

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

KIỀU ĐỒ TRUNG KIÊN

**NGHIÊN CỨU VÀ CHẾ TẠO VẬT LIỆU GÓM
GỖ TỪ BÃ THẢI VỎ ĐIỀU**

Chuyên ngành: Kỹ thuật vật liệu
Mã số chuyên ngành: 62520309

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2020

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Đỗ Quang Minh

Người hướng dẫn 2: PGS. TS. Trần Văn Khải

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài

Điều hay đào lộn hột (danh pháp khoa học: *Anacardium occidentale* L.) là một loại cây công nghiệp dài ngày thuộc họ xoài. Cây có nguồn gốc từ Đông Bắc Brasil được trồng khắp các khu vực khí hậu nhiệt đới với mục đích chính là chế biến hạt làm thực phẩm. Là một trong ba nước có diện tích và sản lượng điều cao nhất thế giới, hiện nay Việt Nam có khoảng 300.000 ha điều được trồng tập trung nhiều nhất ở các tỉnh Đông Nam bộ như: Bình Phước, Bà Rịa - Vũng Tàu, Đồng Nai và vùng Tây Nguyên.

Với thị trường xuất khẩu chủ lực là Hoa Kỳ, Trung Quốc, Australia, Anh, trong năm 2019, Việt Nam đã xuất khẩu hơn 340 ngàn tấn nhân điều, mang lại tổng kim ngạch xuất khẩu khoảng 3 tỉ USD. Tuy cây điều mang lại nguồn lợi lớn nhưng việc gia công chế biến hạt điều xuất khẩu phát sinh một lượng lớn rác thải từ vỏ hạt điều sau chế biến. Ước tính, cứ mỗi kg hạt điều sau khi bóc tách nhân thì lượng vỏ chiếm khoảng 70% (ước tính lượng vỏ điều thải ra vào khoảng 240.000 tấn/năm). Cho đến nay, hầu hết các cơ sở chế biến hạt điều xử lý lượng chất thải vỏ hạt điều bằng cách ép để lấy một phần dầu hạt điều. Phần còn lại của vỏ điều sau ép thường được gọi là bã thải vỏ hạt điều.

Bã thải vỏ điều là loại phế thải mà hầu hết các nhà sản xuất đều xử lý bằng phương pháp đốt, việc đốt bã điều không kiểm soát gây một số tác hại như: Phát thải khí dioxin, bụi từ lò đốt vỏ điều, hiệu quả kinh tế và giá trị thặng dư thấp. Hiện nay, trong nước đã có một số nghiên cứu ứng dụng bã thải vỏ điều làm nhiên liệu, làm bột má phanh. Ngoài những nghiên cứu trên, bằng công nghệ thích hợp kết hợp với xử lý khí thải hiệu quả, bã thải vỏ điều hoàn toàn có thể chế tạo thành vật liệu gốm gỗ.

Gốm gỗ (woodceramics) được định nghĩa là vật liệu cacbon có cấu trúc xốp, chế tạo bằng cách nung kết khối gỗ hoặc gỗ ngâm tẩm với nhựa phenolic trong môi trường thiếu oxy [3]. Vật liệu gốm gỗ có nhiều ứng dụng hiệu quả như làm

vật liệu ngăn sóng điện từ; làm nguồn phát tia hồng ngoại xa; dùng để lọc khí thải; làm linh kiện cơ khí; làm vật liệu cách âm cách nhiệt; ...

Không như các loại nguyên liệu khác đã được dùng để chế tạo gốm gỗ như tre, trâu, mặt cưa, ... thành phần hóa của bã thải vỏ điều có hàm lượng chất vô cơ thấp nên nguyên liệu này ít làm ảnh hưởng đến tính chất của gốm gỗ sau nung. Ngoài ra, trong bã thải vỏ điều có chứa một lượng dầu điều còn lại sau quá trình ép dầu, dầu điều khi phân hủy nhiệt trong môi trường thiếu oxy sẽ tạo thành sản phẩm có tính chất gần giống với sản phẩm phân hủy nhiệt của nguyên liệu nhựa phenolic. Nhờ đó, sử dụng bã điều làm nguyên liệu cũng sẽ giúp giảm hàm lượng nhựa phenolic sử dụng trong thành phần phối liệu. Vì vậy, chế tạo vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ điều hứa hẹn là một trong những hướng hiệu quả giải quyết chất thải từ ngành công nghiệp chế biến hạt điều.

Ý nghĩa của đề tài

Chế tạo vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ điều có thể giải quyết được vấn đề còn tồn tại về chất thải trong ngành công nghiệp chế biến điều. Ngoài ra, biết được công nghệ cũng như ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến tính chất của sản phẩm sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu về ứng dụng của loại vật liệu này.

Với việc chế tạo ra vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ điều, đề tài sẽ góp phần đưa ra một phương pháp khác xử lý chất thải ngành điều mang lại hiệu quả kinh tế và giá trị thặng dư cao hơn.

Mục tiêu nghiên cứu

- Kết khối gốm gỗ từ bã thải vỏ điều ở nhiệt độ nung từ 900 – 1200°C, khảo sát các thông số kết khối (độ bền uốn, khối lượng thể tích, độ xốp).
- Chế tạo nhựa phenolic và bột cacbon (hai loại nguyên liệu dùng chế tạo gốm gỗ) từ bã thải vỏ điều nhằm tận dụng tối đa nguồn bã thải này.
- Làm rõ quá trình kết khối, cơ chế kết khối, đồng thời chỉ ra các thành phần chính của gốm gỗ hình thành trong quá trình kết khối.

- Khảo sát khả năng phát xạ hồng ngoại của gốm gỗ - định hướng ứng dụng làm các tấm nhận và phát nhiệt trong thiết bị sấy.

Tính mới của đề tài

Trong phạm vi tìm hiểu, hướng nghiên cứu vật liệu gốm gỗ là hướng chưa được thực hiện trong nước. Các nghiên cứu trước về vật liệu gốm gỗ trên thế giới chưa có nghiên cứu nào tiến hành chế tạo gốm gỗ từ nguồn nguyên liệu bã thải vỏ điều, đồng thời cũng chưa có nghiên cứu nào áp dụng kỹ thuật cacbon hóa trước nguồn nguyên liệu kết hợp ép nóng để tăng độ kết khối cho sản phẩm gốm gỗ.

Ngoài ra, mặc dù bản chất kết khối của vật liệu gốm gỗ là kết khối trong phản ứng nhưng chưa có các nghiên cứu nào trước đây định danh cũng như làm rõ quá trình kết khối. Nghiên cứu này, sẽ tiến hành làm rõ quá trình kết khối trong phản ứng của vật liệu gốm gỗ theo quan điểm lý thuyết hiện đại.

Nội dung nghiên cứu

1. Chuẩn bị nguồn nguyên liệu: Tạo nhựa phenolic từ bã thải vỏ điều, cacbon hóa bã thải vỏ điều; 2. Kết khối gốm gỗ từ bã thải vỏ điều (Khảo sát các yếu tố như: Thành phần phối liệu, nhiệt độ nung, áp lực ép nóng); 3. Nghiên cứu quá trình kết khối gốm gỗ, 4. Khảo sát khả năng phát hồng ngoại.

Bố cục luận văn

Luận án bao gồm phần mở đầu và phần nội dung. Phần nội dung gồm có bốn chương: Tổng quan; nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu; kết quả và bàn luận; kết luận và kiến nghị. Nội dung luận án được trình bày trong 131 trang trong đó có 76 hình, 22 bảng biểu và 185 tài liệu tham khảo. Phần phụ lục gồm 17 trang. Phần lớn kết quả luận án được công bố trong 2 tạp chí quốc tế, 7 tạp chí trong nước và 4 hội nghị quốc tế.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN

Gốm (ceramics) là vật liệu rắn có cấu trúc dị thể, có thành phần khoáng và hóa khác nhau. Các sản phẩm gốm được sản xuất từ nguyên liệu dạng bột mịn, tạo

hình rỗng kết khối ở nhiệt độ cao. Kết khối là một trong những công đoạn quan trọng quyết định đến tính chất của sản phẩm gốm thành phẩm. Quá trình kết khối tạo nên độ bền cơ và các tính chất cần thiết khác cho gốm [1].

Trong nỗ lực chế tạo các vật liệu giảm thiểu sự phát thải khí CO₂ vào môi trường (ecomaterials), Giáo sư Toshihiro Okabe [2] đã kết khối bột gỗ và đặt tên là gốm gỗ (woodceramics). Nghiên cứu vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ hạt điều tại Việt Nam đã phối hợp với người đầu tiên nghiên cứu và đặt tên cho vật liệu gốm gỗ - Giáo sư, Tiến sĩ Toshihiro Okabe.

1.1 Gỗ

Gỗ là loại vật liệu sinh học phức tạp có cấu tạo từ các sợi tế bào xếp lớp lên nhau hình thành các cấu trúc xấp như thân, cành, rễ, vỏ, hạt, ... Các tế bào gỗ phân bố theo những quy luật khác nhau về thành phần, kích thước và hình dạng. Chính vì vậy, các loại gỗ khác nhau sẽ có cấu tạo khác nhau [4]. Bằng công nghệ thích hợp, gỗ hoàn toàn có thể được dùng làm nguyên liệu chế tạo gốm cacbon.

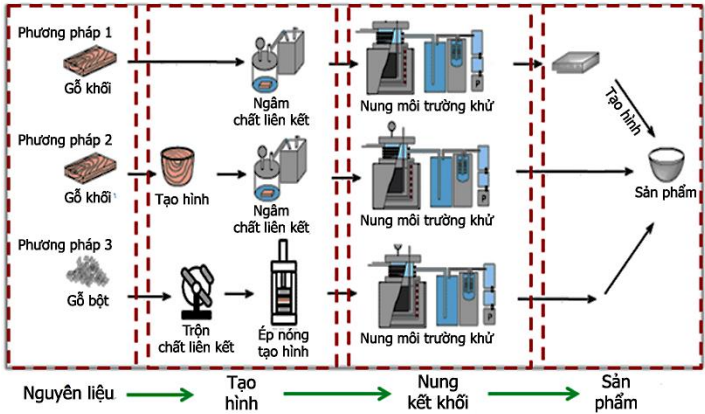
1.2 Vật liệu gốm cacbon

Vật liệu gốm cacbon là vật liệu được cấu thành từ các nguyên tử cacbon theo công nghệ gốm. Để tạo vật liệu cacbon ta cần kết khối các phân tử cacbon lại với nhau thành khối có hình dạng và độ bền cơ phù hợp với mục đích sử dụng. Cacbon dạng thù hình *kim cương* là dạng đơn tinh thể, hình thành ở nhiệt độ và áp suất rất cao trong tự nhiên. Kim cương nhân tạo dạng bột mịn gần như không thể kết khối. Cacbon *graphite* có thể kết khối với các chất liên kết thích hợp (K₂O, SiO₂) tuy nhiên chúng thường được kết khối ở điều kiện nhiệt độ và áp suất rất cao. *Fullerenes* thường sử dụng ở dạng composite, bị phân tán trong trường nào đó, bản thân chúng rất khó kết khối. Từ đó có thể thấy rất khó để kết khối các loại cacbon có cấu trúc tinh thể. *Cacbon vô định hình* có thể được kết khối tạo thành vật liệu với hình dạng và tính chất mong muốn bằng một quá

trình công nghệ thích hợp. Một trong những loại vật liệu cacbon dạng này là vật liệu gốm gỗ (woodceramics)

1.3 Gốm gỗ

Gốm gỗ là vật liệu cacbon có cấu trúc xốp, chế tạo bằng cách nung kết khối gỗ hoặc gỗ ngâm tẩm với nhựa phenolic trong môi trường chân không [3] (hình 1.7). Thành phần của gốm gỗ là kết hợp giữa cacbon mềm và cacbon cứng [24]. Trong đó, cacbon mềm là sản phẩm của quá trình cacbon hóa các nguyên liệu có nguồn gốc từ gỗ và cacbon cứng là sản phẩm cacbon hóa của nhựa phenolic [25, 26]. Nguồn nguyên liệu để chế tạo vật liệu gốm gỗ thường có nguồn gốc từ gỗ. Vì vậy vật liệu gốm gỗ cũng có thể dùng như là một loại vật liệu môi trường xử lý các chất thải gốc gỗ từ các ngành sản xuất nông nghiệp.



Hình 1.7: Vật liệu gốm gỗ chế tạo theo công nghệ gốm [24]

1.4 Quá trình kết khối gốm gỗ

Quá trình kết khối vật liệu gốm gỗ có thể được chia làm 2 giai đoạn:

a) *Giai đoạn nhiệt độ thấp*: có sự hình thành pha lỏng (hình 1.10). Sự sắp xếp lại các hạt phối liệu và tăng mật độ trong giai đoạn này sẽ phụ thuộc vào lượng pha lỏng nhiều hay ít [35]. Khi có mặt pha lỏng, dưới tác dụng của sức căng bề mặt, các hạt phối liệu sẽ được sắp xếp lại. Sau đó, các lỗ xốp sẽ được lấp bởi pha lỏng [36]. Tùy vào quá trình sắp xếp mà lỗ xốp đó vẫn tồn tại trong cấu trúc hoặc bị lấp đầy sau khi kết thúc quá trình sắp xếp lại.

b) *Giai đoạn nhiệt độ cao*: Xảy ra hiện tượng cacbon hóa tạo cacbon từ nhựa phenolic, và bột gỗ. Cacbon hình thành từ quá trình cốc hóa do tác dụng của nhiệt độ cao có xu hướng tạo graphite. Quá trình graphite hóa cacbon thường bắt đầu ở 700°C và kết thúc ở 3000°C trong môi trường kết khối không có oxy. Sự chuyển pha từ vô định hình sang dạng tinh thể (graphite hóa) làm tăng mật độ và độ bền. Graphite hóa sẽ thúc đẩy quá trình kết khối gồm gỗ.

Kết khối trong phản ứng là dạng kết khối đặc biệt, trong đó khi xử lý nhiệt ở nhiệt độ cao, quá trình làm tăng mật độ và quá trình phản ứng hóa học chất ban đầu diễn ra đồng thời. Nhờ biến đổi hóa học mà khả năng kết khối khác hẳn so với quá trình kết khối thuần túy [41]. Với vật liệu gồm gỗ, phản ứng phân hủy nhiệt tạo cacbon xảy ra trong khoảng nhiệt độ trên 200°C sớm hơn rất nhiều so với quá trình cacbon kết khối. Vì vậy, quá trình kết khối diễn ra theo quy luật phản ứng hóa học xảy ra trước. Phản ứng hóa học xảy ra sớm giúp tạo cacbon hoạt tính làm cho nhiệt độ kết khối gồm gỗ thấp hơn rất nhiều so với các sản phẩm gồm cacbon thông thường. Vì vậy, có thể nói, kết khối trong phản ứng là một trong những nguyên nhân làm giảm nhiệt độ kết khối của gồm gỗ mà chưa có nghiên cứu về vật liệu gồm gỗ làm rõ. Ngoài ra, để tăng độ kết khối cho vật liệu gồm gỗ, kỹ thuật kết khối dưới áp lực có thể được áp dụng.

Kết khối kết hợp với áp lực là kỹ thuật kết khối đồng thời với lực ép được áp dụng nhằm tăng sự tiếp xúc giữa các nguyên liệu bột, tăng biến dạng dẻo, giảm lỗ xốp... kết quả là vật liệu kết khối tốt hơn và có thể giảm nhiệt độ kết khối.

1.5 Tình hình nghiên cứu về vật liệu gồm gỗ

Với mong muốn tạo ra loại vật liệu mới từ các nguồn thải nông nghiệp nhưng không thải ra khí CO₂ trong quá trình sản xuất và sử dụng, vật liệu gồm gỗ đã được giáo sư Toshihiro Okabe phát minh đầu tiên vào năm 1994 [2].

Các nguyên liệu có nguồn gốc từ gỗ như: bã mía, bã giấy, gỗ vụn, rơm rạ ... Vật liệu gồm tạo thành là sự kết hợp của cacbon mềm và cacbon cứng có cấu trúc giống thủy tinh [47]. Đây là loại vật liệu bền hơn gỗ, khả năng chịu nhiệt cao hơn gỗ nhưng lại có kết cấu nhẹ và dễ gia công cơ học hơn gồm thông

thường. Đối với những loại nguyên liệu nguồn gốc từ gỗ có thành phần chứa silic (rơm rạ, vỏ trấu, ...), gốm gỗ tạo thành sẽ là sự kết hợp của cacbon vô định hình và silic carbide (SiC) [48]. Nhờ có SiC trong thành phần, gốm gỗ này có độ bền cơ học và khả năng chịu mài mòn cao hơn các loại gốm thông thường khác.

Nhờ những ưu điểm của gốm gỗ, kết hợp với việc tận dụng triệt để những phế phẩm có nguồn gốc từ gỗ để tạo ra một vật liệu mới, đáp ứng được yêu cầu về môi trường, tính an toàn cho con người, đem lại nguồn lợi kinh tế cao, hàng loạt các nghiên cứu về gốm gỗ đã được tiến hành rộng rãi trên thế giới. Đi đầu hướng nghiên cứu có thể kể đến những quốc gia như Nhật Bản [49], Trung Quốc [50], Hàn Quốc [51], Ấn [52], Tây Ban Nha [53], Nga [54],... Riêng tại Việt Nam, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào về mảng vật liệu này. Việc nghiên cứu và phát triển gốm gỗ được kỳ vọng sẽ góp phần giải quyết hiệu quả lượng phế phẩm từ các ngành sản xuất nông nghiệp của nước ta, tạo ra sản phẩm có giá trị sử dụng cao.

Từ năm 1994 đến nay, đã có rất nhiều nghiên cứu về gốm gỗ. Tuy nhiên có thể chia làm ba mảng chính: Nghiên cứu chế tạo vật liệu gốm gỗ, nghiên cứu tính chất - ứng dụng của vật liệu gốm gỗ và nghiên cứu kết hợp gốm gỗ với các vật liệu khác như là một dạng composite. Qua các năm, số lượng nghiên cứu được công bố cũng như số quốc gia quan tâm đến hướng nghiên cứu không ngừng tăng lên. Quá trình nghiên cứu vật liệu gốm gỗ có thể được chia là năm giai đoạn:

- Giai đoạn đầu (1994-1996), người đi đầu và định danh cho loại vật liệu gốm gỗ là Giáo sư Toshihiro Okabe. Tên vật liệu gốm gỗ (woodceramics) để chỉ loại vật liệu sản xuất từ nguyên liệu gỗ (wood) hình thành từ quá trình kết khối (sintering). Mà các vật liệu hình thành từ kết khối là vật liệu gốm (ceramic). Trong giai đoạn này, chỉ có 5 bài báo được công bố và tất cả các bài báo đều ở Nhật và thuộc nhóm nghiên cứu của giáo sư Toshihiro Okabe. Nội dung các bài

báo chủ yếu đề cập đến các phương pháp chế tạo vật liệu gôm gỗ [2]. Đây cũng là tiền đề cho nhiều các nghiên cứu sau về vật liệu gôm gỗ.

- Trong giai đoạn 1996 - 2000, các nghiên cứu đã phổ biến rộng rãi hơn tuy nhiên các bài báo chỉ mới tập trung chủ yếu ở những quốc gia Đông Á như Nhật [55], Hàn Quốc [51], Trung Quốc [56]. Tại Nhật nhóm nghiên cứu mạnh vẫn là nhóm của Giáo sư T. Okabe [55]. Trong thời gian này, bên cạnh việc khảo sát các yếu tố công nghệ chế tạo vật liệu gôm gỗ thì các nghiên cứu còn tập trung vào khảo sát các tính chất (trở sinh học, nhẹ, chịu ma sát, chịu mài mòn, độ xốp cao, chống ăn mòn hóa học, ...) cũng như mở ra những hướng ứng dụng cho gôm gỗ như: Cảm biến độ ẩm, vật liệu chắn sóng điện từ, lọc khí thải, cách âm cách nhiệt, ...

- Giai đoạn (2001-2005) là giai đoạn phát triển mạnh mẽ của các nghiên cứu về gôm gỗ, số công bố khoa học tăng. Gôm gỗ bắt đầu nhận được sự quan tâm từ các nhà nghiên cứu Tây Âu (nhóm giáo sư Peter Greil nghiên cứu chế tạo gôm từ lignocellulose [57]). Tuy nhiên những nghiên cứu ở các nước Tây Âu chưa nhiều, các công bố vẫn tập trung ở ba nước Nhật, Trung Quốc, Hàn Quốc. Bên cạnh việc chế tạo gôm gỗ từ các nguồn phế thải khác nhau, giai đoạn này xuất hiện hướng chế tạo vật liệu composite C/SiC từ công nghệ gôm gỗ [58].

- Từ năm 2006 đến 2009, số lượng các nghiên cứu tăng không ngừng. Ngoài ba nước Nhật, Hàn Quốc, Trung Quốc vẫn dẫn đầu về số lượng các nghiên cứu, gôm gỗ cũng được sự quan tâm rộng khắp của các nhà khoa học ở nhiều nước trên thế giới như Ba Lan [59], Tây Ban Nha [53], Serbia [48], Ý [60], Đặc biệt, giai đoạn này có sự gia tăng mạnh mẽ của các công bố đến từ Trung Quốc. Trung Quốc đã vượt qua Nhật và trở thành quốc gia có số lượng công bố khoa học về vật liệu gôm gỗ nhiều nhất thế giới. Về nội dung, các nghiên cứu tập trung vào chế tạo gôm gỗ từ các nguồn nguyên liệu gốc gỗ có khả năng khai thác công nghiệp, tìm hiểu sâu hơn các tính chất của gôm gỗ và các ứng dụng của chúng.

- Từ năm 2010 đến nay, hướng nghiên cứu về composite giữa gốm gỗ và các vật liệu khác phát triển mạnh và trở thành hướng mới. Từ composite C/SiC trong giai đoạn đầu, các nghiên cứu sau đi vào chế tạo composite giữa C/ kim loại ứng dụng làm các chi tiết cơ khí chịu mài mòn [54, 61, 62]. Tại Đông Nam Á, vật liệu gốm gỗ chỉ mới bắt đầu được nghiên cứu từ năm 2014 và tập trung ở hai nước Malaysia [63], Thái Lan [64] với số lượng ít.

CHƯƠNG 2 NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Nguyên liệu

Nguyên liệu chính trong nghiên cứu là bã thải vỏ hạt điều được lấy từ cơ sở chế biến hạt điều Hà My – Bình Phước. Nguyên liệu sau khi thu thập, sẽ được mang về, loại tạp chất thô, rửa sạch loại tạp chất mịn, nghiền mịn trong máy nghiền búa đến kích thước nhỏ hơn 500 μm . Bên cạnh nguyên liệu chính, nghiên cứu này đã sử dụng một số loại hóa chất như: phenol làm nguyên liệu, acid sulfuric làm chất xúc tác trong chế tạo nhựa phenolic từ bã thải vỏ điều; Ethanol làm dung môi hòa tan trong phương pháp xác định dư lượng gỗ của nhựa phenolic tạo thành.

2.2 Các bước nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành qua 4 bước: Bước 1: Chuẩn bị nguyên liệu nhựa phenolic và bột cacbon từ bã thải vỏ điều; Bước 2: Kết khối gốm gỗ; Bước 3: Nghiên cứu quá trình kết khối; Bước 4: Khảo sát khả năng phát hồng ngoại.

2.3 Các phương pháp phân tích

Các phương pháp phân tích được sử dụng bao gồm:

- Phân tích nhiệt (TGA/DSC), tỉ lệ khối lượng đồng vị (IRMS), nhiễu xạ tia X (XRD), phổ hồng ngoại (FT-IR), phổ RAMAN (RAMAN), kính hiển vi điện tử quét (SEM - EDX), phổ XPS, ghi nhận phát xạ hồng ngoại,

- Ngoài ra, trong nghiên cứu còn sử dụng các phương pháp xác định các tính chất vật lý khác như: đo nhiệt trị, đo độ bền uốn, đo độ xốp và khối lượng thể tích

CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1 Chuẩn bị nguyên liệu

3.1.1 Nguyên liệu bã thải vỏ điều

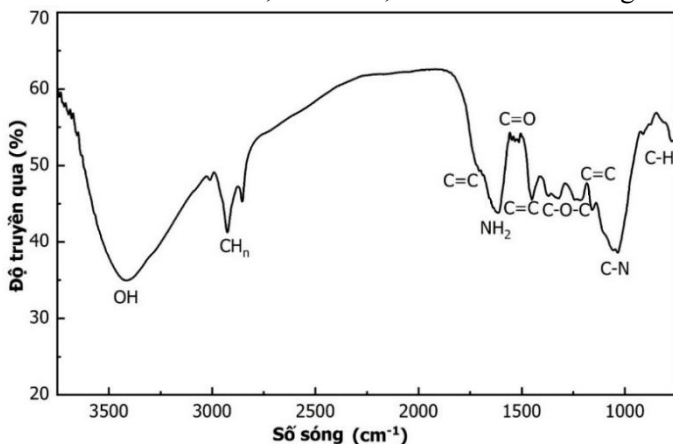
Thành phần hóa của bã thải vỏ điều (theo % khối lượng) như sau:

C	N	H	O	S	Thành phần khác
53,59	9,54	8,84	27,28	-	0,75

Thành phần các hợp chất hóa học trong bã thải vỏ điều (theo % khối lượng):

Cellulose	Hemi - Cellulose	Lignin	Axit anacardic	Cardanol	Cardol	2-Methyl cardol
53-56%	11-12%	16-17%	10-15%	1-2%	2-4%	< 1%

Với kết quả FTIR (hình 3.1) của mẫu bã thải vỏ điều cho thấy thành phần chính của bã thải vỏ điều là: Dầu điều, cellulose, hemicellulose và lignin.



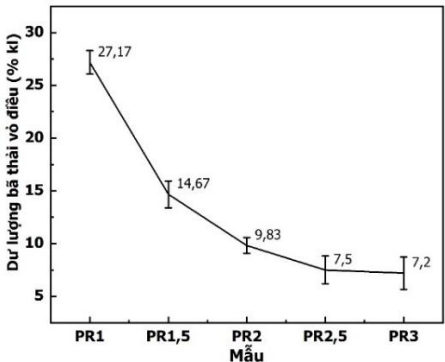
Hình 3.1: Kết quả phân tích FT-IR mẫu nguyên liệu bã thải vỏ điều

Từ thành phần hóa bã thải vỏ điều có thể nhận thấy lượng carbon trong mẫu là rất lớn, chiếm hơn 50% khối lượng mẫu. Đây là tỉ lệ thường thấy trong thành phần gỗ, tỷ lệ carbon sẽ tăng sau quá trình carbon hóa. Các hợp chất chính trong bã thải vỏ điều là cellulose, hemi-cellulose, lignin - đây cũng là những hợp chất chính có trong gỗ. Vì vậy bã thải vỏ điều có thể dùng làm nguyên liệu chế tạo nhựa phenolic và gôm gỗ [110-113]. Ngoài ra, trong bã thải vỏ điều, thành phần cardanol, cardol, axit anacardic (axit anacardic tại

120°C có thể phân hủy thành cardanol) chiếm khoảng 20% khối lượng. Các hợp chất này có thể thay thế phenol trong phản ứng tạo nhựa phenolic – đây là cơ sở để giảm lượng phenol sử dụng, đồng thời có thể giúp tăng hiệu suất phản ứng tạo nhựa.

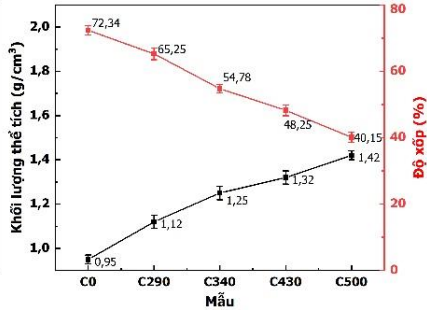
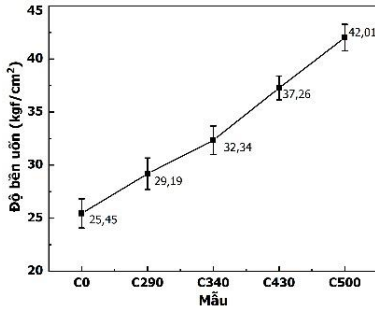
3.1.2 Chế tạo nhựa phenolic từ bã thải vỏ điều

Nhựa phenolic là một trong những thành phần giúp bột cacbon kết khối thành vật liệu gồm gỗ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã áp dụng kỹ thuật nhựa hóa bã thải vỏ điều để tận dụng triệt để nguồn chất thải. Phản ứng tạo nhựa phenolic cần có dư lượng bã thải vỏ điều sau phản ứng thấp và có khả năng nghiền thành dạng bột để thuận tiện cho việc bảo quản và phối trộn. Các thành tỉ lệ khối lượng phenol/bã thải vỏ điều khảo sát từ 1/1 – 3/1, kết hợp với 5% xúc tác H₂SO₄. Nhiệt độ phản ứng tạo nhựa là 150°C, lưu trong thời gian 180 phút. Kết quả xác định dư lượng bã thải vỏ điều trình bày ở hình 3.5. Kết quả hình 3.5 cho thấy dư lượng gỗ giảm theo chiều tăng lượng phenol, mẫu PR2 tương ứng với tỉ lệ phenol/bột bã thải vỏ điều bằng 2 là tỉ lệ được chọn chế tạo nhựa phenolic.



Hình 3.5: Hiệu suất phản ứng theo thành phần phối liệu

3.1.3 Cacbon hóa bã thải vỏ điều

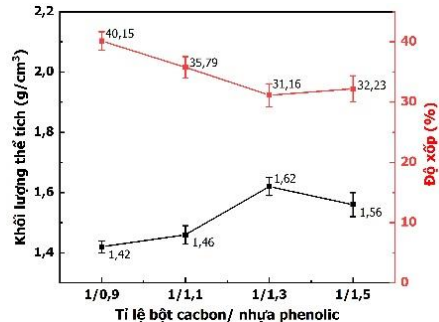
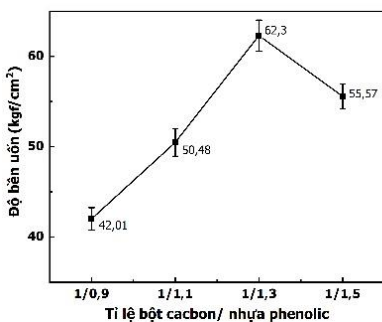


Hình 3.10: Độ bền uốn và hình 3.11: Khối lượng thể tích, độ xốp

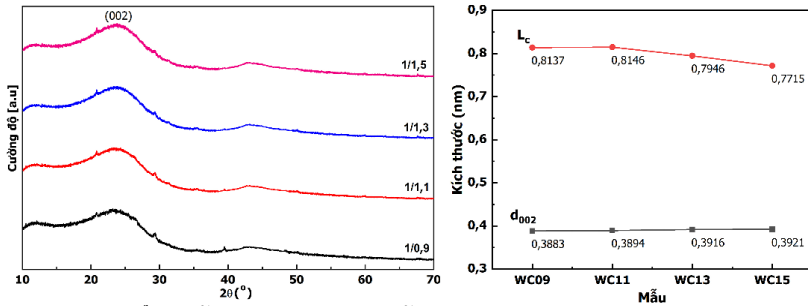
Nguyên liệu bột gỗ nếu trực tiếp dùng để chế tạo gôm gỗ thì sản phẩm tạo thành sẽ có nhiều, độ xốp lớn, độ kết khối không cao [159-162]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành cacbon hóa bã thải vỏ điều trước khi tạo gôm gỗ để cải thiện khả năng kết khối sản phẩm gôm gỗ. Kết quả đánh giá thành phần hóa của nguyên liệu và nhiệt trị sau cacbon hóa cho thấy nhiệt độ phù hợp để cacbon hóa bã thải vỏ điều là 500°C, lưu trong thời gian 60 phút. Các kết quả xác định độ bền uốn, khối lượng thể tích, độ xốp (hình 3.10, 3.11) của gôm gỗ sau nung cho thấy sử dụng nguyên liệu bã thải vỏ điều đã cacbon hóa giúp gôm gỗ có độ kết khối cao hơn khi sử dụng nguyên liệu chưa cacbon hóa.

3.2 Kết khối gôm gỗ

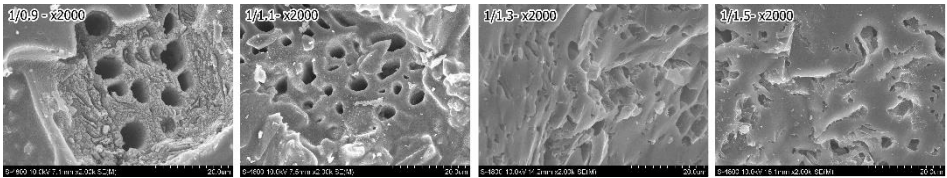
3.2.1 Khảo sát thành phần cấp phối



Hình 3.14: Độ bền uốn và hình 3.15: Khối lượng thể tích, độ xốp



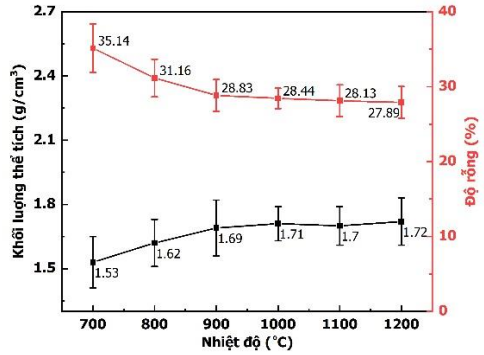
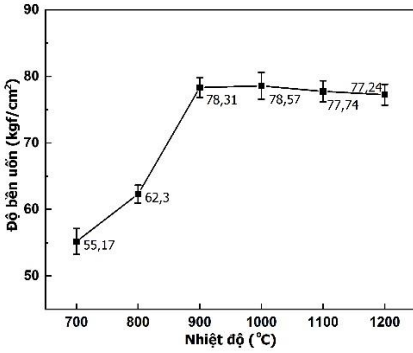
Hình 3.16: Phổ nhiễu xạ tia X các mẫu và hình 3.18: Kích thước d_{002} và L_c



Hình 3.19: Ảnh SEM các mẫu

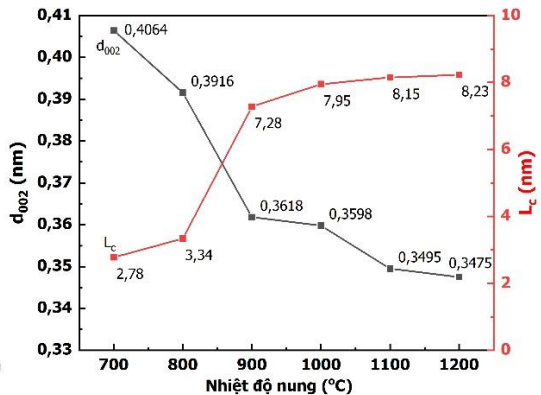
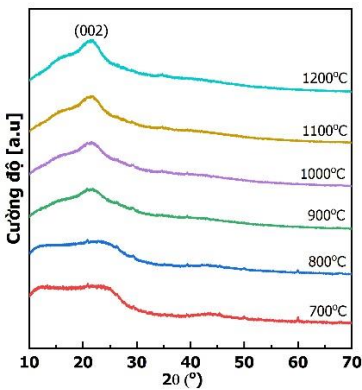
Nhựa phenolic và bột cacbon được chế tạo từ bã thải vỏ điều được phối trộn với những tỉ lệ khác nhau. Hỗn hợp sau trộn được ép nóng tạo hình có kích thước 80x20x10mm dưới áp lực 0,44 kgf/cm², nung kết khối ở nhiệt độ 800°C với tốc độ nâng nhiệt 5°C/phút trong môi trường khí CO₂, lưu trong thời gian 60 phút. Kết quả xác định độ bền uốn (hình 3.14), độ xốp và khối lượng thể tích (hình 3.15), ảnh SEM (hình 3.19) cho thấy thành phần phối liệu bột cacbon/ nhựa phenolic bằng 1/1,3 sẽ cho độ kết khối tốt nhất trong các cấp phối khảo sát. Phổ XRD (hình 3.16) và kích thước d_{002} , L_c (hình 3.18) cho thấy thành phần phối liệu ít ảnh hưởng đến mức độ trật tự của các phần tử cacbon cấu tạo nên gồm gồ.

3.2.2 Khảo sát nhiệt độ kết khối



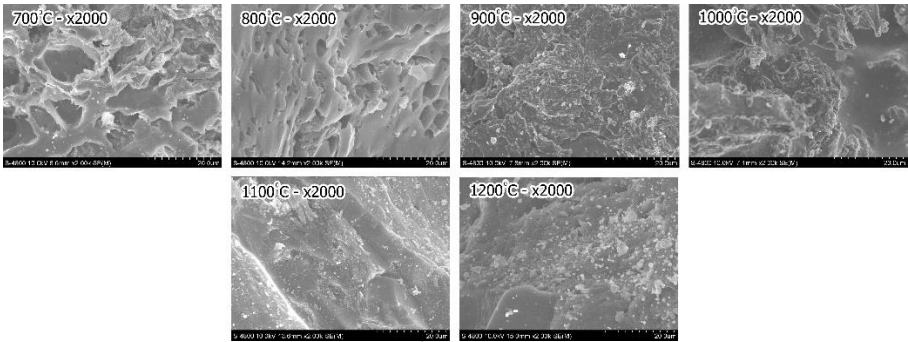
Hình 3.20: Độ bền uốn và hình 3.21: Khối lượng thể tích, độ xốp

Nhiệt độ kết khối được xác định bằng cách cố định thành phần phối liệu (tỉ lệ bột cacbon/ nhựa phenolic bằng 1/1,3) và kết khối mẫu ở những nhiệt độ kết khối khác nhau (từ 700 – 1200°C). Điều kiện tạo mẫu tương tự như thí nghiệm xác định thành phần phối liệu. Kết quả xác định độ bền uốn (hình 3.20), độ xốp và khối lượng thể tích (hình 3.21), ảnh SEM (hình 3.24) cho thấy độ kết khối tăng khi nâng nhiệt độ nung từ 700 – 900°C, từ 900 – 1200°C độ kết khối không tăng. Vì vậy, 900°C là nhiệt độ kết khối phù hợp nhất trong các nhiệt độ khảo sát. Kết quả nhiễu xạ tia X (hình 3.22) và kích thước d_{002} , L_c theo nhiệt độ nung (hình 3.23) cho thấy nhiệt độ nung ảnh hưởng lớn đến trật tự của các phần tử cacbon trong gôm gỗ. Sự sắp xếp lại trật tự các phần tử cacbon trong quá trình chuyển pha từ vô định hình sang tinh thể làm mật độ và độ bền tăng giúp gôm gỗ kết khối tốt hơn.



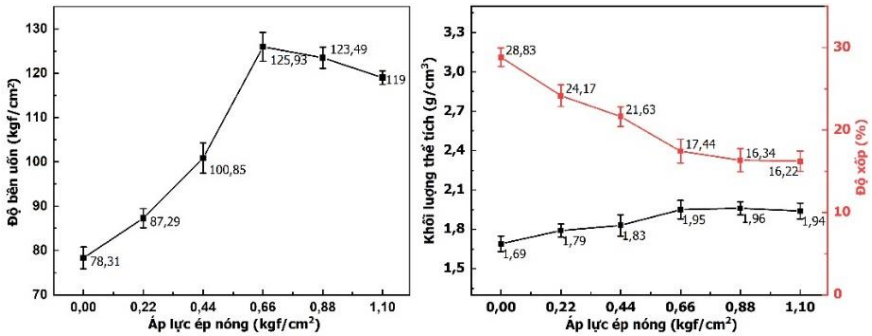
Hình 3.22: Phổ nhiễu xạ tia X các mẫu và hình 3.23: Kích thước d_{002} và

L_c



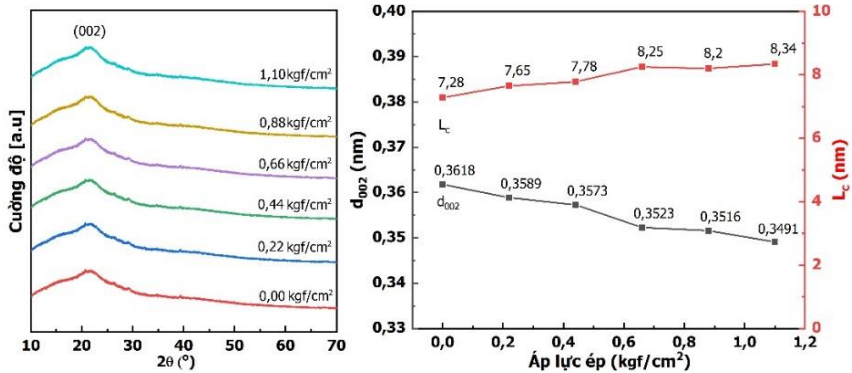
Hình 3.24: Ảnh SEM các mẫu

3.2.3 Khảo sát áp lực ép nóng

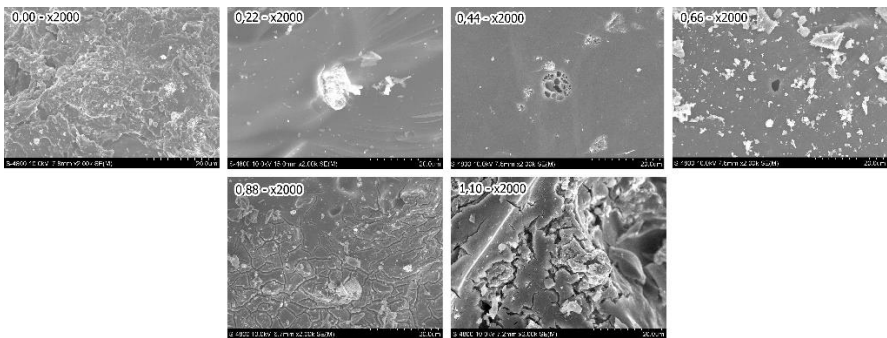


Hình 3.28: Độ bền uốn và hình 3.29: Khối lượng thể tích, độ xốp

Áp lực ép nóng được xác định bằng cách cố định các yếu tố tạo mẫu như: Tỷ lệ phối liệu (bột cacbon/ nhựa phenolic là 1/1,3), tạo hình mẫu ở nhiệt độ 180°C dưới áp lực 0,44 kgf/cm² (kích thước 80x20x10mm), kết khối ở nhiệt độ 900°C trong môi trường khí CO₂ kết hợp áp lực từ 0 – 1,10 kgf/cm², lưu trong thời gian 60 phút. Các kết quả xác định độ bền uốn (hình 3.28), độ xốp và khối lượng thể tích (hình 3.29), ảnh SEM (hình 3.32) cho thấy áp lực ép nóng 0,66 kgf/cm² cho độ kết khối cao nhất trong các mẫu thí nghiệm. Kết quả phân tích phổ nhiễu xạ tia X (hình 3.30) và kích thước d_{002} , L_c theo áp lực ép nóng (hình 3.31) cho thấy áp lực ép nóng ít ảnh hưởng đến mức độ trật tự của các phần tử cacbon cấu tạo nên gốm gỗ.



Hình 3.30: Phổ nhiễu xạ tia X các mẫu và hình 3.31: Kích thước d_{002} và L_c



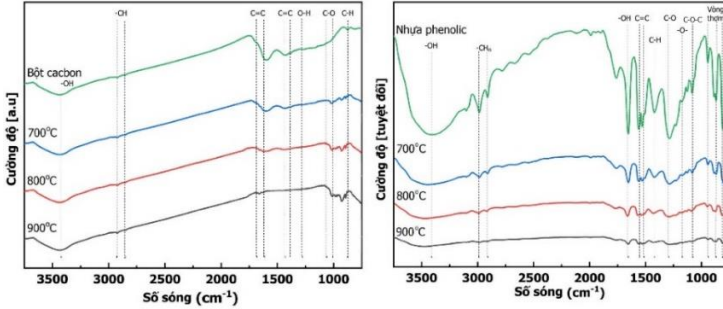
Hình 3.32: Ảnh SEM các mẫu

3.3 Quá trình kết khối của vật liệu gồm gỗ

Để khảo sát quá trình kết khối của vật liệu gồm gỗ từ bã thải vỏ điều, ba mẫu gồm: Bột bã thải vỏ điều đã carbon hóa tại 500°C (sau đây gọi tắt là bột carbon), nhựa phenolic chế tạo từ bã thải vỏ điều (sau đây gọi tắt là nhựa phenolic) và gồm gỗ với thành phần tỉ lệ khối lượng bột carbon/ nhựa phenolic là 1/1,3 (sau đây gọi tắt là gồm gỗ) sẽ được kết khối ở 900°C, môi trường kết khối là CO₂ với tốc độ nâng nhiệt độ 5°C/phút. Ba mẫu sau nung sẽ được phân tích FT-IR, XRD, RAMAN, XPS và SEM để đánh giá quá trình kết khối của gồm gỗ.

3.3.1 Phổ hồng ngoại

Hình 3.33, hình 3.34 và hình 3.35 là kết quả phân tích FI-IR của các mẫu nhựa phenolic, bột cacbon, gồm gỗ trước và sau khi kết khối trong môi trường khí CO₂. Từ kết quả có thể thấy:

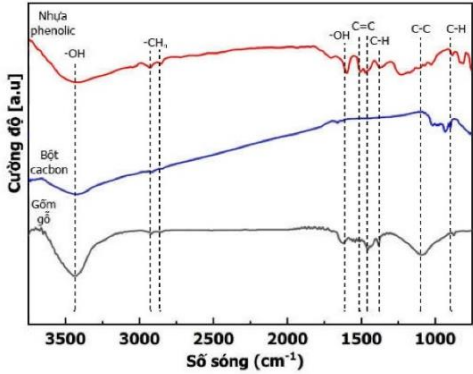


Hình 3.33: FT-IR của bột cacbon và hình 3.34: FT-IR của nhựa phenolic

a) Mẫu bột cacbon có sự thay đổi tỉ lệ cường độ giữa các đỉnh trước và sau khi nung ở các nhiệt độ khác nhau. Cường độ của các đỉnh ở vị trí số sóng 2953 - 2850 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động của nhóm -CH_n giảm theo chiều tăng nhiệt độ nung. Tương tự cường độ của các dao động tại vị trí 1552 cm⁻¹, 1451 cm⁻¹ tương ứng với liên kết C=C trong vòng thơm; tại vị trí 1633 cm⁻¹ đặc trưng cho nhóm -OH trong cấu trúc phân tử; tại vị trí 1058 cm⁻¹ đặc trưng cho liên kết C-O, tại vị trí 887,8 cm⁻¹, 826 cm⁻¹, 756,6 cm⁻¹ đặc trưng cho liên kết C-H trong vòng thơm đều giảm liên tục khi nhiệt độ nung tăng. Kết quả cho thấy, các phản ứng phân hủy nhiệt tạo cacbon xảy ra liên tục trong suốt quá trình nung bột cacbon.

b) Tương tự như với bột cacbon, tỉ lệ cường độ giữa các đỉnh của nhựa phenolic cũng thay đổi trước và sau khi nung. Các dao động tại các vị trí số sóng: 2953-2850 cm⁻¹ (dao động dọc của nhóm -CH_n-); 1633 cm⁻¹, 1370 cm⁻¹, 1019 cm⁻¹ (dao động của nhóm -OH trong cấu trúc); 1552 cm⁻¹, 1513 cm⁻¹, 1451 cm⁻¹ (dao động của nhóm C=C); 1370 cm⁻¹, 887,8 cm⁻¹, 826 cm⁻¹, 756,6 cm⁻¹ (dao động của nhóm C-H trong cấu trúc); 1284 cm⁻¹, 1058 cm⁻¹ (dao động nhóm C-O); 1116 cm⁻¹ (dao động nhóm C-O-C) đều có hiện tượng suy giảm cường độ khi

so sánh giữa mẫu trước và sau khi nung. Kết quả này cũng chứng tỏ phản ứng phân hủy nhiệt tạo cacbon của nhựa phenolic diễn ra liên tục trong suốt quá trình nung. Tuy nhiên, các đỉnh sau nung của nhựa phenolic xuất hiện rõ ràng hơn bột cacbon ở một số đỉnh. So sánh này chứng tỏ, dưới tác dụng của nhiệt độ, nhựa phenolic khó bị phân hủy nhiệt hơn bột cacbon.



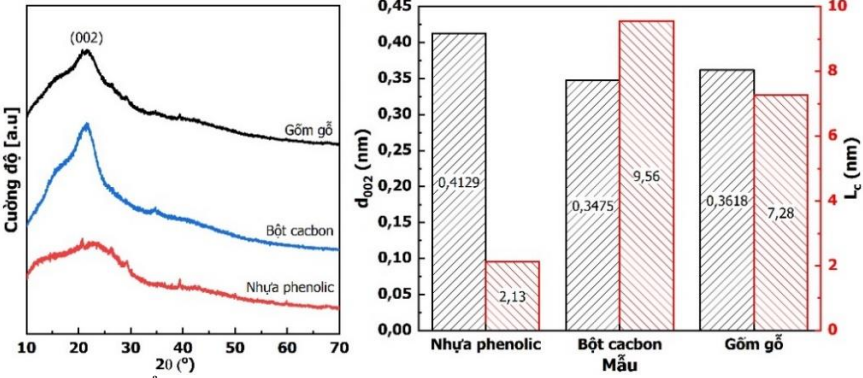
Hình 3.38: FT-IR của bột cacbon, nhựa phenolic và gồm gỗ kết khối ở 900°C

c) Phổ FT-IR của gồm gỗ là sự cộng gộp của hai phổ FT-IR nhựa phenolic và bột cacbon. Từ các kết quả FT-IR hình 3.3, hình 3.34 và hình 3.35 cho thấy gồm gỗ là sự kết hợp của cacbon hình thành từ quá trình phân hủy nhiệt của nhựa phenolic và cacbon từ quá trình phân thủy nhiệt của bột cacbon. Các phản ứng phân hủy nhiệt của nhựa phenolic và bột cacbon diễn ra liên tục trong suốt quá trình nung. Vì vậy quá trình kết khối của gồm gỗ là kết khối trong phản ứng.

3.3.2 *Nhiều xạ tia X*

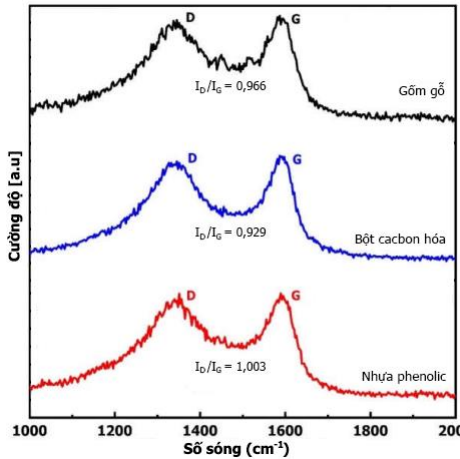
Mức độ trật tự của các phân tử cacbon khi nung bột cacbon, nhựa phenolic và gồm gỗ ở 900°C được đánh giá thông qua tính toán kích thước d_{002} và L_c của tinh thể graphite tạo thành từ phổ XRD. Hình 3.39 là kết quả phân tích XRD và hình 3.40 là kết quả tính toán kích thước d_{002} và L_c từ phổ XRD. Kết quả XRD có đỉnh (002) là đỉnh tù và có bề rộng lớn. Định tính cho thấy cacbon hình thành sau quá trình nung bột cacbon, nhựa phenolic và gồm gỗ ở 900°C là cacbon vô định hình [169]. Kết quả trên hình 3.37 cho thấy giá trị d_{002} của các mẫu lần lượt là 0,4129 nm, 0,3475nm, 0,3618 nm đều lớn hơn nhiều so với

khoảng cách d_{002} của graphite hoàn chỉnh ($d_{002} = 0,3354$ nm [171]). Giá trị L_c lần lượt là 2,13 nm, 9,56 nm, 7,28 nm nên graphite tạo thành đều là các vi tinh thể [172]. Từ các kết quả có thể kết luận cacbon hình thành ở các mẫu đều là cacbon vô định và trong đó tồn tại những vùng có “trật tự gần” hoặc vi tinh thể [140].



Hình 3.39: Phổ XRD và hình 3.40: Kích thước d_{002} và L_c của nhựa phenolic, bột cacbon và gôm gỗ khi kết khối ở 900°C

3.3.3 Phổ RAMAN



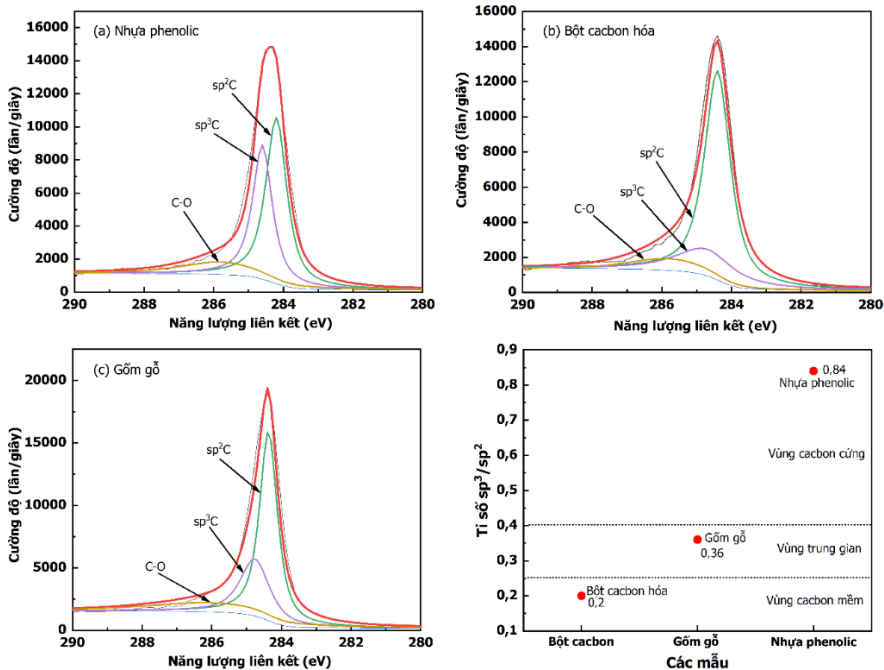
Hình 3.41: Kết quả phổ RAMAN của các mẫu

Ngoài phổ XRD thì phổ RAMAN cũng được dùng để đánh giá mức độ trật tự của các phần tử cacbon thông qua đánh giá các liên kết không tồn tại trong cấu trúc graphite hoàn chỉnh. Phổ RAMAN của bột cacbon, nhựa phenolic và gôm

gỗ nung ở 900°C trên hình 3.41. Tỷ lệ các liên kết không tồn tại trong cấu trúc graphite được đánh giá bằng cách lập tỉ số cường độ đỉnh của vùng D tại vị trí số sóng 1360 cm⁻¹ (I_D) và cường độ đỉnh của vùng G tại vị trí số sóng 1590 cm⁻¹ (I_G). Theo tính toán từ phổ RAMAN, tỉ lệ I_D/I_G của nhựa phenolic có giá trị lớn nhất (1,003), của bột cacbon có giá trị thấp nhất (0,929) và của gồm gỗ có giá trị ở giữa (0,966), cho thấy mức độ trật tự của các phân tử cacbon trong nhựa phenolic kém hơn của bột cacbon. Sự mất trật tự này là do các liên kết không có trong cấu trúc graphite có trong các mẫu sau kết khối. Ngoài ra, kết quả còn cho thấy nhựa phenolic khó graphite hóa hơn bột cacbon.

3.3.4 Phổ XPS

Theo kết quả phân tích phổ XRD cho thấy cacbon hình thành sau quá trình nung nhựa phenolic, bột cacbon và gồm gỗ ở 900°C là cacbon vô định. Phương pháp XPS sẽ giúp xác định loại cacbon vô định hình hình thành. Hình 3.42 là kết quả phân tích XPS của các mẫu ở 900°C. Từ kết quả phân tích phổ XPS trên hình 3.42 và dùng phần mềm mô phỏng XPS's peak tách đỉnh cho thấy đây là dạng phổ phổ biến của các loại cacbon được nung nhiệt độ thấp, các nhóm cacbon sp² sắp xếp không trật tự trong không gian cấu trúc, các nhóm này lại liên kết với nhau nhờ cacbon lai hóa sp³ có dạng =C= hoặc >C<. Dạng lai hóa sp³ bao gồm 4 liên kết δ là dạng bền vững nhất trong các dạng cacbon nhờ vậy góp phần tạo nên cường độ cho vật liệu gồm gỗ, giúp vật liệu gồm gỗ có thể kết khối ở nhiệt độ thấp. Kết quả lập tỉ lệ diện tích của vùng sp³/sp² từ phổ XPS cho thấy: Tỷ lệ diện tích sp³/sp² của nhựa phenolic là 0,84, của bột cacbon là 0,2 và của gồm gỗ là 0,36. So sánh với kết quả trong nghiên cứu của tác giả Javier Diaz [12] có thể kết luận cacbon vô định hình hình thành sau khi nung nhựa phenolic là cacbon cứng, với bột cacbon là cacbon mềm, gồm gỗ có cấu tạo là sự kết hợp của cacbon cacbon cứng (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt nhựa phenolic) và cacbon mềm (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt của bột cacbon).



Hình 3.42: Kết quả XPS của các mẫu sau kết khối ở 900°C

3.3.5 Ảnh vi cấu trúc



Hình 3.40: Ảnh vi cấu trúc các mẫu sau kết khối ở 900°C

Kết quả khảo sát cấu trúc vi mô bằng ảnh SEM của các mẫu nhựa phenolic, bột cacbon, gôm gỗ nung ở 900°C trên hình 3.43 cho thấy:

a) Với mẫu chỉ có bột cacbon, các hạt toi xốp. Ngoài ra các hạt không có sự liên kết với nhau, không tạo cường độ cho mẫu.

b) Với mẫu chỉ có nhựa phenolic, các hạt phối liệu đã kết dính thành một khối. Tuy nhiên các khối không đồng nhất và xuất hiện nhiều lỗ xốp. Các lỗ xốp làm cho nhựa phenolic sau kết khối giòn, dễ gãy khi có ngoại lực tác dụng. Các lỗ

xốp này có dạng hình tròn chứng tỏ nhựa phenolic hình thành pha lỏng trong quá trình nung. Ngoài ra trên ảnh SEM còn có các dạng cấu trúc hình que giúp tăng độ bền cơ cho gốm gỗ.

c) Với mẫu gốm gỗ, các hạt phối liệu đã kết khối. Các lỗ xốp không còn xuất hiện nhiều. Đây là nguyên nhân làm cường độ của mẫu gốm gỗ tăng cao, mẫu không giòn, không dễ vỡ. Ngoài ra, mẫu không thấy đường biên giới hạt rõ ràng chứng tỏ quá trình kết khối là kết khối pha lỏng. Pha lỏng được hình thành từ nhựa phenolic trong quá trình nung kết khối gốm gỗ.

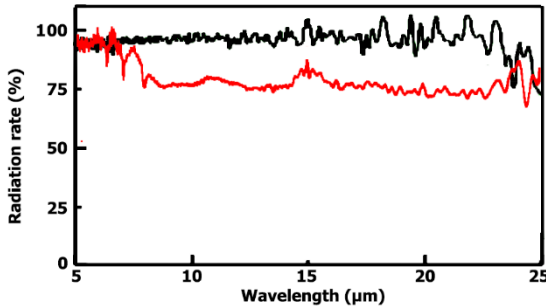
Từ các kết quả FT-IR, XRD, RAMAN, XPS, SEM có thể thấy quá trình kết khối của gốm gỗ là quá trình kết khối trong phản ứng. Kết khối trong phản ứng giúp giảm nhiệt độ kết khối của gốm gỗ. Cơ chế kết khối của là kết khối pha lỏng. Pha lỏng tạo thành từ nhựa phenolic. Gốm gỗ có cấu tạo là sự kết hợp của cacbon cứng (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt nhựa phenolic) và cacbon mềm (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt của bột cacbon).

3.4 Khảo sát khả năng phát hồng ngoại

Vật đen tuyệt đối là loại vật liệu có năng lượng vùng cấm $E_g \approx 0$ nên vật đen tuyệt đối có khả năng hấp thụ năng lượng và chuyển hóa gần như toàn bộ thành các bức xạ hồng ngoại xa có bước sóng từ 5 – 25 μm [90, 115-118]. Các bức xạ hồng ngoại này có số sóng trùng với số sóng dao động của các phân tử nước (3100 – 3600 cm^{-1} [119]), nhờ đó hồng ngoại xa thường được sử dụng ở các thiết bị sấy [88-90]. Gốm gỗ là vật liệu cacbon màu đen nên loại vật liệu này được hy vọng có thể thể hiện tính chất của vật đen tuyệt đối, ứng dụng vào làm vật liệu sấy. Vì vậy chúng tôi đã tiến hành khảo sát để tìm ra các quy luật phát xạ hồng ngoại của vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ điều.

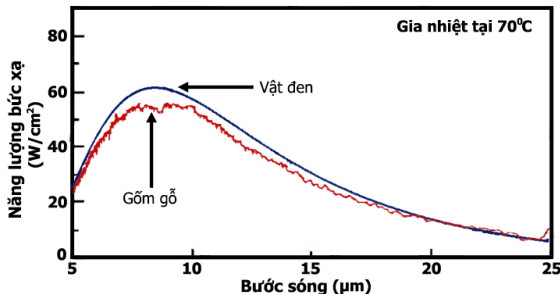
Mẫu WCF66 là mẫu kết khối tốt nhất sẽ được chọn để xác định khả năng phát hồng ngoại ở 70°C và 190°C. Kết quả phát hồng ngoại của mẫu ở nhiệt độ 70°C và 190°C trình bày trên hình 3.44. Trong khoảng bước sóng ánh sáng từ 5 μm –

25 μm , đồ thị thể hiện bức xạ của gốm gỗ là đường nằm ngang tương tự như quy luật phát xạ của vật đen tuyệt đối.

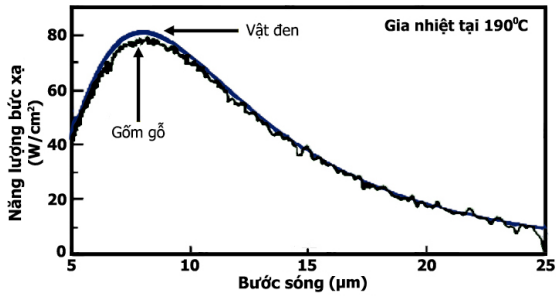


Hình 3.44: Lượng bức xạ mẫu WCF66 ở 70°C và 190°C

Bên cạnh đó với kết quả khảo sát năng lượng phát ra trong một đơn vị thể tích của mẫu gốm gỗ WCF66 ở các bước sóng khác nhau tại 70°C và 190°C trên hình 3.45 và hình 3.46 cho thấy năng lượng phát xạ của gốm gỗ tập trung ở vùng hồng ngoại xa, năng lượng tỏa ra giảm dần khi bước sóng ánh sáng tăng. Ngoài ra, ở nhiệt độ phát xạ cao hơn (190°C so với 70°C), gốm gỗ sẽ có tỉ lệ bức xạ (hình 3.44) và năng lượng bức xạ (hình 3.45, hình 3.46) cao hơn. Các tính chất phát xạ này tương tự với đặc trưng phát xạ của vật đen tuyệt đối được đề cập đến trong định luật Wien [90, 115-118, 185]. Vì vậy có thể kết luận gốm gỗ có khả năng hấp thụ năng lượng và chuyển hóa gần như toàn bộ thành các bức xạ hồng ngoại xa. Nhờ vậy, gốm gỗ từ bã thải vỏ điều có thể được định hướng ứng dụng vào các thiết bị sấy.



Hình 3.45: Năng suất phát xạ riêng của mẫu WCF66 ở 70°C



Hình 3.46: Năng suất phát xạ riêng của mẫu WCF66 ở 190°C

CHƯƠNG 4 KẾT LUẬN

4.1 Kết luận

L luận án đã đạt được các mục tiêu đề ra gồm:

1. Đã tận dụng tối đa nguồn nguyên liệu bã thải vỏ điều trong chế tạo gốm gỗ bằng cách chế tạo nhựa phenolic và bột cacbon từ chính bã thải vỏ điều:
 - Nguyên liệu nhựa phenolic chế tạo từ bã thải vỏ điều với tỉ lệ khối lượng phenol/ bã thải vỏ điều bằng 2 (thêm 5% xúc tác axit theo khối lượng phenol sử dụng), phản ứng tạo nhựa ở nhiệt độ 150°C, lưu trong thời gian 180 phút.
 - Nguyên liệu bột cacbon chế tạo từ bã thải vỏ điều bằng cách cacbon hóa ở 500°C trong môi trường khí CO₂, lưu trong thời gian 60 phút.
2. Lần đầu tiên chế tạo thành công gốm gỗ từ bã thải vỏ điều với các thông số chế tạo như sau: Thành phần tỉ lệ khối lượng bột cacbon/ nhựa phenolic là 1/1,3, kết khối kết hợp áp lực ép nóng 0,66 kgf/cm² ở nhiệt độ kết khối 900°C trong môi trường khí CO₂ với tốc độ nâng nhiệt 5°C/phút, lưu trong thời gian 60 phút. Mẫu tạo thành có độ bền uốn là 125,93 kgf/cm², khối lượng thể tích là 1,95 g/cm³ và độ xốp là 17,44 %.
3. Đã làm rõ quá trình kết khối của gốm gỗ từ bã thải vỏ điều:

- Quá trình kết khối của gôm gỗ là quá trình kết khối trong phản ứng. Kết khối trong phản ứng giúp giảm nhiệt độ kết khối của gôm gỗ.
 - Cơ chế kết khối của là kết khối pha lỏng. Pha lỏng tạo thành từ nhựa phenolic.
 - Gôm gỗ có cấu tạo là sự kết hợp của cacbon cacbon cứng (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt nhựa phenolic) và cacbon mềm (sản phẩm quá trình phân hủy nhiệt của bột cacbon).
4. Đã khảo sát khả năng phát xạ của gôm gỗ. Kết quả cho thấy năng lượng phát xạ của gôm gỗ tập trung ở vùng hồng ngoại xa. Năng lượng phát xạ tăng khi tăng nhiệt độ phát xạ. Các đặc tính phát xạ này tương tự như đặc trưng phát xạ của vật đen tuyệt đối. Vì vậy có thể kết luận gôm gỗ có khả năng hấp thụ năng lượng và chuyển hóa gần như toàn bộ thành các bức xạ hồng ngoại xa. Nhờ vậy, gôm gỗ từ bã thải vỏ điều có thể được định hướng ứng dụng làm các tấm thu và phát nhiệt trong các thiết bị sấy.

4.2 Kiến nghị

Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tiến hành như sau:

- Nghiên cứu chế tạo gôm gỗ từ các nguồn nguyên liệu trong nước khác.
- Khảo sát các tính chất của vật liệu gôm gỗ để đưa ra ứng dụng trong các lĩnh vực khác.
- Nghiên cứu kết khối trong môi trường chân không để ổn định tính chất của vật liệu gôm gỗ.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. K. D. T. Kien, P. D. Tuan, T. Okabe, D. Q. Minh and T. V. Khai, “Study on sintering process of woodceramics from the cashew nutshell waste,” *Journal of Ceramic Processing Research*, vol. 19, no. 6, pp. 472-478, 2018. (thuộc ISI)
2. D. Q. Minh, H. N. Minh, N. V. U. Nhi, N. N. T. Huynh, K. D. T. Kien, P. T. Kien and N. H. Thang, “The Influence of Composition of Raw Materials on Formation of Phenolic Resin from Cashew Nut Shell Waste (CNSW),” *Defect and Diffusion Forum*, vol. 394, pp. 103-108, 2019. (thuộc SCOPUS)

Tạp chí trong nước

1. K. D. T. Kien, T. V. Khai, N. H. Q. Anh, L. T. Tai, D. Q. Minh and P. D. Tuan, “Changes of microstructure, chemical composition and heating value of cashew nut shell wastes (CNSW) under low pressure carbonization,” *Khoa học và công nghệ*, vol. 53, no. B, pp. 284 - 289, 2015.
2. K. Đ. T. Kiên, T. V. Khải and Đ. Q. Minh, “Nghiên cứu chế tạo vật liệu gốm gỗ từ bã thải vỏ điều,” *Tạp chí Hoá học*, vol. 4, no. E2355, pp. 147-152, 2017
3. K. Đ. T. Kiên, T. V. Khải, P. Đ. Tuấn and Đ. Q. Minh, “Chế tạo than hoạt tính từ bã thải vỏ điều và tác nhân kali hydroxite (KOH),” *Tạp chí Hoá học*, vol. 55, no. 5E34, pp. 47-51, 2017.
4. K. D. T. Kien, T. V. Khai, P. D. Tuan and D. Q. Minh, “The effect of liquefied wood on the sintering of woodceramics from the cashew nut shell waste,” *Vietnam Journal of chemistry*, vol. 55, no. 5E34, pp. 460-463, 2017.
5. K. Đ. T. Kiên, T. V. Khải, P. Đ. Tuấn and Đ. Q. Minh, “Ảnh hưởng của nhựa thông đến tính chất của gốm gỗ từ bã thải vỏ điều,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp TP HCM*, vol. 27, pp. 51-56, 2017.
6. K. Đ. T. Kiên, T. V. Khải, P. Đ. Tuấn and Đ. Q. Minh, “Cải thiện độ kết khối của gốm gỗ từ bã thải vỏ điều bằng phương pháp ép nóng,” *Tạp chí Hóa học*, vol. 56, no. 3E12-2018, pp. 186-191, 2018.
7. K. Đ. T. Kiên, P. V. K. Trang, Đ. T. H. Trang and Đ. Q. Minh, “Ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng tạo nhựa phenolic từ nguyên liệu bã thải vỏ điều,” *Tạp chí Hóa học*, 57(6E1,2), pp. 403-407, 2019.

Kỹ yếu hội nghị quốc tế

1. M. D. Quang, K. T. Van, T. P. Dinh and K. K. D. Trung, “Fabrication and Properties of the Biomass Cokes from the Waste Cashew Nut Shell (WCNS),” *The 8th Regional Conference on Chemical*, 2015, Ha Noi - Việt Nam.
2. K. D. T. Kien, D. T. Khai, T. V. Khai, D. Q. Minh and P. D. Tuan, “Preparation of woodceramic,” *Interactive Materials Science Cadet Program*, 2015, Osaka, Japan.
3. K. D. T. Kien, T. C. Phat, D. V. Phuong, L. T. H. Dao, T. V. Khai and D. Q. Minh, “Fabrication of the activated carbon from the waste cashew nut shell (WCNS) by Phosphoric Acid,” *23rd Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2016)*, 2016, Vung Tau, Vietnam.
4. D. Q. Minh, T. V. Khai and K. D. T. Kien , “Fabrication and Some Properties of The Biomass Coke from a By – Product of The Cashew Nut Processing,” *The 11th seatic symposium*, 2017, Ho Chi Minh, Vietnam.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đ. Q. Minh and K. Đ. T. Kiên, “Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến độ kết khối gôm gỗ từ bã thải vỏ điều,” *đề tài nghiên cứu khoa học*, Khoa Công nghệ Vật liệu, Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia THCM, 2016.