

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP PHỤ MỘT SỐ KIM LOẠI NẶNG TRONG NƯỚC BẰNG VẬT LIỆU NANO COMPOSITE GO/MnO₂

Đến tòa soạn 10-10-2016

Nguyễn Mạnh Tường

Viện Hoá học – Vật liệu/Viện KH&CN QS

Hoàng Thị Chi, Trần Đình Trinh, Nguyễn Văn Nội

ĐHKHTN/ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội

SUMMARY

DEVELOPMENT OF GRAPHENE OXIDE/MNO₂ NANOCOMPOSITES FOR THE REMOVAL OF SOME HEAVY METALS FROM AQUEOUS MEDIA

Graphene oxide/manganese dioxide composite (GO/MnO₂) was synthesized from graphene oxide by precipitation method, and was used as a novel adsorbent for the removal of some heavy metals from aqueous media. The synthesized sorbent was characterized by SEM, IR, Laser Diffraction Particle Size Analyzer and EDX. Through a chemical deposition method, MnO₂ nanoparticles with a typical size of 50 nm were homogeneously dispersed onto graphene oxide surface. The sorption behavior of some heavy metals on GO/MnO₂ was investigated under ambient conditions. The maximum adsorption capacity of GO/MnO₂, MnO₂ and GO obtained from Langmuir isotherms for Pb²⁺ were 333.3 mg/g, 61.3 mg/g and 82.0 mg/g; for Ni²⁺ were 208.3 mg/g, 58.1 mg/g and 80.6 mg/g; for Cu²⁺ were 99.0 mg/g, 37.6 mg/g and 61.0 mg/g, respectively. The maximum adsorption capacity (q_{max}) of materials for Pb²⁺, Ni²⁺ and Cu²⁺ was classified as follows: $q_{max}(GO/MnO_2) > q_{max}(GO) > q_{max}(MnO_2)$. When comparing the competitiveness in sorption capacity of GO/MnO₂ for 3 metals namely lead, copper and nickel, the order of magnitude of sorption capacity expressed in (mmol/g) was found to be in the following order Ni²⁺ > Cu²⁺ > Pb²⁺.

1. MỞ ĐẦU

Môi trường nước ở Việt Nam, kể cả nước mặt và nước ngầm ở nhiều nơi đang bị ô nhiễm kim loại nặng (Cu, Ni, Pb, Cd, Zn,...) trầm trọng [1]. Có nhiều

phương pháp để loại bỏ kim loại nặng khỏi nước ô nhiễm trong đó, hấp phụ là phương pháp có nhiều ưu điểm vì vật liệu sử dụng làm chất hấp phụ tương đối phong phú và thân thiện với môi

trường [2].

Graphen với những đặc tính hấp dẫn như tính dẫn điện cao, diện tích bề mặt lớn, độ ổn định hoá học cao và tính đàn hồi tốt đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới ghi nhận [5]. Ngày nay, graphen và các dẫn xuất của nó đang được nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực và ứng dụng quan trọng công nghệ điện tử, máy tính như tích trữ năng lượng, pin mặt trời, transistors, xúc tác cảm biến, đặc biệt trong xử lý môi trường [6,7]. Gần đây, một số oxit kim loại như MnO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO ,... đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu bởi khả năng hấp phụ các ion kim loại nặng trong nước. Tuy nhiên, việc sử dụng độc lập các oxit kim loại gặp nhiều khó khăn bởi các hạt oxit dễ dàng kết dính lại với nhau và phân tán kém trong dung dịch. Graphen oxit là chất nền lí tưởng cho việc gắn các oxit kim loại để nâng cao hiệu suất hấp phụ. Cho đến nay các oxit kim loại đã được tổng hợp trên nền graphen bao gồm TiO_2 , SiO_2 , ZnO , MnO_2 , Fe_3O_4 , Co_3O_4 , Cu_2O , RuO_2 , Al_2O_3 , ZnFeO_4 , BiWO_6 và LiFePO_4 . Một khó khăn trong việc tổng hợp vật liệu là việc đạt được sự phân tán đồng đều các oxit kim loại trên graphen, làm tăng các tính chất quan trọng của vật liệu. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi đã nghiên cứu chế tạo vật liệu nanocomposit graphen oxit/ MnO_2 và ứng dụng để hấp phụ các kim loại nặng Pb, Ni và Cu trong môi trường nước.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Graphit Việt Nam có kích thước hạt trung bình là 17 μm . Các hoá chất khác như H_2SO_4 , H_3PO_4 , HNO_3 , KMnO_4 , $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaOH , iso propyl alcol,... đều là các hóa chất tinh khiết.

2.2. Chế tạo vật liệu hấp phụ

Vật liệu graphen oxit (GO): Chuyển từ bột graphit vào hỗn hợp axit H_2SO_4

và H_3PO_4 , sau đó làm lạnh hỗn hợp bằng nước đá sao cho nhiệt độ của hỗn hợp không quá 10°C . Tiếp theo, thêm từ từ dung dịch KMnO_4 vào hỗn hợp và tăng tốc độ khuấy để đảm bảo hỗn hợp graphit và KMnO_4 phân tán đều trong dung dịch. Tiếp đó đun nóng hỗn hợp ở 70°C trong thời gian 3 giờ. Hỗn hợp sau phản ứng được làm nguội tới nhiệt độ phòng, pha loãng hỗn hợp bằng nước cất. Quá trình rửa sản phẩm được thực hiện nhiều lần bằng thiết bị quay ly tâm. Sản phẩm thu được có dạng gel màu nâu đen, hàm lượng GO trong gel thu được trong sản phẩm là 5%.

Vật liệu nano MnO_2 : Nano MnO_2 được điều chế bằng cách hoà tan 12,05g KMnO_4 trong 100 ml nước cất và 19,25g $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ trong 50 ml nước cất. Sau đó nhỏ từ từ dung dịch KMnO_4 vào dung dịch MnCl_2 , kết hợp với khuấy từ ở nhiệt độ phòng. Kết tủa MnO_2 được lọc rửa nhiều lần bằng nước cất đến pH = 7 và sấy ở nhiệt độ 70°C trong vòng 24 giờ.

Vật liệu tổ hợp GO/ MnO_2 : Hỗn hợp gồm 27,5g GO ở dạng gel (2,2g GO) và 3g $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ được phân tán trong 100 ml dung dịch iso propyl alcol và siêu âm trong 30 phút. Tiến hành khuấy và đun hồi lưu hỗn hợp ở 85°C trong vòng 15 phút. Sau đó hòa tan 0,4g KMnO_4 trong 10 ml nước cất, và cho từ từ vào hỗn hợp trên. Kết tủa được lọc rửa nhiều lần bằng nước cất tới pH = 7 và sấy chân không ở 60°C trong 24 giờ.

2.3. Các phương pháp phân tích

Các vật liệu tổng hợp được đặc trưng bởi các phương pháp kính hiển vi điện tử quét phân giải cao trên thiết bị Hitachi S-4800 Serial Number HI-9022-0003, phân tích thành phần trên thiết bị EDX JSM 6610 LA- Jeol- Nhật Bản, tán xạ laser trên thiết bị HORIBA partica LA- 650V2, phân tích phổ hồng

ngoại Infra Red trên thiết bị Nicolet iS 10- Mỹ. Diện tích bề mặt riêng được đặc trưng bởi phương pháp BET trên thiết bị Micromeritics TriStar 3000.

Nồng độ các ion kim loại nặng trong dung dịch trước và sau quá trình xử lý được xác định bằng phương pháp cực phổ trên máy 797 VA COMPUTRACE.

2.4. Khảo sát khả năng hấp phụ một số ion kim loại nặng và sự hấp phụ cạnh tranh các ion kim loại nặng trong môi trường nước lên các vật liệu tổng hợp được.

Khảo sát khả năng hấp phụ Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} trong môi trường nước của vật liệu nano composite đối với các ion kim loại trong nước bằng mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir.

Chuyển lần lượt 0,05g vật liệu hấp phụ (GO , MnO_2 , GO/MnO_2) vào 50ml dung dịch Cu^{2+} , Pb^{2+} và Ni^{2+} ở các nồng độ khác nhau (C_0 , mg/l), pH=7 và tiến hành lắc ở các khoảng thời gian khác nhau (t) từ t = 0 phút tới t = 180 phút. Sau khi kết thúc thời gian phản ứng, tiến hành lọc bằng giấy lọc băng xanh, xác định nồng độ các ion Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+} còn lại trong dung dịch (C_t , mg/l) bằng phương pháp cực phổ như đã trình bày ở trên. Từ đó xác định được hiệu suất hấp phụ (H, %), tải trọng hấp phụ (q_t , mg/g).

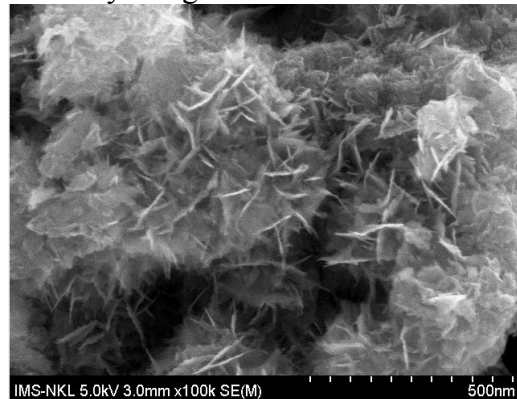
Khảo sát sự hấp phụ cạnh tranh của các ion Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} lên vật liệu GO/MnO_2 : Tiến hành lấy 0,05g GO/MnO_2 khuấy đều trong 50ml dung dịch chứa đồng thời Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+} ở các nồng độ khác nhau trong 60 phút và duy trì ở pH = 7. Sau đó lọc lấy mẫu để xác định nồng độ Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+} còn lại trong dung dịch (C_t) và tính tải trọng hấp phụ (q_t , mg/g).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

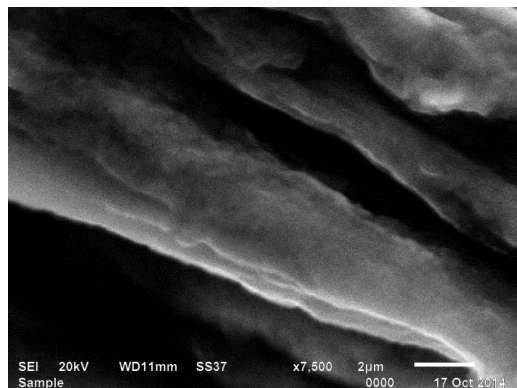
3.1. Khảo sát, đánh giá đặc tính cấu trúc của vật liệu

3.1.1 Kết quả đặc trưng bề mặt vật liệu bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM)

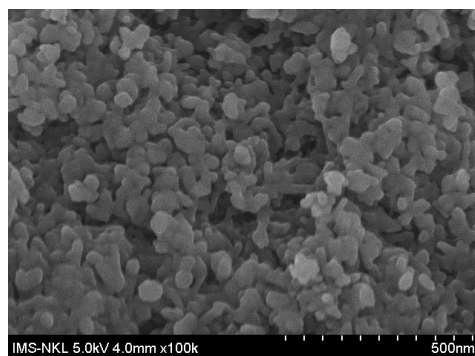
Kính hiển vi điện tử quét SEM được sử dụng để khảo sát hình thái học của các vật liệu trước và sau khi tổ hợp. Ảnh SEM của GO , MnO_2 , GO/MnO_2 được trình bày trong hình 1.



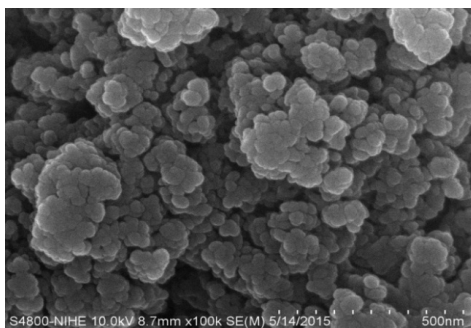
a. MnO_2



b. Graphen Oxit (GO)



c. GO/MnO_2 3:2



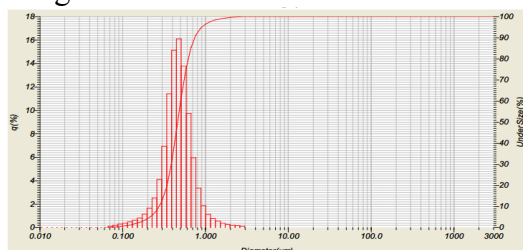
d. GO/MnO₂ 1:1

Hình 1: Ảnh SEM của MnO₂ (a),
GO (b) và GO/MnO₂ (c,d)

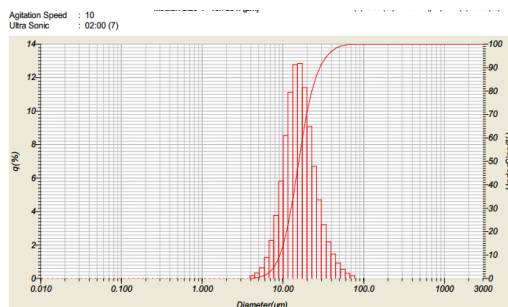
Các kết quả thu được từ ảnh SEM cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hình thái học của các vật liệu MnO₂, GO và GO/MnO₂. Cụ thể, MnO₂ là các nano kết tụ theo hình hoa (hình 1a). Vật liệu GO có bề mặt xốp, xuất hiện các lớp rõ ràng (hình 1b). Đối với vật liệu tổ hợp GO/MnO₂ ta thấy các hạt MnO₂ phân bố đồng đều trên bề mặt GO và có khả năng chèn vào giữa các lớp graphen, từ đó sẽ hình thành nhiều tâm hấp phụ hơn so với vật liệu ban đầu (hình 1c và 1d). Với vật liệu GO/MnO₂ tỷ lệ 1:1 (hình 1d) ta thấy các hạt nano MnO₂ phân bố với số lượng nhiều dày đặc hơn so với GO/MnO₂ tỉ lệ 3:2 (hình 1c). Vì thế vật liệu GO/MnO₂ tỷ lệ 1:1 có khả năng hấp phụ cao hơn do có chứa nhiều tâm hấp phụ hơn. Trong các thí nghiệm sau, vật liệu tổ hợp GO/MnO₂ tỷ lệ 1:1 được sử dụng.

3.1.2. Khảo sát kích thước vật liệu

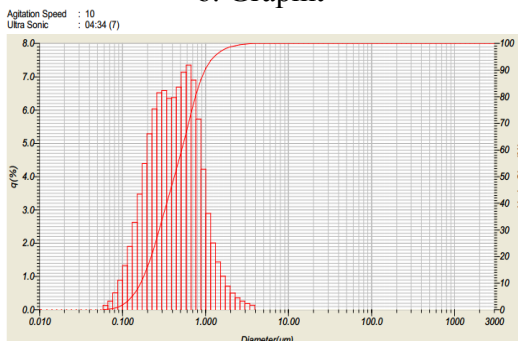
Kích thước hạt vật liệu được khảo sát bằng phương pháp tán xạ laser. Giản đồ phân bố kích thước hạt của graphit, GO, MnO₂, GO/MnO₂ được trình bày trong hình 2.



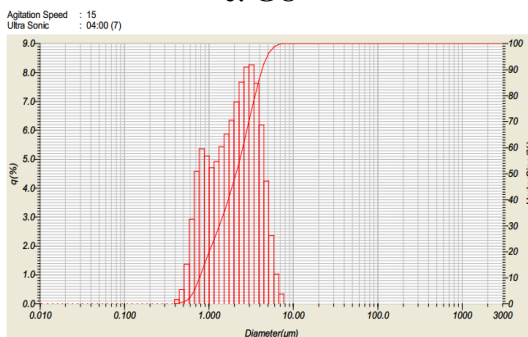
a. MnO₂



b. Graphit



c. GO



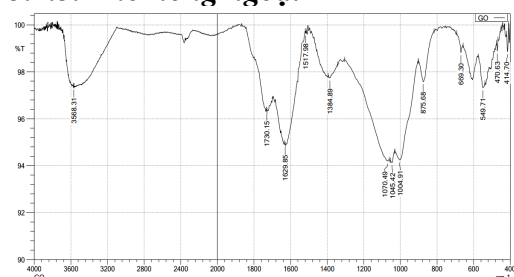
d. GO/MnO₂

Hình 2: Giản đồ phân bố kích thước hạt của MnO₂(a), Graphit (b), GO(c), GO/MnO₂(d).

Ta có thể nhận thấy mỗi loại vật liệu chế tạo được đều có duy nhất một dải phân bố kích thước hạt (mono-modal), với độ phân bố kích thước theo thể tích hạt là tương đối đối xứng. Cụ thể, các hạt MnO₂ và graphit có sự phân bố theo thể tích hạt là đối xứng nhất, trong đó có tới gần 90% các hạt graphit có kích cỡ lớn hơn 10 μm (kích thước trung bình là 17,8 μm) trong khi có đến gần 100% các hạt MnO₂ nằm trong khoảng 100 nm đến 1 μm (kích thước trung bình là 500 nm). Điều đó cho thấy sự bóc tách thành công các lớp

của graphite bởi quá trình tổng hợp GO theo phương pháp Tour. Về phân vật liệu GO, các hạt phân bố ít đối xứng hơn so với các vật liệu graphite và MnO_2 và được đặc trưng bởi các hạt nằm trong dải từ 50 nm đến 4 μm , trong đó có đến khoảng 80% các hạt nhỏ hơn 1 μm và kích thước trung bình của GO là 503 nm (hình 2c). Một điều thú vị ở đây là vật liệu tổ hợp từ GO và MnO_2 lại có kích thước lớn hơn so với chính hai vật liệu ban đầu (hình 2d). Cụ thể, vật liệu tổ hợp GO/ MnO_2 có kích thước nằm trong dải 400 nm đến 8 μm , với giá trị trung bình là 2,3 μm và có sự phân bố theo kích thước hạt bất đối xứng. Nếu tính theo thể tích thì có đến khoảng 80% các hạt GO/ MnO_2 có kích thước hạt lớn hơn 1 μm . Việc tăng kích thước này có thể được giải thích bởi sự hình thành các tập hợp (agglomerates) các hạt MnO_2 phân bố đồng đều và có khả năng chèn vào giữa các lớp graphen.

3.1.3. Phổ hồng ngoại IR



Sau khi tổng hợp vật liệu, phương pháp phổ hồng ngoại đã được áp dụng để kiểm tra kết quả chế tạo vật liệu tổ hợp GO/ MnO_2 . Phổ IR của GO, GO/ MnO_2 được trình bày ở hình 3.

(a) GO

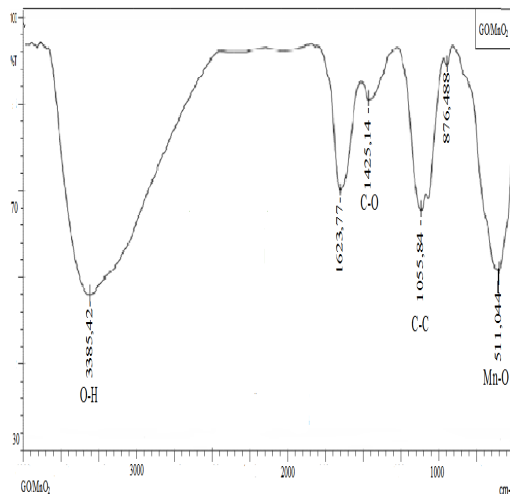
(b) GO/ MnO_2

Hình 3: Phổ IR của GO (a), GO/ MnO_2

(b)

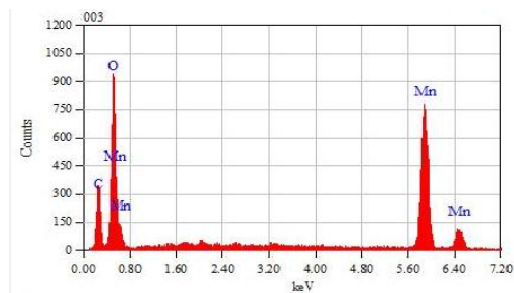
Từ phổ IR ta thấy rằng với GO có xuất hiện các pic ở 3568 cm^{-1} đặc trưng cho dao động liên kết O-H (-COOH), pic ở 1629 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết C=O. Pic ở 1384, 1070, 1045 cm^{-1} đặc trưng cho

liên kết C-O, -C-C. Điều này chứng tỏ các nhóm chức C=O, C-O, -OH đã được hình thành trên bề mặt của vật liệu graphite và GO.



Đối với GO/ MnO_2 , ngoài những pic tương tự của vật liệu GO, ta thấy xuất hiện thêm pic 511 cm^{-1} với cường độ cao đặc trưng cho dao động của liên kết Mn-O. Bên cạnh đó cũng có thể nhận thấy sự dịch chuyển các pic đặc trưng cho dao động liên kết O-H và C=O, có thể được giải thích do có sự tạo liên kết giữa các hạt oxit với các nhóm (-COOH). Điều này cho thấy các hạt nano MnO_2 đã được gắn bề mặt của GO và tạo thành vật liệu GO/ MnO_2 [3].

3.1.4. Xác định thành phần loại có trong vật liệu (phổ EDX)



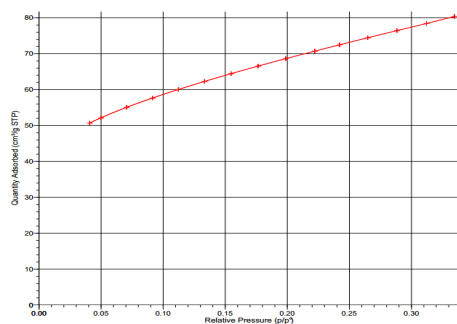
Hình 4: Phổ EDX của vật liệu tổ hợp GO/ MnO_2

Từ biểu đồ EDX của GO/ MnO_2 ta có thể nhận thấy vật liệu chứa 3 nguyên tố C, O và Mn, trong đó pic của O có độ lớn cao nhất. Điều này cho thấy vật liệu nano composite GO/ MnO_2 tổng

hợp được có độ tinh khiết cao. Nguyên tố O có mặt chủ yếu trong MnO_2 , ngoài ra nó còn tồn tại trong các nhóm chức ($\text{C}=\text{O}$, COOH ,...) trên bề mặt GO. Một cách ước lượng, nồng độ nguyên tố C trong mẫu chụp là nhỏ nhất, điều này gợi ý rằng mẫu đo chứa chủ yếu hạt nano MnO_2 . Kết quả này có thể được giải thích là do một lượng lớn các hạt nano MnO_2 xen vào giữa các hốc trống và/hoặc bao phủ lên bề mặt của vật liệu GO.

3.1.5. Xác định diện tích bề mặt riêng của vật liệu (BET)

Diện tích bề mặt riêng của vật liệu được xác định bằng sự hấp phụ khí N_2 . Đường hấp phụ đẳng nhiệt của N_2 được xác định ở vùng áp suất tương đối từ 0,04 tới 0,35 atm, nhiệt độ 77,35 K. Diện tích bề mặt được xác định từ đồ thị BET trong vùng áp suất tương đối từ 0 tới 0,27 atm.



Hình 5: Đồ thị đường hấp phụ đẳng nhiệt BET của N_2 trên vật liệu GO/MnO_2

Theo phương pháp BET diện tích bề mặt riêng của vật liệu tổ hợp GO/MnO_2 là khá lớn: $80,6 \text{ m}^2/\text{g}$; trong khi giá trị này xác định theo đường hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là $117,4 \text{ m}^2/\text{g}$.

3.2. Khảo sát năng hấp phụ Cu^{2+} , Pb^{2+} và Ni^{2+} của vật liệu trong môi trường nước

3.2.1. Khảo sát thời gian đạt cân bằng hấp phụ

Bảng 1. Khảo sát thời gian đạt cân bằng hấp phụ của vật liệu đối với Pb^{2+} , Ni^{2+} và Cu^{2+}

T (phút)	GO/ MnO_2 $q_t(\text{mg/g})$			MnO_2 $q_t(\text{mg/g})$			GO $q_t(\text{mg/g})$		
	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	54,4	49,2	44,7	38,9	17,0	29,3	43,3	27,7	29,4
20	57,8	53,6	49,2	46,6	22,4	34,6	48,9	34,7	31,6
60	59,9	57,9	57,7	51,6	30,8	39,7	53,0	40,9	35,5
90	59,9	57,9	57,9	52,1	30,7	40,7	53,7	41,0	37,4
180	60,0	58,0	58,3	53,0	31,0	42,6	53,8	41,0	39,4

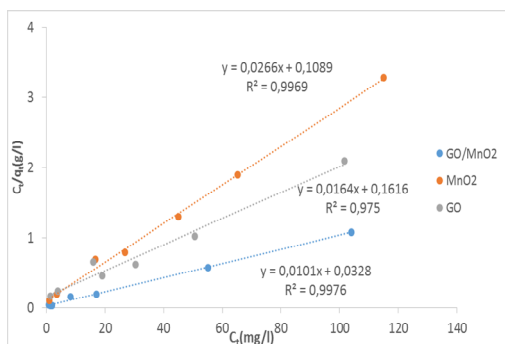
Từ các số liệu ở bảng 1, ta thấy rằng từ 0 đến 20 phút đầu tiên, dung lượng hấp phụ Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} đối với cả 3 vật liệu hấp phụ đều tăng rất nhanh, sau đó hiệu suất hấp phụ tăng chậm và đạt cân bằng sau 60 phút.

Ngoài ra có thể nhận thấy khả năng hấp phụ các ion kim loại nặng đối với vật liệu GO/MnO_2 là cao nhất. Như vậy kết quả ban đầu cho thấy hiệu quả của việc gắn MnO_2 lên GO đối với khả năng

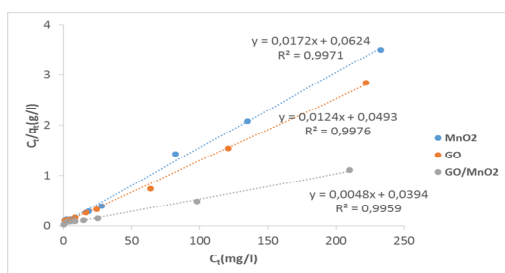
hấp phụ các ion kim loại nặng trong dung dịch nước.

3.2.2. Khảo sát dung lượng hấp phụ cực đại Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+}

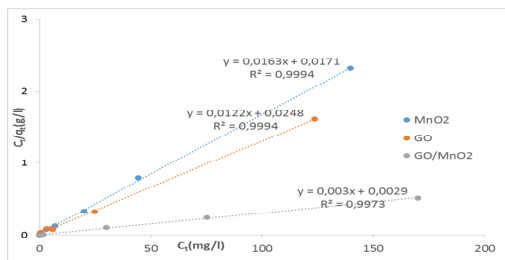
Kết quả khảo sát dung lượng hấp phụ cực đại các ion kim loại thể hiện trong các hình sau:



a) Pb^{2+}



((b) Cu^{2+}



(c) Ni^{2+}

Hình 6: Đồ thị xác định tải trọng hấp phụ cực đại theo mô hình Langmuir của GO , MnO_2 và GO/MnO_2 đối với: Pb^{2+} (a), Cu^{2+} (b) và Ni^{2+} (c).

Từ hình 6 ta tính được tải trọng hấp phụ cực đại của vật liệu đối với các ion Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+} . Kết quả được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Tải trọng hấp phụ cực đại của vật liệu đối với Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+}

q_{max} (mg/g)	GO	MnO_2	GO/ MnO_2
Pb^{2+}	82,0	61,3	333,3
Ni^{2+}	80,6	58,1	208,3
Cu^{2+}	61,0	37,6	99,0

Khi tính theo số mol ion kim loại được hấp phụ, có thể nhận thấy rằng dung

lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu GO/MnO_2 là thấp nhất, trong khi giá trị này đối với Ni^{2+} là cao nhất. Điều này có thể được giả thích là do bán kính Vanderwalls của Pb là lớn nhất (202 pm), so với 163 pm đối với Ni và 140 pm đối với Cu . Bên cạnh đó, độ âm điện của Pb cũng lớn nhất (2,33), so với 1,91 (Ni) và 1,90 (Cu) có thể là nguyên nhân dẫn đến sự giảm ái lực của nó với bề mặt GO vốn có bản chất tích điện âm, từ đó giảm khả năng hấp phụ của Pb lên vật liệu.

3.2.3. So sánh khả năng cạnh tranh hấp phụ của chì, đồng và niken

Các kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng trong dung dịch có chứa đồng thời một số ion kim loại thì khả năng hấp phụ của vật liệu GO/MnO_2 đối với từng ion so với khi ion đó tồn tại một mình trong dung dịch là thấp hơn rất nhiều. Chẳng hạn với dung dịch chỉ chứa ion Pb^{2+} có nồng độ ban đầu $C_0 = 330$ mg/l và cùng khoảng thời gian hấp phụ như nhau thì $q_t = 1,35$ mmol/g trong khi trong dung dịch có chứa hỗn hợp nhiều ion kim loại thì giá trị tương ứng của $q_t = 0,92$ mmol/g. Điều này có thể được giải thích do sự cạnh tranh hấp phụ của các ion trong dung dịch. Các ion kim loại bị hấp phụ một phần và ngăn cản sự hấp phụ của các ion kim loại khác.

Bảng 3. Sự hấp phụ cạnh tranh của Pb^{2+} , Cu^{2+} và Ni^{2+} lên vật liệu GO/MnO_2

C_0 (mg/l)	Pb^{2+}		Ni^{2+}		Cu^{2+}	
	C_t (mg/l)	q_t (mmol/g)	C_t (mg/l)	q_t (mmol/g)	C_t (mg/l)	q_t (mmol/g)
250	86,2	0,79	103,6	2,48	182	1,06
333	142	0,92	194,4	2,35	253	1,25

Khi tính theo số mol ion kim loại được hấp phụ, ta có thể nhận thấy rằng dung lượng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu GO/MnO_2 là thấp nhất, trong khi giá trị này đối với Ni^{2+} là cao nhất (bảng 3). Điều này có thể được giả thích là do bán kính Vanderwalls của Pb là lớn nhất (202 pm), so với 163 pm đối với Ni và 140 pm đối với Cu . Bên cạnh đó, độ âm điện của Pb cũng lớn nhất (2,33)

so với 1,91 (Ni) và 1,90 (Cu) có thể là nguyên nhân dẫn đến sự giảm ái lực của nó với bề mặt GO vốn có bản chất tích điện âm, từ đó giảm khả năng hấp phụ của Pb lên vật liệu.

4. KẾT LUẬN

Vật liệu tổ hợp trên cơ sở GO và MnO₂ đã được chế tạo bằng phương pháp Tour với diện tích bề mặt riêng lên tới 242 m²/g. Các phương pháp đặc trưng cấu trúc vật liệu hiện đại (SEM, EDX, tán xạ laser, IR,...) đã chứng minh sự thành công của quá trình tổng hợp. Khả năng hấp phụ ion Pb²⁺, Ni²⁺ và Cu²⁺ trong dung dịch của GO, MnO₂ và vật liệu tổ hợp GO/MnO₂ đã được khảo sát. Kết quả cho thấy đối với cả 3 loại vật liệu hấp phụ, quá trình hấp phụ Pb²⁺, Ni²⁺ và Cu²⁺ đều đạt cân bằng sau khoảng thời gian 60 phút. Bên cạnh đó, tải trọng hấp phụ cực đại Pb²⁺, Ni²⁺ và Cu²⁺ của các vật liệu tổ hợp cao hơn hẳn so với các vật liệu ban đầu và được sắp xếp như sau: q_{max}(GO/MnO₂) > q_{max}(GO) > q_{max}(MnO₂). Kết quả nhận được cho thấy vật liệu tổ hợp có triển vọng ứng dụng để xử lý hiệu quả các kim loại nặng trong các nguồn nước bị ô nhiễm.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được hoàn thành với sự hỗ trợ kinh phí của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc Gia Hà Nội, mã số QG.16.21.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thị Ngọc Ân, Dương Thị Bích Huệ (2007). “Hiện trạng ô nhiễm kim loại nặng trong rau xanh ở ngoại ô thành phố Hồ Chí Minh”. *Tạp chí phát triển KH&CN*, 10, 53 - 62.
2. Hà Quang Ánh (2016). “Nghiên cứu tổng hợp và đặc trưng vật liệu mới cấu trúc nano trên cơ sở graphen ứng dụng trong xử lý môi trường”. Luận án tiến sỹ. Học viện Khoa Học và Công Nghệ - Viện Hàn Lâm và Công Nghệ Việt Nam.

3. Phan Ngọc Minh (2014). “*Vật liệu cacbon cấu trúc nano và các ứng dụng tiềm năng*”. NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ Hà Nội.
4. Nguyễn Thị Vương Hoàn, Nguyễn Ngọc Minh, Lê Thị Thanh Thúy (2015). “*Khả năng hấp phụ chì trong dung dịch nước của vật liệu nano composít Fe₃O₄/Graphene oxít tổng hợp theo phương pháp gián tiếp*”. *Tạp chí xúc tác hấp phụ*, 4, 91 - 96
5. Nguyễn Thị Thu Hiền, Lương Văn Thường, Hoàng Mai Chi và cộng sự (2015). “*Nghiên cứu tổng hợp vật liệu nano graphene oxide từ nguồn nguyên liệu graphit Việt Nam làm chất phụ gia giảm thải nước cho dung dịch khoan ở nhiệt độ cao*”. *Dầu khí*, 8, 41 - 50.
6. G. Andre, K. S. Novoselov (2007). “*The rise of graphene*”. *Nature Materials* pp,183 - 191.
7. Sekhar C. Ray (2015). *Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials. Micro and NanoTechnologies*.
8. Zhengguo Song, E. Lian, Z. Yu, L. Zhu, B. Xing, W. Qiu (2014). “*Synthesis and characterization of a novel MnO_x-loaded biochar and its adsorption properties for Cu²⁺ in aqueous solution*”. *Chemical Engineering Journal*, 36 - 42.
9. Sangit Varma, Sarode, WaKale, Bhanvase, Deosarkar (2013). “*Removal of Nickel from Waste Water Using Graphene Nano composite*”. *International Juornal of Chemical and Physical Sciences*, 2319 - 6602.
10. Wenshu Tang, Qi li, Shian Gao, Jian Ku Shang (2011). “*Arsenic (III, V) removal from aqueous solution by ultrafine α- Fe₂O₃ nanoparticles synthesized from solvent thermal method*”. *Journal of Hazardous Materials*, 192, 131 - 138.