



Nghiên cứu chế tạo vật liệu lọc hơi khí độc trên cơ sở than hoạt tính tẩm phụ gia sử dụng trong chế tạo mặt nạ vượt qua đám cháy

Research and manufacture toxic gas filter materials on the basis of activated carbon impregnated with additives used in the manufacture of fire escape masks

Bùi Văn Tài ^{1*}, Trần Văn Chung¹, Phùng Chí Tài ²

¹*Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự, Số 17, phố Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội*

²*Trường Sĩ quan lục Quân I, Sơn Tây, Hà Nội*

*Email: bvtai2007@yahoo.com.vn

ARTICLE INFO

Received: 20/02/2022

Accepted: 02/4/2022

Published: 14/4/2022

Keywords:

Carbon hoạt tính, vải carbon hoạt tính, lớp lọc vải carbon hoạt tính

ABSTRACT

This paper presents the results of research and fabrication of a layer of material that adsorbs some toxic gases that stimulate acidic respiration and the smoke and dust generated by the fire. Methods used: SEM-EDS; determining the BET surface area; the protection time with benzene and HCl vapor on the dynamic adsorption device DPC5... The results showed that the additively impregnated activated carbon cloth filter material has a specific surface area in BET of 697 m²/g, has a protection time against benzene vapor of 34 minutes; protection time with HCl acid vapor is 33 minutes and the ability to filter smoke particles reached 94%. The filter material made from coconut shell activated carbon has a surface area calculated according to BET being 664 m²/g, has a protection time with benzene vapor (L= 5 cm, Co = 18 mg/L) of 56 minutes; protection time with HCl acid vapor (L= 5 cm, Co= 1.1 mg/L) is 280 minutes. Construction of Xylop curve determines the ability to filter benzene vapor and the ability to filter HCl acid vapor shows. This material has potential for the use in the manufacture of personal respiratory protection and environmental remediation.

Giới thiệu chung

Mặt nạ thoát hiểm vượt qua đám cháy là phương tiện cá nhân chuyên dùng để bảo vệ cơ quan hô hấp của con người để vượt qua đám cháy, khói bụi khi có hỏa hoạn xảy ra. Mặt nạ có tác dụng lọc, giữ các tác nhân độc hại do đám cháy sinh ra như: Khí gây ngạt thở là CO, HCN. Khí gây kích thích cay mắt như hơi axit, HCl, HBr, HF, COF₂, H₃PO₄, SO₂, NO_x. Chất kích thích hữu cơ-acrolein, formaldehyde, crotonaldehyde, phenol,

styrene và các chất gây ung thư như: benzen, dioxin... Hạt khói bụi (đặc biệt là các hạt siêu mịn).

Các siêu mịn là các hạt muội than, các mảnh hydrocarbon hữu cơ trải qua chu kỳ vòng, tạo thành các hợp chất vòng thơm kết hợp thành các tấm giống như phân tử than chì. Các chất độc hại dễ bay hơi bao gồm axit, chất kích thích hữu cơ và chất gây ung thư ngưng tụ trên các hạt. Các hạt này khi được hít vào phổi sẽ gây ra ngộ độc và gây tử vong [5 - 9].

Trong hộp lọc phòng độc của mặt nạ thoát hiểm vượt qua đám cháy và một số phương tiện bảo vệ cơ quan hô hấp, có các tầng vật liệu: tầng giấy có tác dụng lọc bụi và sol khí, tầng than hoạt tính tẩm phụ gia có tác dụng lọc các loại hơi chất hữu cơ, hơi axit và hơi khí độc.[1 - 4]

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo lớp vật liệu hấp phụ các chất hữu cơ, hơi axit và lọc bụi, lọc sol khí do đám cháy sinh ra.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chế tạo

Phương pháp chế tạo lớp lọc bao gồm các bước như sau:

Bước 1: Chuẩn bị vật liệu

Vải than hoạt tính, than hoạt tính gáo dừa Trà Bắc dạng hạt và K_2CO_3

Tủ sấy, lò quay và một số dụng cụ khác

Than hoạt tính gáo dừa, vải than hoạt tính được đánh giá xác định các chỉ tiêu kỹ thuật, sau đó sấy khô ở nhiệt độ 120 °C trong thời gian 3 giờ.

Bước 2: Pha chế dung dịch tẩm K_2CO_3 với các nồng độ 5%, 10%, 20%, 25%.

Bước 3: Tẩm dung dịch phụ gia K_2CO_3 lên vải than hoạt tính và than hoạt tính gáo dừa. Sau đó ủ mẫu trong thời gian 24 giờ và sấy khô mẫu ở nhiệt độ 120 °C trong 2 giờ.

Bước 4: Chế tạo lớp vật liệu lọc và đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật.

Mẫu vải than hoạt tính tẩm phụ gia được cắt thành hình tròn và xếp thành nhiều lớp (từ 3-5 lớp); giữa các lớp được gắn kết với nhau sau đó nhiệt phân trong lò quay, ở nhiệt độ từ 150 – 180 °C.

Phương pháp xác định khả năng lọc hơi khí axit, hơi benzen của vật liệu

Xác định thời gian bảo vệ của lớp lọc với hơi benzen và hơi axit HCl của lớp lọc trên thiết bị hấp phụ động lực học DPS5. Mẫu vải than hoạt tính được cắt thành hình tròn, có diện tích 3,12 cm² có ảnh ở hình 1:



Hình 1: Ảnh của tấm lọc vải than hoạt tính tẩm phụ gia

Diện tích và kích thước này vừa với tiết diện ngang của ống động học của thiết bị. Mỗi lần xác định thời gian bảo vệ các lớp lọc được xếp chồng lên nhau thành các chiều dày lớp khác nhau.

Than hoạt tính gáo dừa tẩm phụ gia được nhồi vào ống động học theo quy trình đo của thiết bị.

Các phương pháp đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật khác bao gồm:

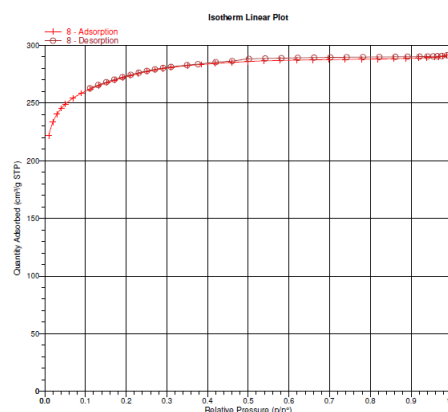
Đo đẳng nhiệt hấp phụ N_2 xác định diện tích bề mặt BET, đo dung lượng hấp phụ hơi benzen trên cân Mcbell, đo độ bền hạt, kích thước hạt, hiệu suất lọc sol khí... Tất cả các chỉ tiêu kỹ thuật được xác định theo quy trình đo mẫu phòng thí nghiệm.

Kết quả và thảo luận

Kết quả nghiên cứu chế tạo vật liệu vải than hoạt tính tẩm phụ gia

Xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của vải than hoạt tính

Kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ- giải hấp phụ N_2 của vải cacbon hoạt tính được thể hiện ở hình 2:



Hình 2: Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ N_2 của mẫu vải than hoạt tính

Kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ N₂ xác định được độ xốp, diện tích bề mặt riêng của vải than hoạt tính là 926 m²/g, thể tích vi mao quản 0,36 cm³/g, thể tích mao quản trung bình 0,09 cm³/g. Tổng hợp các kết quả xác định chỉ tiêu kỹ thuật của vải than hoạt tính thể hiện ở bảng 1 sau đây:

Bảng 1: Chỉ tiêu kỹ thuật của vải than hoạt tính

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị đo	Kết quả đo
1	Dung lượng hấp phụ hơi Benzen ở P/PS = 0,99	mM/g	5,58
2	Thể tích vi mao quản	cm ³ /g	0,36
3	Thể tích mao quản trung bình	cm ³ /g	0,09
4	Diện tích bề mặt riêng	m ² /g	926
5	Độ dày	mm	0,9

Kết quả trên bảng 1 cho thấy vải than hoạt tính có diện tích bề mặt lớn, độ xốp cao, có khả năng sử dụng làm chất mang tẩm xúc tác.

Nghiên cứu chế tạo vật liệu lọc vải than hoạt tính tẩm phụ gia

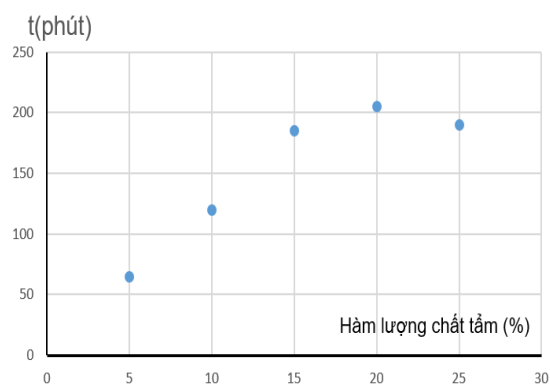
Chế tạo mẫu vật liệu vải than hoạt tính tẩm K₂CO₃ với hàm lượng khác nhau. Hàm lượng tẩm của các mẫu từ 5 đến 25%.

Kết quả xác định thời gian bảo vệ hơi HCl của lớp vật liệu lọc vải than hoạt tính tẩm K₂CO₃ trên thiết bị DPS5 được thể hiện trong bảng 3.2 (chiều cao lớp lọc L= 5 cm, nồng độ hơi HCl thử nghiệm 0,1%).

Bảng 2: Thời gian bảo vệ hơi HCl của lớp vải than hoạt tính tẩm phụ gia

TT	Hàm lượng chất tẩm (%)	Thời gian bảo vệ (phút)
1	5	65
2	10	120
3	15	185
4	20	205
5	25	190

Từ bảng số liệu kết quả đo thời gian bảo vệ với hơi axit HCl của các mẫu vải than hoạt tính tẩm phụ gia ở bảng 2, xây dựng đồ thị mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ với hơi HCl vào lớp vải than hoạt tính có hàm lượng chất tẩm khác nhau được thể hiện ở hình 3 sau đây.

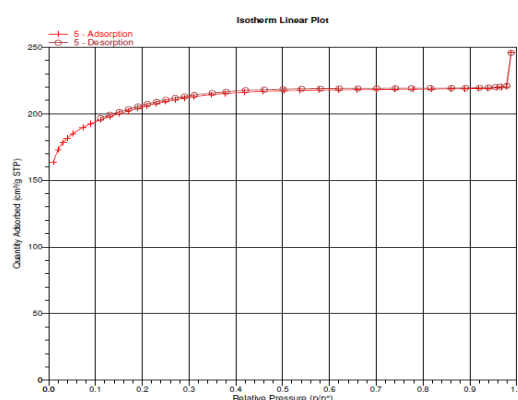


Hình 3: Đồ thị sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ với hơi HCl vào lớp vải than hoạt tính có hàm lượng chất tẩm khác nhau

Nhận xét: Từ kết quả trên trên đồ thị hình 3 thấy rằng: khi hàm lượng phụ gia tẩm lên vải tăng lên từ 5 đến 15% thì thời gian bảo vệ với hơi HCl tăng lên. Khi tiếp tục tăng hàm lượng tẩm từ 15% đến 25% thì thời gian bảo vệ có xu hướng giảm đi. Điều này chứng tỏ rằng nếu chất tẩm quá cao sẽ không khuếch tán hết vào trong cấu xốp, xảy ra hiện tượng vón cục trên bề mặt, dẫn tới hiệu quả lọc chưa cao. Do vậy lựa chọn hàm lượng chất tẩm K₂CO₃ trong khoảng 15 đến 20 % phù hợp cho nghiên cứu chế tạo mẫu vật liệu lọc.

Kết quả đánh giá xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của lớp vật liệu lọc

Kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ giải hấp phụ N₂ của vật liệu vải cacbon hoạt tính tẩm phụ gia xúc tác K₂CO₃, được thể hiện ở hình 4 sau:



Hình 4: Đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ N₂ của mẫu vải than hoạt tính tẩm 15% K₂CO₃

Từ kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ N₂ của mẫu vải cacbon hoạt tính tẩm phụ gia xúc tác xác định được độ xốp, diện tích bề mặt BET của vật liệu và thể tích mao quản của vật liệu.

Đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của vải carbon hoạt tính tẩm phụ gia, kết quả được trình bày trong bảng 3 dưới đây.

Bảng 3: Chỉ tiêu kỹ thuật của vải than hoạt tính tẩm phụ gia xúc tác

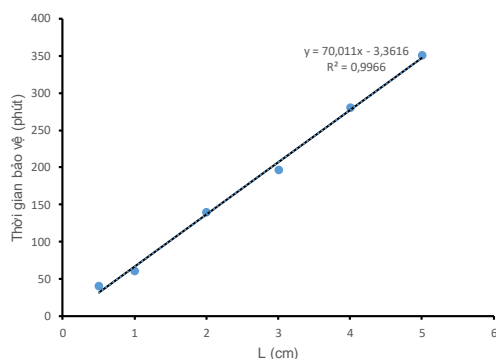
TT	Chỉ tiêu	Đơn vị đo	Kết quả đo
1	Dung lượng hấp phụ hơi Benzen ở P/PS=0,99	mM/g	4,63
2	Thể tích vi mao quản	cm ³ /g	0,250
3	Thể tích mao quản trung bình	cm ³ /g	0,075
4	Diện tích bề mặt riêng	m ² /g	697
5	Độ dày	mm	0,9
6	Hàm lượng K ₂ CO ₃	%	15

Nhận xét: Lớp vải than hoạt tính sau khi tẩm phụ gia có diện tích bề mặt lớn, cấu trúc vi mao quản cao và có dung lượng hấp phụ hơi benzen cao. Điều đó chứng tỏ rằng: lớp vải than hoạt tính tẩm phụ gia vừa có khả năng hấp phụ rất tốt hơi hữu cơ, hấp phụ hơi hữu cơ có tính axit và hấp phụ hơi axit.

Kết quả xác định thời gian bảo vệ hơi axit HCl của các lớp vật liệu lọc

Kết quả nghiên cứu xác định thời gian bảo vệ với hơi HCl với chiều dày lớp vải than hoạt tính tẩm phụ gia

Xác định thời gian bảo vệ với hơi axit HCl của các lớp vật liệu lọc than hoạt tính tẩm phụ gia xúc tác với các chiều dày lớp lọc khác nhau L = 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 cm; mẫu vật liệu lọc vải than hoạt tính tẩm phụ gia xúc tác có hàm lượng chất tẩm 15% K₂CO₃ kết quả thể hiện trên hình 5 như sau:



Hình 5: Đường Sylop mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ hơi axit HCl vào chiều dày lớp vải than hoạt tính tẩm phụ gia

Nhận xét: Kết quả thử nghiệm trên đồ thị thực nghiệm hình 5 xác định được các thông số như chiều dày lớp chất L = 0,1 cm, chiều dày lớp không làm việc L=0,15 cm, chiều dày lớp làm việc L = 0,2 cm và các thông số động học để thiết kế chế tạo hộp lọc.

Nghiên cứu chế tạo tấm lọc từ vải than hoạt tính tẩm phụ gia

Tấm lọc được nghiên cứu chế tạo trên cơ sở các lớp lọc xếp lại với nhau và có kích thước xác định, sau đó may viền xung quanh. Mẫu tấm lọc chế tạo có ảnh trên hình 6 sau đây



Hình 6: Ảnh của 6 mẫu tấm lọc chế tạo

Tấm lọc chế tạo có các chỉ tiêu kỹ thuật được đánh giá thể hiện trong bảng 4 sau đây:

Bảng 4: Chỉ tiêu kỹ thuật của tấm lọc mẫu chế tạo

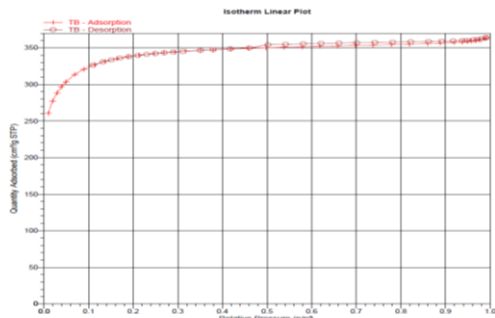
TT	Tên chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị đo	Kết quả
1	Chiều dày	cm	0,5
2	Kích thước	mm	110 x 110
3	Khối lượng	g	19
4	Thời gian bảo vệ với hơi benzen (Co=18mg/l)	phút	34
5	Thời gian bảo vệ với hơi axit HCl (Co=1,0 mg/l)	phút	33
6	Hiệu suất lọc sol khí	%	94

Nhận xét: Kết quả xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của tấm lọc độc mẫu chế tạo thấy rằng: mẫu tấm lọc độc hoàn toàn có khả năng sử dụng được trong việc chế tạo mặt nạ thoát hiểm vượt qua đám cháy

Kết quả nghiên cứu chế tạo vật liệu than hoạt tính gáo dừa tẩm phụ gia

Đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của than hoạt tính gáo dừa

Kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ- giải hấp phụ N₂ của than hoạt tính gáo dừa Trà Bắc như sau:



Hình 7: Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ N₂ của mẫu than hoạt tính Trà Bắc

Từ kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ N₂ và đồ thị đường BET xác định được độ xốp, diện tích bề mặt riêng 1150 m²/g, thể tích vi mao quản 0,46 cm³/g, thể tích mao quản trung bình 0,087 cm³/g. Đo đạc đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật và tổng hợp kết quả đánh giá chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu than hoạt tính gáo dừa được trình bày ở bảng 5.

Bảng 5: Kết quả đo thông số kỹ thuật của các mẫu than hoạt tính Gáo dừa Trà bắc

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Kết quả đo
1	Hình thái học	Màu đen, dạng hạt mảnh
2	Kích thước hạt, (mm)	1,0-1,5
3	Độ bền hạt (%)	99,5
4	Khối lượng riêng đong (g/cm ³)	0,47
5	Độ hút nước (%)	100
6	Thể tích vi mao quản (cm ³ /g)	0,46
7	Thể tích mao quản trung bình (cm ³ /g)	0,087
8	Diện tích bề mặt (m ² /g)	1150
9	Dung lượng hấp phụ hơi benzen cực đại P/Ps = 0,99 (mM/g)	6,15

Kết quả trên bảng 5 thấy rằng, mẫu than hoạt tính trà bắc dạng hạt có độ bền hạt cao, có diện tích bề mặt lớn, dung lượng hấp phụ hơi benzen lớn có khả năng sử dụng làm chất mang tẩm phụ gia xúc tác.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng chất tẩm K₂CO₃ trên than hoạt tính đến thời gian bảo vệ hơi HCL của lớp than hoạt tính tẩm phụ gia

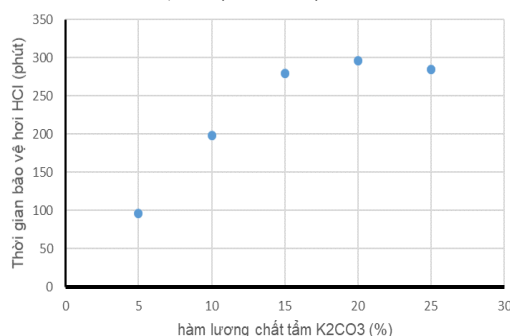
Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng chất tẩm K₂CO₃ đến thời gian bảo vệ hơi HCl của than hoạt tính tẩm phụ gia. Hàm lượng chất tẩm K₂CO₃ khảo sát từ 5% đến 25%.

Thời gian bảo vệ với hơi HCl của lớp than hoạt tính tẩm xúc tác được thực hiện trên thiết bị đo hấp phụ động lực học DPC5, với điều kiện đo: chiều dày lớp than trong ống động học L= 5 cm, độ ẩm 95%, lưu lượng dòng khí 1,5 lít/phút, nồng độ hơi axit HCl 1,1 mg/l. Kết quả được thể hiện ở bảng 6 như sau:

Bảng 6: Ảnh hưởng của hàm lượng chất tẩm K₂CO₃ đến thời gian bảo vệ với hơi HCl của than hoạt tính tẩm phụ gia

TT	Hàm lượng chất tẩm (%)	Thời gian bảo vệ (phút)
1	5	96
2	10	198
3	15	280
4	20	296
5	25	285

Từ bảng số liệu kết quả đo thời gian bảo vệ với hơi axit HCl của các mẫu than hoạt tính tẩm phụ gia ở bảng 6. Xây dựng đồ thị mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ với hơi HCl vào lớp than hoạt tính có hàm lượng chất tẩm khác nhau, được thể hiện ở hình 8 sau.



Hình 8: Đồ thị sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ hơi HCl vào lớp than hoạt tính có hàm lượng tẩm K₂CO₃ khác nhau

Kết quả trên hình 8 cho thấy: Khi hàm lượng tẩm tăng từ 5 đến 20% thì thời gian bảo vệ với hơi HCl tăng. Ở mẫu có hàm lượng tẩm 20% thời gian bảo vệ cao nhất. Khi hàm lượng tẩm tăng lên trên 20 % thời gian bảo vệ giảm, điều này chứng tỏ rằng hàm lượng tẩm cao khả năng chất tẩm đã bít cấu trúc xốp của than hoạt tính,

hoặc phân tán không tốt, do đó thời gian bảo vệ với hơi axit giảm đi. Mặt khác, sau khi chế tạo mẫu than hoạt tính tẩm 20% K_2CO_3 có nhiều bụi hơn so với mẫu tẩm 15%. Mẫu than hoạt tính tẩm hàm lượng K_2CO_3 cao hơn 15% có hiện tượng trắng bề mặt. Từ kết quả nghiên cứu này, lựa chọn hàm lượng tẩm 15% K_2CO_3 phù hợp cho chế tạo xúc tác. Đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu than hoạt tính tẩm phụ gia. Kết quả phân tích đánh giá các chỉ tiêu tính chất của mẫu than hoạt tính tẩm phụ gia, được thể hiện ở bảng 7 dưới đây.

Bảng 7: Chỉ tiêu kỹ thuật của than hoạt tính tẩm phụ gia

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Than hoạt tính gáo dừa tẩm phụ gia
1	Kích thước hạt, (mm)	1,0 - 1,5
2	Độ bền hạt (%)	99,5
3	Khối lượng riêng đong (g/cm^3)	0,65
4	Thể tích vi mao quản (cm^2/g)	0,360
5	Thể tích mao quản trung bình (cm^2/g)	0,075
6	Diện tích bề mặt (m^2/g)	664
7	Dung lượng hấp phụ hơi benzen cực đại P/Ps = 0,99 (mM/g)	4,9

Kết quả xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của mẫu than hoạt tính tẩm xúc tác so sánh với mẫu than hoạt tính gáo dừa ban đầu thấy rằng: Mẫu than hoạt tính tẩm xúc tác có tác dụng hấp phụ tốt hơi axit HCl và còn có khả năng hấp phụ tốt các chất hữu cơ, có dung lượng hấp phụ hơi benzen cao. Kết quả nghiên cứu chế tạo mẫu than hoạt tính tẩm xúc tác này, có thể đáp ứng tốt nhu cầu sử dụng trong chế tạo hộp lọc và xử lý môi trường.

Kết quả thử nghiệm khả năng lọc hơi axit của vật liệu trên thiết bị hấp phụ động lực DPS-5

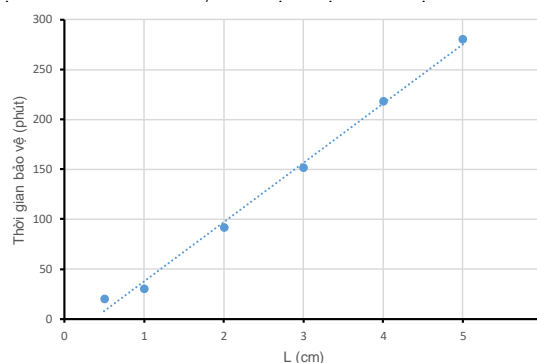
Nghiên cứu xác định thời gian bảo vệ với hơi HCl của các lớp than hoạt tính tẩm xúc tác chế tạo trên thiết bị hấp phụ động lực học DPC5 với điều kiện đo: chiều dày các lớp than hoạt tính tẩm xúc tác trong ống động học khác nhau $L = 0,5; 1; 2; 3; 4; 5$ cm; độ ẩm 95%, lưu lượng dòng khí 1,5 lít/phút, nồng độ dòng hơi HCl là 1,1 mg/l.

Kết quả được thể hiện ở bảng 8 như sau:

Bảng 8: Thời gian bảo vệ với hơi HCl phụ thuộc vào chiều dày lớp than hoạt tính tẩm xúc tác

TT	Chiều dày lớp than, cm	Thời gian bảo vệ, phút
1	0,5	18
2	1	32
3	2	91
4	3	151
5	4	218
6	5	280

Từ kết quả trên bảng 8 xây dựng đồ thị mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ vào chiều dày của lớp than hoạt tính tẩm xúc tác, đồ thị được thể hiện ở hình 9.



Hình 9: Sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ hơi axit HCl vào chiều dày của lớp than hoạt tính tẩm phụ gia

Kết quả thử nghiệm trên đồ thị thực nghiệm hình 3.10 xác định được các thông số động học như chiều dày lớp chất $L = 0,3$ cm, chiều dày lớp không làm việc $L = 0,4$ cm, chiều dày lớp làm việc $L = 0,6$ cm và các thông số động học để thiết kế chế tạo hộp lọc.

Kết luận

Đã chế tạo vật liệu vải than hoạt tính tẩm 15% phụ gia K_2CO_3 . Vật liệu này có diện tích bề mặt lớn, có khả năng hấp phụ hơi axit HCl và hơi benzen cao. Xây dựng được đường Sylop mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ hơi axit HCl vào chiều dày lớp vải than hoạt tính tẩm phụ gia. Chế tạo tấm lọc từ vải than hoạt tính tẩm phụ gia có thể ứng dụng lọc rất tốt các loại hơi hữu cơ mang tính axit và hơi axit sử dụng trong chế tạo các phương tiện phòng hộ hấp cá nhân và xử lý môi trường.

Đã chế tạo vật liệu than hoạt tính gáo dừa dạng hạt tẩm phụ gia K_2CO_3 . Vật liệu có khả năng hấp phụ hơi axit HCl và hơi benzen cao. Xây dựng được đường Sylop mô tả sự phụ thuộc giữa thời gian bảo vệ hơi axit HCl vào chiều dày lớp vật liệu than hoạt tính dạng hạt tẩm phụ gia để ứng dụng trong thiết kế chế tạo

hộp lọc trong các phương tiện phòng hô hấp cá nhân và xử lý môi trường.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học Công nghệ Thành phố Hà Nội trong đề tài mã số 01-C03-02.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Đình Hòa, Nguyễn Hùng Phong, Bùi Văn Tài, Hội nghị nghiên cứu phòng chống vũ khí hạt nhân, sinh học, hóa học Trung tâm KHKT&CNQS (2003) 266-271.
2. Nguyễn Hùng Phong, Lê Xuân Tuấn, Bùi Văn Tài, Tuyển tập Báo cáo khoa học Hóa học toàn quốc lần thứ IV, Hà Nội (2003) 81-86.
3. Nguyễn Hùng Phong, Bùi Văn Tài, Tạp chí hóa học, T48 5A2010 (2010).
4. Bùi Văn Tài, Hoàng Trọng Hiếu, Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption 7 2 (2018).
5. Duram, March 2007, Cogo Smoke Escape Mask (EN 403), Duram Mask.
6. Hugh O. Pierson, Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes, USA book (1993) 41-86.
7. Debasish Das, Carbon 42 (2004) 2949-2962.