

LỚP PHỦ SIÊU KỶ NƯỚC DỰA TRÊN POLYSILOXANE – NANO SILICA: CHẾ TẠO VÀ ỨNG DỤNG

SUPERHYDROPHOBIC COATING BASED ON POLYSILOXANE – NANO SILICA: FABRICATION AND APPLICATIONS

TS. Đỗ Văn Tá, ThS. Huỳnh Văn Nhu, ThS. Phạm Tạo, TS. Huỳnh Văn Vũ*

Trường Đại học Nha Trang

Email: tadv@ntu.edu.vn

TÓM TẮT

Vật liệu siêu kỵ nước (SH) có nhiều ứng dụng trong thực tế như tự làm sạch, giảm sức cản, phân tách hỗn hợp dầu-nước. Tuy nhiên, hiện nay quy trình chế tạo vật liệu SH còn khá phức tạp, yêu cầu máy móc hiện đại, giá thành cao dẫn tới sự hạn chế của vật liệu SH khi được ứng dụng trong thực tế. Do đó, việc phát triển một phương pháp chế tạo vật liệu SH mới, đơn giản, thân thiện với môi trường, giá thành thấp là thực sự cần thiết. Trong nghiên cứu này chúng tôi đã chế tạo thành công lớp phủ siêu kỵ nước dựa trên vật liệu polysiloxane và hạt nano-silica với góc tiếp xúc (CA) > 150° và góc trượt (SA) < 10°. Độ bền của lớp phủ được đánh giá thông qua thử nghiệm bóc tách bằng băng dính, kết quả cho thấy với bề mặt vật liệu nền có độ nhám cao như giấy nhám thì lớp phủ giữ được góc CA > 150° sau 15 lần bóc băng dính. Bên cạnh đó, lớp phủ siêu kỵ nước cũng được đánh giá về khả năng làm giảm sức cản, phân tách hỗn hợp dầu-nước, kết quả cho thấy lớp phủ được chế tạo trong nghiên cứu này đáp ứng được yêu cầu trong các ứng dụng thực tế.

Từ khóa: Lớp phủ siêu kỵ nước; Phân tách hỗn hợp dầu-nước; Giảm sức cản; Tự làm sạch; Polysiloxan; Nano-silicas.

ABSTRACT

Superhydrophobic (SH) materials have attracted considerable attention due to their wide range of practical applications, such as self-cleaning, drag reduction, and oil-water separation. However, current fabrication processes for SH materials are often complex, requiring advanced equipment and high costs, which significantly limit their large-scale applications. Therefore, developing a novel, simple, environmentally friendly, and low-cost fabrication method is highly desirable. In this study, we successfully fabricated a superhydrophobic coating based on polysiloxane and nano-silica particles, achieving a water contact angle (CA) > 150° and a sliding angle (SA) < 10°. The durability of the coating was evaluated using the tape peeling test, and the results showed that on rough substrates such as sandpaper, the coating maintained a CA > 150° after 15 peeling cycles. In addition, the superhydrophobic coating was assessed for self-cleaning, drag reduction, and oil-water separation properties. The obtained results demonstrate that the fabricated coating meets the requirements for practical applications.

Keywords: Superhydrophobic coating; Oil-water separation; Drag reduction; Self-cleaning; Nano-silica.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu siêu kỵ nước (SH) là vật liệu có đặc tính chống thấm nước với góc tiếp xúc giữa giọt nước và bề mặt vật rắn lớn hơn 150° , và góc trượt của giọt nước khỏi bề mặt nhỏ hơn 10° . Đặc tính này có được do lớp không khí bị giữ lại giữa bề mặt siêu kỵ nước và nước khi chúng tiếp xúc với nhau. Trong những năm gần đây, vật liệu siêu kỵ nước được phát triển theo hướng ứng dụng vào các lĩnh vực trong thực tế như: tự làm sạch, giảm sức cản, phân tách hỗn hợp dầu-nước [1-2]. Ngày nay, nhiều phương pháp chế tạo vật liệu SH đã được phát triển. Tuy nhiên, quy trình chế tạo còn khá phức tạp, sử dụng hóa chất độc hại, yêu cầu máy móc hiện đại, độ bền của bề mặt SH còn yếu [3]. Chính những điều này đã làm hạn chế khả năng ứng dụng của vật liệu SH vào thực tế. Từ đó, việc phát triển những phương pháp mới với dụng cụ đơn giản, không sử dụng hóa chất độc hại, hiệu quả về kinh tế, độ bền cao, đang là hướng nghiên cứu của các nhà khoa học. Việc kết hợp vật liệu polymer với năng lượng bề mặt thấp và các hạt có kích thước nano để chế tạo vật liệu SH đang được sự quan tâm của các nhà khoa học [4-5]. Vật liệu Polymer được sử dụng như vật liệu kết dính trong khi đó các chất độn nano như hạt silica, titan, carbon soot đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành cấu trúc của bề mặt SH [6-9].

Đã có nhiều phương pháp khác nhau để chế tạo vật liệu SH từ polymer và hạt nano được các nhà khoa học công bố như lithography, thermal templating, plasma etching, coatings, tuy nhiên hầu hết các phương pháp này còn khá phức tạp, khó chế tạo với diện tích lớn, bề mặt cong. Thêm vào đó, lớp phủ bề mặt với tính chất siêu kỵ nước còn yếu, có thể dễ dàng bị phá hủy bởi những tác động cơ học, hóa học. Ví dụ, Yonghao Xiu et al.[10] chế tạo thành

công bề mặt SH bằng nhựa epoxy và hạt nano silica. Đầu tiên, nhựa epoxy và hạt silica được sử dụng để tạo thành một lớp composite phủ nền bề mặt chất nền; sau đó, bề mặt composite được xử lý bằng O_2 plasma để tạo độ nhám bề mặt; cuối cùng, bề mặt tiếp tục được xử lý bằng hóa chất silan fluoroalkyl để tạo ra bề mặt SH. Phương pháp này không chỉ phức tạp, không thân thiện với môi trường mà còn khó sản xuất với quy mô lớn. Ở Việt Nam, một báo cáo trong nước tiêu biểu về vật liệu này được công bố bởi tác giả Tường-Vũ Mạnh et al. [11]. Nghiên cứu này áp dụng công nghệ nano để tạo ra lớp phủ TiO_2 và ZnO siêu kỵ nước. Tuy nhiên, độ bền cũng như khả năng ứng dụng của lớp phủ cũng chưa được đánh giá.

Việc phát triển một phương pháp chế tạo mới để tạo ra lớp phủ SH đơn giản, thân thiện với môi trường, giá thành thấp là thực sự cần thiết, từ đó cho phép nâng cao khả năng ứng dụng vật liệu SH vào thực tiễn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã chế tạo thành công lớp phủ siêu kỵ nước thông qua phương pháp phun dung dịch gồm acetone, silica, toluene và polysiloxane lên bề mặt vật liệu nền. Lớp phủ thể hiện tính năng siêu kỵ nước với góc tiếp xúc (CA) $> 150^\circ$ và góc trượt (SA) $< 10^\circ$. Độ bám dính của lớp phủ được đánh giá thông qua phép thử bóc tách bằng băng dính. Kết quả cho thấy trên bề mặt vật liệu nền có độ nhám cao như giấy nhám, lớp phủ có độ bám dính tốt hơn và duy trì được CA $> 150^\circ$ sau 15 chu kỳ bóc. Ngoài ra, lớp phủ siêu kỵ nước cũng thể hiện tốt các tính năng như giảm sức cản và phân tách dầu-nước, qua đó thể hiện tiềm năng ứng dụng thực tế của phương pháp chế tạo được đề xuất trong nghiên cứu này.

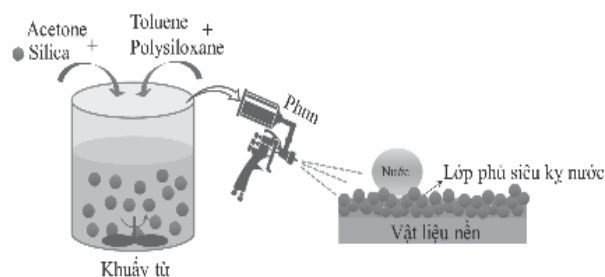
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Vật liệu dùng trong nghiên cứu bao gồm: Polysiloxane (Soft AB Glue 8808) được cung cấp bởi Công ty Hóa chất Long Vũ, Việt Nam. Aceton (C_3H_6O , độ tinh khiết $\geq 99\%$) và toluene (C_7H_8 , độ tinh khiết $\geq 99\%$) được cung cấp bởi Công ty Việt Mỹ Chemistry, Việt Nam. Hạt nano-silica kỵ nước (SiO_2 , diện tích bề mặt riêng $\sim 120 \text{ m}^2/\text{g}$) được cung cấp bởi Công ty Hubei Huifu Nanomaterial, Trung Quốc.

2.2. Quy trình chế tạo lớp phủ siêu kỵ nước

Quy trình chế tạo lớp phủ siêu kỵ nước được thể hiện như hình 1. Trước tiên, dung dịch gồm Polysiloxane/Toluene được hòa trộn theo tỷ lệ về khối lượng là 1/4 và được khuấy gia nhiệt bằng máy khuấy từ tại 50°C trong thời gian 45 phút. Tiếp theo, dung dịch gồm Silica/Acetone được hòa trộn theo tỷ lệ về khối lượng là 1/15 và được khuấy bằng tay trong 5 phút sao cho silica hòa tan hoàn toàn trong Aceton. Sau đó, hai dung dịch này được pha trộn với nhau và thêm chất đông rắn của Polysiloxane vào với tỷ lệ về khối lượng là 1:10. Tiếp theo đó, hỗn hợp dung dịch trên tiếp tục được khuấy đều bằng máy khuấy từ ở nhiệt độ 50°C trong thời gian 5 phút. Dung dịch thu được sau khi khuấy đều sẽ được phun lên bề mặt vật liệu Polyethylene (PE), gỗ, composite và giấy nhám có kích thước $40 \times 40 \text{ mm}$ dưới áp suất phun khoảng 0.3 MPa trong thời gian 20 giây, khoảng cách từ đầu phun tới vật bề mặt phủ khoảng 25 cm .



Hình 1. Quy trình chế tạo lớp phủ siêu kỵ nước

2.3. Phương pháp đánh giá tính siêu kỵ nước

Cấu trúc bề mặt lớp phủ được quan sát bằng Kính hiển vi kim tương K40M-F200 microscope. Thành phần hóa học của lớp phủ được xác định bằng phương pháp Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (Bruker Tensor 27 FT-IR Spectrometer). Góc CA của bề mặt phủ được xác định như sau: Nhỏ giọt nước có kích thước khoảng $10 \mu\text{l}$ lên bề mặt vật liệu nền. Sau đó, chụp ảnh giọt nước sau khi tiếp xúc ổn định với bề mặt. Sử dụng phần mềm ImageJ để đo góc tiếp xúc giọt nước trên ảnh chụp được. Đối với góc SA, sử dụng phần mềm ImageJ để phân tích hình ảnh tại thời điểm giọt nước bắt đầu lăn khỏi bề mặt sau khi bị nghiêng. Giá trị của góc CA và SA là giá trị trung bình của 5 mẫu đo.

2.4. Phương pháp đánh giá độ bền

Độ bền của lớp phủ được đánh giá thông qua thử nghiệm bóc tách bằng băng dính (Acrylic, 2.5 N/cm^2). Băng dính sẽ được dính lên bề mặt lớp phủ sao cho đảm bảo tiếp xúc hoàn toàn với bề mặt, sau đó băng dính được bóc ra. Thao tác này được lặp lại cho tới khi kết thúc quá trình kiểm tra. Giá trị góc CA sẽ được ghi lại trong quá trình kiểm tra.

2.5. Ứng dụng của lớp phủ siêu kỵ nước

2.5.1. Khả năng giảm sức cản

Khả năng giảm sức cản của lớp phủ siêu kỵ nước được đánh giá dựa trên mô hình trượt Navier:

$$\tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = \frac{\mu u_s}{\lambda}$$

Trong đó:

- τ_w (Pa) là ứng suất cắt tại thành ống (wall shear stress) - là lực cản mà thành ống tác

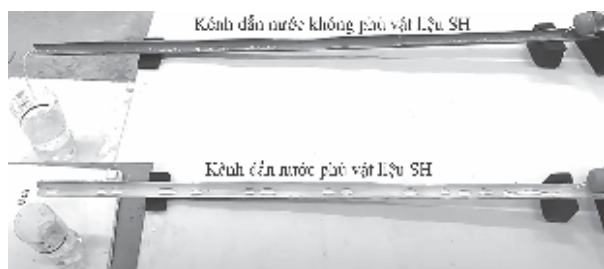
động lên dòng chất lỏng do độ nhớt;

- μ (Pa.s) là độ nhớt động lực học (dynamic viscosity) của chất lỏng;

- u_s (m/s) là vận tốc trượt tại bề mặt;

- λ (m) là độ dài trượt (slip length).

Theo mô hình Navier, bề mặt có lực cản thấp cho phép tăng lưu lượng dòng chảy. Từ đó, thí nghiệm kiểm tra khả năng giảm sức cản được thực hiện như hình 2: Trước tiên, một chai đựng nước được đặt nghiêng một góc 15° so với mặt phẳng ngang và một kênh dẫn nước được đặt nghiêng một góc 10° , chai nước sẽ cấp nước chảy qua kênh dẫn trong một khoảng thời gian cố định, nước sẽ được thu lại tại bình chứa. Tiếp theo, phủ lớp vật liệu SH lên kênh dẫn nước. Lượng nước thu lại được trong trường hợp kênh nước được phủ vật liệu SH và kênh nước không được phủ sẽ được đánh giá. Kết quả thu được sẽ thể hiện khả năng giảm sức cản của lớp phủ SH.



Hình 2. Dòng chảy qua kênh dẫn nước phủ và không phủ vật liệu siêu kỵ nước

2.5.2. Khả năng phân tách hỗn hợp dầu-nước

Để đánh giá khả năng phân tách hỗn hợp dầu-nước của lớp phủ SH, lưới nhôm kỵ nước sẽ được chế tạo bằng cách phủ lớp vật liệu SH lên bề mặt lưới. Lưới nhôm kỵ nước có khả năng chặn nước trên bề mặt lưới trong khi vẫn cho dầu đi qua. Trong nghiên cứu này, lưới nhôm kỵ nước được gấp thành dạng “thuyền vuông” (40×40 mm) và kết hợp với một khối foam có khả năng hấp thụ dầu được đặt bên

trong lưới, thiết kế này cho phép hấp thụ dầu tràn trên mặt nước một cách hiệu quả, tăng hiệu suất tách dầu-nước.

Hiệu suất tách dầu-nước được tính bằng công thức sau:

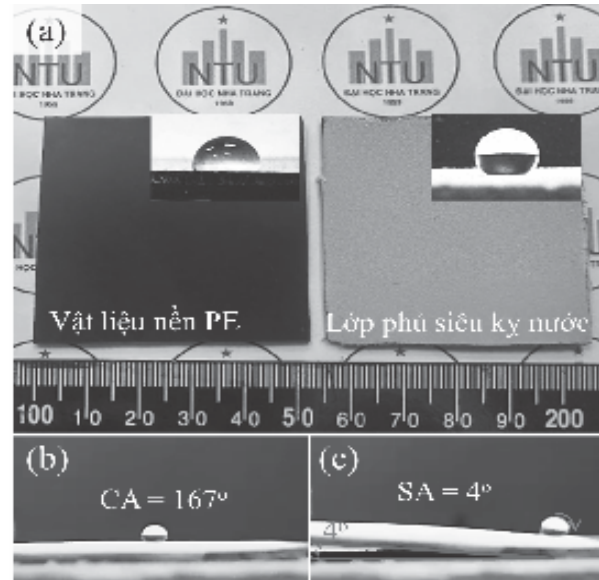
$$E = V_1/V_0 \times 100\%$$

Trong đó: E là hiệu suất tách dầu-nước, V_1 biểu thị thể tích dầu ban đầu và V_0 biểu thị thể tích dầu sau khi tách.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khả năng siêu kỵ nước của lớp phủ

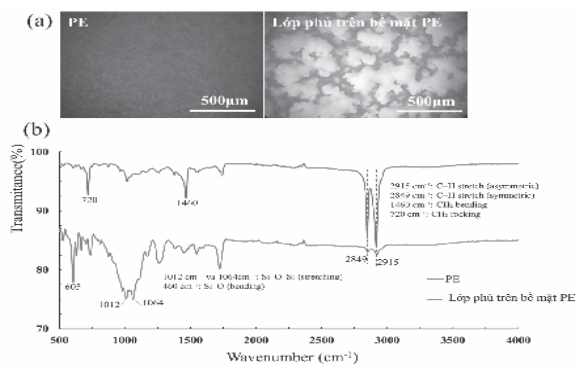
Lớp phủ trên vật liệu nền PE thể hiện tính siêu kỵ nước với góc CA = 167° và góc SA = 4° như Hình 3.



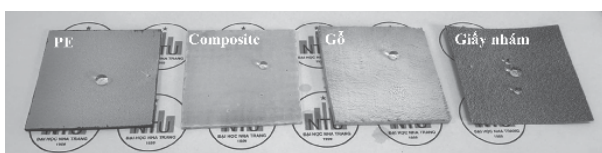
Hình 3. (a) Bề mặt vật liệu PE trước và sau khi phủ lớp siêu kỵ nước; (b), (c) lần lượt thể hiện giá trị của góc CA và SA

Đặc tính siêu kỵ nước của lớp phủ đạt được do cấu trúc nhám của bề mặt và năng

lượng bề mặt thấp, được thể hiện trong Hình 4. Hình 4a cho thấy các hạt nano-silica liên kết chặt chẽ với vật liệu Polysiloxane hình thành nên các cấu trúc có kích thước micromet. Phổ FTIR của PE và PE sau khi được phủ lớp vật liệu kỵ nước được thể hiện trong Hình 4b. Đối với PE, các đỉnh hấp thụ đặc trưng được quan sát tại 2915 cm^{-1} và 2849 cm^{-1} , tương ứng với dao động kéo giãn bất đối xứng và đối xứng của liên kết C-H; tại 1460 cm^{-1} và 720 cm^{-1} , lần lượt liên quan đến dao động uốn của nhóm CH_2 và dao động lắc của CH_2 . Trong khi đó, phổ của PE sau khi phủ xuất hiện thêm các đỉnh mới tại 1012 cm^{-1} và 1064 cm^{-1} , đặc trưng cho dao động kéo giãn Si-O-Si, và tại 460 cm^{-1} liên quan đến dao động uốn Si-O [12-14]. Sự xuất hiện của các đỉnh này chứng tỏ rằng lớp polysiloxane/nano-silica đã được phủ thành công trên bề mặt PE, góp phần hình thành bề mặt kỵ nước. Ngoài ra, lớp vật liệu siêu kỵ nước cũng được phủ thành công trên nhiều loại vật liệu khác nhau như gỗ, composites, giấy nhám (Hình 5).



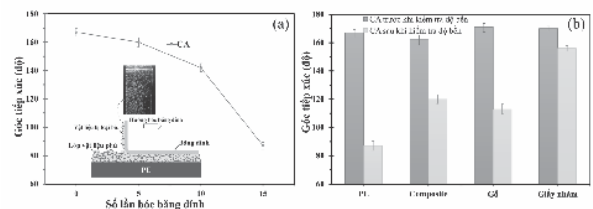
Hình 4. (a) Cấu trúc bề mặt của vật liệu PE trước và sau khi phủ lớp siêu kỵ nước, (b) thành phần hóa học của bề mặt của vật liệu PE trước và sau khi phủ lớp siêu kỵ nước.



Hình 5. Phủ lớp siêu kỵ nước trên nhiều loại vật liệu khác nhau

3.2. Độ bền của lớp phủ

Độ bền cơ học của lớp phủ siêu kỵ nước được đánh giá thông qua phép thử bóc tách bằng băng dính, kết quả được trình bày trong Hình 6. Hình 6a cho thấy giá trị góc CA của lớp phủ trên bề mặt PE giảm dần khi số lần bóc băng dính tăng lên. Sau 15 lần thử, CA giảm xuống còn 87° . Bên cạnh đó, Hình 6b so sánh sự thay đổi giá trị CA của lớp phủ sau 15 lần bóc băng dính trên các loại nền khác nhau. Kết quả chỉ ra rằng trên bề mặt có độ nhám cao như giấy nhám, lớp phủ duy trì $\text{CA} > 150^\circ$ ngay cả sau kiểm tra độ bền, trong khi trên nền PE, composite và gỗ, giá trị CA giảm đáng kể. Điều này cho thấy độ nhám bề mặt đóng vai trò quan trọng trong việc gia tăng độ bám dính và duy trì tính siêu kỵ nước của lớp phủ. Như vậy, kết quả thử nghiệm khẳng định rằng lớp phủ siêu kỵ nước chế tạo trong nghiên cứu không chỉ đạt được đặc tính kỵ nước cao mà còn thể hiện độ bền cơ học tốt đối với vật liệu nền có độ nhám bề mặt lớn.



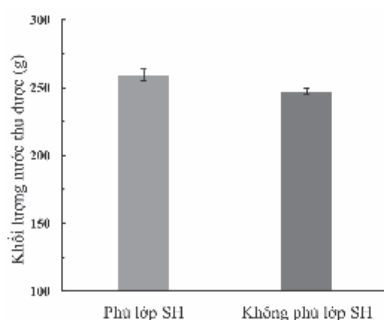
Hình 6. (a) Sự thay đổi giá trị góc CA của lớp phủ trên bề mặt PE sau nhiều lần bóc băng dính, (b) sự thay đổi giá trị góc CA của lớp phủ trên sau 15 lần bóc băng dính trên những loại vật liệu khác nhau.

3.3. Khả năng giảm sức cản của lớp phủ

Theo Hình 2, sự khác biệt về dòng chảy trong hai trường hợp kênh dẫn nước không phủ và phủ vật liệu SH được thể hiện rõ ràng. Trên kênh dẫn nước được phủ vật liệu SH, nước không thấm hay lan ra mà co lại thành các giọt tròn. Điều này là do góc tiếp xúc giữa giọt nước

và bề mặt lớn hơn 150° . Nghĩa là phần lớn thể tích giọt nước không dính vào bề mặt, mà gần như “ngồi” trên nó. Không chỉ có góc tiếp xúc lớn, mà sự chênh lệch giữa góc tiếp xúc tiến và lùi (tức là khi giọt nước bắt đầu chuyển động và dừng lại) cũng rất nhỏ. Điều này đồng nghĩa với việc giọt nước rất dễ lăn trên bề mặt. Khi tiếp xúc với nước, bề mặt SH giữ lại các túi khí giữa các cấu trúc micro-nano tạo thành một lớp đệm không khí. Nhờ đó, nước không thực sự tiếp xúc hoàn toàn với vật liệu rắn, mà chỉ nằm trên lớp không khí này, hiện tượng này tuân theo mô hình Cassie-Baxter, điều này giúp giọt nước dễ lăn hơn là chảy thành dòng.

Theo Mô hình trượt Navier, lớp đệm không khí sẽ làm tăng giá trị độ dài trượt (λ), từ đó làm giảm lực ma sát (τ_w) và lực dính giữa nước và bề mặt. Điều này cũng được chứng minh thông qua lượng nước thu được của hai trường hợp trong cùng một khoảng thời gian 50 giây như hình 7. Lượng nước thu được trong trường hợp kênh dẫn có lớp phủ vật liệu SH lớn hơn đáng kể so với trường hợp không có lớp phủ, điều này có được là do lực cản thấp của lớp SH dẫn tới dòng chảy nhanh hơn và thu được lượng nước nhiều hơn.

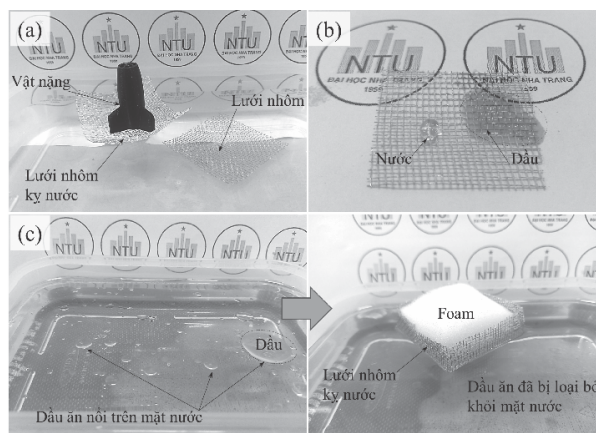


Hình 7. Khối lượng nước thu được trong trường hợp có lớp phủ và không có lớp phủ siêu kỵ nước.

3.4. Khả năng phân tách hỗn hợp dầu-nước

Hình 8 thể hiện rõ ràng các đặc tính siêu

kỵ nước và khả năng tách dầu-nước của lưới nhôm sau khi được phủ lớp vật liệu kỵ nước. Cụ thể, ở Hình 8a, lưới nhôm phủ lớp kỵ nước vẫn nổi trên bề mặt nước ngay cả khi chịu tác động của vật nặng, cho thấy bề mặt đã đạt được tính kỵ nước vượt trội. Hình 8b chứng minh tính chọn lọc pha của lưới: dầu dễ dàng thấm qua trong khi nước hoàn toàn bị ngăn lại. Lưới siêu kỵ nước phủ Polysiloxane/silica hoạt động dựa trên sự kết hợp giữa cấu trúc nano của silica và lớp phủ năng lượng bề mặt thấp từ Polysiloxane. Lớp phủ tạo ra mạng Si-O-Si nhám vi mô và các nhóm kỵ nước $-CH_3$, $-CH_2$ giúp bề mặt có năng lượng thấp. Khi tiếp xúc với hỗn hợp dầu-nước, nước bị đẩy lùi do hiệu ứng Cassie-Baxter, trong khi dầu với sức căng bề mặt thấp dễ dàng thấm qua lưới nhờ tính ưa dầu và cơ chế Wenzel. Nhờ đó, lưới thể hiện khả năng siêu kỵ nước, siêu ưa dầu, cho phép tách dầu hiệu quả và ổn định [15, 16]. Hình 8c mô tả ứng dụng thực tiễn, khi lưới nhôm kỵ nước kết hợp với foam loại bỏ hiệu quả lớp dầu ăn nổi trên mặt nước, kết quả thu được cho thấy hiệu suất tách dầu-nước đạt 85%. Điều này mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong việc tách dầu khỏi môi trường nước của lớp phủ siêu kỵ nước.



Hình 8. (a) Lưới nhôm nổi trên mặt nước sau khi được phủ lớp kỵ nước, (b) Lưới nhôm phủ lớp kỵ nước cho dầu đi qua và chặn không cho nước đi qua, (c) Quá trình lọc dầu thực vật nổi trên mặt nước

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, lớp phủ siêu kỵ nước dựa trên polysiloxane và hạt nano-silica đã được chế tạo thành công bằng phương pháp đơn giản và không đòi hỏi trang thiết bị phức tạp. Độ bền cơ học của lớp phủ được đánh giá trên nhiều loại bề mặt nền khác nhau, kết quả cho thấy độ bền phụ thuộc đáng kể vào độ nhám bề mặt. Cụ thể, trên giấy nhám, lớp phủ duy trì được góc tiếp xúc nước lớn hơn 150° ngay cả sau 15 lần thử bóc tách bằng băng dính. Ngoài ra, lớp phủ siêu kỵ nước trên kênh dẫn nước thể hiện khả năng giảm sức cản, với lượng nước thu được đạt 259,25 g so với 247,14 g ở kênh không phủ. Trên lưới nhôm, lớp phủ cũng cho thấy hiệu quả cao trong tách dầu-nước, đạt hiệu suất khoảng 85%. Những kết quả này khẳng định tiềm năng của phương pháp chế tạo được đề xuất, đồng thời mở ra triển vọng ứng dụng lớp phủ siêu kỵ nước trong thực tiễn, đặc biệt là trong kiểm soát và xử lý sự cố tràn dầu trên mặt nước.

*Ghi nhận hỗ trợ:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nha Trang theo mã số đề tài TR2023-13-37. ❖

Ngày nhận bài: 16/9/2025

Ngày phản biện: 01/10/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Zhang S., Huang J., Chen Z., Lai Y., "Bioinspired special wettability surfaces: from fundamental research to water harvesting applications". *Small*, Vol. 13, pp. 1-28, 2017.
- [2]. Xu C.L., Song F., Wang X.L., Wang Y.Z., "Surface modification with hierarchical CuO arrays toward a flexible, durable superhydrophobic and self-cleaning material". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 313, pp. 1328-1334, 2017.
- [3]. Chun D.M., Ngo C.V., Lee K.M., "Fast fabrication of superhydrophobic metallic surface using nanosecond laser texturing and low-temperature annealing". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 65, pp. 519-522, 2016.
- [4]. Cao M., Jin X., Peng Y., Yu C., Li K., Liu K., Jiang L., "Unidirectional wetting properties on multi-bioinspired magnetocontrollable slippery microcilia". *Advanced Materials*, Vol. 29, pp. 1-6, 2017.
- [5]. Dinh T.H., Ngo C.V., Chun D.M., "Controlling the wetting properties of superhydrophobic titanium surface fabricated by UV nanosecond-pulsed laser and heat treatment". *Nanomaterials*, Vol. 8, 2018.
- [6]. Do V.T., Tran N.G., Chun D.M., "Fabrication of robust superhydrophobic micro-nano hierarchical surface structure using compression molding with carbon soot nanoparticles and thermoplastic polymer". *Polymer*, Vol. 251, pp. 124893, 2022.
- [7]. Do V.T., Chun D.M., "Fabrication of large-scale, flexible, and robust superhydrophobic composite films using hydrophobic fumed silica nanoparticles and polydimethylsiloxane". *Polymer*, Vol. 244, pp. 124630, 2022.
- [8]. Do V.T., Chun D.M., "Facile fabrication of extreme-wettability contrast surfaces for efficient water harvesting using hydrophilic and hydrophobic silica nanoparticles". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 671, pp. 131664, 2023.
- [9]. Erdene-Ochir O., Do V.T., Chun D.M., "Facile fabrication of durable and flexible superhydrophobic surface with polydimethylsiloxane and silica nanoparticle coating on a polyethylene terephthalate film by hot-roll lamination". *Polymer*, Vol. 255, pp. 125158, 2022.
- [10]. Xiu Y., Liu Y., Balu B., Hess D.W., Wong C., "Robust superhydrophobic surfaces prepared with epoxy resin and silica nanoparticles". *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 2, pp. 395-401, 2012.
- [11]. Tuong V.M., et al., "Fabrication of superhydrophobic surface on wood by micro/nano composite coating technology". *TNU Journal of Science and Technology*, Vol. 189, No. 13, pp. 3-8, 2018.
- [12]. Wang L., Zhang J., Li Y., "Facile fabrication of superhydrophobic silica coatings for self-cleaning applications". *Applied Surface Science*, Vol. 478, pp. 601-610, 2019.
- [13]. Xue C.H., Jia S.T., Zhang J., Ma J.Z., "Large-area fabrication of superhydrophobic surfaces for practical applications: An overview". *Langmuir*, Vol. 28, pp. 10552-10559, 2012.
- [14]. Latthe S.S., Terashima C., Nakata K., Fujishima A., "Self-cleaning superhydrophobic coatings: potential industrial applications". *Progress in Organic Coatings*, Vol. 128, pp. 52-78, 2019.
- [15]. Xu J., Chen Y., Shen L., et al., "Fabrication of superhydrophobic stainless-steel mesh for oil-water separation by jet electrodeposition". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 649, pp. 129434, 2022.
- [16]. Luo Q., et al., "Continuous separation of oil-water mixture by a double-layer corrugated channel structure with superhydrophobicity and superoleophilicity". *Separation and Purification Technology*, Vol. 269, pp. 118647, 2021.