

Nghiên cứu biến tính và đánh giá hiệu quả xử lý chất độc yperit của vải than hoạt tính Busofit

Hoàng Thanh Hải*, Hoàng Trọng Hiếu, Lại Văn Cường,
Trần Quang Sáng, Lã Xuân Thảo

Viện Hóa học Môi trường Quân sự, Binh chủng Hóa học, Hoài Đức, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: kostroma12@gmail.com

Nhận bài: 23/10/2023; Hoàn thiện: 09/12/2023; Chấp nhận đăng: 13/12/2023; Xuất bản: 25/02/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.93.2024.83-90>

TÓM TẮT

Vải than hoạt tính (VTHT) Busofit là sản phẩm thương mại được ứng dụng nhiều ở Nga và các nước Đông Âu trong hấp phụ, xử lý môi trường. Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu biến tính bằng phương pháp nhiệt và đánh giá hiệu quả xử lý đối với chất độc yperit của VTHT Busofit. Kết quả cho thấy, sau biến tính ở 700 °C trong 2 giờ, VTHT Busofit có diện tích bề mặt riêng đạt 970 m²/g, hiệu suất xử lý yperit đạt khoảng 96,4% khi mật độ nhiễm độc bề mặt từ 2 g/m² đến 14 g/m² nhiệt độ 30 °C và thời gian xử lý 5 phút. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để nghiên cứu phát triển thế hệ vật liệu mới ứng dụng trong chế tạo khí tài phòng hóa trong tương lai.

Từ khóa: Vải than hoạt tính; Chất độc yperit; Tiêu độc bề mặt.

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, VTHT thu hút được nhiều sự chú ý của các nhà khoa học trên thế giới bởi các ưu điểm vượt trội so với than hoạt tính truyền thống như tính đẳng hướng, diện tích bề mặt riêng, dung lượng hấp phụ, tốc độ hấp phụ, độ bền cơ lý, ... [1-3]. Các tính chất hóa lý của VTHT nói riêng và vật liệu hấp phụ nói chung như truyền nhiệt, chuyển khối, độ bền cơ học, ứng suất, ... đều phụ thuộc vào tính đẳng hướng của vật liệu gốc [4, 5]. Nhờ tính đẳng hướng nên VTHT có tốc độ hấp phụ nhanh hơn so với vật liệu hấp phụ dạng hạt và dạng bột. Mặt khác, do có các tính chất cơ lý ưu việt như nhẹ, mềm mại, dễ tạo hình, ... nên VTHT được sử dụng thuận tiện cho nhiều mục đích khác nhau cả trong dân sự và quân sự (như mặt nạ phòng độc, hộp lọc độc, khẩu trang bảo hộ lao động, quần áo, ...).

Yperit là chất độc quân sự thuộc nhóm chất độc loét da, dùng để sát thương sinh lực hoặc nhiễm độc trang thiết bị của đối phương trên chiến trường. Hiện nay, để nghiên cứu đánh giá hiệu quả phòng chống chất độc hóa học, yperit thường được sử dụng làm chất chuẩn để thử nghiệm đối với hầu hết các loại khí tài phòng da, phòng hô hấp. Trong trang bị của quân đội các nước, để bảo vệ cho binh sỹ không bị nhiễm độc, quân đội các nước đều có lực lượng hóa học và trang bị nhiều khí tài để phòng như mặt nạ phòng độc, hộp lọc độc, quần áo phòng da, ... Có thể nói, khả năng bảo vệ của khí tài để phòng loại hấp phụ được quyết định bởi tính năng của vật liệu hấp phụ cấu tạo nên chúng [6]. Hiện nay, vật liệu hấp phụ phổ biến được sử dụng để chế tạo khí tài để phòng đều trên cơ sở than hoạt tính (AC) do AC có diện tích bề mặt riêng lớn, cấu trúc lỗ xốp đồng đều, giá thành rẻ, dễ chế tạo [7]. AC gồm hai dạng chính là dạng hạt và dạng vải, trong đó VTHT đang được nghiên cứu ứng dụng nhiều trong lĩnh vực phòng hóa.

Ở trong nước, VTHT được nghiên cứu khá hạn chế, chủ yếu ở quy mô phòng thí nghiệm và pilot nhỏ dùng để chế tạo thử nghiệm mặt nạ, bán mặt nạ, hộp lọc độc, tuy nhiên, chưa sản xuất cũng như ứng dụng ở quy mô công nghiệp [8-10]. Trên thị trường hiện nay, VTHT chủ yếu nhập từ Trung Quốc và Nga. VTHT Busofit do Tập đoàn "Polymer Composite" của Nga chế tạo đã khẳng định được chất lượng vượt trội tại Đông Âu như: BET lớn, hàm lượng cacbon cao... và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như: hấp phụ các chất hữu cơ trong nước thải công nghiệp, xử lý dầu tràn, lọc mùi, lọc khí, ...

Trong phạm vi bài báo này, nhóm tác giả tập trung giới thiệu kết quả nghiên cứu tối ưu các điều kiện biến tính VTHT Busofit bằng phương pháp gia nhiệt, đánh giá các đặc trưng và hiệu quả xử lý chất độc yperit nhiễm trên bề mặt của vải sau biến tính. Kết quả nghiên cứu được sử dụng làm cơ sở để tiếp tục nghiên cứu phát triển, hoàn thiện thể hệ vật liệu mới ứng dụng trong chế tạo khí tài phòng hóa trong tương lai.

2. THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất- thiết bị, dụng cụ

* Hóa chất: Vải than hoạt tính Busofit: Tập đoàn “Polymer Composite” của Nga chế tạo, diện tích bề mặt riêng BET >500 m²/g, hàm lượng tro < 0,5%, độ hấp phụ iot từ 90 mg/g đến 125 mg/g; Chất độc yperit: Lỏng, nhớt, trong suốt, độ tinh khiết 95%, d=1,27 g/cm³, Bình chũm Hóa học; Các hóa chất dùng cho phân tích, gồm etanol, natri hidroxit, thimolphtalein, axit axetic, axit clohidric: PA, Macklin (Trung Quốc); Nước cất 2 lần: Việt Nam.

* Thiết bị, dụng cụ: Máy quang phổ tử ngoại: UV/VIS Jasco-V530, Nhật Bản; Thiết bị đo hấp phụ động lực Macbell: Trung Quốc; Thiết bị đo hấp phụ bề mặt ASAP- Micromeritics, Mỹ; Kính hiển vi điện tử quét tích hợp đầu thu phổ tán xạ năng lượng tia X (FESEM) TM4000Plus/Hitachi, Nhật Bản; Tủ sấy Binder: FD53 (Đức); Lò nung ống: SRJX - 2,5 - 13 (Trung Quốc); Micropipet: LHP-PS01, Đức; Máy lắc ngang: SHR-2D, Trung Quốc; Cân phân tích (sai số 0,0001 g): ME 104, Trung Quốc; Mẫu tạo độc bằng thép không gỉ (5 cm x5 cm); bông thấm,... và các trang thiết bị, dụng cụ khác của phòng thí nghiệm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp biến tính và đánh giá tính chất đặc trưng của VTHT

VTHT được loại bỏ các tạp chất bằng cách ngâm lần lượt trong các dung dịch NaOH 0,1M , dung dịch HCl 0,1M, trong 1 giờ ở nhiệt độ phòng và rửa sạch bằng nước cất hai lần đến pH trung tính (kiểm tra bằng giấy pH), để ráo nước và sấy khô ở nhiệt độ 70 °C đến khối lượng không đổi sau đó đem nung trong môi trường yếm khí ở các nhiệt độ 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C trong 120 phút liên tục.

2.2.2. Phương pháp đánh giá khả năng xử lý chất độc quân sự Yperit của VTHT

* Tạo mẫu nhiễm độc

Mẫu tạo độc được chuẩn bị dựa trên các Tiêu chuẩn NATO [11, 12] như sau:

Cắt mẫu kim loại (làm từ thép không gỉ) thành hình vuông có kích thước (5 x 5) cm, sạch, khô, đặt trong đĩa thủy tinh peptri. Dùng micropipet hút lấy 12 μL mẫu chất độc yperit nhỏ đều lên bề mặt mẫu cần gây nhiễm. Mật độ nhiễm độc yperit trên bề mặt mẫu kim loại (6 g/m²) được xác định theo phương trình sau:

$$\rho = \frac{m}{S} = \frac{12 \times 1,27 \times 10^{-3}}{5 \times 5 \times 10^{-4}} \approx 6 \text{ (g/m}^2\text{)}$$

* Tiêu độc và chiết mẫu độc [19]

- Tiêu độc: Sử dụng các miếng VTHT sau biến tính có kích thước 5 x 5 cm lau lên bề mặt miếng kim loại nhiễm độc 2- 3 lần, ghi chép lại số liệu.

- Chiết mẫu chất độc: Sử dụng phương pháp chiết lỏng-lỏng bằng etanol để chiết chất độc từ mẫu kim loại sau tiêu độc. Phương pháp chiết như sau: Dùng 3 bông thấm hình trụ có đường kính 2 cm, dài 3 cm. Hai chiếc đầu được tẩm dung môi chiết bằng cách thả bông thấm vào cốc đựng etanol sao cho ngập kín, chiếc thứ 3 không tẩm, dùng để lau khô. Tiến hành lau bề mặt nhiễm từ 5-7 lần theo một hướng với chiếc bông thấm đầu tiên, sau đó dùng sang chiếc thứ hai tiếp tục lau từ 5-7 lần theo hướng vuông góc với hướng ban đầu, quá trình được tiến hành tương tự với chiếc bông thấm thứ ba. Cả 3 bông thấm sau đó được cho vào bình nón có thể tích 100 mL, thêm 20 mL ethanol, dùng nút thủy tinh có nhám đậy kín và cho vào máy lắc ngang để tiến hành lắc trong 30

phút ở nhiệt độ phòng [19]. Mẫu trắng được tiến hành trong điều kiện tương tự như mẫu nhiễm độc, song không có chất độc.

** Phương pháp đánh giá hiệu quả xử lý chất độc yperit*

Hiệu quả xử lý chất độc yperit nhiễm trên bề mặt mẫu kim loại của vật liệu VTHT biến tính được tiến hành theo quy trình phân tích định lượng chất độc quân sự, hóa chất độc công nghiệp và chất tiêu độc trên xe hóa nghiệm cải tiến AL-4M do Trung tâm Công nghệ xử lý Môi trường/ BCHH ban hành năm 2005 [19].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

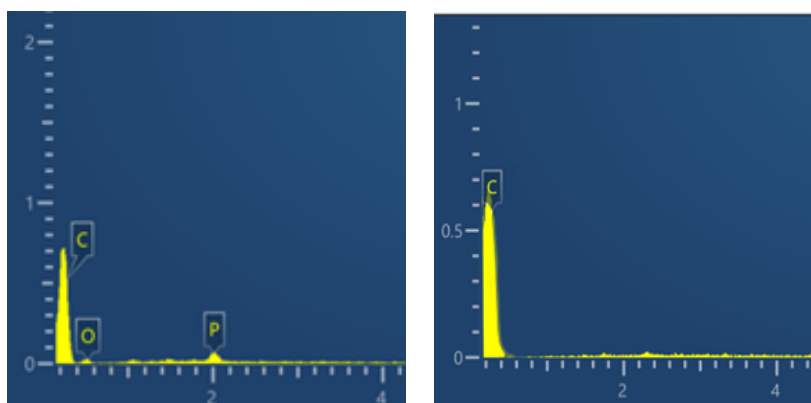
3.1. Kết quả nghiên cứu tính biến tính và đánh giá tính chất đặc trưng của VTHT

** Kết quả khảo sát thành phần của VTHT theo nhiệt độ nung biến tính*

Thành phần của VTHT biến tính ở các nhiệt độ khác nhau được xác định bằng phương pháp đo phổ tán xạ năng lượng EDX. Đây là phương pháp hiện đang được dùng phổ biến để định lượng hàm lượng cacbon của các loại than hoạt tính và vật liệu hấp phụ dạng xốp [14-16]. Kết quả phân tích EDX của VTHT ban đầu và sau khi biến tính ở các nhiệt độ khác nhau được thể hiện trong bảng dưới đây:

Bảng 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến các thông số của VTHT.

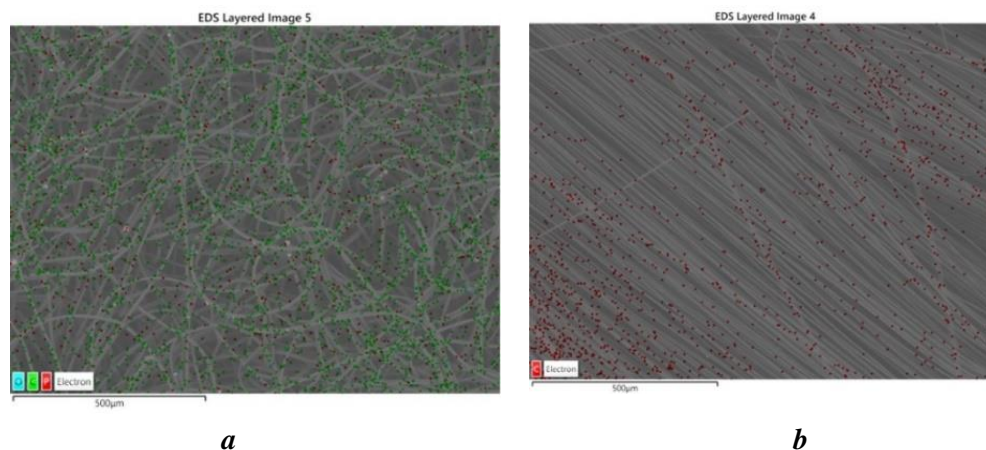
TT	Ký hiệu mẫu	Nhiệt độ nung (°C)	Hàm lượng cacbon (%)	Ghi chú
1	M ₀	-	84,46	Mẫu ban đầu
2	M ₁	600	93,70	
3	M ₂	700	99,18	
4	M ₃	800	99,24	
5	M ₄	900	99,30	



Hình 1. Kết quả phân tích hàm lượng C bằng phổ tán xạ EDX
a: VTHT trước khi biến tính; b: VTHT biến tính tại 700 °C.

Theo kết quả thu được ở bảng 1 cho thấy, mẫu M₀ ban đầu, chưa qua xử lý biến tính nhiệt, hàm lượng cacbon chỉ đạt 84,46%, dải phổ xuất hiện các pic nhỏ của phospho và oxy chiếm tỷ lệ 14,54%. Đồng thời kết quả chụp ảnh FE-SEM trong hình 2 của mẫu VTHT trước khi biến tính cũng phát hiện thấy có sự xuất hiện các nguyên tố P, O được phân bố trên bề mặt vải. Tuy nhiên, với các mẫu sau khi xử lý nhiệt, hàm lượng cacbon tăng dần và đạt ổn định (khoảng 99%) từ nhiệt

độ nung hoạt hóa là 700 °C. Trên phổ EDX cho thấy, hàm lượng carbon đạt tới 99%, các pic của O và P không ghi nhận được. Ảnh chụp FE-SEM cho thấy trên bề mặt VTHT sau biến tính nhiệt chỉ xuất hiện nguyên tố cacbon.



Hình 2. Ảnh FE-SEM của VTHT trước và sau khi biến tính nhiệt
a: VTHT trước khi biến tính; b: VTHT biến tính tại 700 °C.

Nguyên nhân có thể là do VTHT có chứa các thành phần hoạt hóa, nhóm chức đặc trưng bởi liên kết C- O, C-C, C-P, phosphat,... Do vậy, khi tăng nhiệt độ nung biến thì các nhóm chức này bị phá vỡ và thoát ra hầu hết, do đó, khi tăng nhiệt độ hoạt hóa thành phần còn lại của VTHT chủ yếu là cacbon. Kết quả nghiên cứu thu được cũng tương đồng với quy luật chung của việc chế tạo vật liệu hấp phụ trên cơ sở than hoạt tính.

*** Kết quả khảo sát diện tích bề mặt riêng của VTHT theo nhiệt độ nung biến tính**

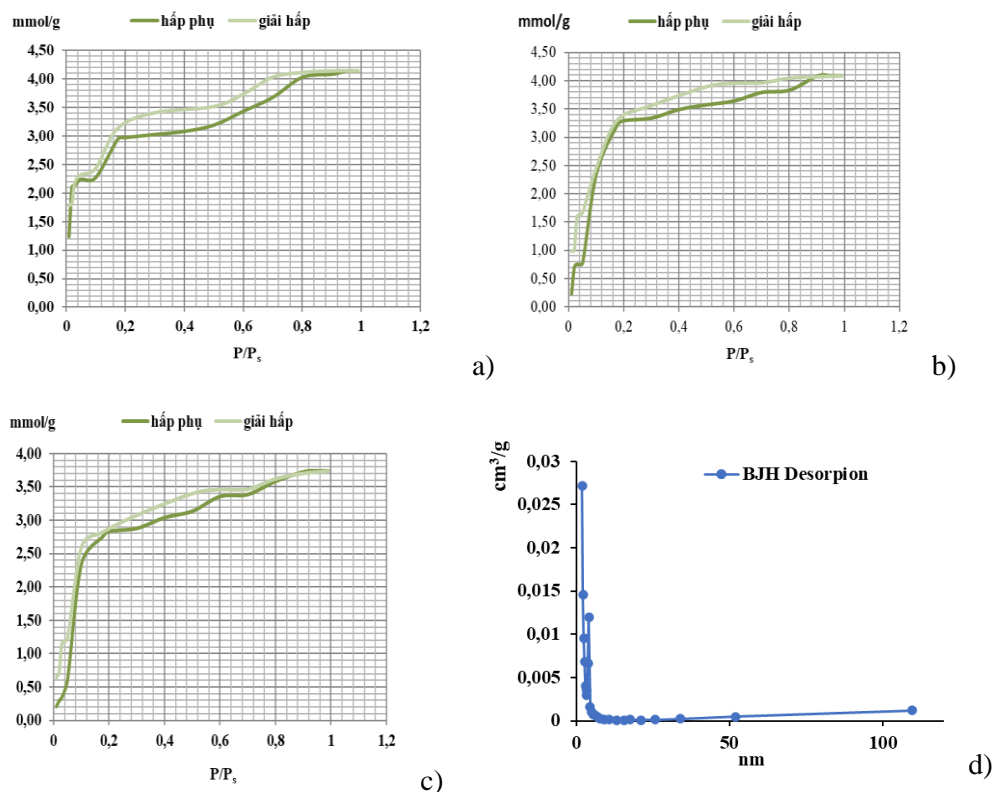
Diện tích bề mặt riêng (BET) của VTHT được đánh giá bằng phương pháp đo đường đẳng nhiệt hấp phụ- giải hấp phụ hơi benzen trên thiết bị hấp phụ động lực Macbell [17, 18]. Kết quả đánh giá BET của các mẫu VTHT trước và sau khi biến tính được trình bày như trong bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung biến tính đến diện tích bề mặt riêng.

TT	Ký hiệu mẫu	Nhiệt độ nung T (°C)	Diện tích bề mặt riêng, (m ² /g)	Thể tích mao quản (cm ³ /g)	Ghi chú
1	M ₀	-	576	0,22	Mẫu ban đầu
2	M ₁	600	803	0,35	
3	M ₂	700	970	0,42	
4	M ₃	800	957	0,40	
5	M ₄	900	860	0,36	

Theo kết quả khảo sát trong bảng 2 cho thấy, mẫu VTHT ban đầu chưa qua xử lý biến tính có giá trị BET chỉ đạt 576 m²/g. Khi bắt đầu nung biến tính VTHT ở 600 °C, diện tích BET của mẫu vải thu được đạt 803 m²/g, như vậy, so với mẫu vải ban đầu, mẫu vải biến tính ở 600 °C có BET tăng lên rõ rệt. Khi tiếp tục tăng nhiệt độ nung biến tính từ 600 °C đến 700 °C, giá trị BET tăng tiếp và đạt cực đại là 970 m²/g, tổng thể tích mao quản đo được là 0,42 cm³/g và đường kính mao quản trung bình theo phân bố BJH là 2,28 nm (hình 3b, 3d). Kết quả thu được có thể giải thích là do lúc tăng nhiệt độ biến tính lên > 600 °C cấu trúc bề mặt của VTHT đạt độ hoàn thiện cao, các mao quản phát triển tối đa, do đó, BET và thể tích mao quản đạt cực đại. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ nung biến tính (> 700 °C) thì giá trị BET và tổng thể tích mao quản của mẫu VTHT tương ứng thu được lại giảm dần. Kết quả này là do ở nhiệt độ cao tốc độ cacbon hóa tăng lên, tạo tro than, phá vỡ cấu trúc xốp, do đó làm giảm giá trị BET cũng như tổng thể tích mao quản của

VTHT [18]. Đường đẳng nhiệt hấp phụ của các mẫu tương ứng với dạng IV theo phân loại của IUPAC, ứng với kích thước mao quản trung bình (hình 3).

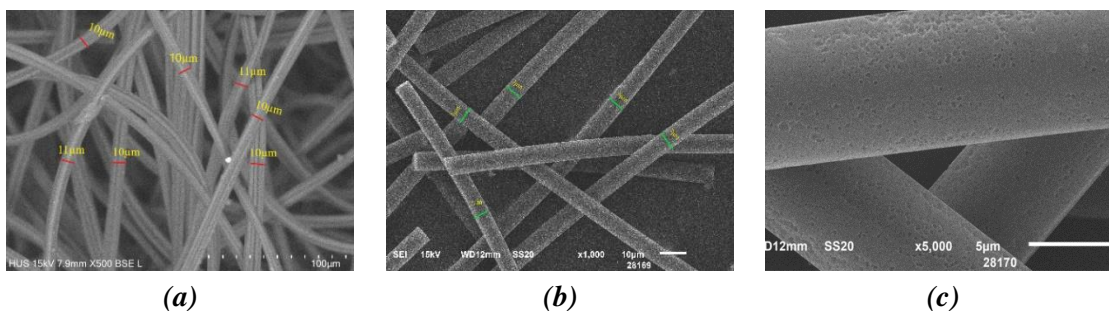


Hình 3. Đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ benzen (a), (b), (c) tương ứng M_0 , M_2 , M_4 ; (d): Phân bố mao quản BJH của mẫu M_2 .

Như vậy, VTHT sau khi được xử lý nhiệt ở 700 °C trong 2 giờ cho kết quả cực đại về BET cũng như tổng thể tích mao quản (mẫu M_2).

*** Kết quả chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) của VTHT sau biến tính**

Sau khi tối ưu quá trình nung biến tính VTHT, tiến hành chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) bề mặt tại Đại học Quốc gia Hà Nội để khảo sát hình thái và cấu trúc. Từ kết quả chụp SEM sợi VTHT trong hình 4 cho thấy: Sợi VTHT ban đầu khi chưa biến tính có các rãnh nhỏ dọc theo chiều dài sợi (hình 4a), tiết diện ngang dạng đa giác đồng thời chưa xuất hiện nhiều các lỗ xốp trên bề mặt, kích thước trung bình của sợi khoảng 10 μm .



Hình 4. Ảnh SEM vải than hoạt tính.

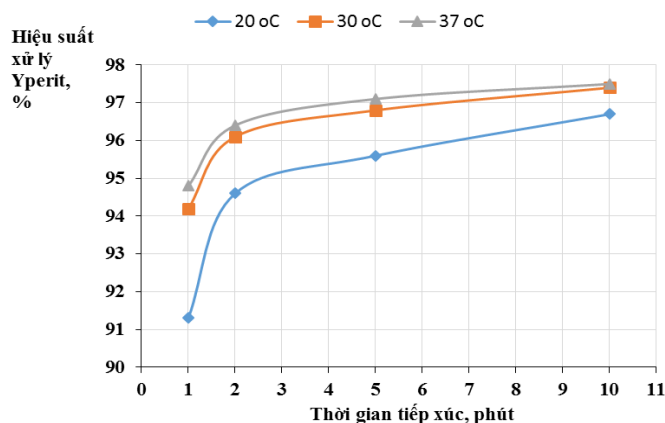
(a)- Sợi VTHT trước khi biến tính; (b)- Sợi VTHT sau biến tính; (c)- Bề mặt sợi sau biến tính.

Sợi VTHT sau biến tính nhiệt có các sợi than dạng hình trụ đặc, kích thước đồng đều, đường kính trung bình khoảng $7 \mu\text{m}$. Kết quả đo kích thước lỗ xốp trên bề mặt sợi trong hình 4c cho thấy, đường kính lỗ phân bố chủ yếu ở khoảng từ $0,2 \mu\text{m}$ đến $0,4 \mu\text{m}$. Các lỗ xốp xuất hiện tương đối đồng đều trên khắp bề mặt sợi vải sau biến tính. Như vậy, VTHT sau biến tính nhiệt có cấu trúc hoàn thiện hơn về bề mặt sợi, điều này phù hợp với các kết đo BET và thể tích mao quản như đã trình bày ở trên.

3.2. Nghiên cứu khả năng xử lý yperit của VTHT biến tính nhiệt ở 700°C

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc và nhiệt độ đến quá trình xử lý yperit

Để xác định thời gian tiếp xúc tối ưu khi xử lý yperit nhiễm trên bề mặt vật liệu kim loại, nhóm tác giả đã đánh giá hiệu suất xử lý của VTHT tại các khoảng thời gian là: 1 phút, 2 phút, 5 phút, 10 phút và ở các nhiệt độ 20°C , 30°C , 37°C . Đây là vùng nhiệt độ tương ứng với đặc trưng cơ bản cho thời tiết khí hậu các mùa ở nước ta cũng như nhiệt độ cơ thể người. Mật độ nhiễm độc yperit bề mặt là 6 g/m^2 . Kết quả cụ thể được trình bày như hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc và nhiệt độ đến hiệu suất xử lý yperit.

Đễ dàng nhận thấy, hiệu suất xử lý yperit của VTHT tăng theo thời gian tiếp xúc, tốc độ hấp phụ tăng nhanh trong khoảng 3 phút đầu sau đó chậm dần và không thay đổi nhiều. Hiệu suất xử lý lúc này đạt trung bình khoảng 96,8% sau 5 phút. Điều này có thể được giải thích là trong khoảng thời gian đầu bề mặt lỗ xốp còn lớn, các tâm hấp phụ trống còn nhiều, sự chuyển dịch phân tử hấp phụ lên bề mặt vật liệu diễn ra nhanh hơn. Theo thời gian tăng lên, các tâm hấp phụ, các lỗ trống trên bề mặt VTHT giảm theo sự chuyển dịch của phân tử hấp phụ lên bề mặt giảm, do đó, tốc độ hấp phụ chậm lại. Đồng thời tốc độ hấp phụ cũng tăng theo nhiệt độ xử lý, nguyên nhân là do khi nhiệt độ tăng, Yperit trở nên linh động hơn và dễ bị hấp phụ lên bề mặt vật liệu VTHT hơn. Ở nhiệt độ 37°C và khoảng thời gian 5 phút đầu, hiệu suất xử lý yperit đạt 97,1%. Theo đó, ở nhiệt độ càng cao thì hiệu suất xử lý càng tăng lên.

3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ yperit đến quá trình hiệu suất xử lý của VTHT

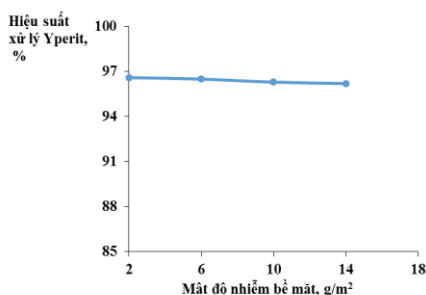
Để khảo sát ảnh hưởng của nồng độ yperit ban đầu đến quá trình hiệu suất xử lý của VTHT, nhóm nghiên cứu tiến hành đánh giá với các giá trị mật độ nhiễm độc trên bề mặt là 2 g/m^2 ; 6 g/m^2 ; 10 g/m^2 và 14 g/m^2 , thời gian tiếp xúc 5 phút, nhiệt độ khảo sát 30°C (theo nhiệt độ phòng, không có cưỡng bức về nhiệt độ), kết quả thu được như hình 6 và bảng 3.

Từ kết quả ở bảng 3 và hình 6 cho thấy, hiệu suất xử lý chất độc yperit của VTHT không thay đổi rõ rệt trong khoảng nồng độ từ 2 g/m^2 đến 14 g/m^2 . Điều này có thể là do khi tăng nồng độ thì lượng phân tử chất bị hấp phụ chuyển dịch lên bề mặt vải than hoạt tính cũng tăng, ngoài ra mật độ nhiễm độc trong khoảng khảo sát (khoảng mật độ yperit thí nghiệm đảm bảo an toàn theo các Tiêu chuẩn Nato [11, 12]) thực tế nhỏ hơn rất nhiều so với dung lượng hấp phụ cực đại của VTHT

[13]. Do đó, trong cùng khoảng thời gian 5 phút tiếp xúc, hiệu suất xử lý chất độc yperit của VTHT sau biến tính cơ bản không có nhiều khác biệt và dao động ở mức $96,4 \pm 0,2\%$.

Bảng 3. Ảnh hưởng của mật độ nhiễm đến hiệu suất xử lý Yperit.

Mật độ nhiễm bề mặt (g/m^2)	Hiệu suất xử lý yperit (%)
2	96,6
6	96,5
10	96,3
14	96,2



Hình 6. Ảnh hưởng của mật độ nhiễm độc yperit bề mặt đến hiệu suất xử lý.

4. KẾT LUẬN

Vải than hoạt tính Busofit được biến tính bằng phương pháp nhiệt nhằm tối ưu hóa các tính chất hấp phụ của vật liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở nhiệt độ nung biến tính $700\text{ }^\circ\text{C}$ trong 2 giờ, VTHT thu được có hàm lượng cacbon đạt $99,18\%$, diện tích BET đạt $970\text{ m}^2/\text{g}$, đường kính mao quản trung bình đạt $2,28\text{ nm}$ và tổng thể tích mao quản là $0,42\text{ cm}^3/\text{g}$. Kết quả khảo sát khả năng xử lý chất độc quân sự yperit của VTHT từ vải Busofit sau biến tính nhiệt cho thấy ở khoảng nồng độ nhiễm độc yperit trên bề mặt từ 2 g/m^2 đến 14 g/m^2 hiệu suất xử lý trung bình đạt $96,4\%$ trong thời gian 5 phút tiếp xúc ở nhiệt độ phòng. Kết quả nghiên cứu mở ra hướng mới để chế tạo các khí tài phòng hóa kiểu mới như mặt nạ phòng độc, hộp lọc độc tập thể bằng cách sử dụng VTHT thay vì than hoạt tính dạng hạt truyền thống.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin cảm ơn sự tài trợ kinh phí của đề tài cơ sở: “Nghiên cứu chế tạo vải khử nhiễm theo kiểu Fibotech và ứng dụng làm trang bị tiêu độc cá nhân cho bộ đội”, sự giúp đỡ, tạo điều kiện của Viện Hóa học Môi trường Quân sự để hoàn thành kết quả trong bài báo trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Derbyshire, M. Jagtoyen, and M. Thwaites, “Activated carbons - production and application”, in Porosity in carbons, J. W. Patrick Ed.: Edward Arnold, (1995).
- [2]. J. Y. Chen, “1 - Introduction”, in Activated Carbon Fiber and Textiles. Oxford: Woodhead Publishing, pp. 3-20, (2017).
- [3]. Hassan, Muhammad Faheem, et al, “Recent trends in activated carbon fibers production from various precursors and applications-A comparative review”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 145: 104715, (2020).
- [4]. Ramos, María E., Pablo R. Bonelli, and Ana L. Cukierman, “Physico-chemical and electrical properties of activated carbon cloths: effect of inherent nature of the fabric precursor”, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 324.1-3: 86-92, (2008).
- [5]. Xu, Zhihua, et al, “Highly porous activated carbon synthesized by pyrolysis of polyester fabric wastes with different iron salts: pore development and adsorption behavior”, Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects, 565: 180-187, (2019).
- [6]. Trường Sĩ Quan Phòng Hoá, Giáo trình Khí tài đề phòng, NXB QĐND, Hà Nội, (2017).
- [7]. Sharma, P. K., et al, “Chemical protection studies of activated carbon spheres based permeable protective clothing against sulfur mustard, a chemical warfare agent”, Defence Science Journal, 69.6: 577-584, (2019).

- [8]. Cosgrove, Stephanie, Bruce Jefferson, and Peter Jarvis, "Application of activated carbon fabric for the removal of a recalcitrant pesticide from agricultural run-off", *Science of the Total Environment*, 815: 152626, (2022).
- [9]. Illingworth, James M., Brian Rand, and Paul T. Williams, "Non-woven fabric activated carbon produced from fibrous waste biomass for sulphur dioxide control", *Process Safety and Environmental Protection*, 122: 209-220, (2019).
- [10]. Nieto-Delgado, Cesar, Dulce Partida-Gutierrez, and J. Rene Rangel-Mendez, "Preparation of activated carbon cloths from renewable natural fabrics and their performance during the adsorption of model organic and inorganic pollutants in water", *Journal of Cleaner Production*, 213: 650-658, (2019).
- [11]. STANAG 4653/AEP-58, "Quy trình thử nghiệm và tiêu chí đánh giá đối với thiết bị khử nhiễm các tác nhân hóa học, sinh học, phóng xạ và hạt nhân", EUROLAB Laboratory A.S. (2007).
- [12]. STANAG 2352/ATP- 84, "Các khí tài phòng chống vũ khí hóa học, sinh học, phóng xạ, hạt nhân", EUROLAB Laboratory A.S. (2007).
- [13]. Tikhomirova K.V., Lopanov A.N. "Adsorption of dimethylpolysiloxane on graphite, anthracite, activated carbon from solutions in hexane. Sorption and chromatographic processes". T. 20. No. 4. P. 485-492, (2020).
- [14]. Säckl, Gary, et al, "Quantification of the carbon content of single grains in martensite-ferrite dual phase steel by UHV-EDXS", *Materials Characterization*, 189: 111998, (2022).
- [15]. Rades, Steffi, et al, "High-resolution imaging with SEM/T-SEM, EDX and SAM as a combined methodical approach for morphological and elemental analyses of single engineered nanoparticles", *RSC advances*, 4.91: 49577-49587, (2014).
- [16]. Chulliyil, Haleema Mohamed, et al. "Enhanced moisture adsorption of activated carbon through surface modification", *Results in Surfaces and Interfaces*: 100170, (2023).
- [17]. Bùi Văn Tài, "Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng trong quá trình chế tạo than hoạt tính dạng vải sợi từ nguyên liệu sợi viscose", Luận văn Tiến sỹ, Hà Nội, (2018).
- [18]. Nguyễn Hùng Phong, Nguyễn Đình Hòa, "Điều chế vật liệu hấp thu khí acid trên cơ sở vải carbon hoạt tính", Tuyển tập Báo cáo khoa học Hội nghị Xúc tác - Hấp phụ toàn quốc lần thứ III, tr. 131-136, (2005).
- [19]. Quy trình phân tích định lượng chất độc quân sự, hóa chất độc công nghiệp và chất tiêu độc trên xe hóa nghiệm cải tiến AL-4M do Trung tâm Công nghệ xử lý Môi trường/ BCHH ban hành, (2005).

ABSTRACT

Researching the modification and evaluating the effectiveness of treating the military poison yperit with Busofit activated carbon fabric

Activated carbon fabric (ACF) Busofit is a commercial product widely used in Russia and Eastern European countries for adsorption and environmental treatment. In this paper the results of a study on the modification of ACF using thermal methods and evaluates its effectiveness in treating the toxic agent yperite are presented. The results show that after be modified at 700 °C for 2 hours, Busofit ACF achieves a specific surface area of 970 m²/g and a yperite treatment efficiency of approximately 96.4% at a surface toxic density ranging from 2 g/m² to 14 g/m², a temperature of 30 °C, and a treatment time of 5 minutes. The research findings serve as a basis for further development of new materials for future applications in the production of chemical protective gear.

Keywords: Activated carbon fabric; Chemical warfare agents Yperit; Surface decontamination.