên liệu cho sản xuất clanhke xi măng... đã từng bước được quan tâm và thúc đẩy ở Việt Nam.

Trên thế giới, một số nghiên cứu sử dụng xỉ thép làm nguyên liệu cho sản xuất xi măng đã được thực hiện từ lâu. Tác giả *Ahmad Monshi, Masoud Kasiri Asgarani* (1999) đã thực hiện nghiên cứu sản xuất clanhke xi măng pooc lăng từ xỉ sắt thép và đá vôi. Kết quả thử nghiệm độ mịn, hàm lượng nước tiêu chuẩn, cường độ nén, cường độ uốn của các mẫu clanhke ra lò cho thấy mẫu bột liệu với hệ số chế tạo: LSF 90,3; SR 3,2; AR 2,0 (tỷ lệ đá vôi 57 %, xi gang 37 %, xi thép 6 %) cho kết quả tốt nhất [2]. Tác giả *P.E. Tsakiridis* (2008) đã chế tạo một mẫu clanhke (PC<sub>s/s</sub>) với 10,5 % xỉ thép trong phối liệu, thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết của PC<sub>s/s</sub> kéo dài hơn khoảng 13 % so với mẫu đối chứng, cường độ nén tại các độ tuổi bảo dưỡng 3,7,28 và 91 ngày của PC<sub>s/s</sub> đều xấp xỉ so với mẫu đối chứng [3]. Tác giả *Jenica*

*paceagiu* (2010) đã sử dụng các vật liệu: đá vôi, đất sét, quặng pyrit, xỉ thép để chế tạo phối liệu (C1) chứa 15,35 % xỉ thép với hệ số chế tạo Sk 0,98; M<sub>Si</sub> 2,0; M<sub>Al</sub> 1,5. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi sử dụng xỉ thép làm nguyên liệu thì đã làm giảm nhiệt độ kết khối của bột phối liệu tới 50 °C và giảm tiêu hao nhiệt lý thuyết khi tạo clanhke là 48,5 kcal/kg, đồng thời chất lượng clanhke thu được tương đương với clanhke được chế tạo từ các nguyên liệu truyền thống [4]. Tác giả *R.I. Iacobescu* (2011) cùng đồng nghiệp đã sử dụng xỉ lò điện hồ quang EAF làm nguyên liệu cho sản xuất xi măng belite năng lượng thấp. 3 loại clanhke đã được chuẩn bị với 3 tỷ lệ 0 % (BC), 5 % (BC5), 10 % (BC10) xỉ EAF có bộ hệ số chế tạo LSF, AR, SR tương ứng là (80,13;1,87;3,29), (79,0;1,26;2,47), (78,1;1,0;1,96) với tỷ lệ các cấu tử nguyên liệu đầu vào (xi EAF/đá vôi/flysch) lần lượt là (0/84/16), (5/80,5/14,5), (10/77/13). Kết quả cường độ nén 28 ngày của 3 cấp phối trên lần lượt là 47,5 Mpa, 46,6 Mpa, 42,8 Mpa tương ứng với BC, BC5, BC10 [5]. Tác giả *Aitana Sáez-de-Guinoa Vilaplana* (2015) cùng đồng nghiệp đã tái sử dụng xỉ thép Ladle Furnace (LF) làm nguyên liệu sản xuất clanhke xi măng pooc lăng với hệ số chế tạo LSF = 0,98; AR = 1,30; SR = 2,30. Tỷ lệ các cấu tử nguyên liệu đầu vào gồm đá vôi/đất sét/xi LF/MS = 45,1/14,4/39,2/1,3. Mẫu phối liệu được nung ở nhiệt độ lớn nhất là 1550 °C, sau đó được làm lạnh nhanh bằng dòng khí lạnh. Clanhke được nghiền mịn cùng với 5 % thạch cao tới 95,3 % cỡ hạt nhỏ hơn 60 μm. Cường độ nén tại tuổi 2,7,28 ngày bảo dưỡng lần lượt

\*Liên hệ tác giả: taluan.vibm@gmail.com

Nhận ngày 05/04/2023, sửa xong ngày 13/05/2023, chấp nhận đăng 14/06/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2023.519>

đạt 31,3 Mpa, 41,4 Mpa, và 54,0 Mpa. Chất lượng hoàn toàn phù hợp với nhóm 52.5R theo EN 917-1 [6]

Tại Việt Nam, chưa có nghiên cứu nào được thực hiện để đánh giá đầy đủ khả năng sử dụng xi thép làm clanhke xi măng. Đã có một số nhà máy riêng lẻ đã thử nghiệm sử dụng xi thép trong sản xuất clanhke xi măng, tuy nhiên các đánh giá đầy đủ vẫn chưa được báo cáo. Ngoài ra, do quá trình hình thành và làm nguội, xi thép thường có kích thước ban đầu khá lớn vì vậy cần phải trải qua quá trình gia công đập, nghiền, sàng, tách từ trước khi đem đi sử dụng làm nguyên liệu sản xuất clanhke xi măng.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Xi thép

Các loại xi thép khác nhau được hình thành tùy thuộc vào loại lò được sử dụng trong quá trình luyện thép. Đề tài đã lựa chọn đánh giá 3 mẫu xi thép của 3 loại lò đang được sử dụng phổ biến tại Việt Nam là lò chuyển, lò hồ quang điện và lò điện cảm ứng. Ký hiệu mẫu và địa điểm lấy mẫu được cho trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Ký hiệu mẫu và vị trí lấy mẫu xi thép.

STT	Ký hiệu mẫu	Loại và vị trí lấy mẫu xi thép
1	HP	Xi thép lò chuyển BOF, được lấy tại bãi chứa của Công ty cổ phần Thép Hòa Phát Dung Quất
2	VK	Xi thép lò hồ quang điện EAF, được lấy tại bãi chứa của Công ty TNHH Thép Vina Kyoiei
3	NS	Xi thép lò điện cảm ứng IF, được lấy tại bãi chứa của Công ty TNHH MTV thép VAS Nghi Sơn

### 2.2. Đá vôi, đá sét, quặng sắt, cao silic

Nguyên vật liệu truyền thống để sản xuất clanhke xi măng bao gồm : đá vôi, đá sét và nguyên liệu điều chỉnh (quặng sắt, cao silic). Các loại nguyên vật liệu trên được lấy từ nhà máy xi măng Trung Sơn. Thành phần hóa học của các nguyên vật liệu và các mẫu xi thép được cho trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Thành phần hóa học các nguyên vật liệu và các mẫu xi thép.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Nguyên vật liệu						
			Đá vôi	Đá sét	Quặng sắt	Cao silic	Xi thép HP	Xi thép VK	Xi thép NS
1	SiO <sub>2</sub>	%	2,20	58,68	21,00	82,54	13,92	16,66	57,00
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	1,22	12,11	16,41	7,01	1,59	15,29	14,02
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,79	4,95	47,08	2,92	16,60	33,84	8,46
4	CaO	%	52,89	8,96	0,56	1,68	47,04	17,92	3,48
5	MgO	%	1,21	2,22	0,35	0,60	8,87	5,96	4,88
6	K <sub>2</sub> O	%	0,28	2,38	0,49	1,28	0,00	0,10	0,16
7	Na <sub>2</sub> O	%	0,04	0,62	0,02	0,04	0,00	0,00	0,20
8	MKN	%	41,30	8,98	12,50	2,99	2,00	0,00	0,00
9	SO <sub>3</sub>	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,05
10	TiO <sub>2</sub>	%	0,04	0,16	0,18	0,03	0,63	1,47	1,00
11	MnO	%	0,00	0,00	0,00	0,00	5,85	5,82	9,60
12	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	0,23	0,00
13	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,64	0,78
14	Tổng	%	99,97	99,06	98,59	99,09	97,80	99,93	99,63

### 2.3 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp sau:

#### 2.3.1 Phương pháp tiêu chuẩn

- Xác định thành phần hóa clanhke theo TCVN 141

- Xác định thành phần hóa của đá vôi theo TCVN 9191

- Xác định thành phần hóa của đá sét, cao silic theo TCVN 7131

- Xác định thành phần hóa của quặng sắt theo TCVN 4653-1 và QT VLXD 01

- Xác định thành phần hóa các mẫu xi thép theo TCVN 8265

- Xác định lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết, độ ổn định thể tích theo TCVN 6017

- Xác định cường độ nén theo TCVN 6016
- Xác định độ mịn theo TCVN 4030

2.3.2 Phương pháp phi tiêu chuẩn

- Phương pháp phân tích nhiệt vi sai (DTA và TG) nhằm đánh giá các sản phẩm thủy hóa của các mẫu đá xi măng
- Phương pháp XRD nhằm đánh giá thành phần khoáng của các mẫu clanhke

- Phương pháp tính toán phối liệu. Dựa trên nguyên tắc sau:

**Bước 1:** Xác định thành phần hoá học của nguyên liệu đầu

Nguyên liệu được lấy về và đồng nhất, sau đó lấy mẫu trung bình gửi phân tích thành phần hoá của nguyên liệu.

**Bước 2:** Tính chuyển thành phần hoá của nguyên liệu sống về thành phần hoá của nguyên liệu sau nung.

Từ thành phần hoá của nguyên liệu, được quy về thành phần hoá sau nung bằng cách lấy hàm lượng các ôxít nhân với hệ số ( $K_{CH} = 100 / (100 - MKN)$ ).

**Bước 3:** Chọn các hệ số chế tạo clanhke (LSF, MS, MA)

Các hệ số chế tạo được chọn phù hợp với sản xuất công nghiệp hiện nay. Đề tài lựa chọn bộ hệ số chế tạo như sau:  $LSF = 90 \div 96$ ;  $MS = 2,4 \div 2,6$ ;  $MA = 1,3 \div 1,6$

Trong đó  $LSF = 100 (CaO - 0,7SO_3) / (2,8SiO_2 + 1,2Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3)$ ;

$$MS = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3);$$

$$MA = Al_2O_3 / Fe_2O_3$$

**Bước 4:** Tính hàm lượng than cần thiết để nung 100 kg clanhke, lượng tro than tham gia tạo clanhke.

Lượng than tiêu tốn nung 100 kg clanhke:

$$T = q/Q \text{ (kg than/kg clanhke)}$$

Lượng tro than tham gia tạo clanhke:

$$t = X_5 = T \cdot A \text{ (%)}$$

Ở đây: q: Nhiệt lượng tiêu tốn riêng (kcal/kg clanhke).

Q: Nhiệt trị của than (kcal/kg than).

A: Độ tro của than (%)

**Bước 5:** Lập phương trình và tính các hệ số của phương trình

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 100 \quad (1)$$

$$\Delta C_1 X_1 + \Delta C_2 X_2 + \Delta C_3 X_3 + \Delta C_4 X_4 + \Delta C_5 X_5 = 0 \quad (2)$$

$$\Delta S_1 X_1 + \Delta S_2 X_2 + \Delta S_3 X_3 + \Delta S_4 X_4 + \Delta S_5 X_5 = 0 \quad (3)$$

$$\Delta A_1 X_1 + \Delta A_2 X_2 + \Delta A_3 X_3 + \Delta A_4 X_4 + \Delta A_5 X_5 = 0 \quad (4)$$

Ở đây:  $X_1$ : là % đá vôi đã nung (cấu tử 1)

$X_2$ : là % đất sét đã nung (cấu tử 2)

$X_3$ : là % quặng sắt đã nung (cấu tử 3)

$X_4$ : là % Cao silic đã nung (cấu tử 4)

$X_5 = t$ : là % tro than trong clanhke (cấu tử 5)

Tính các hệ số của hệ phương trình:

$$\Delta C_1 = C_1 - LSF(2,8 \cdot S_1 + 1,18 \cdot A_1 + 0,65 \cdot F_1) / 100$$

$$\Delta C_2 = C_2 - LSF(2,8 \cdot S_2 + 1,18 \cdot A_2 + 0,65 \cdot F_2) / 100$$

$$\Delta C_3 = C_3 - LSF(2,8 \cdot S_3 + 1,18 \cdot A_3 + 0,65 \cdot F_3) / 100$$

$$\Delta C_4 = C_4 - LSF(2,8 \cdot S_4 + 1,18 \cdot A_4 + 0,65 \cdot F_4) / 100$$

$$\Delta C_5 = C_5 - LSF(2,8 \cdot S_5 + 1,18 \cdot A_5 + 0,65 \cdot F_5) / 100$$

$$\Delta S_1 = S_1 - MS(A_1 + F_1)$$

$$\Delta S_2 = S_2 - MS(A_2 + F_2)$$

$$\Delta S_3 = S_3 - MS(A_3 + F_3)$$

$$\Delta S_4 = S_4 - MS(A_4 + F_4)$$

$$\Delta S_5 = S_5 - MS(A_5 + F_5)$$

$$\Delta A_1 = A_1 - MA \cdot F_1$$

$$\Delta A_2 = A_2 - MA \cdot F_2$$

$$\Delta A_3 = A_3 - MA \cdot F_3$$

$$\Delta A_4 = A_4 - MA \cdot F_4$$

$$\Delta A_5 = A_5 - MA \cdot F_5$$

Ở đây:  $S_1, A_1, F_1$  và  $C_1$  là % của các ôxít trong đá vôi đã nung (cấu tử 1)

$S_2, A_2, F_2$  và  $C_2$  là % của các ôxít trong đất sét đã nung (cấu tử 2)

$S_3, A_3, F_3$  và  $C_3$  là % của các ôxít trong quặng sắt đã nung

(cấu tử 3)

$S_4, A_4, F_4$  và  $C_4$  là % của các ôxít trong cao silic đã nung (cấu tử 4)

$S_5, A_5, F_5$  và  $C_5$  là % của các ôxít trong tro than (cấu tử 5)

Các số liệu này được lấy trong bảng thành phần nguyên liệu sau nung.

**Bước 6:** Giải hệ 4 phương trình 4 ẩn số

Thay các hệ số này vào hệ 4 phương trình 4 ẩn số và giải hệ phương trình, tìm được các giá trị  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  là hàm lượng % của các cấu tử nguyên liệu đã nung tương ứng.

**Bước 7:** Tính tỷ lệ phần trăm nguyên liệu sống (tỷ lệ phối liệu).

Từ thành phần nguyên liệu đã nung, tính tiêu hao nguyên liệu để nung được 100kg clanhke bằng cách lấy tỷ lệ phần trăm của nguyên liệu đã nung (tính ở bước 5) nhân với hệ số chuyển đổi KCH tương ứng của từng loại nguyên liệu, sau đó quy đổi ra phần trăm của nguyên liệu sống.

Trong phạm vi nghiên cứu này, chỉ tính toán cho phối liệu trắng nên tỷ lệ than lấy bằng 0.

Bài báo lựa chọn đánh giá các cấp phối sử dụng các loại xi thép để thay thế quặng sắt ở tỷ lệ 50 %. Tỷ lệ đơn phối liệu chế tạo clanhke được cho trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Tỷ lệ đơn phối liệu của các cấp phối nghiên cứu.

STT	Cấp phối	Tỷ lệ đơn phối liệu, % khối lượng quy khô						
		Đá vôi	Đá sét	Quặng sắt	Cao silic	Xi thép HP	Xi thép VK	Xi thép NS
1	M0	78,76	17,31	1,53	2,41	-	-	-
2	HP50	77,81	18,33	1,09	1,67	1,09	-	-
3	VK50	78,59	16,86	0,91	2,73	-	0,91	-
4	NS50	78,88	15,62	1,43	2,63	-	-	1,43

### 3. Kết quả nghiên cứu

#### 3.1 Khả năng nghiền của các cấp phối nghiền cầu

Để đánh giá khả năng nghiền của các phối liệu có xi thép, các nguyên vật liệu truyền thống cùng xi thép được gia công cỡ hạt bằng

**Bảng 4.** Độ mịn các cấp phối sau các khoảng thời gian nghiền khác nhau.

STT	Cấp phối	Lượng sót sàng 009, %, sau thời gian nghiền		
		40'	50'	60'
1	M0	13,9	10,7	8,5
2	HP50	14,2	10,8	8,6
3	VK50	14,5	11,2	9,0
4	NS50	15,3	11,4	9,3

Từ các kết quả trên ta có thể thấy: Cùng thời gian nghiền như nhau thì các bột liệu có chứa xi thép có lượng sót sàng cao hơn 1 chút so với mẫu đối chứng. Tuy nhiên độ chênh lệch lớn nhất cũng chỉ đạt khoảng 1,5 %. Xi thép NS cho thấy khả năng nghiền mịn là khó nhất trong 3 loại xi thép được sử dụng. Thông thường, độ mịn của bột liệu sau nghiền thường  $\leq 12\%$  sót sàng 009 nên về cơ bản với khoảng thời gian nghiền 50 phút các cấp phối bột liệu có sử dụng xi thép đều đạt yêu cầu.

#### 3.2 Khả năng kết khối của các cấp phối nghiền cầu

Để đánh giá khả năng kết khối, các cấp phối được nung tại các nhiệt độ 1350, 1400 và 1450 °C trong lò điện. Các mẫu clanhke lò điện được kiểm tra hàm lượng vôi tự do, kết quả được cho trong Bảng 5.

**Bảng 5.** Kết quả phân tích vôi tự do.

STT	Cấp phối	Hàm lượng vôi tự do, %		
		1350 °C	1400 °C	1450 °C
1	M0	1,14	0,53	0,00
2	HP50	0,89	0,40	0,02
3	VK50	1,76	0,34	0,11
4	NS50	1,62	0,06	0,00

Từ kết quả phân tích vôi tự do ta có thể thấy: nhiệt độ nung càng cao thì hàm lượng vôi tự do trong các mẫu clanhke càng giảm.

Tại nhiệt độ nung 1350 °C thì hàm lượng vôi tự do trong clanhke của các cấp phối có sử dụng xi thép NS, VK đều cao hơn mẫu M0. Chỉ có xi thép HP cho thấy hàm lượng vôi tự do thấp hơn mẫu M0.

Tại nhiệt độ nung 1400 °C thì hàm lượng vôi tự do của các mẫu clanhke có sử dụng xi thép trong bài phối liệu đều thấp hơn mẫu đối chứng. Tại nhiệt độ nung 1450 °C thì về cơ bản vôi tự do chỉ tồn tại ở dạng vết, chỉ có mẫu VK50 là hơi đáng kể.

Để có cái nhìn rõ hơn về khả năng kết khối, các mẫu clanhke nung tại 1450 °C được phân tích thành phần hóa học, kết quả được cho trong Bảng 6.

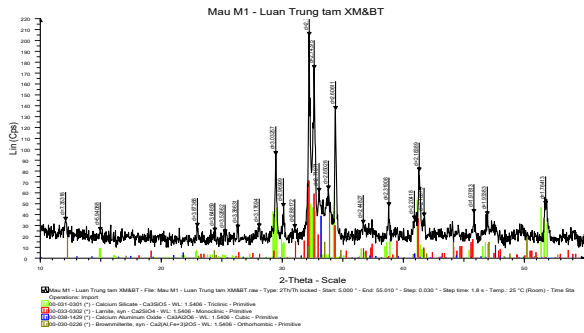
máy kẹp hàm đến cỡ hạt 5 – 10 mm, sau đó được cân định lượng theo các cấp phối đã tính toán. Các cấp phối được nghiền bằng máy nghiền bi tại các thời gian nghiền 40, 50, 60 phút. Sau đó bột phối liệu được đem đi xác định độ sót sàng 009, các kết quả được cho trong Bảng 4.

**Bảng 6.** Kết quả phân tích hóa các mẫu clanhke lò điện tại 1450 °C.

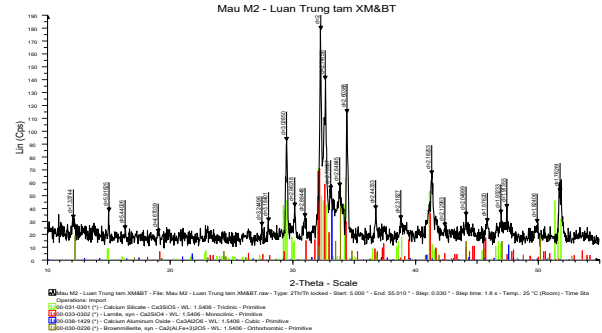
STT	Chi tiêu	Đơn vị	Cấp phối			
			M0	HP50	VK50	NS50
Thành phần hóa học						
1	SiO <sub>2</sub>	%	22,25	22,04	21,80	22,30
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,26	5,02	5,26	5,26
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	3,43	3,67	3,51	3,67
4	CaO	%	63,98	64,26	65,24	64,82
5	MgO	%	2,92	3,73	2,12	2,32
6	K <sub>2</sub> O	%	0,86	0,23	0,28	0,26
7	Na <sub>2</sub> O	%	0,25	0,15	0,20	0,19
8	MKN	%	0,10	0,05	0,21	0,11
9	SO <sub>3</sub>	%	0,06	0,03	0,06	0,02
10	TiO <sub>2</sub>	%	0,09	0,12	0,11	0,08
11	Tổng	%	99,20	99,30	98,79	99,03
Thành phần khoáng						
12	C <sub>3</sub> S	%	51,12	55,13	59,38	53,76
13	C <sub>2</sub> S	%	25,23	21,60	17,70	23,38
14	C <sub>3</sub> A	%	8,14	7,09	8,00	7,73
15	C <sub>4</sub> AF	%	10,43	11,16	10,67	11,16
16	Tổng	%	94,91	94,98	95,76	96,02
Hệ số chế tạo						
16	LSF		90,45	91,77	93,83	91,25
17	MS		2,56	2,54	2,49	2,50
18	MA		1,53	1,37	1,50	1,43

Từ các kết quả ở bảng 6, ta có thể thấy: tổng lượng khoáng chính được tạo ra từ các cấp phối có sử dụng xi thép trong phối liệu đều cao hơn so với mẫu đối chứng (trong đó phần lớn sự thay đổi được ghi nhận ở lượng tăng khoáng C<sub>3</sub>S so với mẫu đối chứng), do đó có thể nhận định sơ bộ rằng khi có mặt xi thép trong phối liệu đã có tác động tích cực tới quá trình tạo khoáng C<sub>3</sub>S.

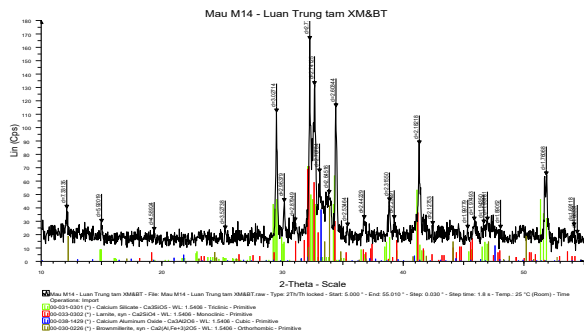
Kết quả phân tích XRD các mẫu clanhke lò điện được cho trong các hình sau:



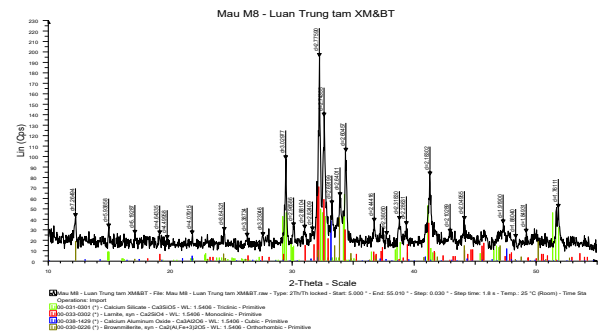
Hình 1. Kết quả XRD mẫu M0.



Hình 2. Kết quả XRD mẫu HP50.



Hình 3. Kết quả XRD mẫu VK50.



Hình 4. Kết quả XRD mẫu NS50.

Kết quả bán định lượng thành phần khoáng được cho trong Bảng 7.

Bảng 7. Tổng hợp kết quả bán định lượng khoáng.

STT	Tên mẫu	Tỷ lệ các khoáng chính, %					Pha vô định hình	Tổng
		Calcium Silicate Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	Larnite Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Calcium Aluminum Oxide Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Brownmillerite: Ca <sub>2</sub> (Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
1	M0	56,5	18,5	7,5	8,5	9	100	
2	HP50	59	18	7,5	7,5	8	100	
3	VK50	63	14,5	8	7	7,5	100	
4	NS50	58	18	8	9	7	100	

Tuy kết quả bán định lượng các khoáng không cho kết quả chính xác, nhưng ta cũng có thể nhận thấy rằng các mẫu clanhke lò điện (nung tại 1450 °C) đều thể hiện sự xuất hiện của 4 khoáng chính là C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF. Khoáng chủ đạo chiếm thành phần lớn nhất vẫn là khoáng C<sub>3</sub>S (dao động quanh mức 57 – 63 %), tiếp theo là khoáng C<sub>2</sub>S (dao động quanh mức 15 – 18 %). Các mẫu clanhke có sử dụng xi thép trong bột phối liệu đều cho thấy sự tương đồng với mẫu đối chứng về thành phần khoáng, kết hợp với kết quả tính toán thành phần khoáng từ thành phần hóa theo bảng 6, ta có thể nhận định việc sử dụng xi thép thay thế quặng sắt đã có ảnh hưởng tích cực tới quá trình tạo khoáng C<sub>3</sub>S của clanhke.

3.3 Tính chất cơ lý của các mẫu xi măng chế tạo từ các cấp phối nghiên cứu

Để xác định các tính chất cơ lý của clanhke, các cấp phối bột liệu thô được cân định lượng từ các nguyên vật liệu (đã được nghiền mịn đến độ mịn theo yêu cầu, sót sàng 009 < 10 %) theo các bài cấp phối, sau đó được đồng nhất bằng máy trộn trong vòng 30 phút, tiếp theo được trộn ẩm (với độ ẩm tối ưu là 20 %) và nặn tạo bánh bột phối liệu với đường kính 30 cm. Bánh phối liệu sau khi được nặn tạo hình sẽ được phơi khô tự nhiên trong 24 giờ, sau đó được sấy trong tủ sấy tại nhiệt độ 100 ± 5 °C trong 24 giờ để loại bỏ hết ẩm vật lý. Bánh phối liệu sau sấy được nung trong lò gas tại nhiệt độ 1450 °C. Các mẫu clanhke lò gas được gia công nhỏ bằng máy kẹp hàm, sau đó được nghiền mịn cùng với 4 % thạch cao trong máy nghiền bi thí nghiệm đến độ mịn 3200 cm<sup>2</sup>/g. Các tính chất cơ lý của mẫu xi măng được kiểm tra bao gồm cường độ nén tại các độ tuổi 3, 7, 28 ngày bảo dưỡng; thời gian đông kết; độ ổn định thể tích, kết quả được cho trong các Bảng 8.

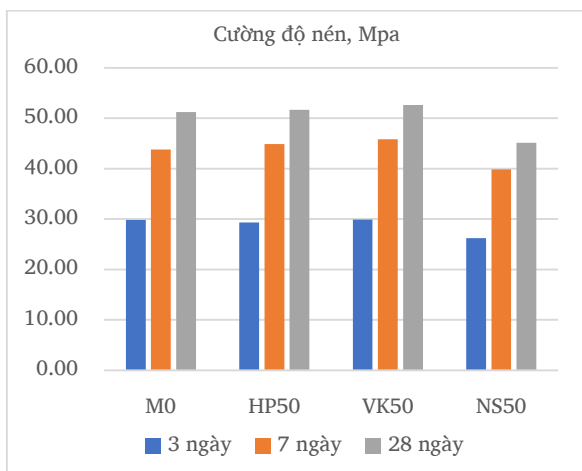
**Bảng 8.** Cường độ nén của các mẫu xi măng được chế tạo từ clanhke lò gas.

STT	Ký hiệu mẫu	Kết quả cường độ nén các mẫu tại các độ tuổi					
		R <sub>3</sub>		R <sub>7</sub>		R <sub>28</sub>	
		Mpa	Δ, %	Mpa	Δ, %	Mpa	Δ, %
1	M0	29,85		43,76		51,18	
2	HP50	29,32	-0,52	44,85	1,08	51,67	0,48
3	VK50	29,89	0,04	45,84	2,07	52,63	1,45
4	NS50	26,21	-3,63	39,87	-3,89	45,09	-6,09

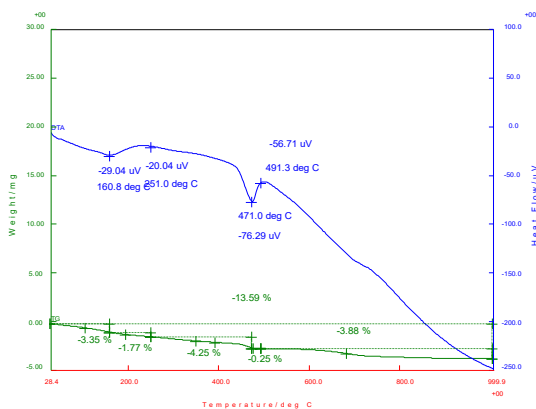
**Bảng 9.** Thời gian đông kết và độ ổn định thể tích.

STT	Ký hiệu mẫu	LNTC, %	Thời gian đông kết, phút			Độ ổn định thể tích Le Chatelier, mm
			Bắt đầu	Kết thúc	Delta	
1	M0	29,25	127	172	45	0,5
2	HP50	28,75	116	149	33	0
3	VK50	28,75	111	131	20	0,5
4	NS50	28,25	125	175	50	0,5

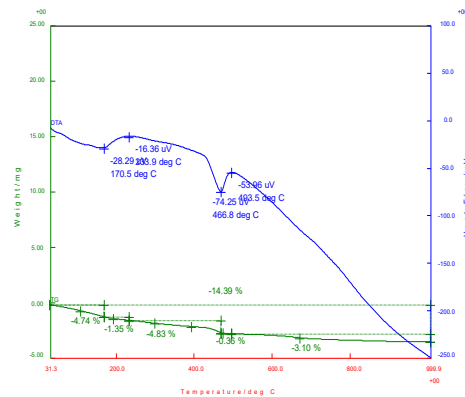
Kết quả cường độ nén được thể hiện trên đồ thị sau:



**Hình 5.** Cường độ nén các mẫu xi măng chế tạo từ clanhke lò gas.



**Hình 6.** Kết quả DTA mẫu M0 – 3d.



**Hình 7.** Kết quả DTA mẫu HP50 – 3d.

Từ các kết quả trên ta có thể thấy:

- Cường độ nén tại tuổi 3 ngày của các mẫu clanhke có sử dụng xi thép trong phối liệu về cơ bản là thấp hơn so với mẫu M0, chỉ có mẫu VK50 là tương đương M0. So với mức yêu cầu trong TCVN 7024:2013 là lớn hơn 25 Mpa thì đều đạt yêu cầu.

- Cường độ nén tại tuổi 7 ngày thì chỉ có mẫu NS50 là thấp hơn so với mẫu M0, hai cấp phối HP50 và VK50 đã thể hiện kết quả cao hơn M0 1 chút (lớn nhất chỉ 2 %).

- Cường độ nén tại tuổi 28 ngày thì vẫn cho thấy xu hướng như tuổi 7 ngày, cấp phối NS50 vẫn có kết quả thấp hơn so với M0, hai cấp phối còn lại cho thấy mức độ tương đương so với M0 (cao hơn chỉ khoảng 1,5 %). So với mức yêu cầu trong TCVN 7024:2013 là lớn hơn 50 Mpa thì cấp phối NS50 không đạt yêu cầu.

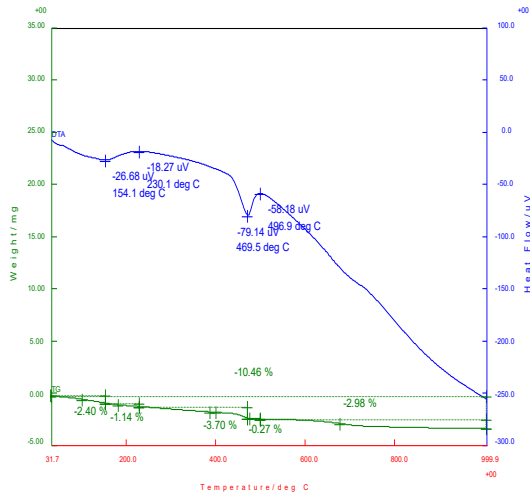
- Lượng nước tiêu chuẩn của các mẫu clanhke có sử dụng xi thép trong phối liệu đều thấp hơn so với mẫu đối chứng. Mức giảm lớn nhất là 1 % so với mẫu đối chứng.

- Thời gian bắt đầu đông kết của các mẫu clanhke có sử dụng xi thép trong phối liệu đều đa số ngắn hơn (nhiều nhất là 16 phút) mẫu đối chứng. Thời gian kết thúc đông kết vẫn thể hiện xu hướng ngắn hơn so với mẫu đối chứng (tương tự như thời gian bắt đầu), chỉ có cấp phối NS50 là kết thúc tương đương mẫu M0. Đối chiếu với yêu cầu của TCVN 7024:2013 về chỉ tiêu thời gian đông kết thì các cấp phối nghiên cứu đều thỏa mãn.

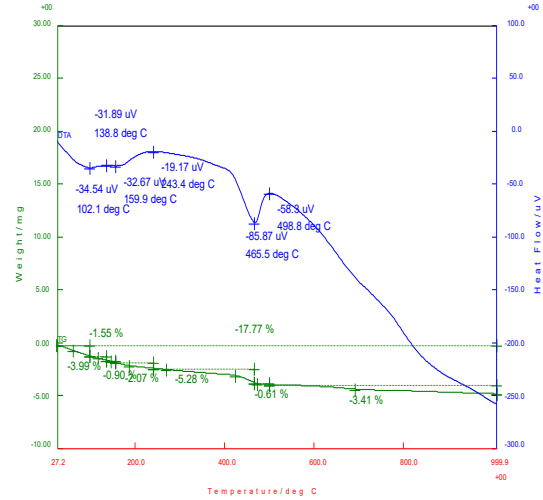
- Độ ổn định thể tích của các mẫu clanhke nghiên cứu đều bằng và nhỏ hơn so với mẫu đối chứng và đều thỏa mãn mức yêu cầu theo TCVN 7024:2013.

### 3.4 Kết quả phân tích nhiệt vi sai của các mẫu hồ xi măng chế tạo từ các cấp phối nghiên cứu

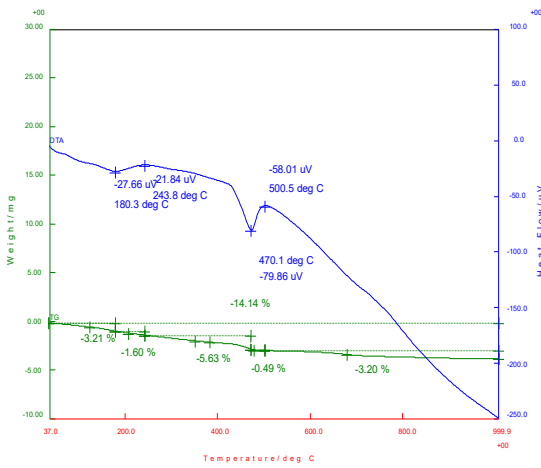
Để gián tiếp xác định khối lượng các sản phẩm hydrat được tạo thành, sau những khoảng thời gian hydrat hóa nhất định đá xi măng (được chế tạo từ hỗn hợp xi măng nước theo tỷ lệ N/XM = 0,4) được định chỉ quá trình hydrat hóa bằng axeton và đem đi vi phân tích nhiệt, kết quả phân tích DTA của các mẫu đá xi măng tại tuổi 3 ngày và 28 ngày được cho trong các hình sau:



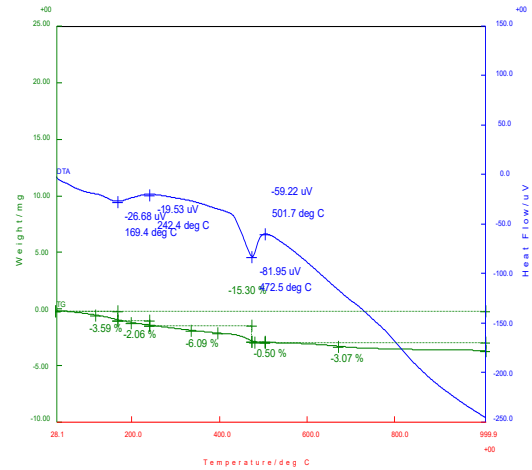
Hình 8. Kết quả DTA mẫu NS50 – 3d.



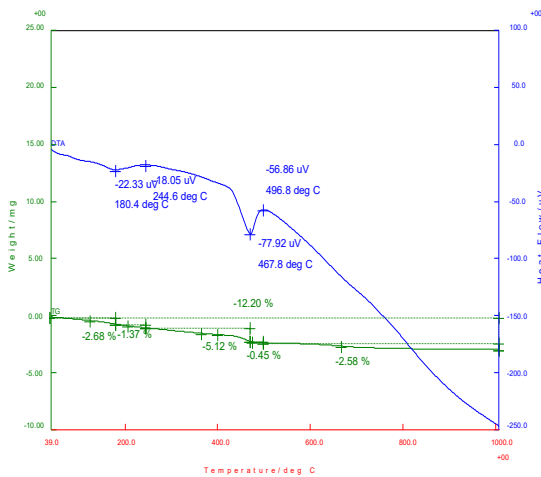
Hình 9. Kết quả DTA mẫu VK50 – 3d.



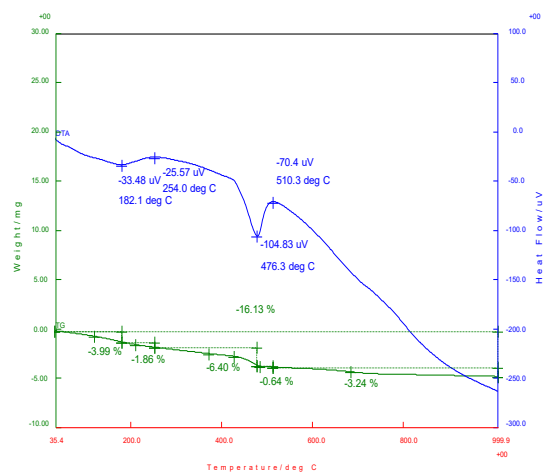
Hình 10. Kết quả DTA mẫu M0 – 28d.



Hình 11. Kết quả DTA mẫu HP50 – 28d.



Hình 12. Kết quả DTA mẫu NS50 – 28d.



Hình 13. Kết quả DTA mẫu VK50 – 28d.

Vị trí các đỉnh peak và sự giảm khối lượng tương ứng tại tuổi 3 ngày được tổng hợp trong bảng sau:

**Bảng 10.** Vị trí các đỉnh peak và sự giảm khối lượng tương ứng (3 ngày tuổi).

Tên mẫu	Đơn vị	Peak thứ nhất				Peak thứ hai			Tổng Peak thứ nhất	Tổng
		Điểm (1)	Điểm (1')	Điểm (1'')	Điểm (2)	Điểm (3)	Điểm (4)	Điểm (5)		
M0	°C			160,8	251,0	471,0	491,3	> 600		
	%			-3,35	-1,77	-4,25	-0,25	-3,88	-5,12	-13,59
	uV			-29,04	-20,04	-76,29	-56,71			
HP50	°C			170,5	233,9	466,8	493,5	> 600		
	%			-4,74	-1,35	-4,83	-0,36	-3,10	-6,09	-14,39
	uV			-28,29	-16,36	-74,25	-53,96			
NS50	°C			154,1	230,1	469,5	496,9	> 600		
	%			-2,40	-1,14	-3,70	-0,27	-2,98	-3,54	-10,46
	uV			-26,68	-18,27	-79,14	-58,18			
VK50	°C	102,1	138,8	159,9	243,4	465,5	498,8	> 600		
	%	-3,99	-1,55	-0,90	-2,07	-5,28	-0,61	-3,41	-8,51	-17,77
	uV	-34,54	-31,89	-32,67	-19,17	-85,87	-58,3			

Vị trí các đỉnh peak và sự giảm khối lượng tương ứng tại tuổi 28 ngày được tổng hợp trong bảng sau:

**Bảng 11.** Vị trí các đỉnh peak và sự giảm khối lượng tương ứng (28 ngày tuổi).

Tên mẫu	Đơn vị	Peak thứ nhất		Peak thứ hai			Tổng Peak thứ nhất	Tổng
		Điểm (1'')	Điểm (2)	Điểm (3)	Điểm (4)	Điểm (5)		
M0	°C	180,3	243,8	470,1	500,5	> 600		
	%	-3,21	-1,60	-5,63	-0,49	-3,20	-4,81	-14,14
	uV	-27,66	-21,84	-79,86	-58,01			
HP50	°C	169,4	242,4	472,5	501,7	> 600		
	%	-3,59	-2,06	-6,09	-0,50	-3,07	-5,65	-15,30
	uV	-26,68	-19,53	-81,95	-59,22			
NS50	°C	180,4	244,6	467,8	496,8	> 600		
	%	-2,68	-1,37	-5,12	-0,45	-2,58	-4,05	-12,20
	uV	-22,33	-18,05	-77,92	-56,86			
VK50	°C	182,1	254,0	476,3	510,3	> 600		
	%	-3,99	-1,86	-6,40	-0,64	-3,24	-5,85	-16,13
	uV	-33,48	-25,57	-104,8	-70,4			

Hiệu ứng nhiệt của một số hợp chất hydrat hóa xi măng [7] được cho trong bảng sau:

**Bảng 12.** Hiệu ứng nhiệt của một số hợp chất hydrat hóa xi măng.

Hợp chất	Khoảng nhiệt độ (°C)	Hiệu ứng nhiệt	Phản ứng hoá học xảy ra
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	100 – 200	Thu nhiệt	Mất nước hấp thụ
	220	Thu nhiệt	Mất nước hoá học
	240	Thu nhiệt	Mất nước hoá học
	380 – 420	Toả nhiệt	Tạo CaSO <sub>4</sub>
	1180 - 1200	Thu nhiệt	Biến đổi thù hình
CaCO <sub>3</sub> (Canxit)	750 - 850	Thu nhiệt	Phân huỷ CO <sub>2</sub>
CaCO <sub>3</sub> (Aragonit)	390 – 420	Thu nhiệt	Biến đổi thù hình thành canxit
	860 - 1010	Thu nhiệt	Phân huỷ CO <sub>2</sub>
Ca (OH) <sub>2</sub>	450- 550	Thu nhiệt	Dehydrat hoá
Mg (OH) <sub>2</sub>	405 – 450	Thu nhiệt	Dehydrat hoá



Hợp chất	Khoảng nhiệt độ (°C)	Hiệu ứng nhiệt	Phản ứng hoá học xảy ra
C <sub>4</sub> S <sub>5</sub> H <sub>5</sub> (Tobemolit)	250 – 280	Thu nhiệt	Dehydrat hoá
	780 – 800	Thu nhiệt	Dehydrat hoá
C-S-H (gel)	115-125	Thu nhiệt	
CSH(B)	500 – 600	Thu nhiệt	Dehydrat hoá
	800 - 830	Toả nhiệt	Kết tinh CS
C <sub>3</sub> A. CaSO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O	100 – 170	Thu nhiệt	Phân huỷ một phần Mất phần lớn H <sub>2</sub> O Dehydrat hoá Dehydrat hoá Kết tinh pha tinh thể khan nước
	200 – 250	Thu nhiệt	
	300 – 320	Thu nhiệt	
	500	Thu nhiệt	
	800	Toả nhiệt	
C <sub>3</sub> A.3CaSO <sub>4</sub> .31H <sub>2</sub> O	100 - 170	Thu nhiệt	Mất phần lớn H <sub>2</sub> O
	250 - 300	Thu nhiệt	Mất hoàn toàn H <sub>2</sub> O
C <sub>3</sub> AH <sub>6</sub>	340	Thu nhiệt	Mất 4.5 H <sub>2</sub> O
	500 - 550	Thu nhiệt	Mất 1.5 H <sub>2</sub> O và dehydrat hoá

Từ các kết quả thu được ở bảng 10 và 11, đối chiếu với bảng 12 Hiệu ứng nhiệt của một số hợp chất hydrat hóa xi măng, ta có thể nhận thấy:

- Ở tuổi 3 ngày:

Tất cả các mẫu xi măng thủy hóa đều xuất hiện 2 peak thu nhiệt rõ rệt ở khoảng nhiệt độ 155 - 250 °C và 465 - 500 °C. Đặc biệt, mẫu VK50 có xuất hiện 2 điểm sụt giảm khối lượng rõ nét tại 102 °C và 139 °C, đây là điểm khác biệt so với mẫu đối chứng và 2 cấp phối NS50, HP50. Đối chiếu với bảng 12, ta có thể nhận định, trong khoảng nhiệt độ 100 – 140 °C, hiệu ứng thu nhiệt có thể là do CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O mất nước hấp thụ 1 phần (100 – 200 °C); C<sub>3</sub>A.CaSO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O phân huỷ 1 phần (100 – 170 °C); C<sub>3</sub>A.3CaSO<sub>4</sub>.31H<sub>2</sub>O mất phần lớn nước (100 – 170 °C).

Tổng lượng sản phẩm thủy hóa đo được tại khoảng nhiệt độ (100 - 180 °C) này của các cấp phối sử dụng xi thép đều lớn hơn mẫu M0, ngoại trừ mẫu sử dụng xi thép NS là thấp hơn. Ngoại trừ khoáng CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O được cấp vào từ thạch cao trong quá trình nghiền clanhke, 2 khoáng còn lại đều là sản phẩm phản ứng giữa C<sub>3</sub>A và thạch cao, nên ta có thể dự đoán được các mẫu clanhke (có sử dụng xi thép HP, VK trong phối liệu) có hoạt tính của khoáng C<sub>3</sub>A tốt hơn mẫu đối chứng, do tốc độ tạo sản phẩm thủy hóa nhanh hơn, sớm hơn và lượng lớn hơn (đặc biệt là mẫu xi thép VK).

Ở điểm nhiệt độ (2) (trong peak thứ nhất), các cấp phối sử dụng xi thép đều đạt điểm nhiệt độ thấp hơn điểm nhiệt độ của mẫu M0 (251 °C). Ở khoảng nhiệt độ 230 - 250 °C này, theo bảng 12 thì hiệu ứng thu nhiệt có thể do CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O mất nước hóa học (240 °C); C<sub>3</sub>A. CaSO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O mất phần lớn nước (200 – 250 °C).

Tựu chung lại, tại điểm peak thứ nhất, hiệu ứng thu nhiệt đều là do CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, C<sub>3</sub>A.CaSO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O và ettringite C<sub>3</sub>A.3CaSO<sub>4</sub>.31H<sub>2</sub>O. Tổng lượng sản phẩm thủy hóa đo được tại peak thứ nhất của các cấp phối sử dụng xi thép đều lớn hơn mẫu M0, ngoại trừ mẫu NS50 là thấp

hơn. Điều này cho thấy khi sử dụng xi thép HP, VK trong phối liệu có khả năng đã tạo ra clanhke có khoáng C<sub>3</sub>A hoạt tính hơn ở tuổi sớm.

Đối với peak thu nhiệt thứ hai, tại điểm nhiệt độ (3), nhiệt độ đạt được của các mẫu dao động từ 465 °C đến 471 °C. Trong khoảng nhiệt độ 465 – 480 °C này, theo Bảng 12 thì hiệu ứng thu nhiệt có thể do sự dehydrat hóa của Ca(OH)<sub>2</sub> (450 - 550 °C). Ca(OH)<sub>2</sub> là sản phẩm thủy hóa của C<sub>3</sub>S và C<sub>2</sub>S, tuy nhiên C<sub>2</sub>S hydrat hóa chậm hơn và sinh ra ít Ca(OH)<sub>2</sub> hơn so với C<sub>3</sub>S hydrat hóa, nên ở tuổi sớm 3 ngày thì phần lớn Ca(OH)<sub>2</sub> là do C<sub>3</sub>S thủy hóa sinh ra. Lượng sản phẩm thủy hóa đo được tại điểm nhiệt độ (3) này của các cấp phối sử dụng xi thép HP, VK đều lớn hơn so với mẫu M0, ngược lại cấp phối NS50 cho thấy thấp hơn M0 đáng kể.

Tại điểm nhiệt độ (4) của peak thu nhiệt thứ hai, nhiệt độ đạt được của các mẫu dao động từ 491 °C đến 499 °C. Trong khoảng nhiệt độ 490 – 500 °C này, theo Bảng 12 thì hiệu ứng thu nhiệt có thể do sự dehydrat hóa của Ca(OH)<sub>2</sub> (450 - 550 °C).

Do đó tựu chung lại tại peak thứ hai, hiệu ứng thu nhiệt đều là do sự dehydrat hóa của Ca(OH)<sub>2</sub>.

Đối với khoảng nhiệt độ lớn hơn 600 °C, theo Bảng 12 thì hiệu ứng thu nhiệt có thể do sự dehydrat hóa của C<sub>4</sub>S<sub>5</sub>H<sub>5</sub> (780 – 800 °C), nhưng lại có hiệu ứng tỏa nhiệt do sự kết tinh CS của CSH(B) (800 - 830 °C) và sự kết tinh pha tinh thể khan nước của C<sub>3</sub>A. CaSO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O (800 °C). Do có đồng thời 2 hiệu ứng thu – tỏa nhiệt như trên nên đường DTA của khoảng nhiệt độ lớn hơn 600 °C không xuất hiện đỉnh peak rõ nét. Lượng sản phẩm thủy hóa (trong khoảng nhiệt độ này) được tạo ra của các cấp phối sử dụng xi thép trong phối liệu đều thấp hơn mẫu M0.

Tính tổng lượng sản phẩm thủy hóa được tạo ra thì các cấp phối có sử dụng xi thép HP, VK trong phối liệu đều cao hơn so với mẫu M0, ngoại trừ mẫu NS50 là thấp hơn đáng kể.

Các thông tin thu được từ kết quả DTA tại độ tuổi 3 ngày cũng phù hợp với kết quả cường độ nén tại bảng 8, cho thấy mức suy giảm cường độ của cấp phối NS50 so với M0 là rõ nét.

- Ở tuổi 28 ngày:

Tất cả các mẫu xi măng thủy hóa đều xuất hiện 2 peak thu nhiệt rõ rệt ở khoảng nhiệt độ 170 - 255 °C và 465 - 510 °C. Khác với ở tuổi 3 ngày, cấp phối có sử dụng xi thép VK trong phối liệu đã không thấy có sự xuất hiện sự sụt giảm khối lượng tại khoảng nhiệt độ (100 - 140 °C). Ở điểm nhiệt độ (1") (trong peak thứ nhất) thì nhiệt độ của các mẫu dao động từ 169 °C đến 182 °C, cơ bản là tương đương với mẫu M0 (180.3 °C). Hiệu ứng thu nhiệt trong khoảng nhiệt độ (170 - 185 °C) vẫn là do các sản phẩm thủy hóa và khoáng sau:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  mất nước hấp thụ 1 phần (100 - 200 °C);  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  phân hủy 1 phần (100 - 170 °C);  $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$  mất phần lớn nước (100 - 170 °C), tương tự như tuổi 3 ngày. Lượng sản phẩm thủy hóa tại khoảng nhiệt độ này của các cấp phối sử dụng xi thép HP, VK đều lớn hơn mẫu M0 1 chút, ngoại trừ mẫu NS50 là vẫn thấp hơn. Xu hướng này cũng tương tự như tuổi 3 ngày. Tổng lượng sản phẩm thủy hóa đo được tại peak thứ nhất của các cấp phối sử dụng xi thép HP, VK đều lớn hơn mẫu M0, ngoại trừ cấp phối NS50 là thấp hơn. Xu hướng này vẫn phù hợp với kết quả quan sát được tại tuổi 3 ngày.

Đối với peak thu nhiệt thứ hai, tổng lượng sản phẩm thủy hóa quan sát được tại điểm peak này vẫn cho thấy xu hướng giống tuổi 3 ngày.

Đối với khoảng nhiệt độ lớn hơn 600 °C, lượng sản phẩm thủy hóa đo được của các cấp phối sử dụng xi thép VK trong phối liệu cho thấy mức độ tương đương M0.

Tính tổng lượng sản phẩm thủy hóa được tạo ra thì các cấp phối có sử dụng xi thép HP, VK trong phối liệu đều cao hơn so với mẫu M0, ngoại trừ mẫu NS50 là thấp hơn đáng kể. Quy luật này cũng tương tự như tại tuổi 3 ngày.

Các thông tin thu được từ kết quả DTA tại độ tuổi 28 ngày cũng phù hợp với kết quả cường độ nén tại bảng 8, cho thấy mức suy giảm cường độ của cấp phối NS50 so với M0 là rõ nét, cấp phối HP50 và VK50 đều tương đương với M0.

#### 4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu trên cơ sở các số liệu thí nghiệm cho thấy:

a) Hoàn toàn có thể sử dụng xi thép để thay thế một phần quặng sắt làm nguyên liệu sản xuất clanhke xi măng pooc lăng đạt mức  $C_{PC}50$  theo TCVN 7024.

b) Các tính chất hóa, khoáng, cơ lý của clanhke được chế tạo từ đơn phối liệu có sử dụng xi thép cho thấy sự tương tự như mẫu clanhke chế tạo từ các nguyên vật liệu truyền thống.

c) Đối với tỷ lệ thay thế 50 % quặng sắt bằng xi thép thì xi thép VK và HP cho thấy hiệu quả hơn so với xi thép NS.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Thị Hằng, "Nghiên cứu đánh giá thực trạng quản lý, sử dụng xi luyện gang, xi luyện thép thu được từ quá trình sản xuất gang, thép tại Việt Nam và đề xuất các biện pháp quản lý xi luyện gang, xi luyện thép", *Viện luyện kim đen*, mã số ĐTKHCN.226/17, 2017
- [2]. Ahmad Monshi, Masoud Kasiri Asgarani. Producing portland cement from iron and steel slags and limestone, *Cement and Concrete Research* 29 (1999) 1373-1377
- [3]. P.E. Tsakiridis, G.D. Papadimitriou, S. Tsvililis, C. Koroneos. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production, *Journal of Hazardous Materials* 152 (2008) 805-811
- [4]. Jenica Paceagiu, elena rădulescu, ana maria dragomir, ramona hotnog, Implications of the use of steel slag to clinker manufacture: Laboratory test results, *Romanian Journal of Materials* 2010, 40 (4), 306 - 314
- [5]. R.I. Iacobescu, D. Koumpouri, Y. Pontikes, R. Saban, G.N. Angelopoulos. Valorisation of electric arc furnace steel slag as raw material for low energy belite cements, *Journal of Hazardous Materials* 196 (2011) 287-294
- [6]. Aitana Sáez-de-Guinoa Vilaplana, Víctor J. Ferreira, Ana M. López-Sabirón, Alfonso Aranda-Usón, Cristina Lausín-González, Cecilia Berganza-Conde, Germán Ferreira. Utilization of Ladle Furnace slag from a steelwork for laboratory scale production of Portland Cement, *Construction and Building Materials* 94 (2015) 837-843.
- [7]. Nguyễn Mạnh Tường (2005), Nghiên cứu khả năng sử dụng bột đá vôi siêu mịn làm phụ gia khoáng hoạt tính cho xi măng pooc lăng hỗn hợp, *Luận văn Thạc sỹ Đại học Bách khoa Hà Nội*, Hà Nội.