

KAOLIN BỔ SUNG VÀO NHIÊN LIỆU SINH KHỐI CHO CHỐNG ĐÓNG CẶN**KAOLIN ADDED TO BIOMASS FUELS FOR MITIGATION OF ASHES AGGLOMERATION**

**Mai Xuân Quang¹, Vũ Quốc Thiên¹, Nguyễn Thị Thủy^{2*}, Nguyễn Hữu Hải³, Nguyễn Trường Giang⁴
và Hồ Trường Giang⁵**

¹Trường THPT Chuyên Hùng Vương, ²Trường Đại học Điện Lực, ³Trường Đại học Công nghiệp Việt - Hung,
⁴Trường Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội, ⁵Viện Khoa học vật liệu

Ngày nhận bài: 26/11/2024, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2024, Phản biện: TS. Phạm Văn Tông

Tóm tắt:

Nhiên liệu sinh khối hiện đang đóng góp một phần lớn trong năng lượng tái tạo. Tuy vậy, sử dụng nhiên liệu sinh khối gây ra hiệu ứng khó giải quyết đó là đóng cặn muội trong hệ thống lò đốt. Trong công trình này, nhiên liệu sinh khối từ các nguồn bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe được bổ sung kaolin nhằm chống hiệu ứng đóng cặn khi đốt các loại nhiên liệu này. Các mẫu viên nén nhiên liệu chế tạo từ các nguồn sinh khối trên được bổ sung bột quặng kaolin theo các tỉ phần khối lượng là 0, 2, 4 và 8% cho khảo sát. Các thành phần phông định và các hàm lượng nguyên tố trong thành phần hữu cơ của của các mẫu viên nén nhiên liệu được phân tích. Hiệu ứng chống đóng cặn của kaolin trong viên nén nhiên liệu sinh khối được đánh giá khi đốt ở 1100°C.

Từ khóa:

Năng lượng tái tạo, nhiên liệu sinh khối, kaolin, đóng cặn muội.

Abstract:

Biomass fuels have been contributing a major part to renewable energy. However, combustions of biomass fuels causes the serious effect of soot deposition in furnace systems. In this work, biomass fuels from sugarcane-bagasse, rice-husk and coffee-husk were added with fine powder of kaolin oral to mitigate the ashes agglomeration and fusibility. The fuel pellet samples obtained from the biosmass sources were added with the kaolin-based additive at weight concentrations of 0, 2, 4 and 8 wt.%. Approximate and ultimate analyses of the fuel pellets were evaluated. The effect on mitigating the agglomeration and fusibility of the kaolin additive in the biomass fuel pellets was evaluated when burned at 1100°C.

Keywords:

Renewable energy, biomass fuel, kaolin, ashes agglomeration and fusibility.

1. GIỚI THIỆU

Nhiên liệu hóa thạch (than, dầu, khí đốt) hiện vẫn là các nguồn được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong nhiều lĩnh vực công nghiệp khác nhau. Tuy vậy, nhiên liệu hóa thạch đang dần cạn kiệt và đặc biệt gây hiệu ứng biến đổi khí hậu toàn cầu do sự phát thải carbon không tái tạo và tuần hoàn khi sử dụng. Vì thế, các nguồn năng lượng tái tạo và tuần hoàn là xu hướng phát triển tất yếu trên thế giới [1,2]. Các nguồn năng lượng tái tạo có thể bao gồm năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng thủy triều, năng lượng hydro, năng lượng sinh khối (biomass), v.v... Trong đó, nguồn năng lượng sinh khối đang nhận được sự quan tâm lớn hiện nay vì chúng có thể được áp dụng được ở quy mô lớn và có thể tận dụng được từ các nguồn phế thải đa dạng. Hiện nay, năng lượng sinh khối đã chiếm tỉ phần trên 40% tổng năng lượng tái tạo trên toàn thế giới [1,3-6].

Sinh khối là vật liệu có nguồn gốc từ động vật và thực vật, chẳng hạn như chất thải nông nghiệp và lâm nghiệp, chất thải động vật, bùn thải đô thị, chất thải đô thị, v.v... [4,6]. Điển hình, nhiên liệu sinh khối như gỗ và rơm rạ đã được con người sử dụng từ lâu để nấu ăn, sưởi ấm,... Hiện nay, nhiên liệu sinh khối có nguồn gốc từ chất thải nông nghiệp đang nhận được nhiều sự quan tâm không chỉ giúp có được các nguồn năng lượng tái tạo tuần hoàn trữ lượng lớn mà còn giảm ô nhiễm môi trường (do sự phát thải từ quá trình phân hủy chất hữu cơ của chúng) [7,8].

Nhiên liệu sinh khối có thể dụng trực tiếp như

đốt thu nhiệt lượng, xử lý/ chế biến để tạo khí sinh học, dầu sinh học và than sinh học [7,9]. Trong đó, quá trình đốt nhiệt độ cao để thu năng lượng nhiệt là đơn giản nhất và được áp dụng phổ biến nhất. Tuy nhiên, quá trình đốt nhiên liệu sinh khối gặp phải vấn đề lớn cần giải quyết đó là sự kết dính của hợp chất đóng cặn (hay còn gọi là muội) bên trong hệ thống buồng đốt, bộ phận trao đổi nhiệt, ống khí thải,... [10,11]. Nguyên nhân chính ở đây là do nhiên liệu sinh khối chứa các thành phần nguyên tố kiềm (K, Na) và khi đốt chúng được giải phóng ở dạng hợp chất ở dạng hơi, sương (ví dụ như (K,Na)Cl, (K,Na)₂SO₄, (K,Na)₂CO₃, (K,Na)OH),... ở vùng nhiệt độ 700 - 1000°C, và từ đó chúng có thể kết hợp với các chất dễ bay (VOCs), khói và bụi (tro bay) để tạo ra các hỗn hợp hoặc các hợp chất kết dính và đóng cặn vào hệ thống đốt rất khó vệ sinh hoặc loại bỏ [11,12]. Do đó, hiệu ứng này có thể gây ra những tác động như tắc nghẽn hệ thống, ngăn cản sự cháy, giảm hiệu suất chuyển đổi năng lượng nhiệt của các bộ phận trao đổi nhiệt, gây ăn mòn đường ống kim loại, gạch chịu nhiệt, ...

Để ngăn ngừa hoặc loại bỏ hiệu ứng, các chất phụ gia dựa trên các vật liệu vô cơ từ các nguồn quặng/khoáng sản như đất sét (như kaolin), đá vôi, đá dolomit, cát silic, bùn đỏ, v.v... được trộn bổ sung vào nhiên liệu sinh khối trong quá trình đốt cháy. Cách tiếp cận này được xem là hiệu quả khi đã được nghiên cứu nhiều như được công bố trong các công trình [3,13,14]. Điều này đạt được là do các vật liệu phụ gia kể trên có thể tạo ra các phản ứng hóa học với các hợp chất gốc K/Na trong

quá trình cháy, từ đó hình thành các hợp chất có nhiệt độ nóng chảy cao (> 1000oC) tích tụ lại ở dạng tro-xi đáy, từ đó thuận lợi cho thu hồi và xử lý và ngăn hình thành các hợp chất bám dính [3]. Ví dụ, kaolin là một loại đất sét tự nhiên với khoáng chất là kaolinit $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ có thành phần giàu Si và Al, dễ nghiền nhỏ và bề mặt xốp, phù hợp cho áp dụng vào nhiên liệu sinh khối để giảm hiệu ứng kết tụ muội bám dính trong quá trình đốt khi tạo ra các hợp chất dạng silicate [12].

Việt Nam hiện có khả năng lớn về nguồn sinh khối như bã mía, vỏ trấu, vỏ café,... Hiện nay, cả nước có 41 nhà máy đường, với quy mô tiêu thụ khoảng 155.000 tấn mía/ngày và đã có 8/41 nhà máy đường đã đưa phát điện từ nhiên liệu bã mía, với tổng công suất nối lưới điện quốc gia là 99,8 MW, sản lượng điện năng bán nối lưới đạt trên 186,3 triệu kWh, và ước tính sẽ đạt 2,8 tỉ kWh vào năm 2030 [15]. Ngoài ra, một số dự án nhà máy phát điện từ đốt vỏ trấu cũng đã được đầu tư xây dựng, điển hình như tại tỉnh Hậu Giang [16]. Bên cạnh đó, các chính sách hỗ trợ, tạo điều kiện của Chính phủ (ví dụ: Quyết định số 24/2014/QĐ-TTg về cơ chế hỗ trợ phát triển các dự án điện sinh khối tại Việt Nam [17]) là cơ hội thuận lợi để các doanh nghiệp đầu tư.

Việt Nam có các nguồn kaolin tự nhiên khá phổ biến trong các mỏ khoáng sản tại các tỉnh Phú Thọ, Yên Bái, Lào Cai,... và hiện tại phần lớn kaolin tự nhiên ở đây có chất lượng khá thấp (chứa nhiều tạp chất) [18]. Tuy vậy, việc áp dụng các nguồn kaolin này vào nhiên liệu sinh khối là phù hợp khi không cần đòi hỏi

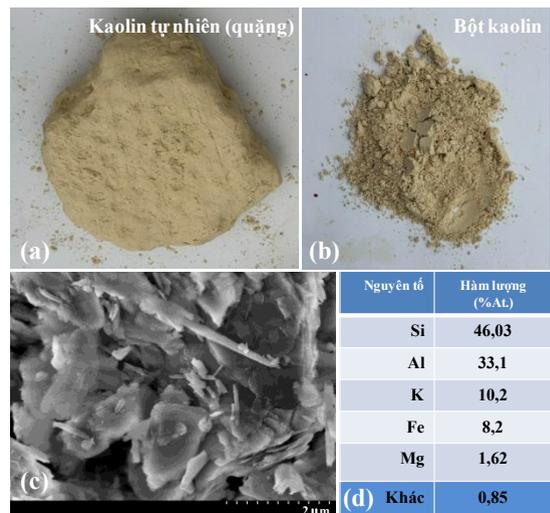
chất lượng cao hay các tạp chất tạp sẽ ít làm hưởng đến vai trò chống đóng cặn.

Trong công trình này, các nguồn sinh khối gồm bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe được lựa chọn bổ sung kaolin tự nhiên cho đánh giá hiệu quả trong chống đóng cặn khi đốt ở nhiệt độ cao. Nghiên cứu này hướng đến áp dụng các nguồn sinh khối phổ biến và có khả năng trữ lượng lớn tại Việt Nam vào trong lĩnh vực năng lượng tái tạo.

2. NỘI DUNG

2.1. Thực nghiệm

Kaolin tự nhiên (lấy tại mỏ quặng thuộc tỉnh Yên Bái) được sấy khô và nghiền nhỏ, sau đó qua sàng rây để thu được bột kaolin mịn (có kích thước $\leq 0,045$ mm), như minh họa ảnh chụp trên Hình 1a-b.



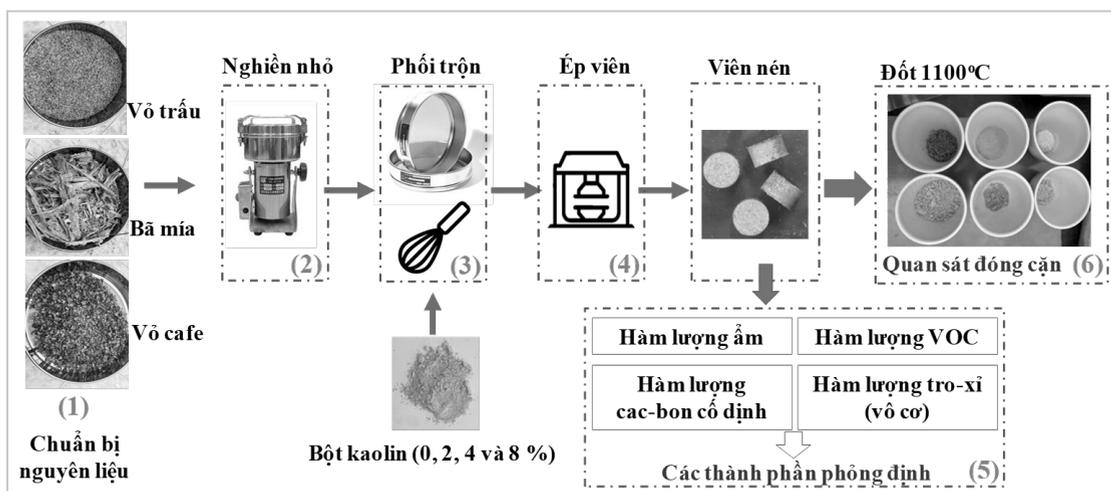
Hình 1. Ảnh chụp quặng kaolin (a), bột kaolin (b), ảnh SEM bột kaolin (c) và thành phần nguyên tố kim loại của kaolin (d).

Phân tích thành phần khoáng của kaolin này đã được trình bày tại công trình [19], gồm hai khoáng điển hình là kaolinite – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ và muscovite – $KAl_2(Si,Al)_4(OH)_2$, và thạch anh – SiO_2 . Hàm lượng các nguyên tố kim loại của mẫu kaolin được phân tích bằng thiết bị huỳnh quang tia X (XGT-9000, Horiba). Kết quả cho thấy hàm lượng nguyên tố kim loại (tính theo khối lượng nguyên tố) gồm Si và Al chiếm tỉ phần lớn lần lượt có giá trị là 46,03% và 33,1%. Mẫu kaolin cũng có một số các nguyên tố tạp như K, Fe và Mg chiếm hàm lượng tương ứng là 10,02%, 8,2% và 1,62% (như thể hiện trên Hình 1d). Cấu trúc hình thái của mẫu kaolin có dạng lá như thể hiện ở kết đo của ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), như minh họa ở Hình 1c.

Sơ đồ quy trình các bước thực nghiệm chính được thể hiện trên Hình 2. Ở đó, các nguyên liệu sinh khối gồm vật liệu sinh khối (bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe) được thu thập với bã mía và vỏ cafe được lấy từ tỉnh Gia Lai, và vỏ trấu được lấy từ tỉnh Thái Bình. Các nguyên liệu

sinh khối đầu vào này được sấy khô và loại bỏ ẩm bằng cách sấy ở 105oC trong 12 giờ. Tiếp đến, mẫu vật liệu sinh khối này được nghiền nhỏ bằng thiết bị nghiền dùng lưỡi dao để đạt kích thước nhỏ (≤ 1 mm). Các bột vật liệu sinh khối lần lượt gồm bã mía (ký hiệu là BM), vỏ trấu (ký hiệu là VT) và vỏ cafe (ký hiệu là CF) được phối trộn với bột kaolin (ký hiệu là KL) theo các tỉ phần khối lượng là 0, 2, 4 và 8%. Các mẫu bột hỗn hợp vật liệu sau quá trình phối trộn được ép thành các viên nén nhiên liệu tương ứng bằng thiết bị ép thủy lực sử dụng cối ép hình trụ có đường kính trong là 14 mm tại áp lực ép là 5000 psi. Ngoài ra, để tạo được viên nén nhiên liệu có tính liên kết tốt, các nguyên liệu phối trộn và cối ép được sấy đến vùng nhiệt độ 120 – 150°C trong thời gian 3 – 5 phút trong tủ sấy sau đó mới thực hiện quá trình ép thành viên.

Hàm lượng các nguyên tố thuộc thành phần hữu cơ của các mẫu sinh khối (bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe) được phân tích bởi thiết bị FlashSmart Elemental Analyzer và được thể



Hình 2. Sơ đồ minh họa các bước trong quy trình thực nghiệm

hiện trên Bảng 1. Kết quả này cho thấy các mẫu sinh khối có các nguyên tố carbon (C) và oxygen (O) chiếm các tỉ phần lớn, tiếp đến là phần nhỏ các nguyên tố hydrogen (H) và nitrogen (N). Nguyên tố sulphur (S) chỉ phát hiện thấy trong mẫu vỏ cafe, tuy vậy ở hàm lượng rất nhỏ chỉ với giá trị là 0,1%. Mẫu bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe có hàm lượng nguyên tố carbon lần lượt là 47,4%, 49,2% và 49,5%; hàm lượng nguyên tố oxygen tương ứng là 42,9%, 43,9% và 43,8%; hàm lượng hydrogen của cả ba mẫu ở lân cận 6%; và hàm lượng nitrogen của ba mẫu cũng khá tương đồng trong vùng hàm lượng 0,5 – 0,7%.

Hình 3 là ảnh chụp minh họa về các mẫu nguyên liệu sinh khối (bã mía, vỏ trấu, vỏ cafe), bột nguyên liệu tương ứng sau quá trình nghiền nhỏ và các mẫu viên nén nhiên liệu điển hình.

Bảng 1. Hàm lượng các nguyên tố trong thành phần hữu cơ của các mẫu sinh khối

Nguyên tố	Mẫu		
	BM	VT	CF
C	47,4%	49,2%	49,5%
H	6,0%	6,1%	5,9%
N	0,5%	0,8%	0,7%
S	-	-	0,1%
O	42,9%	43,9%	43,8%

Các thành phần phồng định trong mẫu viên nén nhiên liệu gồm hàm lượng ẩm (%M), hàm lượng chất bay hơi (%VOC), hàm lượng carbon cố định (%FC) và hàm lượng tro-xỉ (%Ash) được phân tích theo quy trình của các chuẩn cho phân tích mẫu dạng sinh

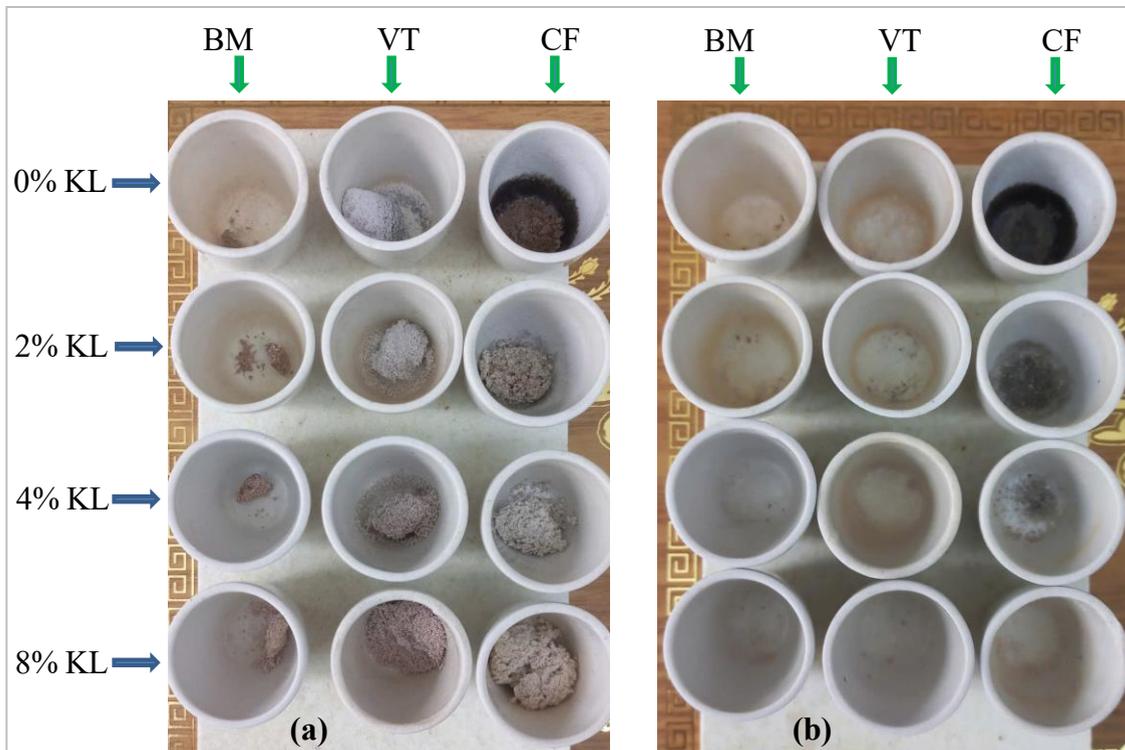


Hình 3. Ảnh chụp các mẫu nguyên liệu sinh khối và các viên nén nhiên liệu tạo ra điển hình

khối lần lượt là ISO 18134-3:2015; ISO 1171:2010; và BS 1016-104.4:1998. Lò nung (Muffle Advantec FUW210PA, Nhật) được sử dụng để sấy, nung các mẫu nhiên liệu theo các chương trình nhiệt độ cho đáp ứng các chuẩn trên. Ở đây, đầu tiên xác định hàm lượng ẩm theo như sau cân mẫu nhiên liệu khối lượng cỡ 1 g (chính xác $\pm 0,1$ mg) cho vào cốc sứ, cân xác định tổng khối lượng cốc sứ và nhiên liệu, tiếp đến sấy cốc chứa mẫu nhiên liệu ở 105°C trong 3 giờ để đạt được khối lượng không đổi; cân lại cốc chứa vật liệu xác định khối lượng mẫu đã mất đi, từ đó xác định được hàm lượng %M.

Bảng 2. Thành phần phồng định trong mẫu viên nén nhiên liệu bã mía, vỏ trấu, vỏ cà phê với hàm lượng các thành phần ẩm, VOCs, các-bon cố định và tro-xỉ

Mẫu	Thành phần			
	%M	%VOC	%FC	%Ash
BM	1,7	95,7	0,3	2,2
BM + 2% KL	15,9	80,4	0,1	3,5
BM + 4% KL	2,9	91,0	0,3	5,7
BM + 8% KL	3,2	87,3	0,1	9,2
VT	3,8	84,8	0,4	10,9
VT + 2% KL	2,6	83,8	0,2	13,3
VT + 4% KL	0,5	84,6	0,3	14,6
VT + 8% KL	1,2	81,6	0,3	16,9
CF	0,8	87,7	5,1	6,2
CF + 2% KL	2,9	86,4	2,8	7,7
CF + 4% KL	1,0	85,2	5,1	8,5
CF + 8% KL	1,9	82,5	4,4	10,9



Hình 4. Ảnh chụp các cốc sứ đựng mẫu nhiên liệu sau khi đốt ở 1100°C

Sau quá trình sấy 105°C này, cốc chứa vật liệu được nung theo chương trình nhiệt độ sau tăng đều nhiệt độ lên 250°C trong 30 phút và duy trì trong 60 phút, tiếp tục tăng đều nhiệt độ đến 550°C trong 30 phút và duy trì 120 phút, sau đó để nguội tự nhiên và cân lượng cốc chứa vật liệu để xác định phần vật liệu đã mất đi, từ đó xác định được hàm lượng %VOC. Để xác định hàm lượng các-bon cố định và tro-xi, cốc chứa vật liệu sau quá trình nung 550°C được tiếp nung theo chương trình như sau tăng đều nhiệt độ lên 500°C trong 60 phút và duy trì trong 30 phút, tiếp tục tăng đều lên 815°C và duy trì nhiệt độ này trong 60 phút, để nguội tự nhiên và cân lại cốc chứa vật liệu tính ra khối lượng đã mất (hay chính là khối lượng carbon cố định) và khối lượng vật liệu còn lại trong cốc (là khối lượng tro-xi còn lại), sau đó xác định các hàm lượng %FC và %Ash.

Để đánh giá hiệu quả chống đóng cặn của kaolin, các mẫu viên nén nhiên liệu được cho vào cốc sứ và đốt cháy tại 1100°C trong 1 giờ trong lò đốt và sau đó quan sát hiệu ứng đóng cặn trên thành cốc sứ đựng mẫu và tro-xi còn lại.

2.2. Kết quả và thảo luận

Bảng 2 thể hiện các kết quả phân tích các thành phần phỏng định gồm hàm lượng ẩm (%M), hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (%VOC), hàm lượng carbon cố định (%FC) và hàm lượng tro-xi (%Ash) của các mẫu viên nén nhiên liệu từ bã mía (BM), vỏ trấu (VT) và vỏ cafe (CF) được bổ sung các hàm lượng kaolin (KL) là 0, 2, 4 và 8%. Kết quả này cho

thấy các mẫu nhiên liệu có thành phần chính là %VOC trong khoảng 81 - 96%. Mẫu vỏ trấu và mẫu vỏ cafe có hàm lượng tro-xi %Ash khá cao có thể lớn hơn 10% trong khi đó mẫu bã mía có hàm lượng tro-xi nhỏ. Mẫu cafe có hàm lượng carbon cố định khá lớn (trong khoảng 2,8 - 5,1%) khi so với các mẫu bã mía và vỏ trấu.

Hình 4a là ảnh chụp các cốc sứ đựng các mẫu nhiên liệu (gồm bã mía - MB, vỏ trấu - VT và vỏ cafe - CF đã được bổ sung kaolin với các hàm lượng 0% KL, 2% KL, 4% KL và 8% KL) sau quá trình nung ở 1100°C ; và Hình 4b là ảnh chụp cốc sứ tương ứng sau khi đã lấy đi tro-xi. Từ hình ảnh chụp trên Hình 4a, chúng ta quan sát thấy rằng màu sắc tro xi của các mẫu nhiên liệu còn lại trong cốc biến đổi khá rõ ràng khi thay đổi tăng dần hàm lượng kaolin sử dụng. Như trên hình, màu sắc tro-xi nhận biết rõ đối với mẫu nhiên liệu vỏ trấu từ màu xám trắng dần chuyển thành nâu đỏ nhạt và mẫu nhiên liệu vỏ cafe từ màu xám đen dần chuyển thành nâu nhạt. Khi lấy đi phần tro-xi trong cốc sứ (Hình 4b), sự bám dính cặn ở thành cốc của cả ba loại nhiên liệu đều giảm theo sự tăng hàm lượng kaolin sử dụng thể hiện qua thay đổi màu sắc trong lòng của thành cốc sứ. Một cách tương tự, hiệu ứng bám dính được quan sát thấy rõ nhất của các cốc đựng mẫu nhiên liệu vỏ cafe (CF), màu sắc từ màu đen xám của cốc chứa mẫu CF+0%KL biến đổi dần trở về màu ban đầu của cốc sứ khi chứa mẫu CF+8%KL (hàm lượng kaolin tăng đến 8%). Tổng quát, chúng ta có thể thấy rằng các mẫu nhiên liệu bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe khi có bổ sung hàm lượng kaolin $\geq 4\%$ đã gần

như loại bỏ được hiệu ứng đóng cặn ở thành cốc và thể hiện sự hiệu quả trong chống đóng cặn khi đốt nhiên liệu theo trình tự là bã mía > vỏ trấu > vỏ cafe.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thực hiện bổ sung quặng kaolin tự nhiên vào nhiên liệu sinh khối gồm bã mía, vỏ trấu và vỏ cafe cho đánh giá hiệu ứng đóng cặn trong quá trình đốt ở nhiệt độ cao (1100oC). Trong khảo sát này, kaolin chỉ

hàm lượng 4% khối lượng đã thể hiện vai trò lớn trong chống đóng cặn cho ba loại nhiên liệu trên. Hiệu quả trong chống đóng cặn của kaolin trong nhiên liệu thể hiện theo trình tự tăng từ vỏ cafe, vỏ trấu đến bã mía.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số: 17/2022/TN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Eric Danso-Boateng, Osei-Wusu, "Bioenergy and biofuel production from biomass using thermochemical conversions technologies-a review", *AIMS Energy*, 10, 585-647, 2022.
- [2]. Yohanes Andre Situmorang, Zhongkai Zhao, Akihiro Yoshida, Abuliti Abudula, Guoqing Guan, "Small-scale biomass gasification systems for power generation (< 200 kW class): A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109486, 2020.
- [3]. Izabella Maj, Krzysztof Matus, "Aluminosilicate Clay Minerals: Kaolin, Bentonite, and Halloysite as Fuel Additives for Thermal Conversion of Biomass and Waste", *Energies*, 16, 4359, 2023.
- [4]. M.M. Hasan, M.G. Rasul, M.M.K. Khan, N. Ashwath, M.I. Jahirul, "Energy recovery from municipal solid waste using pyrolysis technology: A review on current status and developments", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111073, 2021.
- [5]. Faysal Ahmmad, Md. Sohel, Mazharul Islam, Farid Nasir Ani, Tahzinul, "Development of a Pelletizing Process to Improve the Properties of Biomass Pellets", *Advances in Engineering Research*, 198, 337-343, 2020.
- [6]. C. Mukherjee, J. Denney, E.G. Mbonimpa, J. Slagley, R. Bhowmik, "A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109512, 2020.
- [7]. Rajendran Nandhini, Don Berslin, Baskaran Sivaprakash, Natarajan Rajamohan, Dai-Viet N. Vo, "Thermochemical conversion of municipal solid waste into energy and hydrogen: a review", *Environmental Chemistry Letters*, 20, 1645–1669, 2022.
- [8]. Izabela S. Pieta, William S. Epling, Alicja Kazmierczuk, Pawel Lisowski, Robert Nowakowski, Ewa M. Serwicka, "Waste into Fuel—Catalyst and Process Development for MSW Valorisation", *Catalysts*, 8, 113, 2018.

- [9]. Adewale George Adeniyi, Kingsley O. Iwuozor, Ebuka Chizitere Emenike, Oluwaseun J. Ajala, Samuel Ogunniyi, Kabir B. Muritala, "Thermochemical co-conversion of biomass-plastic waste to biochar: a review", *Green Chemical Engineering*, 5, 31–49, 2024.
- [10]. Jakub Lachman, Marek Balas, Martin Lisy, Hana Lisa, Pavel Milcak, Patrik Elbl, "An overview of slagging and fouling indicators and their applicability to biomass fuels", *Fuel Processing Technology*, 217, 106804, 2021.
- [11]. Malte Bartels, Weigang Lin, John Nijenhuis, Freek Kapteijn, J. Ruud van Ommen, "Agglomeration in fluidized beds at high temperatures: mechanisms, detection and prevention", *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 633-666, 2008.
- [12]. Jakub Lachman, Marek Balas, Martin Lisy, Hana Lisa, Pavel Milcak, Patrik Elbl, "An overview of slagging and fouling indicators and their applicability to biomass fuels", *Fuel Processing Technology*, 217, 106804, 2021.
- [13]. Jan Najser, Marcel Mikeska, Vaclav Peer, Jaroslav Frantík, Jan Kielar, "The addition of dolomite to the combustion of biomass fuel forms: the study of ashes agglomeration and fusibility", *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10, 471-481, 2020.
- [14]. Diarmaid S. Clery, Patrick E. Mason, Christopher M. Rayner, enny M. Jones, "The effects of an additive on the release of potassium in biomass combustion", *Fuel*, 214, 647-655, 2018.
- [15]. "Đồng phát năng lượng tại nhà máy mía đường: Rào cản nào?", <https://www.evn.com.vn/>, 2018.
- [16]. "Kỳ vọng điện sinh khối từ vỏ trấu", <http://baohaugiangcomvn/>, 2024.
- [17]. "Quyết định số 24/2014/QĐ-TTg", <https://vanbanchinhp.gov.vn/>, 2020.
- [18]. "Đặc điểm chất lượng và tiềm năng tài nguyên nguyên kaolin- feldspat khu Dị Nậu, huyện Tam Nông, tỉnh Phú Thọ", <https://tapchicongthuongvn/>, 2024.
- [19]. "Nguyen Truong Giang, Mai Xuan Quang, "Characterizing kaolin-based additive for combustion of sugarcane bagasse-derived fuel by thermal analysis", *HNUE Journal of Science, Natural Sciences*, 69, 35-45, 2024.