

# ẢNH HƯỞNG CỦA THÀNH PHẦN ANION XEN KẾ ĐẾN KHẢ NĂNG TRAO ĐỔI ỨC CHẾ ẨM MÒN CỦA VẬT LIỆU HYDROXIDE LỚP KÉP

Đến toà soạn 02-07-2024

Phan Minh Vương<sup>1,3\*</sup>, Phạm Quỳnh Như<sup>1</sup>, Trần Thị Kim Thoa<sup>1</sup>,  
Nguyễn Chí Cường<sup>4</sup>, Phan Thanh Thảo<sup>1,3</sup>, Tô Thị Xuân Hằng<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Viện Công nghệ hoá học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>3</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>4</sup>Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga, Chi nhánh phía Nam

\*E-mail:pmvuong@ict.vast.vn

## SUMMARY

### THE IMPACT OF INTERCALATED ANION ON THE ANION EXCHANGE EFFICIENCY OF LAYERED DOUBLE HYDROXIDE WITH ORGANIC INHIBITORS

Layered double hydroxides (LDH) have been used extensively as nanocontainers of corrosion inhibitors over the past few years. Besides the co-precipitation method, anion exchange is considered one of the effective methods for synthesizing this type of material. In this study, LDH systems intercalated by various anions such as  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$  were used to synthesize LDH carrying the organic corrosion inhibitor 2-benzothiazolythio-succinic acid (BTSA) through the anion exchange method. The influence of intercalated anions on the exchange efficiency, structure, and composition of LDH nanocontainer systems was clarified. The analytical results show that LDH- $\text{NO}_3$  and LDH- $\text{Cl}$  have effective anion exchange capabilities with BTSA. In contrast, LDH- $\text{CO}_3$  did not exhibit this property due to the strong affinity of carbonate anions with the hydroxide layer. After 24 hours, the anion exchange process reached saturation, and nanocontainer products using LDH- $\text{Cl}$  and LDH- $\text{NO}_3$  precursors achieved 37,6 and 39,2 wt% BTSA loading capacity.

**Keywords:** Layered double hydroxides, anion exchange, 2-benzothiazolythio-succinic acid (BTSA).

## 1. MỞ ĐẦU

Vật liệu hydroxide lớp kép (LDH) là vật liệu thuộc họ khoáng sét anion, với cấu trúc dạng lớp bao gồm các tấm hydroxide tích điện dương xếp chồng lên nhau và được ổn định bởi các ion tích điện âm xen kẽ trong khoảng trống giữa hai tấm. Với khả năng trao đổi anion, chúng được sử dụng như một chất mang có khả năng lưu giữ anion chức năng và giải phóng chúng khi tiếp xúc với môi trường phù hợp [1,2]. Điều này đảm bảo việc giảm thiểu tác động trực tiếp của môi trường đến các anion chức năng, góp phần cải thiện và

duy trì một cách hiệu quả chức năng của các anion này theo thời gian. Dựa trên đặc tính nổi trội này, LDH được khai thác ở nhiều khía cạnh khác nhau, trong đó bao gồm việc sử dụng chúng như một bình chứa nano (*nancontainer*) có khả năng mang và giải phóng anion ức chế ăn mòn khi tiếp xúc với môi trường xâm thực [3]. Hiện nay, việc phát triển một phương pháp tổng hợp có kiểm soát bình chứa nano LDH với hình thái và kích thước đồng nhất mà không cần thông qua các bước xử lý phức tạp là cần thiết để tối ưu hoá khả năng ứng dụng thực tiễn của vật liệu [4-6]. Trong khi đó, phương pháp

trao đổi anion cho thấy các ưu điểm khi có thể đảm bảo hình thái vật liệu ổn định và đồng thời tránh được sự kết tủa của chất ức chế khi tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa trực tiếp [7]. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu tổng hợp các hệ bình chứa nano dựa trên đặc tính trao đổi anion của LDH, tuy nhiên số lượng các nghiên cứu sử dụng phương pháp này trong tổng hợp LDH mang ức chế ăn mòn còn giới hạn [8,9]. Trong nghiên cứu này, các hệ LDH mang các anion xen kẽ  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  và  $\text{Cl}^-$  được sử dụng để tổng hợp LDH mang ức chế ăn mòn hữu cơ 2-benzothiazolythio-succinic acid (BTSA) bằng phương pháp trao đổi anion. Ảnh hưởng của thành phần anion xen kẽ đến hiệu quả trao đổi, cấu trúc, thành phần các hệ LDH nanocontainer được làm rõ thông qua các phương pháp phân tích lý hoá.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 1.1. Tổng hợp LDH xen kẽ bởi anion $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ và $\text{NO}_3^-$

LDH xen kẽ bởi các anion vô cơ được tổng hợp dựa trên quy trình mà nhóm nghiên cứu đã công bố gần đây [10,11]. Cụ thể, với LDH- $\text{CO}_3$ : nhỏ từ từ dung dịch NaOH 2,4 M vào hỗn hợp 230 mL dung dịch muối kim loại bao gồm  $\text{MgCl}_2$  0,5 M,  $\text{AlCl}_3$  0,25 M và sodium lactate

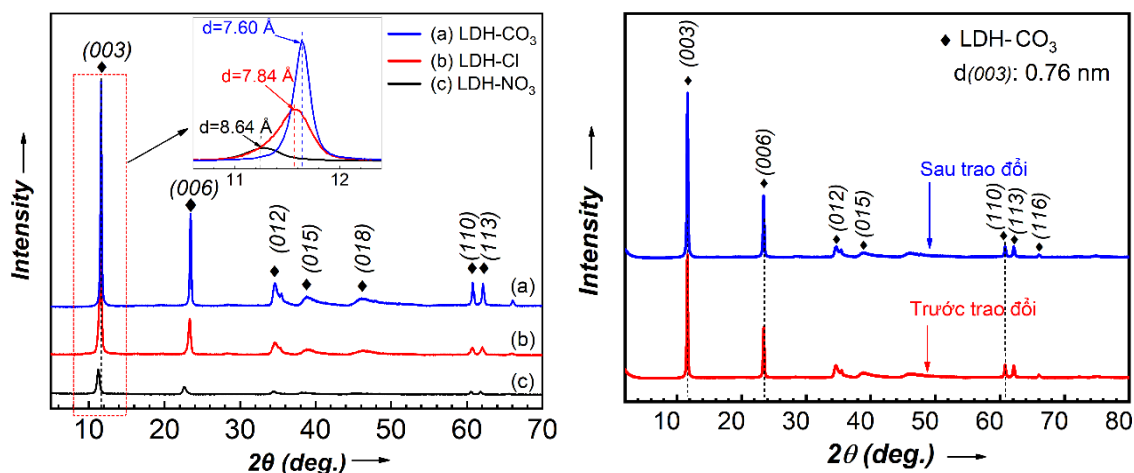
0,5 M cho đến pH 10. Kết tủa được trao đổi với 500 mL dung dịch  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,15 M trong 30 phút, ly tâm, rửa và phân tán lại trong nước khử ion để thu huyền phù đồng nhất có nồng độ 50 g/L. Tiền chất LDH được thủy nhiệt trên hệ phản ứng áp lực cao (Parr 4540, USA) với tốc độ khuấy 250 vòng/phút trong vòng 24 giờ. Sản phẩm LDH được ly tâm, rửa với ethanol trước khi sấy chân không ở 80 °C trong vòng 12 giờ trước phân tích các đặc trưng lý hoá.

LDH- $\text{Cl}$  và LDH- $\text{NO}_3$  được tổng hợp dựa trên quy trình tương tự, tuy nhiên bỏ bước trao đổi với  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  và sử dụng tiền chất muối vô cơ nitrate để tổng hợp LDH- $\text{NO}_3$ .

### 1.2. Phản ứng trao đổi anion

Nhỏ giọt từ từ 60 mL huyền phù LDH (40 g/L) vào bình cầu chứa 500 mL ethanol 70% (v/v) và 20 mL  $\text{Na}_2\text{BTSA}$  0,5 M. Quá trình phản ứng được thực hiện ở 65 °C, khuấy trộn 250 vòng/phút và hoàn lưu trong môi trường khí  $\text{N}_2$ . Sau thời gian khảo sát, sản phẩm được ly tâm, rửa bằng ethanol và sấy chân không ở 55 °C trong vòng 12 giờ trước khi xác định các đặc trưng lý hoá.

Các hệ LDH- $\text{CO}_3$ , LDH- $\text{NO}_3$ , LDH- $\text{Cl}$  được sử dụng để đánh giá khả năng trao



Hình 1. (A) Giản đồ XRD vật liệu LDH xen kẽ bởi anion  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  và  $\text{Cl}^-$  và (B) Giản đồ XRD của LDH- $\text{CO}_3$  trước và sau khi thực hiện phản ứng trao đổi anion

đổi giữa anion và BTSA<sup>2-</sup>. Sản phẩm được ký hiệu lần lượt là LDH-BTSA-(CO<sub>3</sub>), LDH-BTSA-(N), LDH-BTSA-(C) tương ứng với quá trình trao đổi sử dụng LDH xen kẽ bởi các anion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> và Cl.

### 1.3. Phương pháp phân tích

Nhiều xạ tia X (XRD) và quang phổ hồng ngoại FTIR lần lượt được thực hiện trên thiết bị Bruker XRD D8 Advance (Đức) xạ Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418$  Å) trong khoảng góc từ 5 đến 70° 2 $\theta$  và Tensor 27, Bruker (Đức) trong khoảng 400 - 4000 cm<sup>-1</sup>. Hình thái vật liệu được kiểm tra bằng kính hiển điện tử truyền qua TEM, JEOL JEM-2100 (Nhật Bản). Thành phần BTSA được định lượng bằng phương pháp UV-Vis (Jasco V-630, Nhật Bản).

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Ảnh hưởng của thành phần anion đến cấu trúc vật liệu LDH

Giản đồ XRD của LDH-CO<sub>3</sub>, LDH-NO<sub>3</sub>, LDH-Cl được thể hiện trong Hình 1. Tất cả các mẫu đều xuất hiện những đỉnh tín hiệu đặc trưng cho vật liệu LDH tại các mặt nhiễu xạ (003), (006), (012), (015), (018), (110) và (113) với cường độ đỉnh đặc trưng cao, chứng tỏ đã tổng hợp thành công LDH với độ kết tinh tốt [12]. Quan sát thấy các đỉnh nhiễu xạ tại mặt (003) có cường độ giảm dần theo thứ tự LDH-CO<sub>3</sub> > LDH-Cl > LDH-NO<sub>3</sub>, điều này cho thấy rằng độ kết tinh của LDH-CO<sub>3</sub> là cao nhất. Điều này được giải thích là do anion carbonate có lực tương tác tĩnh điện mạnh với bề mặt tấm hydroxide. Do vậy, trong quá trình phát triển tinh thể, các lớp hydroxide có sự xếp chồng và phát triển mạnh theo mặt này, dẫn tới cường độ nhiễu xạ tăng cao [13].

Khoảng cách lớp kép  $d(003)$  của các hệ vật liệu LDH được tính theo định luật Bragg:  $d = \lambda / 2 \sin \theta$ . Tham số mạng tinh thể  $a$  và  $c$  được tính toán lần lượt bằng

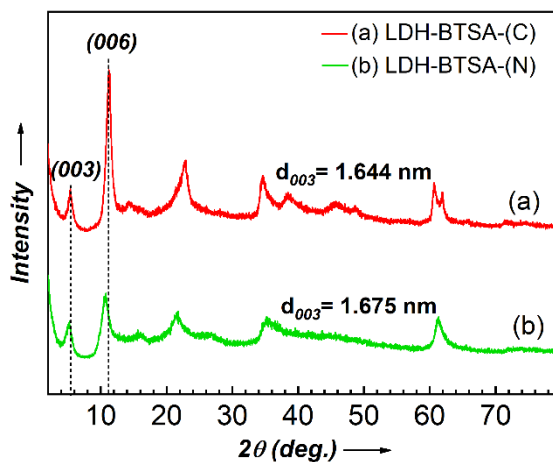
phương trình  $a = 2d(110)$  và  $c = 3d(003)$  [14]. Giá trị  $d(003)$  của vật liệu LDH-Cl (0,784 nm) là lớn hơn so với LDH-CO<sub>3</sub> (0,760 nm), điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây [8]. LDH-NO<sub>3</sub> có mặt (003) dịch chuyển rõ rệt về góc nhiễu xạ thấp, tương ứng với kích thước lớp basal 0,864 nm, điều này có thể lý giải là do cấu trúc không gian của anion nitrate có kích thước lớn hơn so với hai anion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> và Cl<sup>-</sup>. Các giá trị của thông số mạng tinh thể  $a$  và  $c$  trong cả ba trường hợp khảo sát là tương tự nhau và lần lượt nằm trong khoảng 3,05 Å và 22,61 – 22,93 Å. Kết quả XRD cho thấy việc sử dụng các anion vô cơ xen kẽ khác nhau trong quá trình tổng hợp không ảnh hưởng đến cấu trúc của các tấm hydroxide tạo thành [10].

### 3.2 Ảnh hưởng của thành phần anion đến khả năng trao đổi ionic ăn mòn

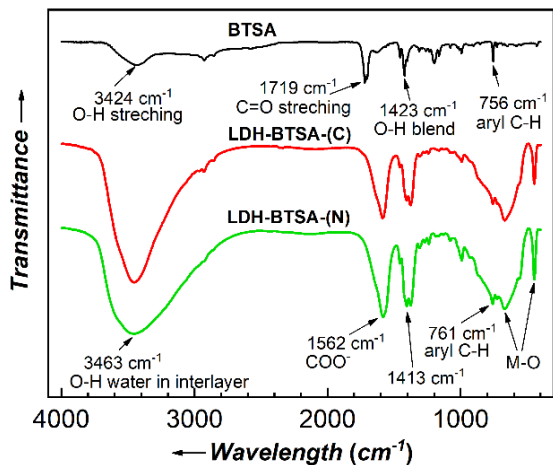
Dựa vào kết quả XRD, có thể nhận thấy các đỉnh nhiễu xạ của LDH-CO<sub>3</sub> trước và sau khi thực hiện trao đổi là tương tự nhau. Giá trị  $d(003)$  trong cả hai trường hợp bằng nhau và bằng 0,76 nm. Do đó, có thể nhận định rằng không có sự xen kẽ anion ionic ăn mòn vào cấu trúc LDH-CO<sub>3</sub>. Quá trình trao đổi anion chỉ có thể xảy ra trong LDH khi lực xen kẽ của anion khách lớn hơn lực tương tác giữa anion ban đầu và lớp cation [15]. Tuy nhiên, ái lực của anion carbonate với các tấm hydroxide mạnh đến mức chúng không thể trao đổi với các anion hữu cơ khác, việc đẩy ra anion này ra khỏi không gian xen kẽ của LDH bằng anion BTSA<sup>2-</sup> không xảy ra.

So sánh giản đồ XRD của sản phẩm LDH-BTSA-(C) và LDH-BTSA-(N) với LDH nguyên bản cho thấy sự dịch chuyển đáng kể của các góc nhiễu xạ tại mặt (003) sang vị trí thấp hơn (Hình 2). Đồng thời, khoảng cách lớp của LDH tăng từ 0,784 nm lên 1,644 nm và từ 0,864 nm lên 1,675

nm. Tương tự, thông số mạng tinh thể tại mặt (003) - mặt c, đặc trưng cho kích thước một đơn vị tinh thể - tăng từ 2,35 nm lên lần lượt 4,93 nm và 5,03 nm sau khi có sự hiện diện của BTSA. Các kết quả này cho thấy anion ức chế đã được chèn vào cấu trúc vật liệu, gây ra sự mở rộng khoảng cách giữa các tấm hydroxide. Quan sát thấy cường độ nhiễu xạ tại mặt các mặt phẳng (003) và (006) giảm và vị trí các đỉnh nhiễu xạ được mở rộng, cho thấy mức độ kết tinh của LDH-BTSA thấp hơn so với tiền chất LDH [16]. Kết quả phân tích nhiễu xạ XRD cho thấy đã tổng hợp thành công LDH mang ức chế ăn mòn bằng phương pháp trao đổi ion.

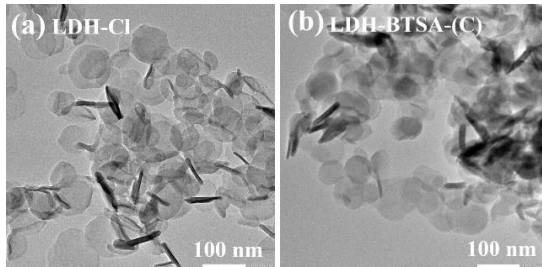


Hình 2. Giản đồ XRD của LDH-BTSA-(C) và LDH-BTSA-(N)



Hình 3. Giản đồ FTIR của BTSA, LDH-BTSA-(C) và LDH-BTSA-(N)

Sự hiện diện của BTSA trong cấu trúc LDH nanocontainer được xác nhận bằng phổ quang phổ FTIR (Hình 3). Đối với BTSA tinh khiết, các đỉnh khoảng 2929  $\text{cm}^{-1}$  và 756  $\text{cm}^{-1}$  được gán cho dao động nhóm C-H trong cấu trúc vòng thơm. Các đỉnh tín hiệu mạnh ở 1719  $\text{cm}^{-1}$  và 1423  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng do dao động kéo dài C=O và O-H của nhóm -COOH [10]. So sánh kết quả giữa BTSA tinh khiết và các mẫu LDH-BTSA cho thấy sự biến mất của các đỉnh điển hình của nhóm -COOH ở tần số 1719  $\text{cm}^{-1}$  và sự xuất hiện của các đỉnh mới ở khoảng 1574  $\text{cm}^{-1}$  và 1402  $\text{cm}^{-1}$ , có thể được quy cho các dao động bất đối xứng và đối xứng của các nhóm  $\text{COO}^-$  khi nằm trong cấu trúc lớp kép [17]. Các đỉnh nhọn ở 446  $\text{cm}^{-1}$  và đỉnh rộng ở 670  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động của Mg-OH và Al-OH trong lớp hydroxide. Sự thay đổi đáng kể về cường độ và vị trí đỉnh hấp thụ minh chứng cho sự tương tác giữa chất ức chế hữu cơ xen kẽ và lớp hydroxide của LDH [11].

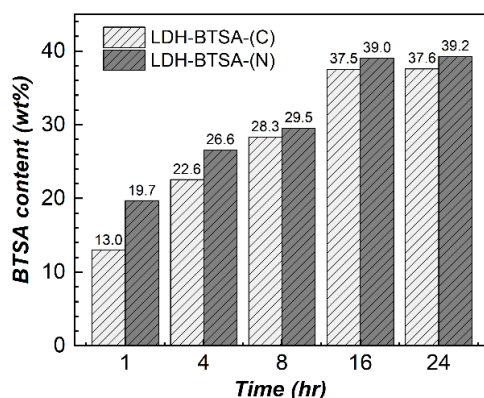


Hình 4. Ảnh TEM LDH-Cl và sản phẩm LDH-BTSA-(C) sau phản ứng trao đổi anion

Ảnh TEM của sản phẩm LDH-BTSA-(C) cho thấy sự tương đồng về mặt kích thước và hình thái với LDH-Cl ban đầu (Hình 4). Các hạt LDH-BTSA-(C) có dạng tấm tròn, đồng đều, kích thước hạt trung bình phân bố trong khoảng 100 – 200 nm với hình thái đồng đều và không biểu hiện những thay đổi đáng kể trong vòng 24 giờ trao đổi anion. Do vậy, có thể nhận định rằng quá trình trao đổi anion để chuyển đổi từ dạng nanosheet sang LDH-BTSA-ns chỉ có sự chuyển đổi về cấu trúc, không có sự chuyển đổi về hình thái [8].

### 3.3 Khả năng mang ức chế ăn mòn của LDH

Nhằm nghiên cứu khả năng nạp BTSA vào cấu trúc LDH, tiến hành lấy mẫu các sản phẩm LDH-BTSA-(C) và LDH-BTSA-(N) tại các thời điểm khác nhau trong quá trình trao đổi anion. Hàm lượng BTSA được định lượng bằng quang phổ UV-Vis tại bước sóng 280 nm.



Hình 5. Hàm lượng BTSA xen kẽ trong cấu trúc LDH theo thời gian trao đổi anion

Nhìn chung, trong xuyên suốt thời gian phản ứng, LDH- $\text{NO}_3$  thể hiện hiệu quả trao đổi tốt hơn so với LDH-Cl (Hình 5). Điều này có thể lí giải là do  $\text{NO}_3^-$  có liên kết tĩnh điện lỏng lẻo với các tấm nền hydroxide hơn  $\text{Cl}^-$  [12]. Đồng thời, khoảng cách lớp kép của LDH- $\text{NO}_3$  (0,864 nm) lớn hơn so với LDH-Cl (0,784 nm), do vậy đã tạo điều kiện cho các anion  $\text{BTSA}^{2-}$  di chuyển vào và thúc đẩy quá trình trao đổi diễn ra hiệu quả hơn. Sau 16 giờ phản ứng, hàm lượng pha hữu cơ xen kẽ vào cấu trúc lớp kép LDH-Cl đạt gần tương đương so với LDH- $\text{NO}_3$ . Điều này cho thấy sau giai đoạn mở rộng khoảng cách lớp kép ở thời điểm đầu phản ứng, anion  $\text{BTSA}^{2-}$  có thể xen kẽ vào cấu trúc LDH một cách đồng đều hơn. Sau 24 giờ phản ứng, hàm lượng ức chế trong cả hai hệ vật liệu tăng không đáng kể, cho thấy quá trình trao đổi đã đạt bão hoà, hàm lượng  $\text{BTSA}^{2-}$  trong cấu trúc LDH-BTSA-(C) và LDH-BTSA-(N) đạt lần lượt là 37,6 và 39,2 wt%.

### 4. KẾT LUẬN

Các kết quả phân tích đặc trưng cấu trúc đã xác định LDH xen kẽ bởi anion  $\text{NO}_3^-$  và  $\text{Cl}^-$  có khả năng trao đổi anion hiệu quả với ức chế ăn mòn BTSA. Ngược lại, LDH- $\text{CO}_3$  không thể hiện đặc tính này do ái lực lớn của anion carbonate với lớp hydroxide. Sau 24 giờ phản ứng, quá trình trao đổi anion đạt bão hoà, khả năng mang BTSA đạt lần lượt 37,6 và 39,2 wt%; khoảng cách lớp kép của LDH được mở rộng từ 0,784 lên 1,644 nm và 0,864 lên 1,675 nm; tương ứng với các sản phẩm trao đổi anion sử dụng tiền chất LDH-Cl và LDH- $\text{NO}_3$ .

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn Viện Công nghệ Hoá học – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hỗ trợ cơ sở vật chất để thực hiện nghiên cứu này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chen, Z.; Scharnagl, N.; Zheludkevich, M. L.; Ying, H.; Yang, W., (2023). Micro/nanocontainer-based intelligent coatings: Synthesis, performance and applications - A review. *Chem. Eng. J.*, **451**, 138582.
- [2] Bai, X.; Shi, A.; Zhang, F.; Jiang, Z.; Liao, D.; Zhang, H., (2023). Preparation of Mg-Al layered double hydroxides ultrathin nanosheets and its application in adsorption of methyl orange. *Nano*, **18(03)**, 2350020.
- [3] Abrantes Leal, D. b.; Wypych, F.; Bruno Marino. (2020). Zinc layered hydroxide salt intercalated with molybdate anions as a new smart nanocontainer for active corrosion protection of carbon steel. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **12(17)**, 19823-19833.
- [4] Leal, D. A.; Kuznetsova, A.; Silva, G. M.; Tedim, J.; Wypych, F.; Marino, C. E. B., (2022). Layered materials as nanocontainers for active corrosion protection: a brief review. *Appl. Clay. Sci.*, **225**, 106537.
- [5] Tabish, M.; Yasin, G.; Anjum, M. J.; Malik, M. U.; Zhao, J.; Yang, Q.; Manzoor, S.; Murtaza, H.; Khan, W. Q., (2021).

Reviewing the current status of layered double hydroxide-based smart nanocontainers for corrosion inhibiting applications. *J. Mater. Res. Technol*, **10**, 390-421.

[6] Pang, X.; Sun, M.; Ma, X.; Hou, W., (2014). Synthesis of layered double hydroxide nanosheets by coprecipitation using a T-type microchannel reactor. *J. Solid. State. Chem*, **210** (1), 111-115.

[7] Poznyak, S.; Tedim, J.; Rodrigues, L.; Salak, A.; Zheludkevich, M.; Dick, L.; Ferreira, M., (2009). Novel inorganic host layered double hydroxides intercalated with guest organic inhibitors for anticorrosion applications. *ACS. Appl. Mater. Interfaces*, **1**(10), 2353-2362.

[8] Naik, B.; Arulraj, J.; Kolinjavadi, M. R.; Rajamathi, M., (2019). Solvent-mediated and mechanochemical methods for anion exchange of carbonate from layered double hydroxides using ammonium salts. *ACS Omega*, **4**(22), 20072-20079.

[9] Chubar, N.; Gilmour, R.; Gerda, V.; Mičušík, M.; Omastova, M.; Heister, K.; Man, P.; Fraissard, J.; Zaitsev, V., (2017). Layered double hydroxides as the next generation inorganic anion exchangers: Synthetic methods versus applicability. *Adv. Colloid. Interface. Sci*, **245**, 62-80.

[10] Phan, M. V.; Tran, T. K. T.; Pham, Q. N.; Do, M. H.; Nguyen, T. H. N.; Nguyen, M. T.; Phan, T. T.; To, T. X. H. J. N. A., (2024). Controllable synthesis of layered double hydroxide nanosheets to build organic inhibitor-loaded nanocontainers for enhanced corrosion protection of carbon steel. *Nanoscale Advances*, **6**(2), 606-619.

[11] Phan, M. V.; Tran, T. K. T.; Pham, Q. N.; Do, M. H.; Nguyen, T. H. N.; Nguyen, M. T.; Phan, T. T.; To, T. X. Hang., (2023).

Controllable Synthesis of Hollow Silica Nanoparticles Using Layered Double Hydroxide Templates and Application for Thermal Insulation Coating. *ACS Omega*, **8**(34), 31399-31409.

[12] Bernard, E.; Zucha, W. J.; Lothenbach, B.; Mäder, U., (2022). Stability of hydrotalcite (Mg-Al layered double hydroxide) in presence of different anions. *Cem. Concr. Res*, **152**, 106674.

[13] Wang, Q.; Tay, H. H.; Guo, Z.; Chen, L.; Liu, Y.; Chang, J.; Zhong, Z.; Luo, J.; Borgna, A., (2012). Morphology and composition controllable synthesis of Mg-Al-CO<sub>3</sub> hydrotalcites by tuning the synthesis pH and the CO<sub>2</sub> capture capacity. *Appl. Clay. Sci*, **55**, 18-26.

[14] Vieira, D.; Sokol, D.; Smalenskaite, A.; Kareiva, A.; Ferreira, M.; Vieira, J.; Salak, A., (2019). Cast iron corrosion protection with chemically modified MgAl layered double hydroxides synthesized using a novel approach. *Surf. Coat. Technol*, **375**, 158-163.

[15] Tang, L.; Xie, X.; Li, C.; Xu, Y.; Zhu, W.; Wang, L. J. M., (2022). Regulation of structure and anion-exchange performance of layered double hydroxide: Function of the metal cation composition of a brucite-like layer. *Materials* **15**(22), 7983.

[16] Ulibarri, M.; Pavlovic, I.; Barriga, C.; Hermosin, M.; Cornejo, J., (2001). Adsorption of anionic species on hydrotalcite-like compounds: effect of interlayer anion and crystallinity. *Appl. Clay. Sci*, **18**(1-2), 17-27.

[17] Hang, T. T. X.; Truc, T. A.; Duong, N. T.; Vu, P. G.; Hoang, T., (2012). Preparation and characterization of nanocontainers of corrosion inhibitor based on layered double hydroxides. *Appl. Clay. Sci*, **67**, 18-25.