

## VỮA ĐÓNG RẮN NHANH SỬA CHỮA CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG CHẤT KẾT DÍNH MANHÊZI PHÓT PHÁT, TRO BAY VÀ CÁT

TS. NGUYỄN KHÁNH SƠN, KS. NGUYỄN HOÀNG, KS. NGUYỄN THANH NHÂN, KS. NGUYỄN NGỌC TRÍ HUỖNH

Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này nhằm đánh giá tính ứng dụng chất kết dính manhêzi photphát (MPB) làm vữa sửa chữa nhanh (loại mác thấp <30MPa) cho kết cấu bê-tông, xi-măng. Việc rút ngắn thời gian sửa chữa công trình bị hư hỏng góp phần quan trọng việc sớm đưa vào sử dụng, giảm thiểu tối đa các tác động kinh tế xã hội. Với đặc tính trong thành phần cấu tạo chủ yếu các khoáng kết tinh tốt kiểu struvite, schertelite, sản phẩm kết dính photphát biểu hiện tính đóng rắn, chịu lực cao, bền, môi trường trung tính. Dựa vào thành phần pha nền chất kết dính MPB và bổ sung thêm tro bay, cốt liệu cát nhằm tổng hợp sản phẩm vữa. Quá trình phối trộn hỗn hợp các thành phần đồng thời kiểm soát các yếu tố đặc trưng trạng thái vữa nhằm đáp ứng khả năng thi công dạng vữa phun. Thí nghiệm các đặc trưng cơ lý của vữa chế tạo được khảo sát từ trạng thái hồ đến vữa rắn. Kết quả cho thấy lượng sử dụng phụ gia borax 2,5% và các quy trình nhào trộn kết hợp khuấy cho phép tạo tính công tác cao cho vữa. Khả năng chịu lực, thành phần và cấu trúc sản phẩm đóng rắn thể hiện tính đồng nhất cũng như khả năng tương thích ứng xử với vữa xi-măng qua thí nghiệm uốn 4 điểm mẫu lai ½XMP-½MPB. Kết quả bàn luận chứng minh mục tiêu ứng dụng như một loại vữa sửa chữa nhanh.

**Từ khoá:** Chất kết dính manhêzi photphát, vữa đóng rắn nhanh, Sorel, xi-măng axit bazơ

### 1. Giới thiệu và cơ chế phản ứng đóng rắn nhanh

Quá trình xây dựng phát triển cơ sở hạ tầng công nghiệp, dân dụng ở nước ta đang xuất hiện nhiều hơn đòi hỏi các loại vật liệu vữa đóng rắn nhanh phục vụ sửa chữa, vận hành an toàn công trình. Đối với các công trình bằng bê-tông xi-măng, các loại vữa đóng rắn nhanh cần đáp ứng tính thi công trong mọi điều kiện, tương thích tốt với kết cấu cũ cũng như rút ngắn tối đa thời gian đưa công trình vào sử dụng. Vữa xi-măng hoặc từ các chất kết dính vô cơ khác đang được quan tâm ứng dụng và phát triển. Trong đó nổi bật là hệ chất kết dính manhêzi, vốn được sử dụng từ trước đến nay trong các ứng dụng vật liệu chịu lửa.

Chất kết dính hay còn gọi xi-măng manhêzi photphát (MPB) biểu hiện tính dính kết nhờ trải qua quá trình phản ứng kết tủa muối trong dung dịch nước dùng nhào trộn. Quá trình này có nét tương đồng với giai đoạn đóng rắn ở nhiệt độ thường tạo sản phẩm của vữa xi-măng Póoclăng (XMP), nhưng hình thành cấu trúc tinh thể thì lại tương tự như những vật liệu ceramic [1]. Từ trước đến nay, những ứng dụng thực tế của loại vật liệu kết dính này vẫn còn bị hạn chế trong lĩnh vực vật liệu xây dựng, nguyên nhân là do giá thành nguyên liệu sản xuất cao và cả những đặc thù điều kiện đóng rắn của chất kết dính [2-6]. Theo lý thuyết, MPB định hình trong dung dịch phản ứng axit-bazơ giữa MgO và muối axit photphoric (mônô hiđrô photphát  $\text{HPO}_4^{2-}$ , dihiđrô photphát  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Các đề xuất của nhiều tác giả trong [3,7] cho thấy cách đánh giá khác nhau về cơ chế phản ứng đóng rắn MPB. Theo công bố gần đây của Soudeé & Péra [8], tác giả đề nghị chia phản ứng theo 2 giai đoạn khác nhau. Đầu tiên sẽ diễn ra quá trình hoà tan phân ly ion  $\text{H}^+$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  trong dung môi nước của muối axit mônô hoặc dihiđrô photphát ( $\text{pH} < 7$ ). Và một phần lớp bên ngoài vỏ của bột bazơ MgO từ từ phân ly ion  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{MgOH}^+$ ,  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$  trong dung dịch. Tiếp theo đó là quá trình phản ứng kết hợp giữa các ion tạo sản phẩm kết tinh ở trên bề mặt hạt MgO chưa hòa tan và quá trình này tiếp tục phát triển cho đến hết. Đánh giá các sản phẩm phản ứng, Hall và cộng sự, [7] đã chỉ ra trên kết quả chụp phổ XRD các pic nổi bật là sản phẩm tinh thể kết tinh nước gồm 6 phân tử như struvite ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) hay K-struvite ( $\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) tùy theo gốc muối sử dụng. Nhìn chung đây không hẳn là sản phẩm kết tinh duy nhất mà là sản phẩm bền nhất trong số hệ các sản phẩm phức schertelite, dittmarite, newberyite, phosphorroesslerite, hayesite,... kém bền.

Trong phần tiếp theo của bài viết này, chúng tôi sẽ tập trung vào khảo sát vữa chất kết dính MPB và cốt liệu trong khai thác tính đóng rắn nhanh của chúng. Các đặc trưng tính chất của vữa sửa chữa nhanh cấu kiện bê-tông xi-măng cần đáp ứng yêu cầu

của tiêu chuẩn. Các bản luận dựa trên kết quả thực nghiệm sẽ được trình bày sau đây cũng như các đề xuất thành phần và thi công ứng dụng vữa phun đóng rắn nhanh manhêzi photphát.

## **2. Nguyên liệu sử dụng và thực nghiệm**

Việc lựa chọn sử dụng thêm các thành phần phối liệu chất độn khác như tro bay mịn và cát (cốt liệu nhỏ) trong chế tạo vữa MPB, một mặt giúp cải thiện các đặc trưng cơ lý, mặt khác đóng góp quan trọng làm giảm giá thành sản phẩm ứng dụng.

### **2.1 Nguyên liệu**

Bột manhêzi loại công nghiệp (xuất xứ Trung Quốc) dùng phổ biến trong ngành sản xuất gốm sứ, vật liệu chịu lửa được chúng tôi sử dụng như thành phần bazơ trong các thí nghiệm sau đây. Sản phẩm bột MgO này thu được khi nung quá muối cacbonat manhê. Kết quả phân tích XRF (XEPOS-SPECTRO) cho ước lượng thành phần ôxít manhê chủ yếu chiếm 85,7% theo khối lượng. Một số pha khoáng chính manhêzi, bruxít, đolômít được phát hiện trên phổ chụp XRD (AXS D8 Advance, cực CuK $\alpha$ ). Thành phần bruxít, đolômít tồn tại như sản phẩm phản ứng với môi trường bảo quản hay các tạp chất không loại bỏ hết khi sản xuất quy mô công nghiệp. Với hàm lượng MgO chủ yếu, cũng như độ mịn cao (dưới sàng 90 $\mu$ m) của bột manhêzi dự đoán khả năng hoạt tính phản ứng tốt. Theo lý thuyết, mức độ hoạt tính hoá học của phản ứng bazơ MgO với axit phụ thuộc đồng thời vào kích thước hạt và các khuyết tật trên bề mặt, do hệ quả của các gia công nghiền sàng [9].

Muối kali dihydro photphát KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 98% (KDP, xuất xứ Việt Nam) được chúng tôi sử dụng như thành phần nguyên liệu axit. Trong muối KDP có chứa các nguyên tố K,P vi lượng cho đất, cây trồng nên thường gọi chung là phân đạm. Độ hoà tan của muối photphát rõ ràng cao hơn nhiều so với bột manhêzi, phụ thuộc vào nhiệt độ và dung môi sử dụng. Thêm vào đó, theo Soudée & Péra [8] quá trình tan, phân ly ra ion H<sup>+</sup> của muối axit photphoric sẽ giúp kéo theo quá trình tan trong dung dịch của MgO đảm bảo đưa môi trường trở lại trung tính, điều này khá phổ biến trong trường hợp phản ứng axit bazơ.

Theo nghiên cứu của Hall và cộng sự [7], vai trò của phụ gia làm chậm lên quá trình phản ứng axit-bazơ là tạo trên bề mặt hạt nguyên liệu bazơ MgO

một lớp màng ngăn nước ngăn chặn quá trình phân ly ion OH<sup>-</sup>. Để duy trì khả năng thi công, đổ khuôn chất kết dính MPB, rất cần thiết kiểm soát phản ứng đóng rắn nhanh và tính toả nhiệt lớn ban đầu. Muối natri borat hay borax Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, đã được sử dụng như phụ gia làm chậm, là loại hoá chất dùng trong phòng thí nghiệm với độ tinh khiết 99,9%. Theo kết quả quan sát cấu trúc sản phẩm của Abdelrazig và cộng sự [10], sử dụng hàm lượng borax dùng gây ảnh hưởng đến quá trình kết tinh tinh thể, tạo các pha vô định hình, kích thước nhỏ. Theo kết quả khảo sát, lượng phụ gia 2,5% sử dụng cho phép nhào trộn dễ dàng cũng như kiểm soát tốt phản ứng.

Ngoài ra, như đề cập trên đây tro bay và cốt liệu cát xây dựng cũng được nghiên cứu sử dụng nhằm cải thiện các đặc trưng cơ lý khác cho vữa. Tro bay loại C (FA) với thành phần 26% CaO, 43% silica và cát tiêu chuẩn Hà Tiên 1 (CS), mô đun độ lớn 2,3 đáp ứng theo TCVN 1770-1986 được sử dụng phổ biến trong sản xuất vữa xi-măng. Chúng tôi tập trung sau đây bước khảo sát với từng loại pha phân tán. Hàm lượng sử dụng cũng được đề xuất dựa theo các tiêu chí là cường độ chịu lực và tính linh động vữa khi thi công.

### **2.2 Cấp phối và quy trình chế tạo**

Cần lưu ý rằng tỉ lệ phản ứng lý thuyết giữa hai thành phần KDP/MgO là 1/1 theo mol hay 3,3/1 theo khối lượng. Đây cũng là tỉ lệ các chất phản ứng phù hợp để khảo sát chế tạo chất kết dính nền MPB. Phản ứng diễn ra với tốc độ rất nhanh, tỏa nhiệt rất mạnh và dung dịch hồ kết tủa đóng rắn ngay sau đó. Sơ đồ quy trình phối trộn các bước khô-ướt được mô tả trước đây [12], gồm 2 giai đoạn như sau: muối KDP và bột MgO được phối trộn khô cùng nhau và nghiền sơ bộ trong cối nghiền hành tinh nhằm đồng nhất hóa, tiếp theo đó được đổ từ từ vào trong nước đã hoà tan sẵn borax 2,5% kết hợp khuấy liên tục. Nước đóng vai trò dung môi hòa tan, tạo tính công tác cho vữa hồ đồng thời là thành phần nguyên liệu phản ứng đóng rắn. Ở đây, tỉ lệ nước/chất rắn được hiệu chỉnh lân cận với tỉ lệ lý thuyết phản ứng 5/1 theo mol hay 0,56 theo khối lượng. Các thành phần cốt liệu được thêm vào ở cuối giai đoạn nhào trộn và khuấy cho đến khi hoàn thành phân tán trong hồ.

Chúng tôi liệt kê sau đây 4 loại cấp phối các thành phần nguyên liệu trong bảng 1, bao gồm MBP; MPB-FA (bổ sung tro bay); MPB-CS (bổ sung cốt liệu cát)

và MPB-FA-CS (bổ sung hỗn hợp đồng thời tro bay và cát). Nhìn chung, hồ vữa và cốt liệu đồng nhất thu được sau khi khuấy trộn liên tục trong vòng 5-8 phút và đem đi đổ khuôn dạng thanh 40x40x160mm. Các mẫu vữa đều biểu hiện đóng rắn trong vòng 20 phút

kể từ khi bắt đầu nhào trộn và được tháo khuôn sau đó ở khoảng 60 phút. Tiếp theo, các thanh mẫu được để lưu trong phòng theo dõi ổn định khối lượng trong vòng từ 1 tới 3 ngày trước khi đem đi kiểm tra các tính chất cơ lý theo TCVN 6016:1995.

**Bảng 1.** Thành phần phối liệu chế tạo vữa MPB và hệ compôzit với cốt liệu

| Kí hiệu mẫu     | Chất rắn |     | Nước/<br>Chất rắn | Borax (theo<br>% chất rắn) | TP khác (theo % chất rắn) |              |
|-----------------|----------|-----|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|
|                 | MgO      | KDP |                   |                            | Tro bay                   | Cát          |
| MPB (đối chứng) | 3,3      | 1   | 0,56              | 2,5                        | 0                         | 0            |
| MPB-FA          | 3,3      | 1   | 0,56              | 2,5                        | 20-30-40%                 | -            |
| MPB-CS          | 3,3      | 1   | 0,56              | 2,5                        | -                         | 100-150-200% |
| MPB-FA-CS       | 3,3      | 1   | 0,56              | 2,5                        | 20%                       | 100%         |

### 3. Kết quả và bàn luận

Vữa MPB chế tạo được khảo sát từ trạng thái vữa tươi nhào trộn đến trạng thái đóng rắn phát triển cường độ theo thời gian. Các chỉ tiêu đánh giá gồm thời gian ninh kết, độ chảy xòe, nhiệt phản ứng, khả năng đóng rắn trong nước, độ rỗng toàn phần, cường độ chịu lực, độ dính kết với vữa xi-măng và khả năng thi công vữa phun. Thực tế hiện chưa có tiêu chuẩn thống nhất trong việc khảo sát chất kết dính manhêzê.

#### 3.1 Kết quả phân tích mẫu vữa tươi

##### 3.1.1 Thời gian bắt đầu, kết thúc ninh kết

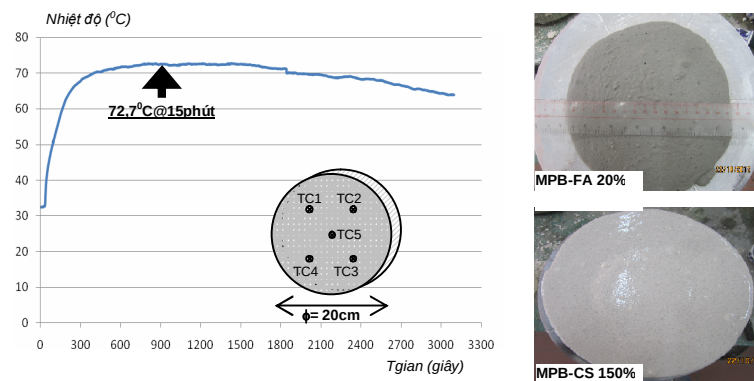
Thí nghiệm xác định thời gian bắt đầu và kết thúc ninh kết được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 6017:1995 sử dụng dụng cụ Vicat tương tự như vữa xi-măng. Vữa MPB là loại vữa đóng rắn nhanh, thời gian ninh kết rất ngắn so với XMP. Cụ thể, thời gian bắt đầu và kết thúc của mẫu MPB lần lượt là 8 phút 30 giây và 9 phút 30 giây. Thực nghiệm cũng cho thấy, vữa có hiện tượng đóng rắn không đồng nhất trong toàn khối mà bề mặt bên ngoài sẽ đóng rắn trước. Đối với các mẫu vữa sử dụng cốt liệu tăng dần thời gian ninh kết giảm đi đáng kể so với mẫu chuẩn MPB, như trường hợp MPB-FA 20% là 5 phút và MPB-FA 10% 6 phút hay MPB-CS 200% là 4 phút 10 giây và MPB-CS 100% là 4 phút 30 giây. Ma sát với cốt liệu có thể ảnh hưởng đến kết quả phép đo độ lún kim Vicat. Tuy nhiên, rõ ràng điều này ảnh hưởng đến tính thi công của vữa có cốt liệu.

##### 3.1.2 Độ chảy xòe trên đĩa dẫn

Độ chảy xòe vữa MPB đo theo tiêu chuẩn TCVN 4032:1985 (hay ASTM C1437) như với vữa xi-măng Poóclăng trên đĩa dẫn. Bề mặt xòe của vữa sau khi gỡ côn hình nón cụt ra chịu 25 lần dẫn trong 15s, được đo theo các đường kính cơ sở. Tính chảy của vữa MPB trên đĩa dẫn phụ thuộc vào lượng nước trộn cũng như độ đồng nhất. Đường kính độ xòe của vữa MPB, vữa MPB-FA (hình 1 phải, trên), vữa MPB-CS (hình 1 phải, dưới) đo được lần lượt là 168, 174 và 200mm. Như vậy, nhìn chung vữa có tính chảy tốt, nhất là mẫu cát gần như chảy tràn trên đĩa. Đây là thông số quan trọng trong ứng dụng vữa phun, vì khi đó khí nén sẽ dễ dàng đẩy khối vữa. Theo phân loại của tiêu chuẩn ASTM C109, độ chảy xòe  $\frac{3}{4}$  đĩa thuộc nhóm linh động cao (very high flow). Tuy nhiên, cũng cần lưu ý khi tiến hành dẫn cho côn vữa chảy xòe, chúng tôi ghi nhận độ linh động vữa thay đổi nhanh trong thời gian ngắn vì trên bề mặt vữa có hiện tượng đông cứng tương tự như khi thử kim Vicat. Do đó, thao tác thi công cần nhanh, chính xác sau khi ngừng khuấy.

##### 3.1.3 Nhiệt tỏa ra khi đóng rắn

Nhiệt tỏa ra khi phản ứng được khảo sát ước lượng (phi tiêu chuẩn) với khối mẫu MPB trên đĩa dẫn, đặt trong môi trường không khí, từ 5 cặp nhiệt điện cắm lên bề mặt mẫu như mô tả trên hình 3. Phần mềm ghi nhận nhiệt độ biến thiên theo thời gian trong vòng 1h.



**Hình 1.** Biểu đồ nhiệt độ trung bình tỏa ra khi đóng rắn ghi nhận từ 5 cặp nhiệt (trái), kết quả thí nghiệm đo chảy xòe trên đĩa dẫn tiêu chuẩn ASTM C1437

Nhiệt độ trung bình đo bởi 5 cặp nhiệt trên bề mặt mẫu (hình 1) tăng nhanh lên  $72,7^{\circ}\text{C}$ , sau khoảng 15 phút vừa chảy xòe trên đĩa dẫn, tiếp tục duy trì trong vòng khoảng 15 phút và sau đó hạ xuống từ giá trị cực đại này. Có thể nói đỉnh nhiệt độ sau 15 phút là thời điểm phản ứng xảy ra đồng thời trong toàn khối, gây tỏa nhiệt lớn. Nước nhào trộn bị bốc hơi và thoát ra khỏi bề mặt mẫu ở dạng hơi và khi nhiệt độ hạ xuống thì có hiện tượng đọng lại trên bề mặt. Các cặp nhiệt chỉ ghi được thấp hơn nhiệt độ hóa hơi nước do tổn thất nhiệt ra môi trường.

### 3.1.4 Độ hoà tan khi đóng rắn trong nước

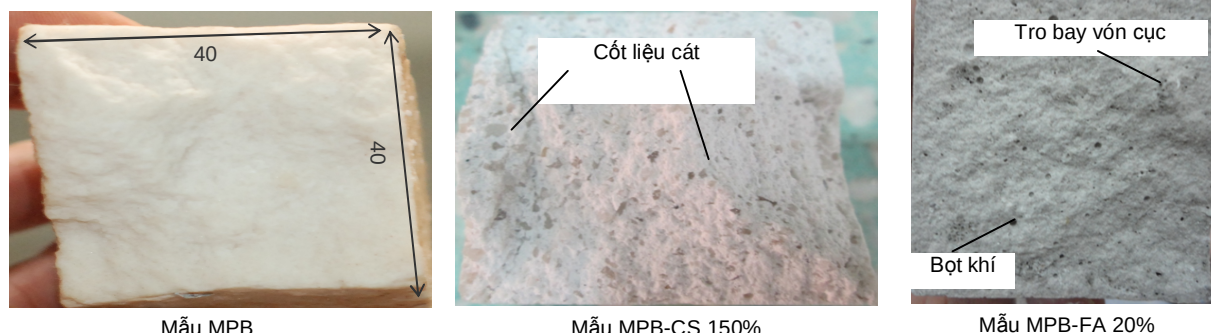
Sản phẩm đóng rắn MPB ít tan trong nước so với vữa xi-măng Pooclang [11] nên có thể xem là có khả năng đóng rắn trong nước. Thí nghiệm (phi tiêu chuẩn) được tiến hành khi ngâm mẫu MPB ngay sau khi trộn đều được đổ trực tiếp ngâm vào bồn nước cất. Sau lần lượt 15 phút – 30 phút – 1 giờ – 3 giờ – 28 ngày thì chất phần nước ra, sấy khô và đánh giá khối lượng phần chất rắn hòa tan trong nước. Quan sát thí nghiệm cho thấy vữa bị hòa tan 1 phần vào trong nước làm nước cất trong suốt chuyển đục nhờ.

Nhiệt độ nước tăng nhẹ do tỏa nhiệt và sau 15 phút chất nước ra chúng tôi thu được sản phẩm MPB đã đóng rắn, không phân tầng cho cả trường hợp có hoặc không có cốt liệu. Kết quả cân lượng chất rắn trong bể ngâm sấy khô biến động tăng dần theo thời gian, thấp nhất là mẫu 15 phút giảm 3,06% và cao nhất là mẫu 28 ngày giảm 5,72%. Rõ ràng mẫu đóng rắn trong nước bị tan một phần gây giảm khối lượng. Lượng hòa tan càng lớn khi ngâm nước dài ngày nhưng nhìn chung không đáng kể so với toàn khối mẫu. Bề mặt bị đóng cứng trước như quan sát trên thí nghiệm đo thời gian ninh kết giúp hạn chế hòa tan, rửa trôi.

## 3.2 Kết quả phân tích mẫu vữa đóng rắn

### 3.2.1 Vi cấu trúc sản phẩm

Tất cả các mẫu vữa MPB và MPB cốt liệu đều biểu hiện đóng rắn phát triển cường độ khi đem bảo dưỡng. Quan sát mặt gãy sản phẩm bằng mắt thường (hình 2) cho thấy dạng đặc chắc như đá tự nhiên. Cốt liệu phân tán tốt trên nền kết dính, đồng thời xuất hiện các bọt khí.



Mẫu MPB

Mẫu MPB-CS 150%

Mẫu MPB-FA 20%

**Hình 2.** Ảnh chụp mặt gãy mẫu  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  từ chất kết dính MPB và MPB cốt liệu

Quan sát cho thấy trên hình 3-a các tinh thể K-struvite dạng tấm thô trên các ảnh chụp kính hiển

vi điện tử quét (SEM) mẫu MPB. Điều này chứng tỏ quá trình phản ứng kết tinh tinh thể sản phẩm