

UTILISING WASTE IRON POWDER IN MANUFACTURING OF CEMENT PCB40

Vo Thi Thu Hien, Ho Viet Thang*

University of Science and Technology - The University of Danang

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	24/7/2023	Cement is an important binder used in building construction, but cement processing causes a severe impact on the environment. Finding new environmentally friendly binders or reducing the amount of cement to ensure the technical requirements of the construction is a crucial task to reduce the environmental impact of the cement industry. Besides, the iron and steel industries also discharge a large amount of waste into the environment. In this study, wastes from the iron and steel industry and other industries are used to form Ferrock binder to partially replace cement. The Ferrock content used to replace cement PC40 ranges from 6% to 22% and is evaluated for compressive strength, water absorption, and morphology. The results show the Ferrock powder content is 12% to produce cement PCB40 with a compressive strength of 40 MPa. Water absorption is also in good agreement with the compressive strength.
Revised:	28/9/2023	
Published:	28/9/2023	
KEYWORDS		
Cement		
Binder		
Iron powder		
Ferrock		
CO ₂		

TẬN DỤNG BỘT SẮT PHẾ LIỆU TRONG SẢN XUẤT XI MĂNG PCB40

Võ Thị Thu Hiền, Hồ Viết Thắng*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	24/7/2023	Xi măng là chất kết dính quan trọng trong ngành xây dựng, tuy nhiên ngành sản xuất xi măng đang tác động nghiêm trọng đến môi trường. Tìm kiếm chất kết dính mới thân thiện với môi trường hay giảm lượng sử dụng xi măng nhưng vẫn đảm bảo được yêu cầu kỹ thuật của công trình là một trong những hướng nghiên cứu quan trọng nhằm giảm tác hại đến môi trường của ngành xi măng. Bên cạnh đó, ngành công nghiệp sắt thép cũng thải một lượng lớn phế phẩm làm ảnh hưởng đến môi trường. Trong nghiên cứu này chúng tôi tận dụng phế thải của ngành công nghiệp sắt thép và các ngành khác tạo thành chất kết dính Ferrock để thay thế một phần xi măng. Hàm lượng Ferrock được sử dụng thay thế xi măng PC40 từ 6% đến 22% và được đánh giá cường độ nén, độ hút nước và cấu trúc hình thái sản phẩm. Kết quả chỉ ra rằng để đảm bảo cường độ nén của mẫu vừa mác 40 MPa thì hàm lượng Ferrock là 12%. Độ hút nước cũng phù hợp với cường độ nén của mẫu vừa.
Ngày hoàn thiện:	28/9/2023	
Ngày đăng:	28/9/2023	
TỪ KHÓA		
Xi măng		
Chất kết dính		
Bột sắt		
Ferrock		
CO ₂		

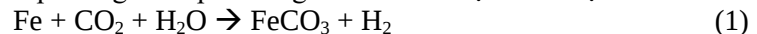
DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8403>

* Corresponding author. Email: hvthang@dut.udn.vn

1. Giới thiệu

Việc xây dựng cơ sở hạ tầng là một phần không thể tách rời với sự phát triển nhanh chóng của xã hội, trong đó xi măng là một trong những vật liệu hay chất kết dính không thể thiếu và nhu cầu xi măng cũng ngày càng tăng cao. Theo Báo cáo ngành Xi măng cho biết trong tháng 10 năm 2022 toàn ngành xi măng Việt Nam đã sản xuất hơn 6,3 triệu tấn, tăng nhẹ so với tháng 9, trong đó thị trường nội địa tiêu thụ khoảng 5,38 triệu tấn, tăng 16% so với tháng 9 và tăng nhẹ so với cùng kỳ năm 2021 [1]. Tổng sản lượng xuất khẩu xi măng và clinker lũy kế 10 tháng trong năm 2022 đạt 26,4 triệu tấn [1]. Mặc dù có nhiều phương pháp đã được nghiên cứu nhằm giảm tác động của ngành công nghệ sản xuất xi măng đến môi trường như sử dụng nhiên liệu thay thế, cải tiến công nghệ, sử dụng nguồn nguyên liệu thay thế [2] – [5], ngành sản xuất xi măng vẫn gây ra ô nhiễm môi trường từ các công đoạn trong quá trình sản xuất xi măng. Trong đó, ô nhiễm môi trường từ CO₂ do ngành sản xuất xi măng thải ra môi trường chiếm khoảng 5% tổng nguồn CO₂ do hoạt động con người gây ra [6]. Theo ước tính cứ sản xuất 1 tấn xi măng thì thải ra môi trường khoảng 0,9 kg CO₂ [7], [8]. Do đó, nghiên cứu nguồn nguyên liệu thay thế hay chất kết dính mới được xem là hiệu quả nhằm giảm thiểu tác động môi trường và hướng đến mục tiêu phát triển bền vững. Một số nghiên cứu theo hướng này như: nghiên cứu sử dụng xỉ đồng, xỉ hạt xỉ lò cao nghiền mịn thay thế xi măng trong sản xuất bê tông chống bức xạ [9], hay nghiên cứu thay thế đồng thời hạt xỉ lò cao và tro bay thay thế xi măng sản xuất bê tông bọt [10].

Bên cạnh ngành công nghiệp sản xuất xi măng thì ngành sản xuất sắt thép tại Việt Nam thải ra môi trường một lượng lớn bột sắt phế liệu trong quá trình gia công sản phẩm. Lượng sắt phế liệu này hầu như chưa tái sử dụng một cách hiệu quả. Việc này cũng gây ô nhiễm nghiêm trọng môi trường. Trong những năm gần đây, các nhà khoa học trên thế giới đã tận dụng bột sắt phế liệu cùng với các phế phẩm của các ngành công nghiệp khác như tro bay để chế tạo thành chất kết dính thân thiện hơn với môi trường với tên gọi là Ferrock [11] – [14]. Chất kết dính này được tạo thành trên cơ sở hấp thụ khí CO₂ với phương trình phản ứng có xúc tác được tóm lược như sau:



Rõ ràng chất kết dính mới này không những tận dụng được bột sắt phế liệu mà còn hấp thụ khí CO₂, góp phần giảm thiểu đáng kể ảnh hưởng của khí CO₂ đến môi trường như hiệu ứng nhà kính, sự thay đổi khí hậu toàn cầu. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ thực hiện quá trình đóng rắn của Ferrock trong môi trường 100% CO₂, điều này gây khó khăn cho những ứng dụng thực tế. Hơn nữa các nghiên cứu này thực hiện hoàn toàn ở nước ngoài. Ở Việt Nam chưa có bất kỳ nghiên cứu nào liên quan đến việc tận dụng bột sắt phế liệu và các phế phẩm công nghiệp khác trong sản xuất chất kết dính Ferrock hay thay thế xi măng. Trên cơ sở đó, chúng tôi nghiên cứu tận dụng bột sắt phế liệu cùng với các thành phần nguyên liệu khác để tạo thành Ferrock nhằm thay thế một phần xi măng tạo ra chất kết dính đảm bảo được yêu cầu kỹ thuật và giảm lượng dùng xi măng. Nghiên cứu này nhằm mục đích vừa giảm lượng xi măng vừa tận dụng được bột sắt phế liệu nhằm góp phần tạo ra chất kết dính thân thiện hơn với môi trường nhờ vào việc chuyển đổi CO₂ và phế phẩm của các ngành công nghiệp thành chất kết dính thay thế chất kết dính xi măng.

2. Nguyên liệu và thí nghiệm

2.1. Nguyên liệu

Trong nghiên cứu này chúng tôi thay thế xi măng với hàm lượng Ferrock khác nhau. Ferrock là hỗn hợp được tạo thành từ thành phần chính là bột sắt, ngoài ra còn có đá vôi, metakaoline, tro bay và axit oxalic.

2.1.1. Bột sắt

Đây là thành phần chính tạo nên hỗn hợp Ferrock và đóng rắn nhờ vào phản ứng với CO₂ như được mô tả ở phương trình (1). Bột sắt được chúng tôi thu thập từ các xưởng gia công bề mặt sắt

thép tại thành phố Đà Nẵng. Sau đó, bột sắt này được tách khỏi các tạp chất khác bằng nam châm và được rây qua sàng với kích thước nhỏ hơn 50 μm . Với kích thước này, bột sắt phản ứng tốt với CO_2 .

2.1.2. Đá vôi

Đá vôi được nghiền mịn với kích thước trung bình 70 μm , có hàm lượng $\text{CaCO}_3 > 98\%$. Bột đá vôi được bổ sung tạo các vị trí tạo mầm nhằm thúc đẩy quá trình đông rắn của chất kết dính Ferrock.

2.1.3. Metakaoline

Đây là thành phần tạo nên sự kết dính ban đầu của hỗn hợp. Trong nghiên cứu này Metakaoline Phú Thọ được mua từ công ty Thạch Quang với thành phần hóa học như trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học tính theo phần trăm (%) khối lượng của Metakaoline Phú Thọ

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
47,15	43,76	0,76	0,38	0,44	0,20	0,81	0,15

2.1.4. Tro bay

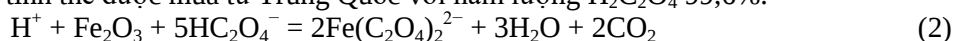
Tro bay sử dụng trong nghiên cứu này là tro bay loại F được mua từ công ty Tân Tiến Phát, đảm bảo theo TCVN 10302:2014 [15] và có thành phần hóa học như trong Bảng 2. Đây là thành phần bổ sung silica nhằm thúc đẩy phản ứng tạo thành phức sắt silicat.

Bảng 2. Thành phần hóa học tính theo phần trăm (%) khối lượng của tro bay loại F

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Khác
56,80	31,76	3,86	0,85	0,67	6,06

2.1.5. Acid Oxalic

Acid oxalic được sử dụng làm tác nhân khử hữu cơ nhằm thúc đẩy quá trình hòa tan sắt và đồng thời ngăn cản quá trình oxy hóa được mô tả một cách tổng quát trong phương trình (2) [16]. Axit oxalic dạng tinh thể được mua từ Trung Quốc với hàm lượng $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 99,6%.



2.1.6. Cát

Cát sử dụng trong nghiên cứu này là cát tiêu chuẩn theo ISO - TCVN 6227:1996 [17], với hàm lượng SiO_2 không nhỏ hơn 96% và độ ẩm không lớn hơn 0,2%. Thành phần cỡ hạt của cát tiêu chuẩn đáp ứng theo TCVN 6016:2011 [18] với modul độ lớn 1,59.

2.1.7. Xi măng

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng xi măng PC40 được cung cấp từ công ty cổ phần xi măng Vicem Hải Vân có khối lượng riêng 3,12 g/cm^3 , thành phần hóa tính được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hóa tính theo % khối lượng của xi măng PC40

Thành phần hóa (%)						
CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	Khác
60,01	25,02	5,14	5,89	1,96	0,36	2,62

2.2. Thí nghiệm

2.2.1. Xác định thành phần cỡ hạt, cấu trúc của nguyên liệu và sản phẩm

Kích thước của nguyên liệu được phân loại và qua sàng có kích thước phù hợp theo yêu cầu để tạo thành phối liệu của hỗn hợp Ferrock. Hình thái cấu trúc của nguyên liệu và sản phẩm được

quan sát dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM, JEOL JSM-6010PLUS/LV, Nhật Bản) tại Khoa Hóa, trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng.

2.2.2. Chuẩn bị cấp phối mẫu vữa

Các nghiên cứu trước đây [11] – [13] đã khảo sát sự ảnh hưởng của các thành phần cấp phối đến tính chất cơ lý của vữa và hỗn hợp Ferrock tối ưu nhất về cường độ nén, uốn và độ hút nước được cho trong Bảng 4. Trên cơ sở đó chúng tôi áp dụng thành phần các nguyên liệu như trong Bảng 4 tạo thành hỗn hợp Ferrock ban đầu và thay thế xi măng với hàm lượng từ 6 đến 22% theo khối lượng.

Bảng 4. Thành phần % theo khối lượng của các thành phần nguyên liệu tạo nên hỗn hợp Ferrock [11], [12].

Thành phần nguyên liệu	Bột sắt	Tro bay	Đá vôi	Metakaoline	Axit oxalic
% khối lượng	60	20	10	8	2

Để đánh giá khả năng thay thế xi măng của Ferrock, các mẫu vữa không có Ferrock cũng được khảo sát và so sánh với các mẫu vữa có chứa Ferrock với hàm lượng từ 6% đến 22%. Các mẫu vữa này được đúc trong khuôn 40 mm × 40 mm × 160 mm và dưỡng hộ theo điều kiện đáp ứng với tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6016:2011 [18]. Ngoài ra để đánh giá cường độ của mẫu vữa chúng tôi dưỡng hộ trong môi trường 100% CO₂ từ thiết bị hút chân không và bơm CO₂ như ở Hình 1. Bảng cấp phối của các mẫu vữa được thể hiện ở Bảng 5.



Hình 1. Bình dưỡng mẫu trong môi trường CO₂



Hình 2. Đo cường độ nén của mẫu vữa tại công ty Vicem Hải Vân, Đà Nẵng

Bảng 5. Cấp phối cho các mẫu vữa với hàm lượng Ferrock thay thế xi măng khác nhau

Ký hiệu mẫu vữa	Phần trăm khối lượng Ferrock (%)	Khối lượng Ferrock (gam)	Khối lượng xi măng (gam)	Cát (gam)	Nước (ml)
M0	0	0	450	1350	225
M6	6	27	423	1350	225
M8	8	36	414	1350	225
M10	10	45	405	1350	225
M12	12	54	396	1350	225
M14	14	63	387	1350	225
M16	16	72	378	1350	225
M18	18	81	369	1350	225
M20	20	90	360	1350	225
M22	22	99	351	1350	225

2.2.3. Đo cường độ nén mẫu vữa

Các hỗn hợp phối liệu có Ferrock thay thế xi măng và hỗn hợp phối liệu không có Ferrock được trộn trong máy trộn vữa. Sau đó, các hỗn hợp phối liệu này được đúc trong khuôn chuẩn có kích thước 40 mm × 40 mm × 160 mm. Các mẫu vữa này được dưỡng hộ 24 giờ bằng vải ẩm, sau đó tháo khuôn, mang mẫu đi dưỡng hộ ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi theo quy trình thí nghiệm được

ban hành trong Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3121-11:2003 [19]. Các mẫu sau khi đạt được thời gian dưỡng hộ trên thì đo cường độ chịu nén bằng máy nén 300 kN như được thể hiện ở Hình 2. Cường độ nén (R , MPa = N/mm²) của mẫu được tính theo công thức số 3:

$$R = \frac{P}{F} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Trong đó: P là tải trọng phá hủy mẫu (N); F là diện tích mẫu đo (mm²).

Kết quả thí nghiệm được đánh giá theo TCVN 3121-11:2003 [19].

2.2.4. Đo độ hút nước

Độ hút nước của mẫu vữa được xác định theo TCVN 3121-18:2003 [20]. Các mẫu vữa đóng rắn đã được dưỡng hộ trong điều kiện quy định ở 28 ngày. Lấy các mẫu vữa sấy khô mẫu ở nhiệt độ $70 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ đến khối lượng không đổi (kết quả chênh lệch khối lượng mẫu giữa hai lần cân liên tiếp cách nhau 2 giờ không vượt quá 0,2%). Để nguội mẫu đến nhiệt độ phòng và cân, ghi khối lượng m_1 . Sau đó ngâm mẫu vào nước ở nhiệt độ phòng trong (24 ± 2) giờ. Tiếp sau đó vớt mẫu ra và dùng vải ẩm lau khô nước đọng trên bề mặt mẫu rồi cân, ghi lại khối lượng m_2 .

Độ hút nước (H , %) của mẫu được tính theo công thức số (4) [20]:

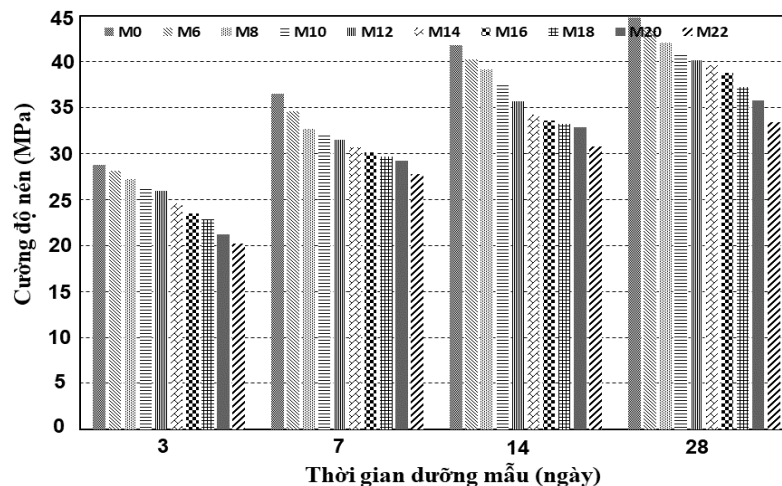
$$H = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \text{ (%) } \quad (4)$$

Trong đó: m_1 , m_2 lần lượt là khối lượng mẫu sau khi sấy khô và mẫu sau khi ngâm nước, (g)

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Cường độ nén

Các mẫu vữa sau khi được dưỡng hộ theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3121-11:2003 [19] sau 3, 7, 14 và 28 ngày thì được đo cường độ nén. Kết quả cường độ nén của các mẫu vữa có hàm lượng Ferrock khác nhau được trình bày ở Hình 3.

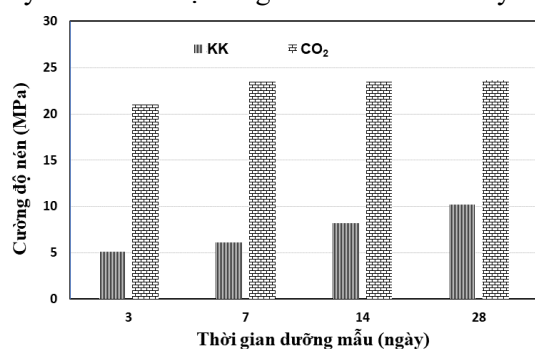


Hình 3. Cường độ nén của mẫu vữa được dưỡng hộ trong 3, 7, 14 và 28 ngày với hàm lượng Ferrock thay thế xi măng khác nhau từ 6 đến 22%

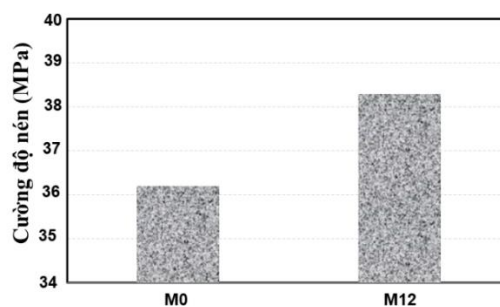
Từ kết quả đo cường độ nén được thể hiện ở Hình 3 cho thấy rằng cường độ nén của mẫu vữa sau các ngày dưỡng hộ 3, 7, 14 và 28 đều có xu hướng giảm khi hàm lượng Ferrock tăng dần từ 6% đến 22% so với mẫu vữa không có Ferrock. Cụ thể cường độ nén của mẫu vữa giảm dần từ 28,8 đến 20,2 MPa, từ 36,5 đến 27,5 MPa, từ 41,8 đến 30,8 MPa và từ 44,8 đến 33,4 MPa lần lượt ở các ngày dưỡng hộ 3, 7, 14 và 28. Kết quả này trái ngược với các kết quả của nghiên cứu trước đây [13]. Trong số các mẫu thì mẫu vữa chứa 12% Ferrock vẫn giữ được mức 40 MPa. Do đó đây là hàm lượng Ferrock có thể thay thế xi măng PC40 để đảm bảo mức xi măng 40 MPa

trong sản xuất xi măng PCB40. Hàm lượng này (12% Ferrock) cũng được tìm thấy ở nghiên cứu Ferrock thay thế xi măng trong mẫu sản phẩm mác M20 [13].

Nhằm đánh giá nhanh sự ảnh hưởng của tốc độ đóng rắn Ferrock đến cường độ mẫu vữa, chúng tôi khảo sát cường độ nén của mẫu 100% Ferrock được dưỡng hộ trong môi trường CO_2 ở 3, 7, 14 và 28 ngày và so sánh với mẫu Ferrock dưỡng hộ trong không khí. Kết quả cường độ nén của các mẫu Ferrock được thể hiện ở Hình 4. So với mẫu Ferrock dưỡng hộ trong không khí thì mẫu Ferrock dưỡng hộ trong môi trường CO_2 có cường độ cao hơn nhiều và đạt 23,5 MPa sau 7 ngày dưỡng hộ và cường độ này hầu như không thay đổi sau đó. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả của các nghiên cứu trước đây [12], [14]. Trong khi đó mẫu Ferrock trong không khí có cường độ thấp và chỉ đạt 6,1 MPa sau 7 ngày dưỡng hộ và tăng lên đến 10,2 MPa sau 28 ngày dưỡng hộ. Kết quả này cũng chỉ ra rằng mẫu Ferrock đóng rắn hoàn toàn trong môi trường CO_2 sau 7 ngày dưỡng hộ. Kết nghiên cứu cường độ nén của mẫu Ferrock khi đóng rắn trong môi trường CO_2 cho thấy sự có mặt của Ferrock có thể làm tăng cường độ nén của mẫu vữa so với mẫu không có Ferrock. Tuy nhiên các mẫu vữa này cần thời gian đóng rắn dài hơn khi dưỡng hộ trong môi trường không khí. Nhằm đánh giá sự ảnh hưởng của Ferrock đến cường độ của mẫu vữa có thay thế xi măng trong thời gian dài hơn, chúng tôi tiến hành đánh giá mẫu vữa có chứa hàm lượng Ferrock 12% trong môi trường CO_2 và so với mẫu đối chứng là không chứa Ferrock trong 7 ngày. Kết quả cho thấy mẫu vữa dưỡng hộ trong môi trường CO_2 có cường độ nén cao hơn mẫu không chứa Ferrock với cường độ nén cao hơn 2 MPa (Hình 5). Kết quả này chỉ ra rằng sự hiện diện của Ferrock khi thay thế xi măng có thể tăng cường độ chịu nén của sản phẩm ở thời kỳ dài khi mà sự đóng rắn của Ferrock xảy ra hoàn toàn.

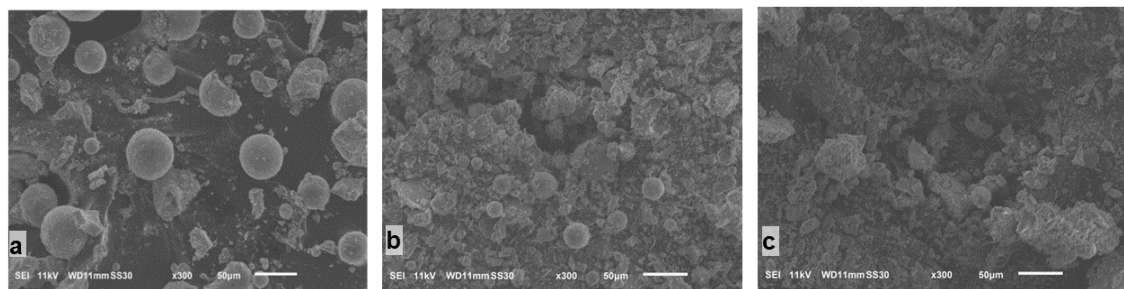


Hình 4. Cường độ nén của mẫu Ferrock dưỡng hộ trong môi trường không khí (KK) và trong môi trường CO_2



Hình 5. Cường độ nén của mẫu vữa chứa 12% Ferrock và mẫu vữa không chứa Ferrock sau 7 ngày dưỡng hộ trong môi trường CO_2

3.2. Cấu trúc hình thái SEM



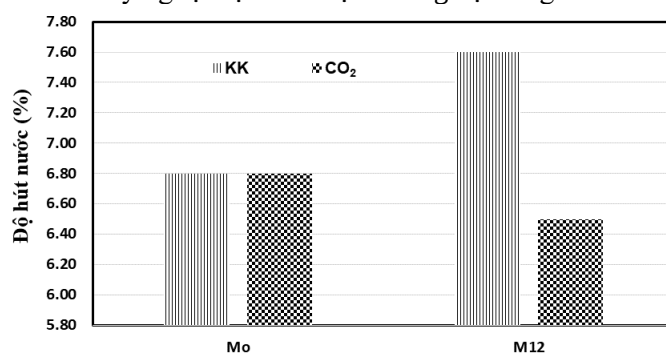
Hình 6. Cấu trúc bề mặt của bột sắt (a), mẫu Ferrock đóng rắn trong môi trường không khí (b), mẫu Ferrock đóng rắn trong môi trường giàu CO_2 (c)

Cấu trúc hình thái của bột sắt, mẫu 100% Ferrock dưỡng hộ trong môi trường không khí và môi trường CO_2 được thể hiện lần lượt trên Hình 6a, 6b và 6c. Chúng ta có thể thấy bột sắt có

hình dạng khác nhau, trong đó có tồn tại dạng hình cầu với kích thước nhỏ hơn 50 μm . Các mẫu Ferrock dưỡng hộ trong môi trường không khí vẫn còn dạng hình cầu, trong khi đó trong môi trường CO_2 hầu như cấu trúc hình cầu không còn được nhìn thấy. Kết quả này chứng tỏ mẫu Ferrock đóng rắn hoàn toàn khi dưỡng hộ trong môi trường CO_2 , trong khi đó mẫu trong môi trường không khí vẫn chưa đóng rắn hoàn toàn. Kết quả này phù hợp với cường độ nén của mẫu Ferrock trong môi trường CO_2 cao hơn so với môi trường không khí (Hình 4).

3.3. Độ hút nước của mẫu vữa

Để xác định lại tính chất về cấu trúc cũng như cường độ nén của mẫu vữa không chứa Ferrock và mẫu chứa 12% Ferrock, chúng tôi đánh giá độ hút nước của những mẫu vữa này sau khi dưỡng hộ 28 ngày trong điều kiện bình thường và trong môi trường CO_2 . Kết quả độ hút nước của các mẫu này được trình bày ở Hình 7. Kết quả cho thấy rằng độ hút nước của mẫu vữa không chứa Ferrock thấp hơn độ hút nước của mẫu vữa chứa 12% Ferrock khi dưỡng hộ trong điều kiện bình thường. Cụ thể là mẫu vữa không chứa Ferrock và chứa 12% Ferrock có độ hút nước lần lượt là 6,8% và 7,6%. Tuy nhiên, khi dưỡng hộ trong môi trường CO_2 , độ hút nước của mẫu vữa chứa 12% Ferrock (6,5%) nhỏ hơn mẫu vữa không chứa Ferrock (6,8%). Kết quả này xác định lại rằng mẫu vữa không chứa Ferrock sít đặc hơn mẫu Ferrock khi dưỡng hộ trong môi trường bình thường, cấu trúc này ngược lại khi được dưỡng hộ trong môi trường CO_2 .



Hình 7. Độ hút nước (%) của mẫu vữa không chứa (Mo) và chứa 12% Ferrock (M12) được dưỡng hộ 28 ngày trong điều kiện bình thường (KK) và trong môi trường CO_2

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, hỗn hợp Ferrock thay thế xi măng với hàm lượng từ 6% đến 22% theo khối lượng được khảo sát để sản xuất xi măng hỗn hợp PCB40. Kết quả đo cường độ nén của các mẫu vữa có Ferrock thay thế xi măng được so sánh với mẫu vữa không có chứa Ferrock cho thấy rằng Ferrock có thể thay thế 12% xi măng PC40 mà vẫn đảm bảo được mức 40 MPa cho quá trình sản xuất xi măng PCB40. Ngoài ra, kết quả đo độ hút nước của mẫu vữa có chứa 12% Ferrock đóng rắn trong môi trường bình thường và môi trường CO_2 cho thấy mẫu vữa đóng rắn trong môi trường CO_2 có cấu trúc sít đặc hơn và cường độ cao hơn so với mẫu vữa đóng rắn trong môi trường bình thường. Nghiên cứu này không những giảm hàm lượng xi măng, giảm tác hại môi trường từ ngành sản xuất xi măng mà còn tận dụng được phế phẩm của ngành công nghiệp sắt thép. Hơn nữa, quá trình đóng rắn của Ferrock là sự hấp thụ khí CO_2 , một quá trình ngược lại với sự phát thải CO_2 trong các công nghệ sản xuất xi măng Portland hiện nay. Kết quả này sẽ mở ra nhiều hướng nghiên cứu mới nhằm tìm chất kết dính thân thiện hơn với môi trường để thay thế xi măng.

Lời cảm ơn

Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2022-02-37.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] T. Anh, "Export of cement and clinker reached more than 2.1 million tons," 2022. [Online]. Available: <https://thuonghieusanpham.vn/xuat-khau-xi-mang-va-clinker-dat-hon-21-trieu-tan-45067>. [Accessed May 20, 2023].
- [2] M. S. Imbabi, C. Carrigan, and S. McKenna, "Trends and developments in green cement and concrete technology," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 1, no. 2, pp. 194-216, 2012.
- [3] E. Gartner and H. Hirao, "A review of alternative approaches to the reduction of CO₂ emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 78, pp. 126-142, 2015.
- [4] J. D. Brito and R. Kurda, "The past and future of sustainable concrete: A critical review and new strategies on cement-based materials," *Journal of Cleaner Production*, vol. 281, 2021, Art. no. 123558.
- [5] L. B. A. Negrão, H. Pöllmann, and M. L. D. Costa, "Production of low-CO₂ cements using abundant bauxite overburden "Belterra Clay," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 29, 2021, Art. no. e00299.
- [6] E. Nduagu, J. Bergerson, and R. Zevenhoven, "Life cycle assessment of CO₂ sequestration in magnesium silicate rock – A comparative study," *Energy Conversion and Management*, vol. 55, pp. 116-126, 2012.
- [7] A. Y. Nayana and S. Kavitha, "Evaluation of CO₂ emissions for green concrete with high volume slag, recycled aggregate, recycled water to build eco environment," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 703-708, 2017.
- [8] M. Á. Sanjuán, C. Andrade, P. Mora, and A. Zaragoza, "Carbon dioxide uptake by cement-based materials: A Spanish case study," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 339, pp. 1-16, 2020.
- [9] V. D. Nguyen, "Study the effects of copper slag and ground granulated blaston properties of anti-radiation concrete," *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 20, no. 9, pp. 24-28, 2022.
- [10] T. H. Mai, T. H. Trinh, and D. T. Luu, "Study on the use of fly ash and ground granulated blast furnace slag in producing foamed concrete," *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, vol. 78, pp. 12-21, 2022.
- [11] M. Niveditha, Y. M. Manjunath, and S. H. S. Prasanna, "Ferrock: A carbon negative sustainable concrete," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 90-98, 2021.
- [12] S. Das, B. Souliman, D. Stone, and N. Neithalath, "Synthesis and properties of a novel structural binder utilizing the chemistry of iron carbonation," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 6, pp. 8295-8304, 2014.
- [13] D. S. Vijayan, Dineshkumar, S. Arvindan, and T. S. Janarthanan, "Evaluation of ferrock: A greener substitute to cement," *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 781-787, 2020.
- [14] S. Das, D. Stone, D. Convey, and N. Neithalath, "Pore-and micro-structural characterization of a novel structural binder based on iron carbonation," *Materials Characterization*, vol. 98, pp. 168-179, 2014.
- [15] National Standards of Vietnam, "TCVN 10302:2014 – Activity admixture – Fly ash for concrete, mortar and cement," Ministry of Science and Technology, 2014.
- [16] S. O. Lee, T. Tran, B. H. Jung, S. J. Kim, and M. J. Kim, "Dissolution of iron oxide using oxalic acid," *Hydrometallurgy*, vol. 87, pp. 91-99, 2007.
- [17] National Standards of Vietnam, "TCVN 6227:1996 – ISO standard sand for determination of cement strength," *Ministry of Science and Technology*, 1996.
- [18] National Standards of Vietnam, TCVN 6016:2011 – Cement – Test- Determination of strength," Ministry of Science and Technology, 2011.
- [19] National Standards of Vietnam, "TCVN 3121-11:2003 – Determination of flexural and compressive strength of hardened mortars," Ministry of Science and Technology, 2003.
- [20] National Standards of Vietnam, "TCVN 3121-18:2003 – Determination of water absorption of hardened mortars," Ministry of Science and Technology, 2003.