

BỘ GIÁO DỤC  
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Thị Kim Anh

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG  
CỦA LỚP PHỦ HỮU CƠ TRÊN CƠ SỞ NHỰA ACRYLIC  
NHỮ TƯƠNG CHỨA HẠT NANO HYDROTALCITE LAI Ag  
VÀ HẠT  $Cu_2O$ -Ag**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC VẬT CHẤT**

**Ngành: Hóa hữu cơ**

**Mã số: 8440114**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS.TS. Nguyễn Thúy Chinh

2. GS.TS. Thái Hoàng

*Hà Nội - 2026*

## LỜI CAM ĐOAN

*Tôi xin cam đoan đề tài nghiên cứu trong luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi và cộng sự dựa trên những tài liệu, số liệu do tôi và cộng sự tìm hiểu và nghiên cứu dưới sự hướng dẫn của PGS.TS.Nguyễn Thúy Chinh và GS.TS.Thái Hoàng. Chính vì vậy, các kết quả nghiên cứu đảm bảo trung thực và khách quan nhất. Đồng thời, kết quả này chưa từng xuất hiện trong bất cứ một nghiên cứu nào. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực nếu sai tôi hoàn chịu trách nhiệm trước pháp luật.*

**Học viên**



**Nguyễn Thị Kim Anh**

## LỜI CẢM ƠN

Đề tài " Nghiên cứu chế tạo và đánh giá một số đặc trưng của lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic nhũ tương chứa hạt nano hydroxycalcite lai Ag và hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ " là nội dung được tôi chọn để tiến hành nghiên cứu và làm luận văn thạc sĩ sau 2 năm học tập chuyên ngành hóa hữu cơ tại Học viện Khoa học và Công nghệ.

Để hoàn thành quá trình nghiên cứu và hoàn thiện luận văn này, trước tiên tôi chân thành cảm ơn PGS.TS.Nguyễn Thúy Chinh, người đã trực tiếp chỉ bảo, hướng dẫn và giám sát tôi trong suốt quá trình nghiên cứu. Tôi xin gửi lời cảm ơn tới GS.TS.Thái Hoàng, người thầy đã trực tiếp hỗ trợ tôi trong quá trình hoàn thiện và bảo vệ luận văn này. Bên cạnh đó, tôi xin gửi lời cảm ơn tới ban Lãnh đạo, phòng Đào tạo, các phòng chức năng của Học viện Khoa học và Công nghệ đã tạo điều kiện để luận văn được hoàn thành.

Nhân dịp này, tôi cũng xin cảm ơn các anh chị em đang công tác tại Viện Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tạo điều kiện, giúp đỡ và hỗ trợ tôi trong suốt quá trình nghiên cứu và thực nghiệm.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn tới gia đình, bạn bè là những người đã luôn bên cạnh, động viên tôi trong suốt quá trình học tập và thực hiện luận văn này.

Xin chân thành cảm ơn!

**Học viên**



**Nguyễn Thị Kim Anh**

## MỤC LỤC

DANH SÁCH TỪ VÀ CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	I
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	II
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ.....	III
MỞ ĐẦU .....	1
1. Lý do chọn đề tài.....	1
2. Mục đích nghiên cứu.....	1
3. Nội dung nghiên cứu .....	1
4. Cơ sở khoa học và tính thực tiễn của đề tài.....	2
5. Những đóng góp của luận văn.....	2
Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU .....	3
1.1. GIỚI THIỆU LỚP PHỦ HỮU CƠ.....	3
1.1.1. Khái niệm lớp phủ hữu cơ.....	3
1.1.2. Thành phần cơ bản của lớp phủ hữu cơ.....	3
1.1.3. Cơ chế hình thành màng phủ.....	4
1.1.4. Lớp phủ acrylic nhũ tương.....	4
1.1.5. Ưu điểm và hạn chế của lớp phủ acrylic.....	4
1.2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ NANO VÀ VẬT LIỆU NANO ..	5
1.2.1. Khái niệm công nghệ nano và vật liệu nano .....	5
1.2.2. Đặc trưng của vật liệu nano .....	5
1.2.3. Vai trò của vật liệu nano trong lớp phủ.....	6
1.2.4. Xu hướng ứng dụng công nghệ nano trong lớp phủ hiện nay...6	
1.3. TỔNG QUAN VỀ NANO BẠC .....	7
1.3.1. Đặc điểm cấu trúc và tính chất của nano bạc.....	7
1.3.2. Cơ chế kháng khuẩn của nano bạc.....	7
1.3.4. Ưu điểm và hạn chế của nano bạc .....	8
1.4. TỔNG QUAN VỀ NANO $\text{Cu}_2\text{O}$ .....	9
1.4.1. Đặc điểm cấu trúc và tính chất của nano $\text{Cu}_2\text{O}$ .....	9
1.4.2. Cơ chế kháng khuẩn của nano $\text{Cu}_2\text{O}$ .....	10
1.4.3. Ưu điểm và hạn chế của nano $\text{Cu}_2\text{O}$ .....	11
1.5. TỔNG QUAN VỀ HYDROTALCITE.....	11
1.6. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU TRÊN THẾ GIỚI VÀ TRONG NƯỚC.....	13
1.7. SỰ CẦN THIẾT CỦA ĐỀ TÀI.....	14
Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	16
2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU .....	16
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu chính.....	16

2.1.2. Thiết bị.....	16
2.1.3. Hóa chất.....	16
<b>2.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....</b>	<b>16</b>
2.2.1. Chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano.....	16
2.2.2. Đặc trưng, tính chất và hình thái của lớp phủ.....	18
2.2.2.1. Độ bám dính.....	18
2.2.2.2. Độ cứng tương đối.....	19
2.2.2.3. Độ bền cào xước.....	20
2.2.2.4. Độ bóng góc 60°.....	20
2.2.2.5. Độ hao hụt khối lượng.....	21
2.2.2.6. Độ sai lệch màu.....	21
2.2.2.7. Phân tích cấu trúc và hình thái.....	22
<b>Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. TÍNH CHẤT CƠ HỌC.....</b>	<b>24</b>
3.1.1. Độ bám dính.....	24
3.1.2. Độ cứng con lắc và độ cứng bút chì.....	25
3.1.3. Độ bền cào xước.....	27
3.1.4. Độ bóng.....	28
<b>3.2. HÌNH THÁI CẤU TRÚC.....</b>	<b>29</b>
3.2.1. Hiển vi soi nổi.....	29
3.2.2. Hiển vi kim tương.....	31
<b>3.3. ĐỘ BỀN THỜI TIẾT.....</b>	<b>32</b>
3.3.1. Sự thay đổi khối lượng.....	32
3.3.2. Sự thay đổi màu sắc.....	34
3.3.3. Sự thay đổi độ bóng.....	35
3.3.4. Sự thay đổi cấu trúc.....	36
<b>3.4. KHẢ NĂNG KHÁNG KHUẨN.....</b>	<b>39</b>
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....</b>	<b>43</b>
KẾT LUẬN.....	43
KIẾN NGHỊ.....	43
<b>DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>44</b>

## DANH SÁCH TỪ VÀ CÁC TỪ VIẾT TẮT

<b>Viết tắt</b>	<b>Từ</b>
AgNPs	: Hạt nano bạc
HT	: Hydrotalcite magnesium-aluminium
AC	: Acrylic
AC/Cu <sub>2</sub> O	: Lớp phủ acrylic chứa 1% HT-Cu <sub>2</sub> O theo khối lượng
AC/HT	: Lớp phủ acrylic chứa 1% HT theo khối lượng
AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	: Lớp phủ acrylic chứa 1% Cu <sub>2</sub> O-Ag theo khối lượng
AC/HT-Ag	: Lớp phủ acrylic chứa 1% HT-Ag theo khối lượng
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	: Lớp phủ acrylic chứa 0,5% HT-Ag và 0,5 % Cu <sub>2</sub> O-Ag theo khối lượng
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	: Lớp phủ acrylic chứa 0,5% HT-Ag và 0,5 % Cu <sub>2</sub> O theo khối lượng
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	: Lớp phủ acrylic chứa 0,25% HT-Ag và 1 % Cu <sub>2</sub> O-Ag theo khối lượng

## DANH MỤC CÁC BẢNG

<i>Bảng 2.1. Danh mục các hóa chất chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano HT-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag.....</i>	16
<i>Bảng 2.2. Tỷ lệ thành phần và kí hiệu mẫu tương ứng.....</i>	17
<i>Bảng 3.1. Giá trị độ bám dính điểm và độ bám dính giật dolly của các mẫu thực nghiệm.....</i>	24
<i>Bảng 3.2. Độ cứng con lăn và độ cứng bút chì của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.....</i>	26
<i>Bảng 3.3. Độ bền cào xước của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano..</i>	27
<i>Bảng 3.4. Độ bóng của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.....</i>	28
<i>Bảng 3.5. Sự thay đổi khối lượng của các lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7, 14 và 21 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	33
<i>Bảng 3.6. Sự thay đổi màu sắc của các lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7, 14 và 21 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	34
<i>Bảng 3.7. Chỉ số carbonyl các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	38
<i>Bảng 3.8. Số lượng vi khuẩn Escherichia coli (EC) và Staphylococcus aureus (SA) có trong các mẫu thí nghiệm.....</i>	39

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

<i>Hình 1.1. Cơ chế kháng khuẩn của hạt nano bạc [16].....</i>	<i>8</i>
<i>Hình 1.2. Tỷ lệ phần trăm của những sản phẩm có chứa AgNPs [12].....</i>	<i>9</i>
<i>Hình 1.3. Cơ chế kháng khuẩn của hạt nano Cu<sub>2</sub>O [24].....</i>	<i>11</i>
<i>Hình 1.4. Cấu trúc hydrotalcite [28].....</i>	<i>12</i>
<i>Hình 2.1. Sơ đồ quy trình tạo mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano.....</i>	<i>17</i>
<i>Hình 2.2. Hình ảnh các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano trên nền kính....</i>	<i>18</i>
<i>Hình 2.3. Hình ảnh các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano trên nền bê tông</i>	<i>18</i>
<i>Hình 2.4. Hình ảnh thiết bị kiểm tra độ bám dính phủ tự động.....</i>	<i>19</i>
<i>Hình 2.5. Hình ảnh thiết bị Elcometer 3000 Manual Clemen Unit.....</i>	<i>20</i>
<i>Hình 2. 6. Hình ảnh thiết bị Erichsen Picogloss model 503.....</i>	<i>21</i>
<i>Hình 2.7. Hình ảnh kính hiển vi kim tương GX53, Olympus.....</i>	<i>22</i>
<i>Hình 2.8. Hình ảnh máy quang phổ Nicolet iS10.....</i>	<i>22</i>
<i>Hình 3.1. Biểu đồ so sánh độ bám dính giết dolly của các mẫu lớp phủ....</i>	<i>25</i>
<i>Hình 3.2. Biểu đồ so sánh độ cứng con lắc của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.....</i>	<i>27</i>
<i>Hình 3.3. Biểu đồ so sánh độ bóng của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.....</i>	<i>29</i>
<i>Hình 3.4. Ảnh hiển vi soi nổi của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano</i>	<i>30</i>
<i>Hình 3.5. Ảnh hiển vi kim tương của các mẫu AC (a,b); AC/Cu<sub>2</sub>O (c,d); AC/HT (e,f); AC/Cu<sub>2</sub>O-Ag (g,h).....</i>	<i>31</i>
<i>Hình 3.6. Ảnh hiển vi kim tương của các mẫu AC/HT-Ag (i,k); AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag (l,m); AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O (n,o); AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag (p,q).....</i>	<i>32</i>
<i>Hình 3.7. Biểu đồ thể hiện sự thay đổi độ bóng của các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	<i>35</i>

<i>Hình 3.8. Phổ IR của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano trước khi thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	<i>37</i>
<i>Hình 3.9. Phổ IR của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết.....</i>	<i>37</i>
<i>Hình 3.10. Các mẫu màng khi ngâm vào môi trường LB tại thời điểm 0 giờ. ĐC1: màng 1; ĐC2: màng 2; ĐC3: màng 3; ĐC4: màng 4.....</i>	<i>41</i>
<i>Hình 3.11. Các mẫu màng khi ngâm vào môi trường LB sau 24 giờ lắc ở nhiệt độ 37°C, tốc độ lắc 200 vòng/phút. ĐC1: màng 1; ĐC2: màng 2; ĐC3: màng 3; ĐC4: màng 4.....</i>	<i>41</i>
<i>Hình 3.12. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn Escherichia coli tại thời điểm 0 giờ nuôi cấy (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.7). ....</i>	<i>41</i>
<i>Hình 3.13. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn Staphylococcus aureus tại thời điểm 0 giờ nuôi cấy (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.7). ....</i>	<i>42</i>
<i>Hình 3.14. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn Escherichia coli sau 24 giờ nuôi cấy ở nhiệt độ 37°C, lắc 200 vòng/phút (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.7). ....</i>	<i>42</i>
<i>Hình 3.15. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn Staphylococcus aureus sau 24 giờ nuôi cấy ở nhiệt độ 37°C, lắc 200 vòng/phút (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.7). ....</i>	<i>42</i>

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về độ bền, tính an toàn sinh học và tính thân thiện môi trường của vật liệu phủ, việc phát triển các hệ sơn phủ đa chức năng đang thu hút nhiều sự quan tâm. Nhựa acrylic nhũ tương là vật liệu nền được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng tạo màng tốt, độ bám dính cao, bền thời tiết, hàm lượng VOC thấp và an toàn với môi trường. Tuy nhiên, để đáp ứng các yêu cầu về kháng khuẩn, chống ăn mòn và nâng cao tuổi thọ sử dụng, hệ sơn này cần được cải tiến bằng cách tích hợp các vật liệu nano chức năng.

Trong nghiên cứu này, hydrotalcite lai Ag và nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  được lựa chọn nhằm phát huy đồng thời khả năng kháng khuẩn, chống thấm, chống ăn mòn và gia cường tính chất cơ học cho lớp phủ. Sự kết hợp của hai loại hạt nano trong nền nhựa acrylic được kỳ vọng tạo ra lớp phủ đa chức năng có độ bền cơ học cao, khả năng phản xạ nhiệt và hoạt tính kháng khuẩn hiệu quả.

Xuất phát từ những lý do trên, đề tài “*Nghiên cứu chế tạo và đánh giá một số đặc trưng của lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic nhũ tương chứa hạt nano hydrotalcite lai Ag và hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$* ” được thực hiện nhằm chế tạo lớp phủ đa chức năng và đánh giá các đặc trưng hóa lý, hình thái học, tính chất cơ học cũng như hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu. Kết quả nghiên cứu góp phần phát triển các hệ sơn phủ hiệu năng cao, thân thiện môi trường và có tiềm năng ứng dụng thực tiễn.

### 2. Mục đích nghiên cứu

Mục tiêu chính của đề tài là chế tạo được lớp phủ đa chức năng (bền cơ học, phản xạ nhiệt và kháng khuẩn) trên nền nhựa acrylic nhũ tương chứa hạt nano hydrotalcite lai Ag và hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ .

Các mục tiêu cụ thể của đề tài:

- Chế tạo được lớp phủ trên cơ sở nhựa acrylic nhũ tương và các hạt nano HT-Ag và  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ .
- Có bộ số liệu về đặc trưng hóa lý, hình thái học, tính chất cơ học và hoạt tính kháng khuẩn của lớp phủ.

### 3. Nội dung nghiên cứu

- Chế tạo lớp phủ acrylic/HT-Ag/ $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ .

- Xác định một số đặc trưng tính chất của lớp phủ acrylic/HT-Ag/ $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ .

- Đánh giá khả năng kháng khuẩn của lớp phủ acrylic/ HT-Ag/Cu<sub>2</sub>O-Ag.

#### **4. Cơ sở khoa học và tính thực tiễn của đề tài**

Đề tài "Nghiên cứu chế tạo và đánh giá một số đặc trưng của lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic nhũ tương chứa hạt nano hydrotalcite lai Ag và hạt nano Cu<sub>2</sub>O-Ag" dựa trên cơ sở khoa học là việc tích hợp hạt nano vào lớp phủ hữu cơ nhằm gia cường tính chất và nâng cao hiệu năng. Đề tài hướng tới phát triển hệ lớp phủ đa chức năng có độ bền cao, khả năng kháng khuẩn bền vững trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt, góp phần thúc đẩy các hệ lớp phủ thông minh và thân thiện với môi trường.

#### **5. Những đóng góp của luận văn**

Đề tài đã chế tạo thành công lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic nhũ tương chứa hạt nano hydrotalcite lai Ag và hạt nano Cu<sub>2</sub>O-Ag. Thêm vào đó, đề tài cũng đã xác định một số đặc trưng tính chất và đánh giá khả năng kháng khuẩn của lớp phủ acrylic/ HT-Ag/Cu<sub>2</sub>O-Ag.

## **Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU**

### **1.1. GIỚI THIỆU LỚP PHỦ HỮU CƠ**

#### **1.1.1. Khái niệm lớp phủ hữu cơ**

Lớp phủ hữu cơ là một hệ vật liệu được tạo thành chủ yếu từ các hợp chất polymer hữu cơ, có chức năng tạo nên một lớp màng liên tục trên bề mặt vật liệu nền nhằm bảo vệ và nâng cao giá trị sử dụng của vật liệu. Sau khi được thi công và đóng rắn, lớp phủ tạo thành một hàng rào ngăn cách giữa môi trường và bề mặt nền, từ đó hạn chế sự xâm nhập của nước, oxy, ion ăn mòn ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), vi sinh vật và các tác nhân gây suy giảm khác. Ngoài chức năng bảo vệ, lớp phủ hữu cơ còn góp phần nâng cao tính thẩm mỹ, cải thiện khả năng chống bám bẩn, chống tia UV, chống ăn mòn và kéo dài thời gian sử dụng của vật liệu [1,2].

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển của khoa học vật liệu và yêu cầu ngày càng cao về bảo vệ môi trường, các hệ lớp phủ hữu cơ gốc nước đã nhận được nhiều sự quan tâm. So với các hệ sơn gốc dung môi truyền thống, lớp phủ gốc nước có hàm lượng hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC) thấp hơn đáng kể, giảm tác động tiêu cực đến sức khỏe con người và môi trường, đồng thời vẫn duy trì được nhiều tính chất kỹ thuật quan trọng [1].

#### **1.1.2. Thành phần cơ bản của lớp phủ hữu cơ**

Một hệ lớp phủ hữu cơ hoàn chỉnh thường bao gồm bốn thành phần chính là chất tạo màng, bột màu/chất độn, dung môi hoặc môi trường phân tán và các phụ gia chức năng. Trong đó, chất tạo màng là thành phần quan trọng nhất vì quyết định khả năng hình thành màng, độ bền cơ học, độ bám dính và khả năng bảo vệ của lớp phủ. Các loại nhựa thường được sử dụng bao gồm acrylic, epoxy, polyurethane, alkyd và silicone [3].

Bột màu và chất độn có vai trò tạo màu sắc, tăng độ che phủ, điều chỉnh độ bóng cũng như cải thiện một số tính chất cơ học của lớp phủ. Dung môi hoặc môi trường phân tán giúp điều chỉnh độ nhớt, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thi công. Bên cạnh đó, các phụ gia như chất phân tán, chất chống tạo bọt, chất chống lắng và chất ổn định được bổ sung nhằm tối ưu hóa tính chất công nghệ và hiệu năng sử dụng của sản phẩm [4,3].

Hiện nay, xu hướng phát triển lớp phủ hiện đại tập trung vào việc bổ sung các vật liệu nano chức năng vào hệ sơn nhằm nâng cao độ bền cơ học, khả năng

chống ăn mòn, chống tia UV và hoạt tính kháng khuẩn. Điều này đã tạo ra một thể hệ lớp phủ nanocomposite có hiệu năng vượt trội so với các hệ lớp phủ truyền thống [4].

### **1.1.3. Cơ chế hình thành màng phủ**

Quá trình hình thành màng phủ là yếu tố quyết định đến chất lượng cuối cùng của lớp phủ hữu cơ. Đối với các hệ lớp phủ gốc nước, cơ chế tạo màng thường diễn ra thông qua quá trình bay hơi nước, sự tiếp xúc giữa các hạt polymer và quá trình hợp nhất tạo thành một mạng lưới liên tục trên bề mặt vật liệu nền. Khi nước dần bay hơi, khoảng cách giữa các hạt polymer giảm xuống, các hạt bắt đầu biến dạng và liên kết với nhau để tạo thành màng phủ tốt [3].

Chất lượng của quá trình tạo màng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kích thước hạt, nhiệt độ tạo màng tối thiểu (MFFT), độ ẩm môi trường và thành phần công thức của lớp phủ. Một màng phủ được hình thành hoàn chỉnh sẽ có khả năng chống thấm tốt và độ bám dính ổn định trên bề mặt vật liệu [3]. Ngược lại, quá trình tạo màng không hoàn thiện có thể dẫn đến hiện tượng rỗ xốp, nứt vi mô hoặc suy giảm tính chất cơ học.

### **1.1.4. Lớp phủ acrylic nhũ tương**

Trong số các loại nhựa sử dụng cho lớp phủ hữu cơ, nhựa acrylic nhũ tương là một trong những hệ vật liệu được ứng dụng rộng rãi nhất hiện nay. Nhựa acrylic được tổng hợp từ các monomer acrylic hoặc methacrylic thông qua phản ứng trùng hợp nhũ tương, tạo ra hệ phân tán polymer ổn định trong nước. Nhờ cấu trúc hóa học chứa các nhóm ester acrylic có độ bền cao, lớp phủ acrylic thể hiện khả năng chống lão hóa và chống tia tử ngoại tốt hơn nhiều loại nhựa truyền thống [3,5].

Các nghiên cứu gần đây cho thấy lớp phủ acrylic nhũ tương được ứng dụng rộng rãi trong sơn kiến trúc, sơn công nghiệp, lớp phủ bảo vệ kim loại, vật liệu xây dựng và nhiều lĩnh vực dân dụng khác. Ưu điểm nổi bật của hệ vật liệu này là khả năng tạo màng tốt, độ bám dính cao, độ trong suốt tốt, khả năng giữ màu lâu dài và hàm lượng VOC thấp, phù hợp với xu hướng phát triển bền vững của ngành công nghiệp sơn phủ [4,5].

Ngoài ra, nhựa acrylic còn có khả năng tương hợp tốt với nhiều loại vật liệu nano như Ag, TiO<sub>2</sub>, ZnO, SiO<sub>2</sub> và hydrotalcite. Điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc chế tạo các hệ lớp phủ nanocomposite đa chức năng với hiệu quả bảo vệ và tuổi thọ sử dụng cao hơn [3].

### **1.1.5. Ưu điểm và hạn chế của lớp phủ acrylic**

Lớp phủ acrylic sở hữu nhiều ưu điểm nổi bật như độ bền thời tiết cao, khả năng chống tia UV tốt, độ bám dính tốt trên nhiều loại nền vật liệu, khả năng giữ màu và độ bóng ổn định trong thời gian dài. Bên cạnh đó, hệ acrylic gốc nước còn góp phần giảm phát thải VOC, nâng cao mức độ an toàn trong quá trình sản xuất và sử dụng [4,5].

Tuy nhiên, mặc dù có nhiều ưu điểm, lớp phủ acrylic vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Khả năng chống ăn mòn và chống thấm của hệ acrylic thuần chưa thực sự tối ưu trong môi trường khắc nghiệt. Ngoài ra, lớp phủ acrylic thông thường không có khả năng kháng khuẩn và dễ bị suy giảm tính năng khi tiếp xúc lâu dài với tác động của tia UV, độ ẩm và các yếu tố môi trường khác [6]. Do đó, việc nghiên cứu bổ sung các hạt nano chức năng nhằm nâng cao độ bền cơ học, cải thiện khả năng chống thấm, tăng hiệu quả kháng khuẩn và kéo dài tuổi thọ lớp phủ đang trở thành một hướng nghiên cứu được quan tâm mạnh mẽ trong những năm gần đây [4,6].

## **1.2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ NANO VÀ VẬT LIỆU NANO**

### **1.2.1. Khái niệm công nghệ nano và vật liệu nano**

Vật liệu nano được biết đến là những vật liệu với kích thước rất nhỏ, dao động từ 1-100nm. Khi các vật liệu được bổ sung các hạt nano, các tính chất vật lý và hóa học của vật liệu đó sẽ bị thay đổi đáng kể so với ban đầu. Bên cạnh đó, vật liệu nano cũng có khả năng tự làm sạch, tự phục hồi, ghi nhớ và cảm biến. Chúng giúp các vật liệu tăng khả năng chống mài mòn, sử dụng được lâu hơn,...[7]. Vì vậy, các vật liệu nano được ứng dụng vào nhiều lĩnh vực khác nhau như y học [8]; năng lượng điện tạo chất bán dẫn [9],...

Vật liệu nano có thể tồn tại dưới nhiều dạng khác nhau như hạt nano, sợi nano, ống nano, tấm nano hoặc vật liệu cấu trúc nano lai. Do kích thước rất nhỏ, vật liệu nano thường có tỷ lệ diện tích bề mặt trên thể tích rất lớn, dẫn đến khả năng tương tác mạnh với môi trường xung quanh cũng như với các pha vật liệu khác trong hệ composite [10].

### **1.2.2. Đặc trưng của vật liệu nano**

Tính chất nổi bật nhất của vật liệu nano là diện tích bề mặt riêng lớn. Khi kích thước hạt giảm xuống vùng nano, tỷ lệ số nguyên tử nằm trên bề mặt tăng lên đáng kể so với vật liệu khối. Điều này làm tăng năng lượng bề mặt và khả

năng hấp phụ, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình xúc tác, trao đổi ion và tương tác liên pha.

Bên cạnh đó, nhiều vật liệu nano còn thể hiện các tính chất quang học, điện học, .... Ví dụ, nano bạc có hoạt tính kháng khuẩn mạnh nhờ khả năng giải phóng ion  $\text{Ag}^+$  hiệu quả; nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  có khả năng tạo các loại oxy phản ứng (Reactive Oxygen Species - ROS); trong khi các vật liệu lớp như hydrotalcite lại có khả năng trao đổi ion và tạo hiệu ứng hàng rào chống thấm. Chính những đặc tính này đã mở ra nhiều cơ hội ứng dụng vật liệu nano trong lĩnh vực lớp phủ chức năng.

### **1.2.3. Vai trò của vật liệu nano trong lớp phủ**

Trong lĩnh vực sơn phủ, việc bổ sung các hạt nano vào nền polymer được xem là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm nâng cao hiệu năng sử dụng của lớp phủ. Các hạt nano có thể đóng vai trò là pha gia cường, giúp tăng độ cứng, độ bền cơ học, khả năng chống mài mòn và chống trầy xước của màng phủ. Đồng thời, nhờ kích thước nhỏ và khả năng phân tán trong nền polymer, các hạt nano có thể lấp đầy các khoảng trống vi mô trong cấu trúc lớp phủ, từ đó làm giảm độ xốp và hạn chế sự khuếch tán của nước, oxy và các tác nhân ăn mòn.

Ngoài chức năng gia cường cơ học, nhiều loại vật liệu nano còn mang lại các tính năng đặc biệt như kháng khuẩn, chống tia tử ngoại, tự làm sạch, chống bám bẩn và phản xạ nhiệt. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc kết hợp hợp lý các hạt nano chức năng trong nền polymer có thể tạo ra các hệ lớp phủ đa chức năng đáp ứng đồng thời nhiều yêu cầu kỹ thuật khác nhau.

### **1.2.4. Xu hướng ứng dụng công nghệ nano trong lớp phủ hiện nay**

Trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về độ bền, tính an toàn sinh học và tính thân thiện môi trường, các lớp phủ nanocomposite đang trở thành một trong những hướng nghiên cứu phát triển mạnh mẽ nhất của ngành công nghiệp sơn phủ. Nhiều nghiên cứu tập trung vào việc sử dụng các vật liệu nano vô cơ như Ag,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ZnO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  và hydrotalcite nhằm cải thiện đồng thời tính chất cơ học, khả năng chống ăn mòn và hoạt tính kháng khuẩn của lớp phủ.

Bên cạnh đó, xu hướng phát triển các hệ lớp phủ thông minh có khả năng tự phục hồi, tự làm sạch hoặc phản ứng với môi trường cũng đang được quan tâm rộng rãi. Các vật liệu nano không chỉ đóng vai trò là chất gia cường mà còn tham gia trực tiếp vào các cơ chế chức năng của lớp phủ thông qua quá trình

xúc tác quang, giải phóng ion hoặc hấp thụ năng lượng bức xạ. Điều này cho thấy công nghệ nano đang giữ vai trò quan trọng trong việc phát triển thế hệ vật liệu phủ hiệu năng cao, đáp ứng các yêu cầu ngày càng khắt khe của thực tiễn sản xuất và đời sống.

### **1.3. TỔNG QUAN VỀ NANO BẠC**

#### **1.3.1. Đặc điểm cấu trúc và tính chất của nano bạc**

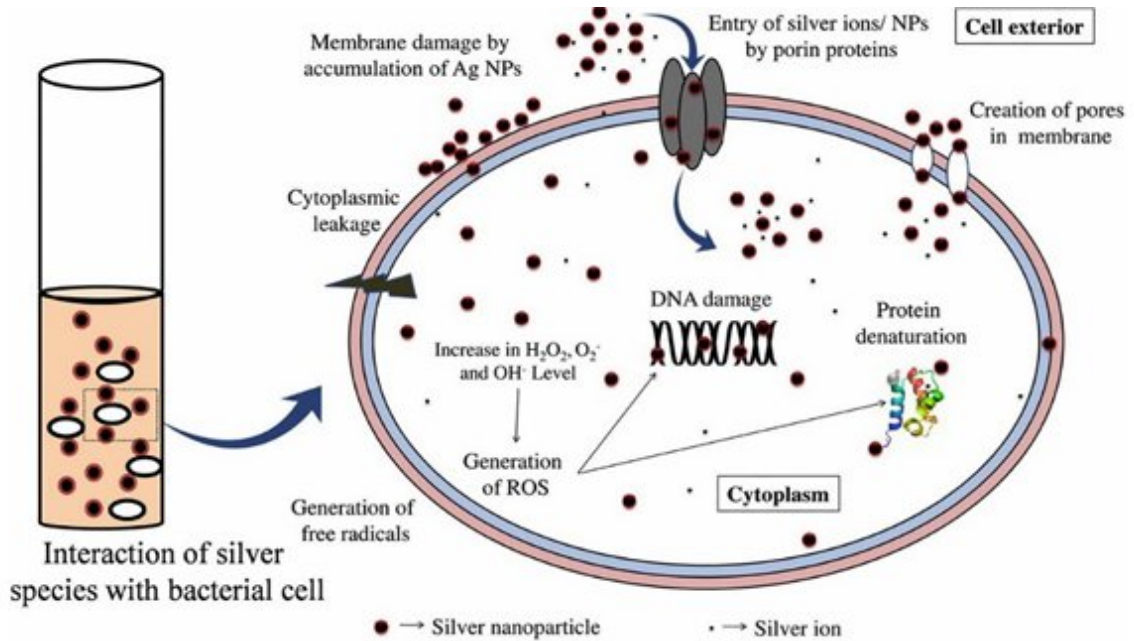
Nano bạc (AgNPs) là một trong những loại vật liệu nano kim loại được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhất hiện nay nhờ sở hữu nhiều tính chất vật lý, hóa học và sinh học đặc biệt. Nano bạc thường có kích thước trong khoảng từ vài nanomet đến dưới 100 nm và có thể tồn tại dưới nhiều hình thái khác nhau. Khi kích thước hạt giảm xuống vùng nano, diện tích bề mặt riêng tăng mạnh, làm gia tăng đáng kể khả năng tương tác của bạc với môi trường xung quanh.

So với bạc khối, nano bạc thể hiện hoạt tính bề mặt cao hơn đáng kể, khả năng hấp phụ tốt hơn và hiệu quả kháng khuẩn mạnh hơn. Ngoài ra, nano bạc còn có tính dẫn điện, dẫn nhiệt và tính chất quang học đặc biệt liên quan đến hiện tượng cộng hưởng plasmon bề mặt cục bộ, cho phép vật liệu hấp thụ và tán xạ ánh sáng hiệu quả trong vùng khả kiến [11]. Những đặc điểm này giúp nano bạc được ứng dụng rộng rãi trong y sinh, điện tử, xúc tác và đặc biệt là lĩnh vực vật liệu phủ chức năng.

#### **1.3.2. Cơ chế kháng khuẩn của nano bạc**

Cơ chế kháng khuẩn của các hạt nano bạc vẫn chưa được làm rõ hoàn toàn. Tuy nhiên, có một số giả thuyết khoa học đã giải thích rằng cơ chế này có liên quan đến ái lực của nhóm thiol (SH), dẫn đến việc hình thành khối protein trong tế bào vi khuẩn. Điều này có thể làm rối loạn chức năng của enzyme và làm gián đoạn chuỗi hô hấp tế bào cũng như phá hủy các enzyme khác nhau [13]. Trước tiên, AgNPs giải phóng ion  $Ag^+$  mang điện tích dương trong khi màng tế bào mang điện tích âm. Vì vậy, với lực hút tĩnh điện và ái lực giữa chúng, các ion  $Ag^+$  bám vào màng vi khuẩn; sau đó chúng có thể xâm nhập qua màng tế bào và đi vào phía trong tế bào. Ở đó,  $Ag^+$  có thể phá vỡ các cầu nối disulfide (S-S) để tạo thành nhóm thiol (SH) khiến quá trình phosphoryl-tyrosine không được kiểm soát. Điều này có thể tạo ra sự bất hoạt của các enzyme hô hấp và dẫn đến tình trạng stress oxy hóa (ROS) trong tế bào qua các bước phía trên, vì

khuẩn có thể bị tiêu diệt [13-16]. Hình 1.1 mô tả cơ chế kháng khuẩn của các hạt AgNPs.



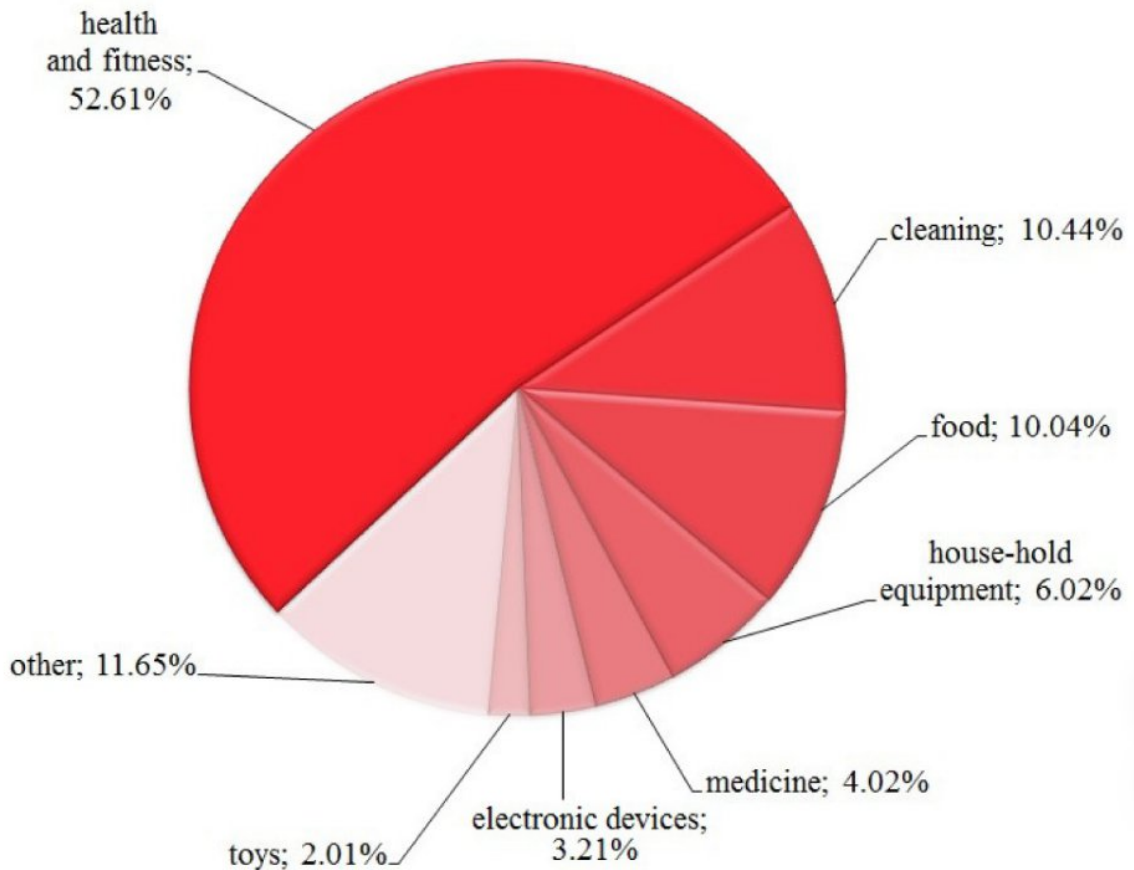
**Hình 1.1. Cơ chế kháng khuẩn của hạt nano bạc [16]**

Với những ứng dụng rộng rãi và cơ chế kháng khuẩn tuyệt vời nên việc tìm ra các phương thức tổng hợp nano bạc cũng ngày được chú trọng hơn. Để có thể sản xuất AgNPs từ  $Ag^+$ , yêu cầu một tác nhân khử đủ mạnh như sodium borohydride, ascorbic acid,... Mặc dù những tác nhân đó có tính khử mạnh nhưng chúng có giá thành cao và gây hại cho môi trường. Vì thế, cần tìm ra những tác nhân thân thiện với môi trường, ví dụ dung dịch chiết xuất từ các thực vật trong tự nhiên. Việc chuẩn bị những dịch chiết đó là vô cùng đơn giản, giá thành thấp và an toàn. Thêm vào đó, các dịch chiết này cũng chứa nhiều tác nhân khử mạnh như saponin, tannin, flavonoid,... để khử  $Ag^+$  thành AgNPs [17]. Một số dịch chiết thường được sử dụng để tổng hợp AgNPs như dịch chiết vối [18], lanh [19], cau [20], và chè vàng [21],.... Trong số đó, khả năng khử của *Jasminum subtriplinerve* Blume được đánh giá cao và sử dụng trong một số nghiên cứu.

#### 1.3.4. Ưu điểm và hạn chế của nano bạc

Với kích thước nhỏ bé, AgNPs được biết đến như những hạt nano tiềm năng có khả năng chống lại vi khuẩn, nấm và vi rút bằng cách làm chậm sự phát triển của chúng. Bên cạnh đó, các hạt nano bạc có thể ức chế hoạt động của vi khuẩn Gram âm và Gram dương như *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Enterococcus*, *Staphylococcus* và *Caphylococcus*. Bên cạnh đó, AgNPs không

chỉ đóng vai trò quan trọng trong việc chống lại *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) và *Escherichia coli* (*E. coli*) mà còn ức chế sự nhân lên của vi rút. Ngoài ra, AgNPs có hiệu quả trong việc tiêu diệt các loại nấm khác nhau như *Candida* và *Aspergillus* [12]. Thêm vào đó, các hạt nano bạc được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực đời sống của con người (Hình 1.2).



**Hình 1.2. Tỷ lệ phần trăm của những sản phẩm có chứa AgNPs [12]**

Tuy nhiên, nano bạc vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Giá thành của bạc tương đối cao so với nhiều vật liệu kháng khuẩn khác, làm gia tăng chi phí sản xuất vật liệu phủ. Ngoài ra, do năng lượng bề mặt lớn, nano bạc có xu hướng kết tụ trong môi trường phân tán nếu không có chất ổn định hoặc chất mang thích hợp. Hiện tượng kết tụ làm giảm diện tích bề mặt hoạt động, từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả kháng khuẩn và tính chất của vật liệu composite.

Một vấn đề khác được quan tâm là tốc độ giải phóng  $Ag^+$ . Nếu ion bạc được giải phóng quá nhanh, hiệu quả kháng khuẩn ban đầu có thể cao nhưng tuổi thọ hoạt động của vật liệu sẽ giảm. Vì vậy, nhiều nghiên cứu gần đây tập trung vào việc sử dụng các vật liệu mang như hydrotalcite, zeolite hoặc silica

nhằm kiểm soát quá trình giải phóng  $\text{Ag}^+$  và nâng cao hiệu quả sử dụng của nano bạc.

## **1.4. TỔNG QUAN VỀ NANO $\text{Cu}_2\text{O}$**

### **1.4.1. Đặc điểm cấu trúc và tính chất của nano $\text{Cu}_2\text{O}$**

Đồng(I) oxit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) là một vật liệu bán dẫn loại p có cấu trúc tinh thể lập phương tâm khối. Trong cấu trúc này, mỗi nguyên tử oxy được bao quanh bởi bốn nguyên tử đồng, trong khi mỗi nguyên tử đồng liên kết tuyến tính với hai nguyên tử oxy. Khi được chế tạo ở kích thước nano,  $\text{Cu}_2\text{O}$  thể hiện nhiều tính chất khác biệt so với vật liệu khối như diện tích bề mặt riêng lớn hơn, hoạt tính bề mặt cao hơn và khả năng tương tác mạnh hơn với môi trường xung quanh.

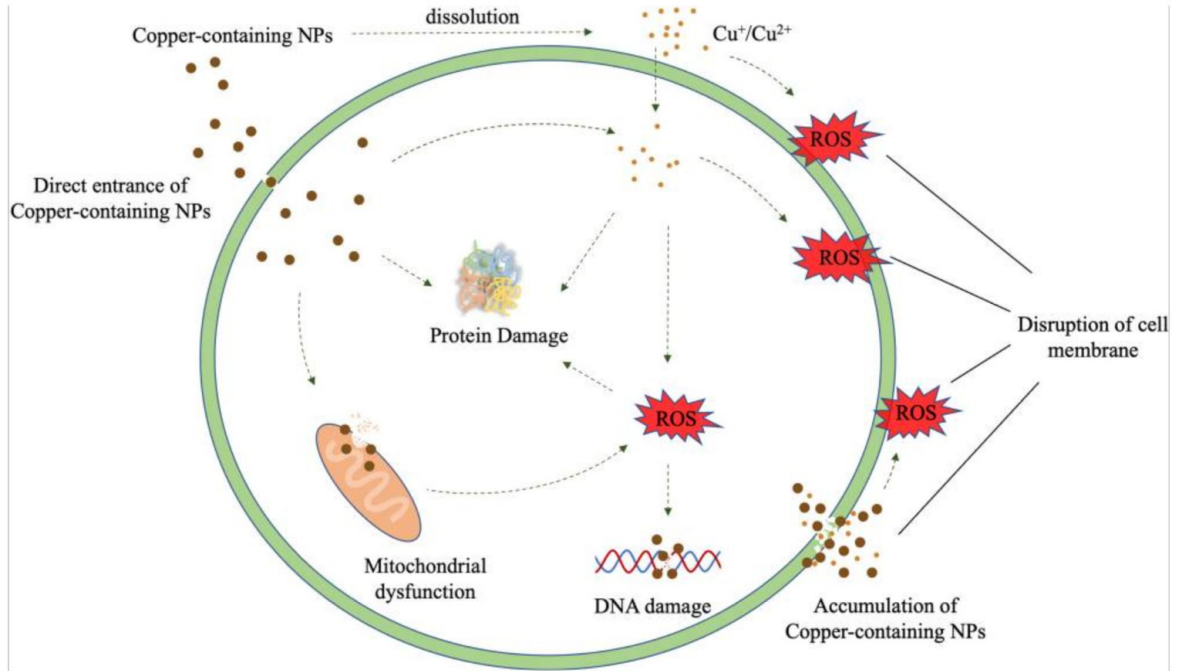
Nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như xúc tác quang, xử lý môi trường, cảm biến và vật liệu kháng khuẩn. Ngoài ra, đồng là nguyên tố có trữ lượng lớn và giá thành thấp hơn đáng kể so với bạc, tạo lợi thế kinh tế cho việc ứng dụng  $\text{Cu}_2\text{O}$  trong các hệ vật liệu chức năng quy mô lớn [22].

### **1.4.2. Cơ chế kháng khuẩn của nano $\text{Cu}_2\text{O}$**

Khả năng kháng khuẩn của nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  được biểu diễn trong hình 1.3 chủ yếu liên quan đến quá trình giải phóng ion  $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$  và sự hình thành các loại oxy phản ứng (ROS). Khi tiếp xúc với môi trường chứa độ ẩm hoặc oxy, bề mặt  $\text{Cu}_2\text{O}$  có thể xảy ra quá trình oxy hóa từng phần, giải phóng các ion đồng vào môi trường xung quanh [23].

Các ion đồng có khả năng tương tác với màng tế bào vi khuẩn, làm thay đổi tính thấm màng và gây rò rỉ các thành phần nội bào. Đồng thời, ion  $\text{Cu}^{2+}$  có thể liên kết với protein và enzyme của vi khuẩn, làm gián đoạn các quá trình trao đổi chất quan trọng và dẫn đến chết tế bào.

Bên cạnh đó, nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  còn có khả năng xúc tác hình thành các ROS như gốc hydroxyl ( $\cdot\text{OH}$ ), superoxide ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) và hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Các ROS này gây stress oxy hóa mạnh, phá hủy lipid màng tế bào, biến tính protein và tổn thương vật chất di truyền của vi sinh vật. Đây được xem là cơ chế kháng khuẩn đặc trưng của  $\text{Cu}_2\text{O}$  và là điểm khác biệt quan trọng so với nano bạc.



**Hình 1.3. Cơ chế kháng khuẩn của hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  [24]**

### 1.4.3. Ưu điểm và hạn chế của nano $\text{Cu}_2\text{O}$

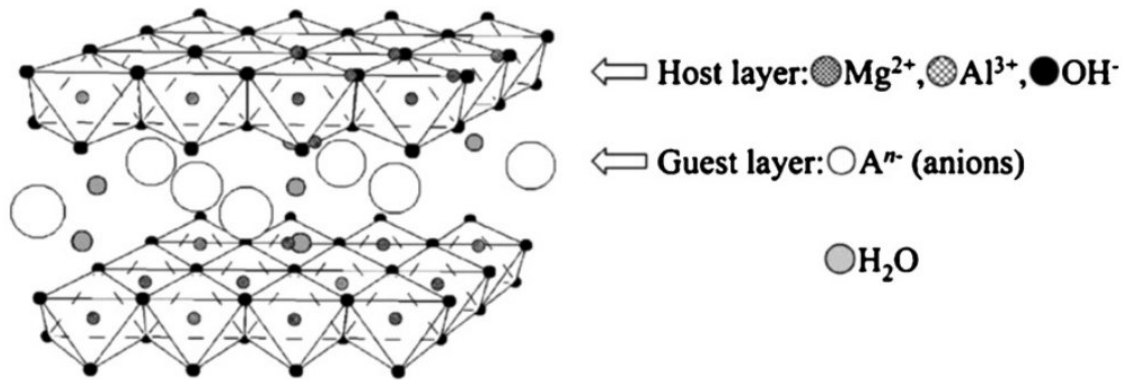
Nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  được đánh giá là vật liệu kháng khuẩn tiềm năng nhờ nhiều ưu điểm nổi bật. Trước hết, nguồn nguyên liệu đồng khá dồi dào và giá thành thấp hơn nhiều so với bạc, giúp giảm chi phí sản xuất vật liệu. Ngoài ra,  $\text{Cu}_2\text{O}$  vừa có khả năng kháng khuẩn vừa có hoạt tính xúc tác quang, cho phép phát huy đồng thời nhiều chức năng trong cùng một hệ vật liệu [25].

Tuy nhiên, nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  cũng tồn tại một số hạn chế nhất định. So với nano bạc, hiệu quả kháng khuẩn của  $\text{Cu}_2\text{O}$  thường thấp hơn khi sử dụng ở cùng hàm lượng. Bên cạnh đó,  $\text{Cu}_2\text{O}$  có xu hướng bị oxy hóa thành  $\text{CuO}$  trong điều kiện môi trường kéo dài, làm ảnh hưởng đến tính ổn định của vật liệu. Khả năng kết tụ của các hạt nano cũng là một vấn đề cần được kiểm soát nhằm đảm bảo hiệu quả sử dụng lâu dài.

### 1.5. TỔNG QUAN VỀ HYDROTALCITE

Hydrotalcite (HT) được biết là hydroxide lớp kép hoặc đất sét anion - là một trong những chất mang phổ biến. HT được biểu thị bằng công thức chung  $[\text{M(II)}_{1-x}\text{M(III)}_x(\text{OH})_2]^{x+}(\text{A}^{n-})_{x/n} \cdot m\text{H}_2\text{O}$  trong đó M(II) là cation hóa trị hai (Mg, Cu, Ni, Co, Mn, Zn) và M(III) là cation hóa trị ba (Al, Fe, Cr, Ga, V) và  $\text{A}^{n-}$  là anion xen kẽ ( $\text{CO}_3^{2-}$  hoặc  $\text{SO}_4^{2-}$  và  $\text{OH}^-$ ) với x là tỷ lệ mol và m là số phân tử nước trong lớp xen kẽ. HT được hình thành bởi Mg và Al có công thức

$\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}(\text{CO}_3)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dựa trên cấu trúc brucite ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ). Sự thay thế một số  $\text{Mg}^{2+}$  bằng  $\text{Al}^{3+}$  phân bố ngẫu nhiên ở các vị trí bát diện gây ra điện tích dương dư thừa. Tuy nhiên, các anion trong lớp xen kẽ giúp cân bằng điện tích của HT [26-28]. Hơn nữa, các lớp xen kẽ cũng xếp chồng lên nhau. Cấu trúc của hydrotalcite magie - nhôm (HT) được trình bày trên Hình 1.4.



**Hình 1.4. Cấu trúc hydrotalcite [28].**

Trong các hệ lớp phủ nanocomposite, hydrotalcite thường đóng vai trò như một chất mang hoặc chất gia cường chức năng. Khi được phân tán tốt trong nền polymer, các lớp hydrotalcite tạo thành mạng lưới cản trở sự khuếch tán của các tác nhân gây suy giảm vật liệu, từ đó nâng cao khả năng chống ăn mòn và tăng tuổi thọ lớp phủ [29].

Nhiều nghiên cứu cho thấy hydrotalcite có khả năng cải thiện đáng kể độ bám dính, độ cứng và độ bền thời tiết của lớp phủ polymer. Ngoài ra, nhờ khả năng trao đổi ion, vật liệu còn được sử dụng để mang các chất ức chế ăn mòn hoặc các tác nhân kháng khuẩn nhằm tạo ra các hệ lớp phủ thông minh có khả năng bảo vệ chủ động [30].

Mặc dù acrylic nhũ tương chứa hạt HT-Ag có hiệu quả rõ rệt trong việc nâng cao khả năng kháng khuẩn nhưng chúng vẫn chưa đủ đáp ứng yêu cầu làm việc môi trường khắc nghiệt đồng thời khả năng chống nấm cũng bị hạn chế và giá thành của HT-Ag còn cao. Chính vì vậy, đưa các hạt nano vô cơ  $\text{Cu}_2\text{O}$  có giá thành rẻ hơn vào lớp phủ hữu cơ là điều cần thiết. Kết hợp với các hạt nano vô cơ giúp giải quyết tốt hạn chế của hệ acrylic nhũ tương bởi nếu các mạng polymer acrylic đóng vai trò tạo sự liên kết bền thời tiết và thân thiện với môi trường thì các hạt nano HT-Ag giúp phân tán đều trong mạng polymer, giúp giải phóng  $\text{Ag}^+$  và gia cường tính chất cơ học cho lớp phủ. Nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag có khả năng kháng khuẩn, kháng nấm tốt và hoạt tính quang xúc tác, hỗ trợ

khả năng ngăn cản vi sinh vật trên bề mặt và hạn chế sự tổn hại bởi tia UV [31-32].

## 1.6. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU TRÊN THẾ GIỚI VÀ TRONG NƯỚC

Trong các thập kỷ gần đây, các nghiên cứu toàn cầu đã tập trung mạnh vào việc tích hợp các hạt nano như ZnO-Ag, TiO<sub>2</sub> hoặc Ag vào nền nhựa acrylic nhũ tương nhằm nâng cao khả năng kháng khuẩn, cải thiện tính chất cơ lý và khả năng chống ăn mòn. Ma Cheng và cộng sự đã nghiên cứu phát triển vật liệu Ag-Cu<sub>2</sub>O/PANI với hoạt tính kháng khuẩn được duy trì lâu dài và ổn định dưới ánh sáng mặt trời [33]. Bên cạnh đó, Boivin và cộng sự (2023) đã đưa nano Ag (AgNPs) vào latex acrylic bằng phương pháp trùng hợp nhũ tương. Lớp phủ thu được có khả năng kháng nấm tốt trên nền gỗ nhờ sự phân tán đồng đều của AgNPs [34]. Tương tự, Shahzadi và cộng sự (2024) đã chế tạo sơn acrylic chứa AgNPs theo phương pháp khử tại chỗ (*in-situ*) có khả năng kháng khuẩn và kháng nấm mạnh với nhiều chủng vi sinh vật [35].

Không chỉ ở các nước trên thế giới, Việt Nam cũng có một số các nghiên cứu đang hướng tới việc cải thiện lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic và hạt nano. Đàm Xuân Thắng và cộng sự đã nghiên cứu biến tính hạt nano Cu<sub>2</sub>O bằng silane hữu cơ nhằm giúp cải thiện khả năng phân tán của hạt trong nhựa acrylic nhũ tương, nâng cao khả năng kháng mài mòn khoảng 70% và ổn định nhiệt, trong khi vẫn giữ được khả năng kháng khuẩn tuyệt vời [36]. Năm 2022, Vũ Tiến Việt cùng một số cộng sự đã nghiên cứu chế tạo lớp phủ nanocomposite polymer acrylic gốc nước/ZnO-Ag dùng cho ứng dụng kháng khuẩn. Hệ ZnO-Ag trong nền acrylic nhũ tương đã thể hiện hiệu quả trong việc chống mài mòn và có tính kháng khuẩn vượt trội đối với *E. coli* và *S. aureus* lần lượt đạt 1,8 và 1,2 logarit sau 24 giờ thử nghiệm [37]. Việc kết hợp hydrotalcite-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag trong hệ acrylic hiện nay chưa được nghiên cứu rộng rãi, tuy nhiên, việc sử dụng các hạt nano có chứa thành phần nano Ag để cải thiện tính kháng khuẩn và gia cường cho lớp phủ đã xuất hiện trong một số nghiên cứu. Ví dụ, Lê Thế Tâm và cộng sự (2019) đã chứng minh hiệu quả rõ rệt khi kết hợp SiO<sub>2</sub>-Ag vào lớp phủ acrylic. Các kết quả thử nghiệm đã cho thấy SiO<sub>2</sub>-Ag đã cải thiện độ bám dính, tăng cường đáng kể khả năng chống mài mòn và độ ổn định nhiệt của lớp phủ acrylic gốc nước. Bên cạnh đó, thử nghiệm khả năng kháng khuẩn của lớp phủ đối với vi khuẩn *E. coli* cũng cho thấy hoạt tính kháng khuẩn

của lớp phủ chứa SiO<sub>2</sub>-Ag tương đương với hoạt tính kháng khuẩn của dung dịch các hạt nano Ag trong nước. Điều này chứng minh rằng mặc dù các hạt nano Ag đã được cố định trong nền polymer, chúng vẫn duy trì hiệu quả sinh học mạnh mẽ, mang lại khả năng kháng khuẩn gần như không suy giảm so với dạng hạt AgNPs tự do. Đây là kết quả quan trọng, bởi điều này cho thấy lớp phủ acrylic/SiO<sub>2</sub>-Ag vừa đảm bảo tính bền vững về cơ học và nhiệt, vừa giữ được khả năng kháng khuẩn cao, đồng thời hạn chế được nguy cơ phát tán hạt nano tự do ra môi trường [38]. Ngoài ra, Bùi Minh Quý và cộng sự (2024) cũng đã nghiên cứu biến tính hydrotalcite chứa tannic acid bằng silane 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate (TMSPM) để ứng dụng làm phụ gia chống ăn mòn cho lớp phủ epoxy trên nền thép. Sau khi đưa hạt hydrotalcite biến tính vào lớp phủ epoxy, độ bám dính của lớp phủ so với nền thép đã được cải thiện đáng kể. Bên cạnh đó, độ cứng và khả năng chống mài mòn của lớp phủ trên cho vật liệu thép cũng được nâng cao. Cụ thể, độ cứng tương đối của lớp phủ gốc epoxy đạt từ 0,8 đến 0,95, và độ cứng tương đối của mẫu 3 %kl hydrotalcite (> 0,9) có giá trị cao nhất. Cũng cùng mẫu biến tính đó có chiều rộng vết gỉ sét thấp nhất ( $0,831 \pm 0,012$  mm), cho thấy mẫu này có khả năng chống ăn mòn tốt hơn các mẫu còn lại. Những kết quả này khẳng định rằng sự có mặt của hạt hydrotalcite biến tính không chỉ giúp tăng cường độ cứng bề mặt mà còn nâng cao khả năng chống mài mòn của lớp phủ epoxy trên thép, qua đó kéo dài tuổi thọ và khả năng bảo vệ bề mặt vật liệu trong môi trường ăn mòn [39].

### 1.7. SỰ CẦN THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Có thể thấy rằng, mặc dù hiện tại trên thế giới và tại Việt Nam có nhiều công trình nghiên cứu tập trung vào kết hợp các hạt nano vô cơ với lớp phủ nền nhựa acrylic để cải thiện các đặc tính hóa lý của lớp phủ. Tuy nhiên, sự kết hợp đồng thời của hydrotalcite - Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag trong nền nhựa acrylic như tương để cải thiện độ bền và nâng cao khả năng kháng khuẩn của lớp phủ vẫn chưa được thực hiện. Vì vậy, học viên lựa chọn đề tài "*Nghiên cứu chế tạo và đánh giá một số đặc trưng của lớp phủ hữu cơ trên cơ sở nhựa acrylic như tương chứa hạt nano hydrotalcite lai Ag và hạt nano Cu<sub>2</sub>O-Ag*" dưới sự hướng dẫn của PGS. TS. Nguyễn Thúy Chinh và GS. TS. Thái Hoàng.

Tóm lại, với độ bền, khả năng tạo màng linh hoạt, tính thân thiện môi trường và thích hợp để tích hợp các hạt nano kim loại nhằm tăng cường tính

năng thì acrylic nhũ tương được đánh giá là một nền lớp phủ hữu cơ ưu việt. Việc bổ sung các vật liệu chức năng như hydrotalcite lai bạc (HT-Ag) và nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  vào acrylic nhũ tương là hướng đi hợp lý nhằm tạo ra hệ lớp phủ đa chức năng thế hệ mới. HT-Ag đóng vai trò cải thiện đáng kể độ bền và cung cấp khả năng kháng khuẩn bền vững dựa trên cơ chế giải phóng ion  $\text{Ag}^+$ . Tuy nhiên, hạn chế của HT-Ag nằm ở chỗ nó không tạo được cơ chế bảo vệ chủ động khi bề mặt bị biến đổi bởi quá trình giải phóng ion  $\text{Ag}^+$  diễn ra chậm. Nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  được bổ sung để lấp đầy khoảng trống này, nhờ khả năng tạo lớp oxit tự bảo vệ và đồng thời nâng cao hiệu quả kháng khuẩn thông qua cơ chế cộng hưởng giữa Ag và Cu. Sự kết hợp của hai loại hạt nano này không chỉ mang lại hiệu quả chống ăn mòn và kháng khuẩn vượt trội mà còn tối ưu hóa khả năng phân tán và độ bền của lớp phủ. Điều đó chứng minh rằng một mình HT-Ag là chưa đủ và việc tích hợp thêm nano  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  là giải pháp cần thiết để tạo lớp phủ acrylic nhũ tương đáp ứng các yêu cầu bảo vệ vật liệu bê tông trong điều kiện khắc nghiệt. Đây cũng là hướng phát triển tiềm năng cho các hệ lớp phủ thông minh, tự bảo vệ, thân thiện môi trường trong tương lai.

## Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

#### 2.1.1. Đối tượng nghiên cứu chính

Các đối tượng nghiên cứu chính: (i) hạt nano hydrotalcite lai Ag (HT-Ag) và Cu<sub>2</sub>O-Ag; (ii) nhựa acrylic nhũ tương; (iii) lớp phủ acrylic/HT-Ag/Cu<sub>2</sub>O-Ag.

#### 2.1.2. Thiết bị

- Thiết bị: máy rung siêu âm, máy khuấy từ, máy li tâm,...
- Dụng cụ: thìa nhỏ, ống đong, cốc mỏ vịt, thước, ....

#### 2.1.3. Hóa chất

Các hóa chất được sử dụng để chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano HT-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag được trình bày trong Bảng 2.1.

**Bảng 2.1. Danh mục các tiền chất chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano HT-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag.**

STT	Hóa chất	Nguồn gốc	Nồng độ/Độ tinh khiết
1	AgNO <sub>3</sub>	Trung Quốc	>99,7%
2	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	Trung Quốc	99%
3	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	Trung Quốc	99%
4	KOH	Trung Quốc	99,5%
5	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Trung Quốc	99%
6	<i>Areca catechu</i>	Việt Nam	
7	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	Trung Quốc	99%
8	NaOH	Trung Quốc	99,5%
9	L-ascorbic acid	Trung Quốc	99%

10	Acetone	Việt Nam	99,5%
11	nano Cu <sub>2</sub> O	Việt Nam	99%
12	Ethanol	Trung Quốc	99,5 %
13	Nước cất	Việt Nam	99,9%
14	Nhựa acrylic nhũ tương	Mỹ	Hàm lượng rắn 50%

## 2.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.2.1. Chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano

Quy trình tổng hợp HT-Ag theo các bước như sau [20]:

Bước 1: Hòa tan Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O và Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O (theo tỉ lệ mol Mg/Al là 3/1) vào 100ml nước cất thu được dung dịch A, khuấy từ ở 90°C.

Bước 2: Thêm từ từ dung dịch K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (6,25g K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> trong 40 ml nước cất) vào dung dịch A, đồng thời khuấy từ.

Bước 3: Điều chỉnh hỗn hợp về pH=10 bằng dung dịch KOH (8g KOH trong 10 ml nước cất).

Bước 4: Hỗn hợp được chuyển vào Teflon, sấy ở 140°C trong 18 giờ. Ly tâm, rửa về pH trung tính và sấy khô ở 90°C.

Bước 5: Phân tán HT vào nước cất bằng cách khuấy từ và siêu âm trong 60 phút tạo hệ huyền phù B, sau đó nhỏ AgNO<sub>3</sub> được hòa tan trong nước cất, khuấy hỗn hợp ở 50°C trong 20 phút.

Bước 6: Nhỏ dịch chiết hạt *areca catechu* vào hỗn hợp trên và khuấy trong 90 phút. Ly tâm, sấy và thu hạt.

Quy trình tổng hợp Cu<sub>2</sub>O-Ag theo các bước sau [40]:

Bước 1: Hòa tan 2,5g CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O vào nước cất, khuấy từ ở nhiệt độ phòng, nhỏ từ từ dung dịch NaOH đã hòa tan trong nước cất vào dung dịch trên, khuấy trong 30 phút tạo dung dịch C.

Bước 2: Hòa tan ascorbic acid vào nước cất, sau đó nhỏ từ từ vào dung dịch C tạo dung dịch D.

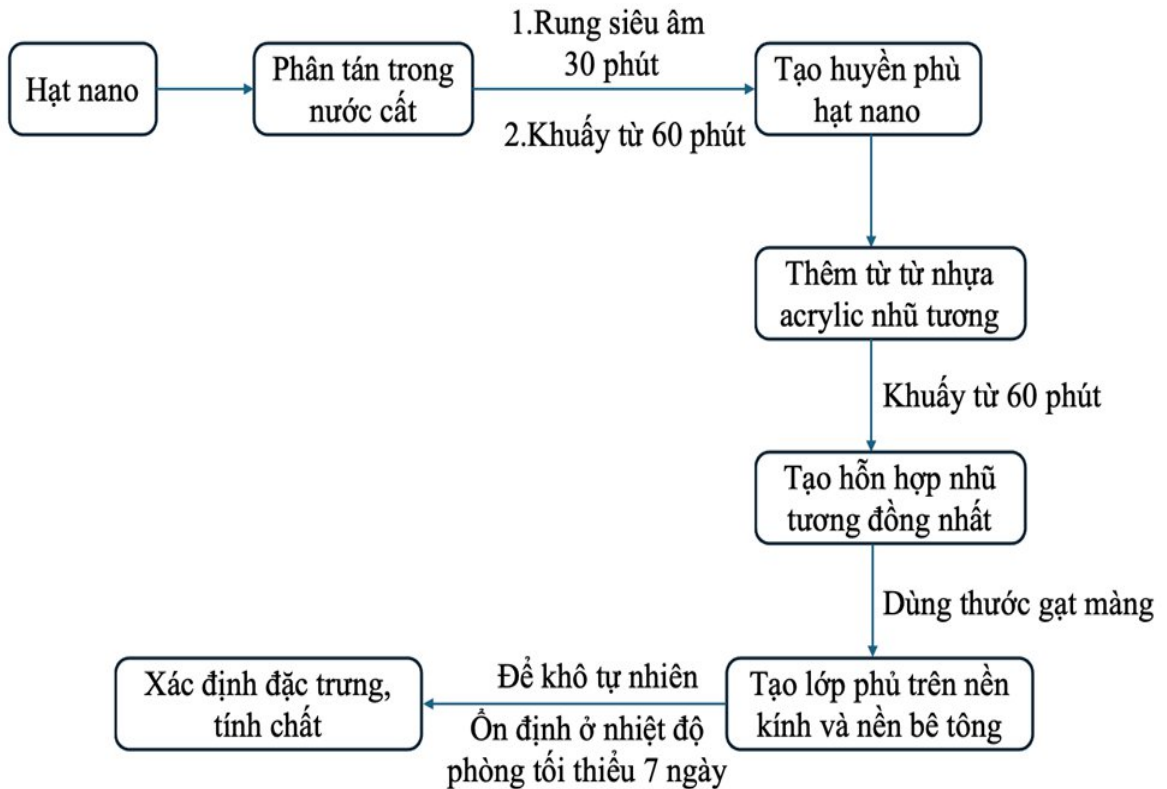
Bước 3: Dung dịch AgNO<sub>3</sub> được nhỏ giọt vào dung dịch D đồng thời rung siêu âm. Sau đó, lọc, rửa bằng acetone và sấy khô để thu hạt.

Sơ đồ quy trình chế tạo lớp phủ acrylic nhũ tương chứa phụ gia nano HT-Ag và  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag được trình bày như trên Hình 2.1. Cụ thể các bước chế tạo mẫu như sau:

Bước 1: Phân tán hạt nano trong nước cất, với tỷ lệ 1/10 (g/ml). Tiến hành rung siêu âm trong 30 phút và khuấy từ trong 60 phút để tạo huyền phù hạt nano.

Bước 2: Thêm từ từ nhựa acrylic nhũ tương vào huyền phù hạt nano, khuấy từ liên tục trong 60 phút để tạo hỗn hợp nhũ tương đồng nhất.

Bước 3: Dùng thước gạt màng để tạo lớp phủ trên nền kính và nền bê tông. Để mẫu khô tự nhiên và ổn định ở nhiệt độ phòng tối thiểu 7 ngày trước khi xác định các đặc trưng, tính chất.

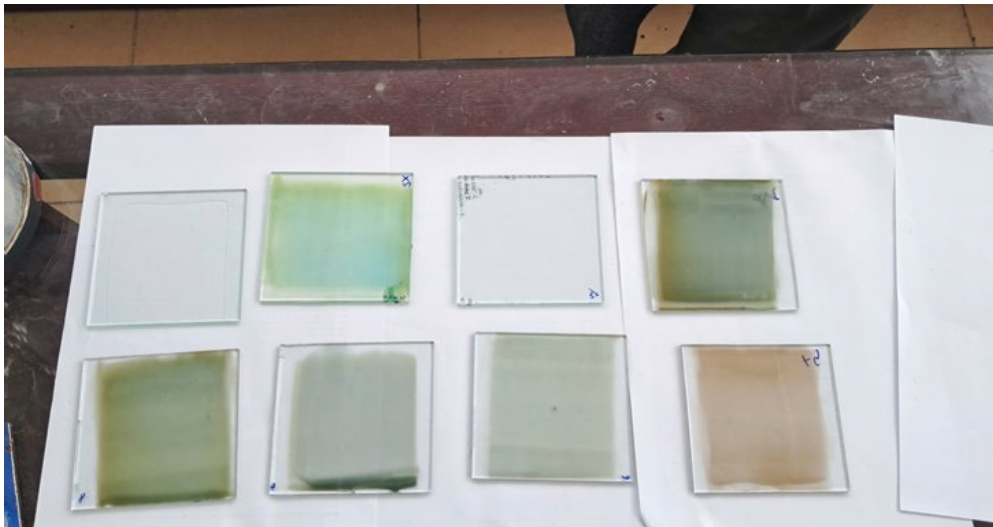
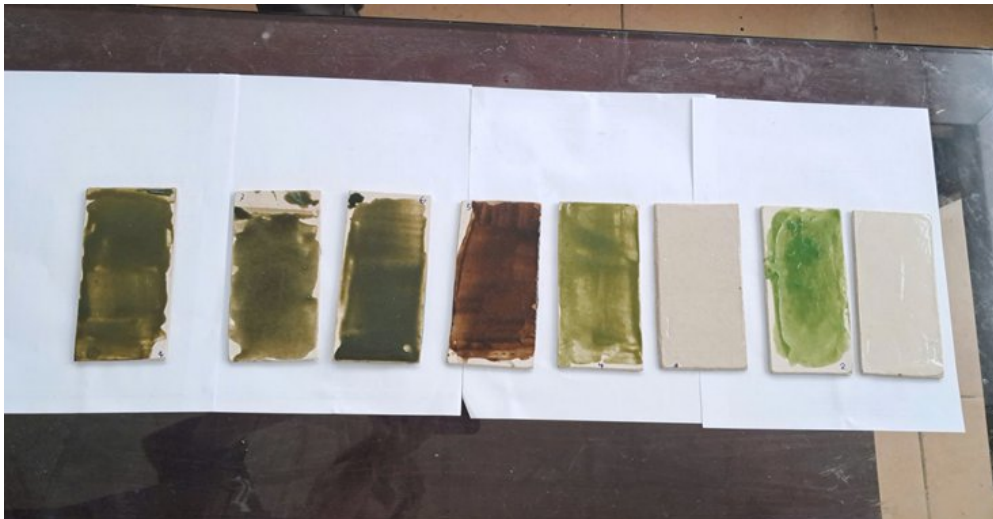


**Hình 2.1. Sơ đồ quy trình tạo mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano**

Tỷ lệ thành phần và ký hiệu mẫu được trình bày trong Bảng 2.2. Các Hình 2.2 và 2.3 trình bày hình ảnh các mẫu lớp phủ hoàn thiện trên nền kính và nền bê tông.

**Bảng 2.2. Tỷ lệ thành phần và kí hiệu mẫu tương ứng**

STT	Tỷ lệ thành phần	Kí hiệu mẫu
1	10g AC	AC
2	10g AC + 0,1g Cu <sub>2</sub> O	AC/Cu <sub>2</sub> O
3	10g AC + 0,1g HT	AC/HT
4	10g AC + 0,1g Cu <sub>2</sub> O-Ag	AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag
5	10g AC + 0,1g HT-Ag	AC/HT-Ag
6	10g AC + 0,05g HT-Ag + 0,05 g Cu <sub>2</sub> O-Ag	AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag
7	10g AC + 0,05g HT-Ag + 0,05g Cu <sub>2</sub> O	AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O
8	10g AC + 0,025g HT-Ag + 0,1g Cu <sub>2</sub> O-Ag	AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag

**Hình 2.2. Hình ảnh các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano trên nền kính****Hình 2.3. Hình ảnh các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano trên nền bê tông**

## 2.2.2. Đặc trưng, tính chất và hình thái của lớp phủ

### 2.2.2.1. Độ bám dính

Độ bám dính của lớp phủ được đánh giá trên thiết bị kiểm tra độ bám dính lớp phủ tự động Elcometer F510-20T (Anh) theo tiêu chuẩn ASTM D968-15 tại Viện Khoa học vật liệu – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (gọi tắt là Viện KHVL). Thông số này cho thấy khả năng gắn kết giữa lớp phủ và nền, yếu tố quan trọng quyết định độ bền của lớp phủ trong điều kiện thực tế.



*Hình 2.4. Hình ảnh thiết bị kiểm tra độ bám dính phủ tự động*

### 2.2.2.2. Độ cứng tương đối

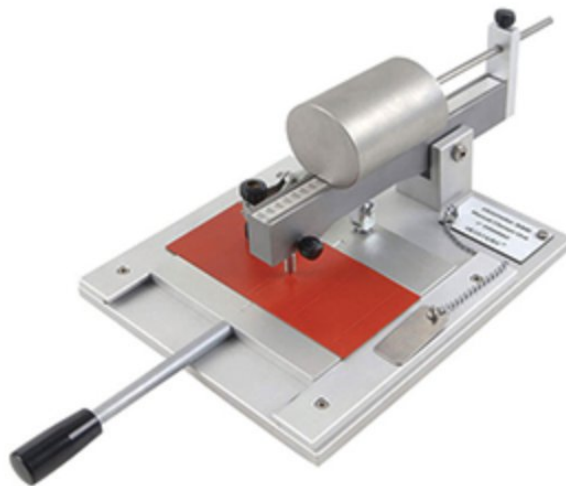
Độ cứng tương đối của lớp phủ được xác định bằng thiết bị Erichsen model 506 (Đức) theo tiêu chuẩn ISO 1522 tại Viện KHVL. Phép đo được lặp lại 5 lần và kết quả thu được là giá trị trung bình  $\pm$  SD.

Ngoài ra, độ cứng của lớp phủ còn được đo bằng phương pháp kiểm tra độ cứng bút chì theo tiêu chuẩn ASTM D 3363. Phương pháp kiểm tra độ cứng của lớp phủ bằng bút chì là thước đo khả năng chống lại sự ma sát của một vật nhọn, có độ cứng đã biết, gây ra hư hại do trầy xước trên bề mặt màng sơn khô. Nguyên tắc hoạt động cơ bản của thử nghiệm độ cứng sơn bằng bút chì là một vật làm bằng vật liệu cứng hơn sẽ làm trầy xước vật liệu có độ cứng mềm hơn.

### 2.2.2.3. Độ bền cào xước

Độ bền cào xước được tiến hành để xác định khả năng chịu lực tập trung của lớp phủ trước tác động cơ học trực tiếp. Độ bền cào xước của lớp phủ được xác định bằng phương pháp gia tải thay đổi theo tiêu chuẩn TCVN 10239-2:2023 (ISO 1518-2:2011) bằng thiết bị Elcometer 3000 Manual Clemen Unit tại Viện KHVL. Xác định độ bền cào xước bằng cách sử dụng thiết bị tự động đẩy mẫu thử nằm dưới bút thử xước đầu nhọn được lắp sao cho nén vuông góc lên bề mặt mẫu thử. Tải trọng trên tấm thử được liên tục gia tăng cho đến khi lớp phủ bị xước. Phương pháp này cho phép xác định chính xác tải trọng tối thiểu gây ra vết xước, cung cấp thông tin về khả năng chống chịu của lớp phủ. Đối với mỗi lần thử nghiệm, giá trị độ bền cào xước là tải trọng (biểu thị bằng Newton-N) tại thời điểm xuất hiện vết xước đầu tiên. Quy đổi giá trị theo công thức:

$$\text{Lực (N)} = \text{Khối lượng (kg)} \times \text{Gia tốc trọng trường (9,81 m/s}^2\text{)}$$



**Hình 2.5. Hình ảnh thiết bị Elcometer 3000 Manual Clemen Unit**

### 2.2.2.4. Độ bóng góc 60°

Độ bóng là độ phản quang của bề mặt được dùng sơn phủ khi tiếp xúc với ánh sáng. Độ bóng của màng phủ được đo bằng thiết bị Erichsen Picogloss model 503 ở góc 60°. Độ bóng còn lại của lớp phủ sau khi thử nghiệm được xác định theo biểu thức sau:

$$\text{Độ bóng còn lại} = \frac{G_t}{G_0} \times 100 \quad (1)$$

trong đó  $G_0$  và  $G_t$  lần lượt là độ bóng của lớp phủ trước và sau thử nghiệm lão hóa.



**Hình 2. 6. Hình ảnh thiết bị Erichsen Picogloss model 503**

#### **2.2.2.5. Độ hao hụt khối lượng**

Độ hao hụt khối lượng ( $\Delta m_t$ ) của các lớp phủ sau gia tốc thời tiết được tính theo công thức:

$$\Delta m_t = \frac{(m_0 - m_t) \times 100}{m_0} \quad (2)$$

trong đó  $m_0$  là khối lượng ban đầu của lớp phủ được khảo sát và  $m_t$  là khối lượng mẫu tại thời điểm  $t$  của thử nghiệm lão hóa gia tốc.

#### **2.2.2.6. Độ sai lệch màu**

Độ sai lệch màu ( $\Delta E$ ) của lớp phủ được xác định bằng thiết bị đo màu quang phổ theo hệ màu CIE  $L^*a^*b^*$  tại Viện KHVL. Giá trị  $\Delta E$  được sử dụng để đánh giá mức độ biến đổi màu sắc của lớp phủ sau quá trình gia tốc thời tiết. Đây là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh khả năng chống lão hóa quang hóa, độ ổn định của các thành phần trong lớp phủ cũng như khả năng duy trì chất lượng thẩm mỹ khi vật liệu làm việc trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Trong đó:

$$\Delta L^* = L_2^* - L_1^*$$

→ độ chênh lệch độ sáng

$$\Delta a^* = a_2^* - a_1^*$$

→ độ chênh lệch trục đỏ ↔ xanh lá

$$\Delta b^* = b_2^* - b_1^*$$

→ độ chênh lệch trục vàng ↔ xanh dương

### ***2.2.2.7. Phân tích cấu trúc và hình thái***

Các kỹ thuật hiển vi và phổ học hiện đại được áp dụng để làm rõ cấu trúc vật liệu. Hiển vi kim tương (GX53, Olympus, Nhật Bản) hỗ trợ đánh giá cấu trúc vĩ mô của lớp phủ. Phổ hồng ngoại (IR) của các mẫu được thực hiện bằng máy quang phổ Nicolet iS10 (Thermo Scientific– Mỹ) được ghi theo kỹ thuật phản xạ toàn phần suy giảm trong vùng số sóng từ  $4000\text{ cm}^{-1}$  đến  $400\text{ cm}^{-1}$  ở nhiệt độ phòng với độ phân giải  $8\text{ cm}^{-1}$  và 32 lần quét. Tính chất bề mặt của lớp phủ được đánh giá thông qua góc tiếp xúc nước được ghi bằng thiết bị đo góc tiếp xúc quang (OCA50, Dataphysics, Đức). Các phép đo được tiến hành tại Viện KHVL.



***Hình 2.7. Hình ảnh kính hiển vi kim tương GX53, Olympus***



***Hình 2.8. Hình ảnh máy quang phổ Nicolet iS10***

Khả năng kháng khuẩn của lớp phủ được đánh giá thông qua thử nghiệm trên các chủng vi khuẩn *Escherichia coli* (EC) (Gram (-)) và *Staphylococcus aureus* (SA) (Gram (+)).

Thiết kế thí nghiệm: Các mẫu màng được ngâm vào dung dịch có chứa vi khuẩn. Cụ thể:

- Đối chứng âm 1: 2700  $\mu$ l môi trường LB dịch thể + 300  $\mu$ l vi khuẩn.
- Mẫu nghiên cứu: 2700  $\mu$ l môi trường LB dịch thể + 300  $\mu$ l vi khuẩn + 0,3 g mẫu màng chứa tác nhân kháng khuẩn.
- Đối chứng dương: 2670  $\mu$ l môi trường LB dịch thể + 300  $\mu$ l vi khuẩn + 30  $\mu$ l ampicillin có nồng độ 10 mg/ml.
- Đối chứng âm 2: 2700  $\mu$ l môi trường LB dịch thể + 300  $\mu$ l vi khuẩn + 0,3 g màng không có chất kháng khuẩn.

Sau khi thả màng vào dịch. Các mẫu được ủ ở 37°C, lắc 200 vòng/phút.

Xác định khả năng kháng khuẩn: khả năng kháng khuẩn của các mẫu màng được xác định thông qua số lượng tế bào vi khuẩn. Số lượng tế bào vi khuẩn trong các mẫu thí nghiệm được xác định theo phương pháp pha loãng tới hạn tại thời điểm 0 giờ và 24 giờ nuôi cấy. Số lượng vi khuẩn được xác định theo công thức:

$$\text{CFU/ml} = \frac{\text{Số khuẩn lạc đếm được (CFU)}}{\text{Thể tích cấy (ml) x Hệ số pha loãng}}$$

Trong đó:

- Số khuẩn lạc (CFU): Số lượng khuẩn lạc đếm được trên đĩa petri.
- Thể tích cấy (ml): Lượng dung dịch được cấy lên đĩa.
- Hệ số pha loãng: Ví dụ, nếu mẫu được pha loãng 1:1000 thì hệ số pha loãng là 1000.

### Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. TÍNH CHẤT CƠ HỌC

##### 3.1.1. Độ bám dính

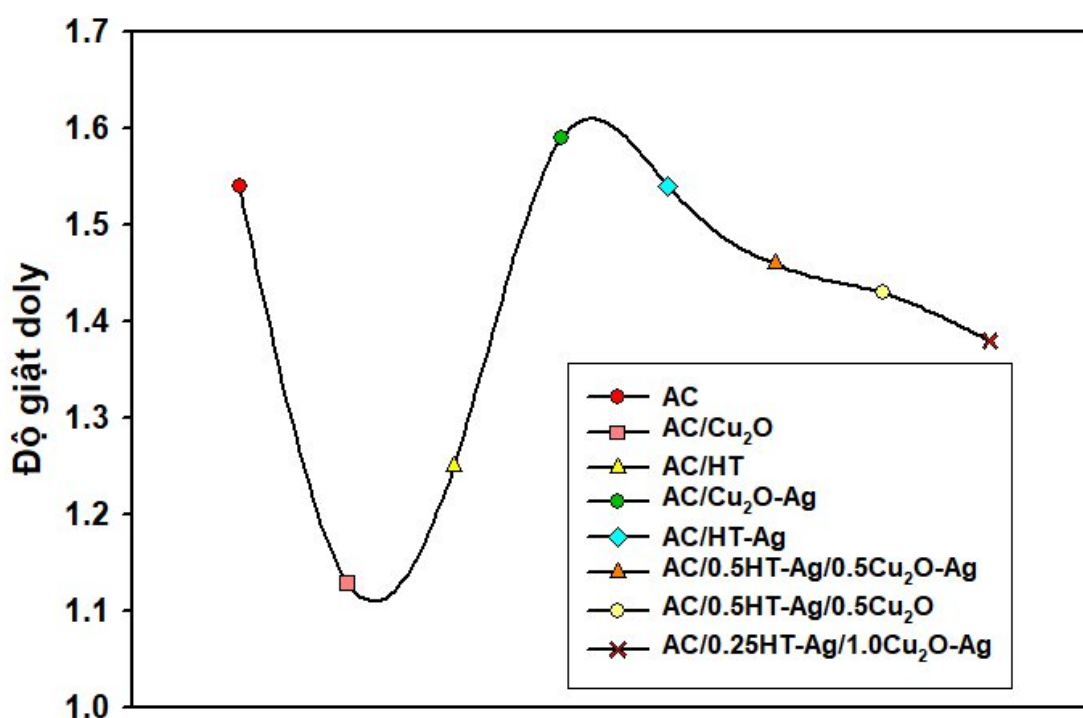
Độ bám dính điểm của các mẫu đã được thể hiện trong Bảng 3.1. Có thể thấy giá trị độ bám dính của lớp phủ chỉ dao động từ 0-1 điểm. Trong các mẫu khảo sát, chỉ có 2 mẫu AC và AC/HT thể hiện giá trị độ bám dính điểm thấp hơn. Điều này chỉ ra rằng sự kết hợp của các hạt nano và HT với lớp phủ acrylic đã giúp cải thiện rõ rệt độ bền cơ học, khả năng bám dính nhờ cấu trúc lớp của HT và sự phân tán đồng đều của các hạt nano [39,41].

Bên cạnh đó, Bảng 3.1 và Hình 3.1 cũng cho thấy giá trị độ bám dính giật dolly của các mẫu lớp phủ. Trong đó, mẫu AC đạt giá trị độ bám dính giật dolly khá cao (1,54 MPa) nhưng khi thêm hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, giá trị độ bám dính giật dolly của mẫu AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag tăng lên cao nhất (1,59 MPa) làm cho lớp phủ này khó bị bong tróc hơn so với các mẫu lớp phủ khác. Tuy nhiên, khi kết hợp AC, nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  và Ag với HT, các mẫu lớp phủ có giá trị độ bám dính giật dolly giảm đáng kể (Hình 3.1) do cấu trúc lớp của HT đã giúp các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$  và Ag phân tán đồng đều hơn. Thêm vào đó, khi thay đổi tỉ lệ về khối lượng của các thành phần mẫu, giá trị độ bám dính giật dolly của mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag cũng giảm; cụ thể mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag có giá trị 1,46 MPa nhưng khi giảm tỉ lệ HT-Ag và tăng tỉ lệ  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag tạo thành mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, giá trị độ bám dính giật dolly đã giảm xuống chỉ còn 1,38 MPa. Điều này chỉ ra rằng tỉ lệ khối lượng các chất tham gia trong mẫu lớp phủ cũng ảnh hưởng nhất định tới độ bám dính và khả năng chịu lực của các mẫu lớp phủ.

**Bảng 3.1. Giá trị độ bám dính điểm và độ bám dính giật dolly của các mẫu thực nghiệm**

Mẫu	Độ bám dính điểm	Độ bám dính giật dolly (MPa)
AC	1	1,54
AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$	0	1,13
AC/HT	1	1,25

AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	0	1,59
AC/HT-Ag	0	1,54
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	0	1,46
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	0	1,43
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	0	1,38



**Hình 3.1. Biểu đồ so sánh độ bám dính giật dolly của các mẫu lớp phủ**

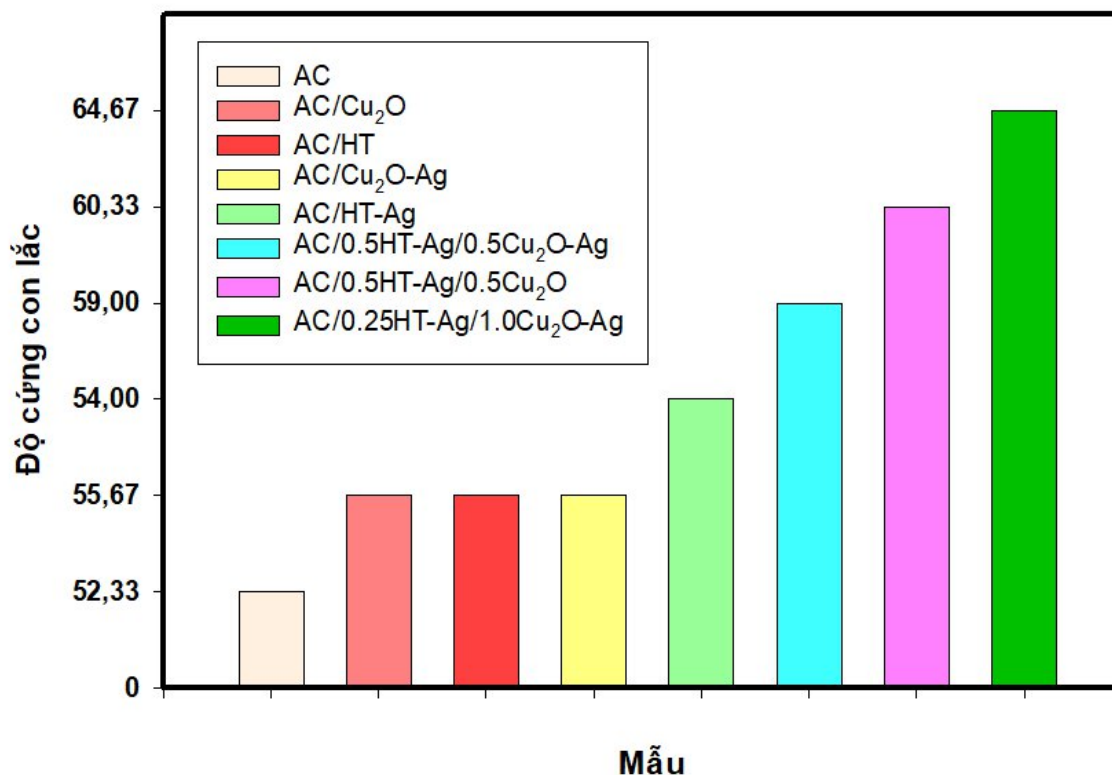
### 3.1.2. Độ cứng con lắc và độ cứng bút chì

Độ cứng con lắc của các mẫu đều tương đối tốt (>50 MPa) và độ cứng bút chì đạt mức độ trung bình (3B,4B) như trình bày trong Bảng 3.2. Trong đó, lớp phủ AC thuần có độ cứng con lắc thấp nhất ( $52,33 \pm 0,58$ ) và độ cứng bút chì 4B cho thấy khả năng chịu lực và chống trầy xước của lớp phủ acrylic tốt nhưng chưa có mức độ chịu mài mòn cao. Bên cạnh đó, khi thêm HT và các hạt nano Cu<sub>2</sub>O và Ag, các giá trị của độ cứng con lắc của các mẫu lớp phủ đều tăng. Đối với các mẫu AC/Cu<sub>2</sub>O, AC/HT và AC/Cu<sub>2</sub>O-Ag, không có sự khác biệt quá lớn khi giá trị độ cứng con lắc đều đạt giá trị 55,67 và độ cứng bút chì 3B-4B. Tuy nhiên, đối với mẫu AC/Cu<sub>2</sub>O-Ag, khả năng chống lại sự biến dạng và mài

mòn sẽ kém hơn do sai số khá lớn (3,06) và độ cứng bút chì 3B. Thêm vào đó, khi có sự kết hợp của cả HT và 2 hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag với lớp phủ acrylic, giá trị của độ cứng con lăn của các lớp phủ (AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$  và AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag) đã tăng lên đáng kể. Cụ thể, mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag có giá trị độ cứng tương đối cao ( $59,00 \pm 2,00$ ) nhưng khi thay đổi tỉ lệ về khối lượng, mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag đã thể hiện giá trị cao vượt trội so với tất cả các mẫu khác ( $64,67 \pm 2,08$ ) được (Hình 3.2). Mặc dù mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$  cũng cho giá trị độ cứng tương đối cao hơn 60 MPa nhưng giá trị của sai số lớn (7,37 MPa). Điều này có thể chỉ ra rằng sự kết hợp hạt nano trong lớp phủ của mẫu này chưa đạt được sự phân tán đồng đều. Nhìn chung, dựa vào 2 giá trị độ cứng tương đối và độ cứng bút chì, có thể thấy mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag là mẫu tốt nhất khi thể hiện độ cứng con lăn và khả năng chống trầy xước vượt trội nhờ thay đổi tỷ lệ khối lượng các hạt nano giúp lớp phủ trở nên tốt hơn.

**Bảng 3.2. Độ cứng con lăn và độ cứng bút chì của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano**

Mẫu	Độ cứng con lăn	Độ cứng bút chì
AC	$52,33 \pm 0,58$	4B
AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$	$55,67 \pm 1,53$	4B
AC/HT	$55,67 \pm 1,15$	4B
AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	$55,67 \pm 3,06$	3B
AC/HT-Ag	$54,00 \pm 2,00$	4B
AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	$59,00 \pm 2,00$	3B
AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$	$60,33 \pm 7,37$	3B
AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	$64,67 \pm 2,08$	3B



**Hình 3.2. Biểu đồ so sánh độ cứng con lắc của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.**

### 3.1.3. Độ bền cào xước

Bảng 3.3 chỉ ra giá trị độ bền cào xước của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano Cu<sub>2</sub>O và Ag.

**Bảng 3.3. Độ bền cào xước của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano**

Mẫu	Độ bền cào xước (g)
AC	150
AC/Cu <sub>2</sub> O	150
AC/HT	150
AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	150
AC/HT-Ag	150
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	200
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	200
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	200

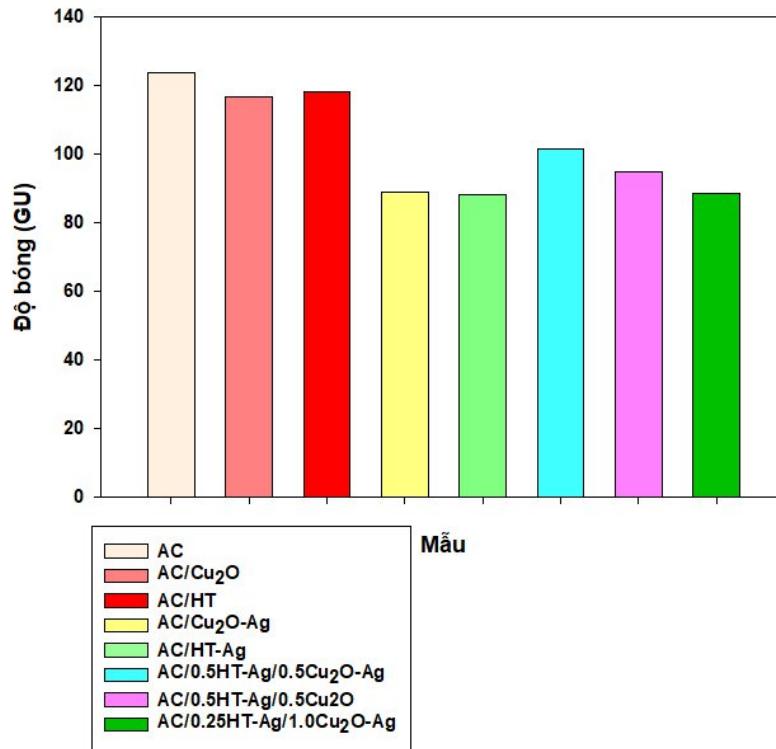
Đối với mẫu AC thuần và các mẫu chỉ chứa hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag hoặc HT, giá trị độ bền cào xước của các mẫu lớp phủ AC, AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ , AC/HT, AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag và AC/HT-Ag đều đạt giá trị 150. Điều này cho thấy các mẫu này dễ dàng bị mài mòn và trầy xước khi chịu tác động cơ học. Tuy nhiên, khi có sự kết hợp của cả 2 hạt nano và HT với AC tạo thành 3 mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag; AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$  và AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, giá trị độ bền cào xước của các mẫu lớp phủ này đã tăng lên đáng kể và đạt giá trị 200 mặc dù đã có sự thay đổi trong tỉ lệ về khối lượng các thành phần tham gia của 3 mẫu. Điều này chỉ ra rằng thêm hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag và HT vào đã giúp cải thiện được độ bền cào xước của lớp phủ.

#### 3.1.4. Độ bóng

Từ Hình 3.3 và Bảng 3.4, có thể thấy mẫu AC có giá trị độ bóng cao nhất (bề mặt bóng mượt, phản chiếu tốt và có khả năng duy trì độ bóng ổn định). Khi có kết hợp HT và các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag, độ bóng của các mẫu lớp phủ bị giảm dần. Đặc biệt, mẫu AC/HT-Ag và AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag có giá trị độ bóng giảm mạnh so với AC. Điều này có thể do kết hợp các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag và hydrotalcite dẫn tới sự thay đổi bề mặt của lớp phủ (tăng độ nhám), gây tán xạ ánh sáng nhiều hơn [42-43].

**Bảng 3.4. Độ bóng của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano**

Mẫu	Độ bóng (GU)
AC	123,67 ± 5,03
AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$	116,67 ± 0,58
AC/HT	118 ± 1,00
AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	89,03 ± 1,56
AC/HT-Ag	88,17 ± 0,93
AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	101,33 ± 0,58
AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$	95 ± 0,95
AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag	88,633 ± 1,301

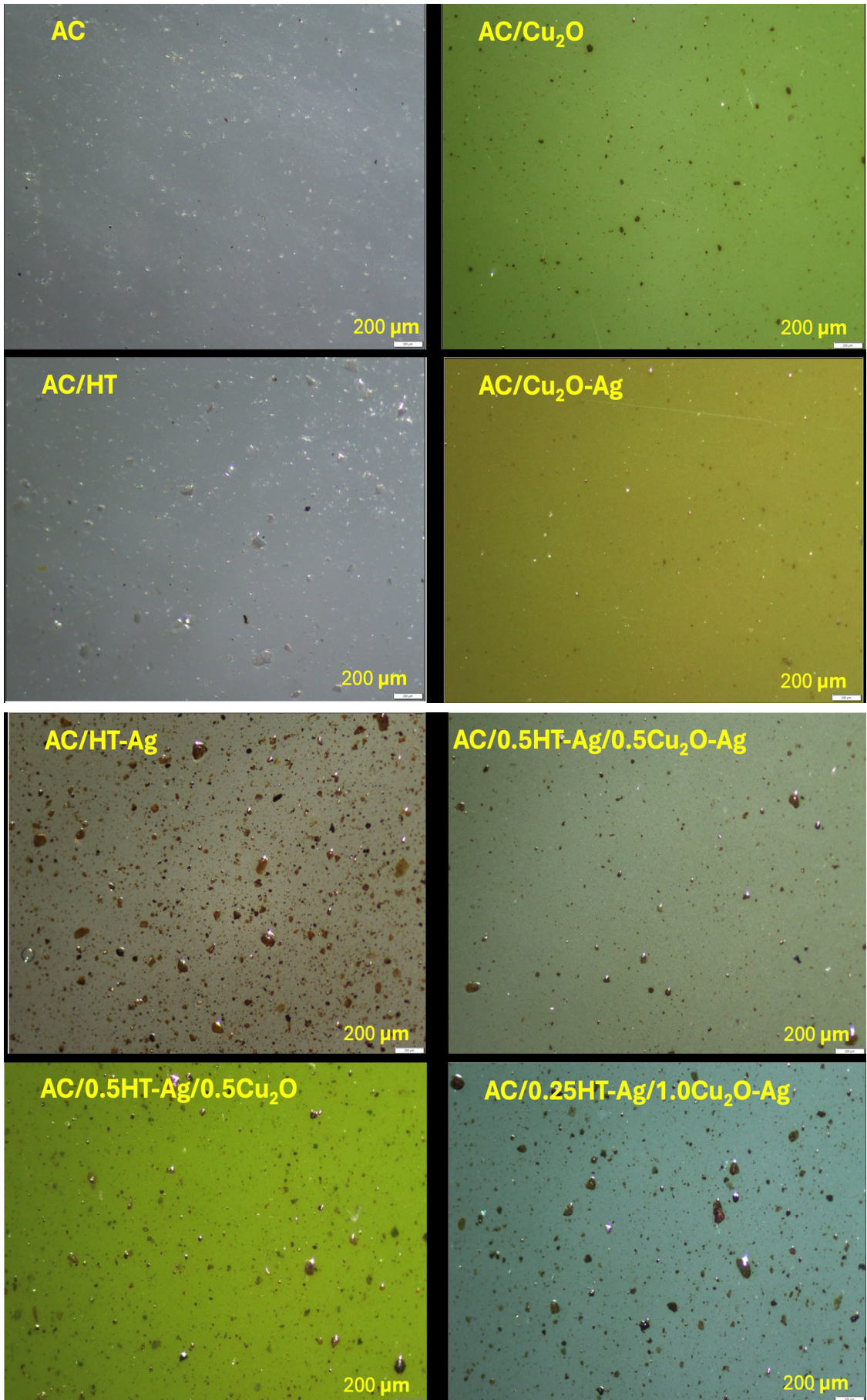


**Hình 3.3. Biểu đồ so sánh độ bóng của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano.**

## 3.2. HÌNH THÁI CẤU TRÚC

### 3.2.1. Hiển vi soi nổi

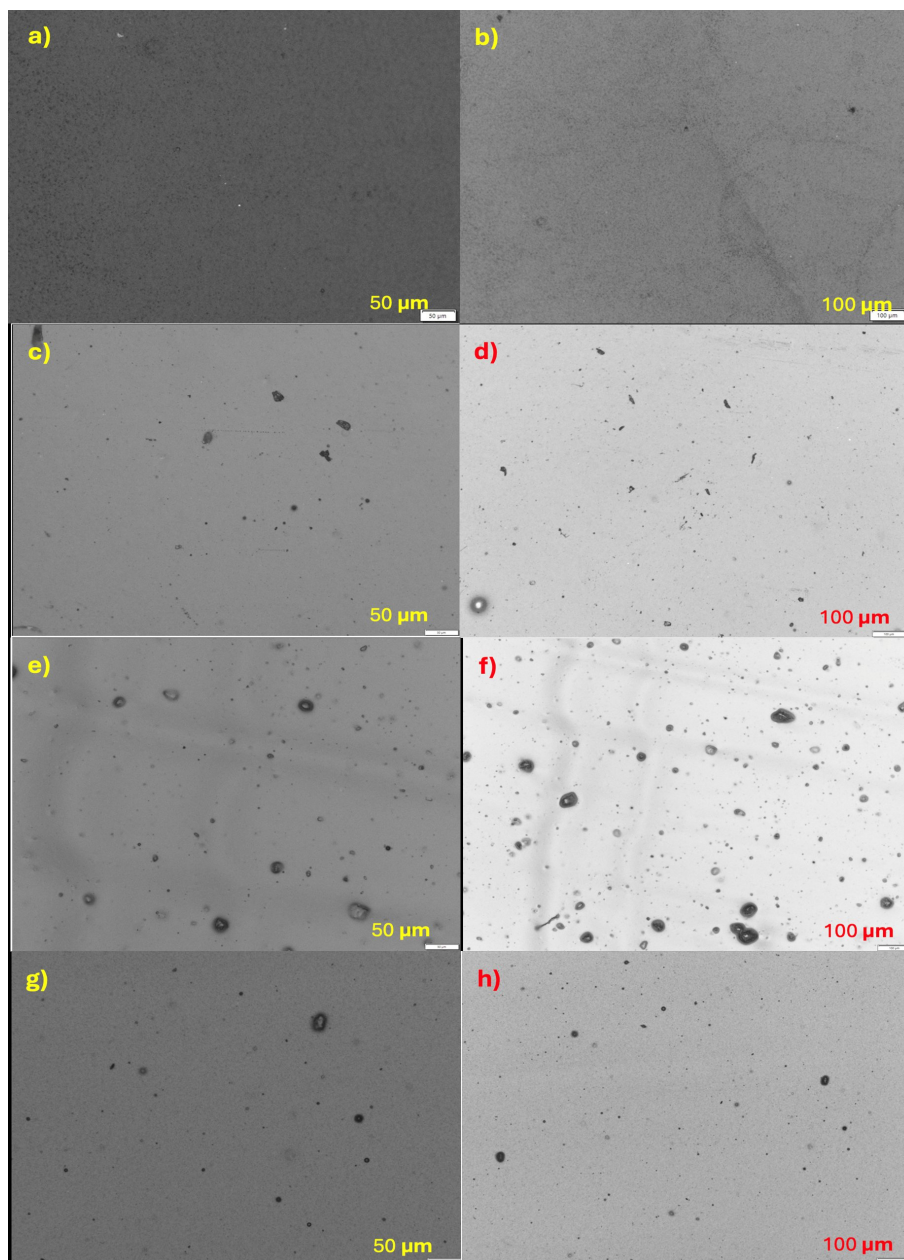
Hình 3.4 thể hiện rõ các ảnh hiển vi soi nổi của các mẫu. Có thể thấy mẫu AC có bề mặt khá mịn và bóng mượt, ít gồ ghề trên bề mặt do chưa có sự kết hợp với các hạt nano và HT. Tuy nhiên, đối với các mẫu AC/Cu<sub>2</sub>O, AC/HT, AC/HT-Ag, AC/Cu<sub>2</sub>O-Ag, AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag, AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag và AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O, bề mặt mẫu trở nên gồ ghề hơn. Mẫu AC/Cu<sub>2</sub>O và AC/HT đã có sự giảm nhẹ độ bóng so với mẫu AC ban đầu bởi kết hợp nano Cu<sub>2</sub>O và HT nhưng bề mặt của chúng vẫn tương đối mịn. Đặc biệt, đối với AC/HT-Ag và AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag, bề mặt mẫu nhám nhất, có nhiều điểm lồi lõm và gồ ghề so với các mẫu khác. Thêm vào đó, khi thay đổi tỷ lệ khối lượng, các mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag có bề mặt không đều và lồi lõm nhiều hơn so với các mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag và AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O. Điều này có thể do sự thay đổi tỉ lệ về khối lượng các thành phần trong lớp phủ, dẫn đến mức độ phân tán không đều làm cho cấu trúc bề mặt giữa các lớp phủ không đồng nhất. Các kết quả trên khá phù hợp với kết quả xác định độ bóng đã được bàn luận ở mục 3.1.4 [42-43].



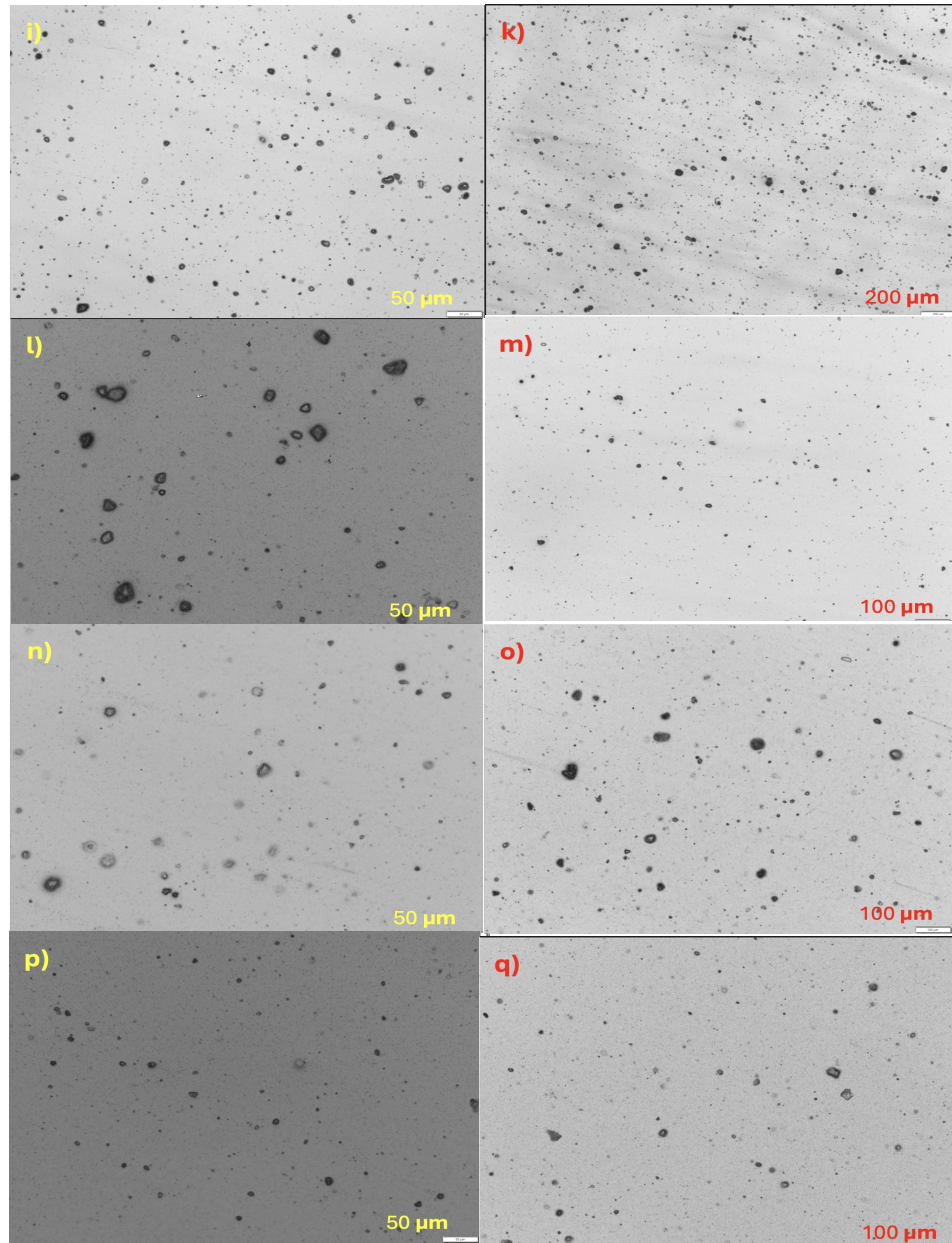
**Hình 3.4.** Ảnh hiển vi soi nổi của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano

### 3.2.2. Hiện vi kim tương

Hình 3.5 và Hình 3.6 biểu diễn các ảnh hiển vi kim tương của các mẫu. Đối với AC, bề mặt mịn màng do chưa có sự kết hợp với các nano và HT. Các mẫu còn lại, bề mặt đã bắt đầu xuất hiện các vùng lồi lõm rõ rệt do có sự tham gia của các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , HT,  $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ , HT-Ag, xuất hiện các hạt lớn hơn do sự kết tụ các hạt nano và sự phân tán của chúng không đồng đều tại các vị trí trên bề mặt lớp phủ. Khi thay đổi tỷ lệ hạt nano, mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  có các hạt với kích thước vẫn tương đối lớn do sự kết tụ các hạt nano khi so sánh với AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$ .



**Hình 3.5. Ảnh hiển vi kim tương của các mẫu AC (a,b); AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$  (c,d); AC/HT (e,f); AC/ $\text{Cu}_2\text{O-Ag}$  (g,h).**



**Hình 3.6. Ảnh hiển vi kim tương của các mẫu AC/HT-Ag (i,k); AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag (l,m); AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O (n,o); AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag (p,q).**

### 3.3. ĐỘ BỀN THỜI TIẾT

#### 3.3.1. Sự thay đổi khối lượng

Trong quá trình thử nghiệm gia tốc thời tiết, các lớp phủ acrylic được tiếp xúc với một số yếu tố thời tiết như bức xạ tia cực tím, độ ẩm, nhiệt độ. Bề mặt các lớp phủ bị thay đổi, cụ thể là các phân tử có khối lượng thấp được tạo ra và thoát ra khỏi lớp phủ do các lớp phủ bị phân hủy quang oxy hóa, quang phân và thủy phân [44-45]. Kết quả là khối lượng của các lớp phủ trong quá trình thử

nghiệm gia tốc thời tiết bị giảm. Vì vậy, sự thay đổi khối lượng các mẫu trong quá trình thử nghiệm này được sử dụng như một phương pháp đơn giản để đánh giá độ ổn định thời tiết của các mẫu [46-50]. Tuy nhiên, mức độ thay đổi khối lượng của các mẫu là khác nhau (sau 7, 14 và 21 ngày thử nghiệm, khối lượng của các mẫu bị giảm nhẹ (Bảng 3.5)). Xu hướng giảm khối lượng của mẫu AC là lớn nhất, tiếp theo là mẫu AC/HT. Mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag bị giảm khối lượng thấp nhất. Điều này được giải thích do các lớp phủ acrylic có chứa thêm các hạt nano vô cơ (AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag, AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O và AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag) có cấu trúc chặt chẽ hơn làm cho các lớp phủ acrylic này khó bị phá hủy hơn trong quá trình thử nghiệm [45].

**Bảng 3.5. Sự thay đổi khối lượng của các lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7, 14 và 21 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết.**

Mẫu	Ngày 1 (%)	Ngày 7 (%)	Ngày 14 (%)	Ngày 21 (%)
AC	100	99,99	98,03	94,14
AC/Cu <sub>2</sub> O	100	99,98	97,95	95,94
AC/HT	100	99,99	97,91	95,85
AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	100	99,98	97,97	95,99
AC/HT-Ag	100	99,99	98,02	96,09
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	100	99,97	98,37	96,02
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	100	99,98	98,00	96,05
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	100	99,98	97,98	97,41

### 3.3.2. Sự thay đổi màu sắc

Bảng 3.6 thể hiện sự thay đổi màu sắc của các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết.

**Bảng 3.6. Sự thay đổi màu sắc của các lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7, 14 và 21 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết**

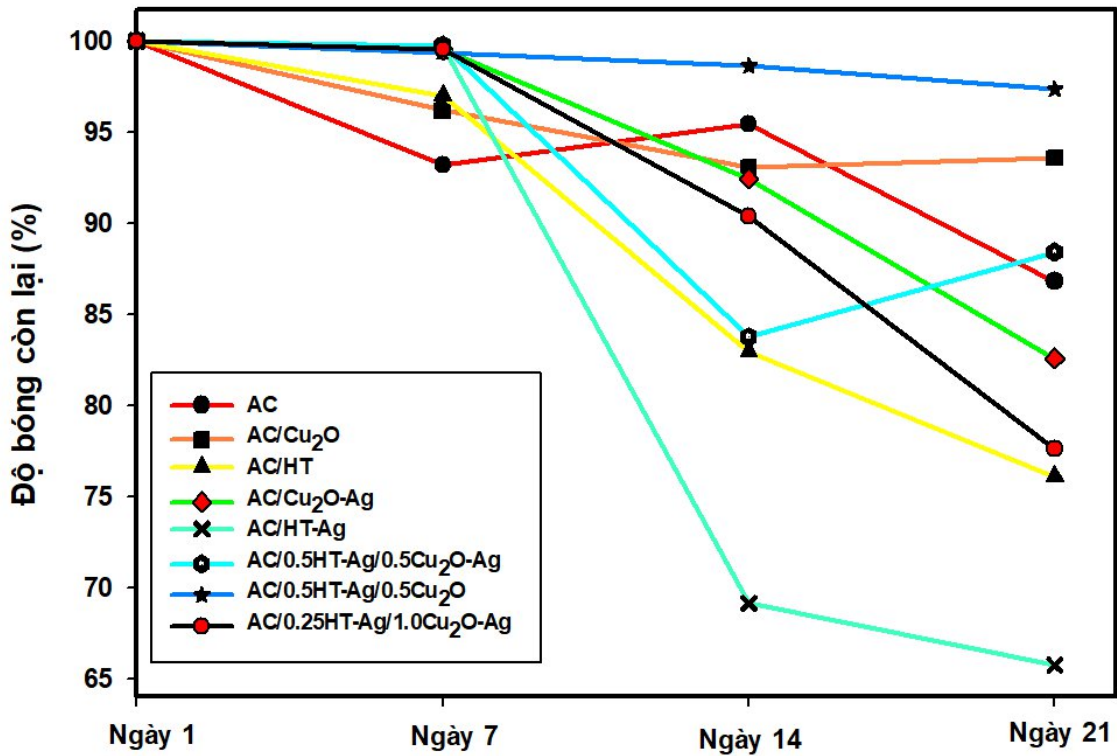
Mẫu	Giá trị $\Delta E$		
	Sau 7 ngày	Sau 14 ngày	Sau 21 ngày
AC	2,07	2,35	2,06
AC/Cu <sub>2</sub> O	3,77	3,94	3,91
AC/HT	3,17	3,99	3,59
AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	3,52	3,67	1,95
AC/HT-Ag	1,78	1,07	1,61
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	8,87	11,31	9,43
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	4,29	6,02	4,75
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	5,91	16,09	11,40

Có thể thấy sau 7 ngày đầu, giá trị delta E của các mẫu đều tăng. Đối với mẫu AC thuần và một số mẫu không có sự thay đổi nhiều giá trị delta E sau 21 ngày thử nghiệm. Điều này cho thấy các lớp phủ đó có khả năng duy trì màu sắc ổn định. Đối với các mẫu thêm các hạt nano Cu<sub>2</sub>O, Ag và HT, có sự thay đổi mạnh màu sắc theo các ngày thử nghiệm. Cụ thể, mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag và mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O tăng sự thay đổi màu sắc mạnh lúc đầu (ngày 7), sau đó giá trị delta E giảm mạnh (ngày 14, ngày 21) do có sự tương tác giữa các hạt nano và polymer giúp phân bị thay đổi màu có thể phục hồi sau khi thử nghiệm dưới thời tiết khắc nghiệt [51]. Khi thêm các hạt nano Cu<sub>2</sub>O, Ag, HT vào lớp phủ AC tạo thành mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag, giá trị delta E tăng liên tục (từ ngày 1 đến ngày 21) và đặc biệt tăng mạnh (ngày 21). Nhìn chung, việc đưa các hạt nano Cu<sub>2</sub>O, Ag và HT vào lớp phủ AC thuần đều ghi nhận giá trị delta E thay đổi đáng kể qua các ngày dẫn tới sự ổn

định màu của lớp phủ AC thuần bị kém đi có thể do sự kết tụ các hạt nano trên bề mặt lớp phủ.

### 3.3.3. Sự thay đổi độ bóng

Dựa vào biểu đồ thể hiện sự thay đổi độ bóng của các mẫu AC chứa các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , HT,  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag sau khi gia tốc thời tiết (Hình 3.7).



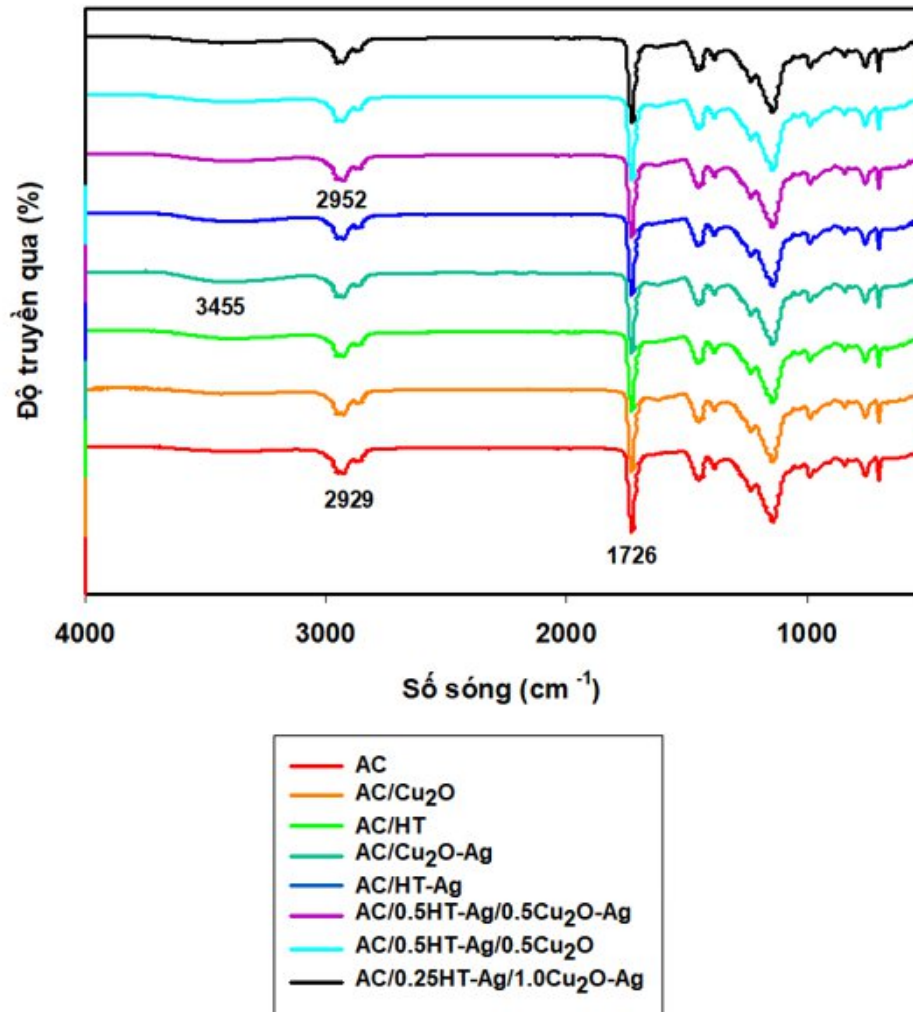
**Hình 3.7. Biểu đồ thể hiện sự thay đổi độ bóng của các mẫu lớp phủ chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết.**

Có thể thấy sự suy giảm độ bóng của các mẫu theo thời gian. Trong 7 ngày đầu tiên, sự thay đổi độ bóng của các mẫu là vẫn còn ít (>90%). Với 7 ngày tiếp theo (sau 14 ngày), độ bóng của các mẫu lớp phủ đã bị giảm một cách đáng kể, thậm chí giá trị độ bóng còn lại của mẫu AC/HT-Ag đạt dưới 70%. Điểm chung của các mẫu chứa nano Ag và  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag là độ bóng của chúng đều giảm đáng kể sau 21 ngày. Điều này cho thấy mặc dù nano Ag có thể cải thiện một số tính chất cơ học của lớp phủ nhưng khả năng chống tia UV của chúng vẫn còn yếu. Sau 21 ngày, 3 mẫu có độ bóng thay đổi ít nhất được sắp xếp lần lượt là AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag < AC/Cu<sub>2</sub>O < AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O, đều cao hơn so với AC. Như vậy, đưa các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag và HT vào lớp phủ acrylic, vẫn phần nào cải thiện được tính chất bề mặt của lớp phủ. Đối với các

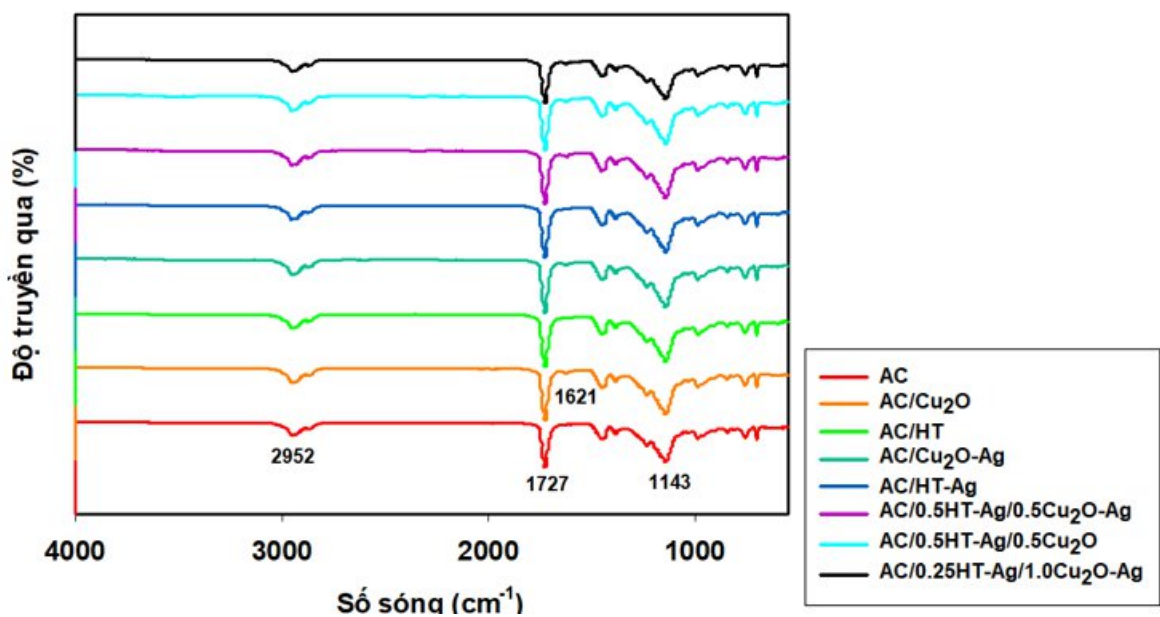
mẫu còn lại độ bóng bị giảm mạnh có thể do sự kết tụ các hạt và phân tán không đồng đều trên bề mặt của các lớp phủ.

### 3.3.4. Sự thay đổi cấu trúc

Hình 3.8 và 3.9 biểu diễn phổ IR của các mẫu lớp phủ AC chứa hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , HT,  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag trước và sau khi thử nghiệm gia tốc thời tiết. Có thể quan sát thấy dao động của các nhóm C-H; C=O của lớp phủ acrylic được biểu diễn ở  $2929\text{ cm}^{-1}$ ,  $2952\text{ cm}^{-1}$  và  $1727\text{ cm}^{-1}$ . Trước khi thử nghiệm gia tốc thời tiết, các mẫu đều ghi nhận đỉnh ở  $3455\text{ cm}^{-1}$  của nhóm -OH nhưng sau khi thử nghiệm gia tốc thời tiết đỉnh ở  $3455\text{ cm}^{-1}$  đã biến mất do sự bay hơi của nước dưới ảnh hưởng nhiệt độ cao. Bên cạnh đó, đỉnh ở  $2929\text{ cm}^{-1}$  (tương ứng với sự kéo giãn không đối xứng của liên kết C-H trong nhóm  $-\text{CH}_2-$ ) xuất hiện ở mẫu AC thuần và các mẫu AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ , AC/HT, AC/ $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, AC/HT-Ag; đỉnh ở  $2952\text{ cm}^{-1}$  (tương ứng với sự kéo giãn không đối xứng của liên kết C-H trong nhóm  $-\text{CH}_3$ ) xuất hiện sau khi có sự kết hợp của cả 2 hạt nano và HT với lớp phủ AC. Sau khi gia tốc thời tiết, các đỉnh ở  $2929\text{ cm}^{-1}$  đều bị dịch chuyển đến đỉnh ở  $2952\text{ cm}^{-1}$  nhưng 3 mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag, AC/0.5HT-Ag/0.5 $\text{Cu}_2\text{O}$ , AC/0.25HT-Ag/1.0 $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag có đỉnh ở  $2952\text{ cm}^{-1}$  giữ nguyên. Điều này cho thấy cấu trúc polymer không bị phân hủy hoặc ít thay đổi đáng kể trong quá trình thử nghiệm gia tốc thời tiết do có sự bảo vệ từ các hạt nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag và HT. Đặc biệt, đối với những mẫu chứa nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , có thể quan sát được sự xuất hiện của đỉnh mới ở  $1621\text{ cm}^{-1}$  sau khi thực hiện gia tốc thời tiết do  $\text{Cu}_2\text{O}$  tương tác hóa học với các nhóm chức trong polymer dưới tác động của tia UV và nhiệt độ cao. Nhìn chung, với những mẫu có sự kết hợp của cả 2 hạt nano và HT, lớp phủ AC sẽ có cấu trúc bền hơn, ít bị phân hủy hoặc chuyển hóa hơn so với các mẫu còn lại dưới tác động của các yếu tố môi trường khắc nghiệt [40].



**Hình 3.8. Phổ IR của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano trước khi thử nghiệm gia tốc thời tiết**



**Hình 3.9. Phổ IR của các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau 7 ngày thử nghiệm gia tốc thời tiết**

Bảng 3.7 biểu thị chỉ số carbonyl các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết. Nhìn chung, các mẫu lớp phủ đều cho thấy sự biến động rõ rệt về chỉ số carbonyl, nhiều mẫu đều có giá trị chỉ số carbonyl tăng, chỉ có 2 mẫu là AC thuần và AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag cho giá trị chỉ số carbonyl giảm. Mẫu AC thuần có giá trị carbonyl giảm nhẹ cho thấy khả năng chống oxi hóa lớp phủ khá tốt. Các mẫu có sự kết hợp với hạt nano Cu<sub>2</sub>O hoặc Cu<sub>2</sub>O-Ag, HT, HT-Ag, có sự tăng mạnh giá trị carbonyl, đặc biệt mẫu AC/HT-Ag (từ 3,80 lên 4,29) có thể do sự đông tụ của các hạt Cu<sub>2</sub>O, Ag. Bên cạnh đó, kết hợp của cả 2 hạt nano và HT trong lớp phủ, giá trị carbonyl sau 7 ngày đầu tiên tăng nhẹ (đối với 2 mẫu AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O-Ag và AC/0.5HT-Ag/0.5Cu<sub>2</sub>O) và thậm chí giảm mạnh ở mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag (từ 4,26 xuống 3,97). Điều này cho thấy sự tham gia của các hạt nano cùng HT và thay đổi tỷ lệ về khối lượng các thành phần trong mẫu đã ngăn ngừa sự phân hủy oxi hóa quang của lớp phủ dưới điều kiện thời tiết khắc nghiệt.

**Bảng 3.7. Chỉ số carbonyl các mẫu lớp phủ AC chứa phụ gia nano sau thử nghiệm gia tốc thời tiết**

Mẫu	Chỉ số carbonyl	
	Ngày 1	Ngày 7
AC	3,99	3,91
AC/Cu <sub>2</sub> O	4,02	4,44
AC/HT	3,88	4,18
AC/Cu <sub>2</sub> O-Ag	4,06	4,44
AC/HT-Ag	3,80	4,29
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O-Ag	4,05	4,24
AC/0.5HT-Ag/0.5Cu <sub>2</sub> O	4,21	4,48
AC/0.25HT-Ag/1.0Cu <sub>2</sub> O-Ag	4,26	3,97

### 3.4. KHẢ NĂNG KHÁNG KHUẨN

Từ kết quả trong Bảng 3.8 và Hình 3.11-3.16 ta thấy với lượng vi khuẩn đưa vào ban đầu khoảng  $10^4 - 10^5$  (CFU/ml), 4 mẫu màng thử nghiệm (M1: Màng AC; M2: Màng AC chứa HT-Ag; M3: Màng AC chứa HT-Ag và  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag; M4: Màng AC chứa  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Ag) có khả năng kháng *Escherichia coli* (EC) và *Staphylococcus aureus* (SA) khác nhau. Màng M3 và M4 là hai màng tốt nhất, có khả năng kháng hoàn toàn vi khuẩn *Escherichia coli* (EC) và *Staphylococcus aureus* (SA), kể đến là màng M2 có khả năng kháng hoàn toàn vi khuẩn *Escherichia coli* (EC) nhưng chỉ có khả năng kháng 56,66% vi khuẩn *Staphylococcus aureus* (SA). Màng M1 là kém nhất, chỉ có khả năng kháng vi khuẩn *Escherichia coli* (EC) và *Staphylococcus aureus* (SA) lần lượt là 6,69% và 13,33% (Bảng 3.8). Như vậy, kết hợp các nano  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Ag và HT mang lại hiệu quả kháng khuẩn EC và SA tốt cho các lớp phủ AC.

**Bảng 3.8. Số lượng vi khuẩn *Escherichia coli* (EC) và *Staphylococcus aureus* (SA) có trong các mẫu thí nghiệm.**

STT	Mẫu	Số lượng vi khuẩn (CFU/ml)		Log (CFU/ml)		% so với ĐC âm (%)	Khả năng kháng khuẩn (%) *
		0h	24h	0h	24h	24h	24h
	<i>Escherichia coli</i> (EC)						
1	ĐC âm: vi khuẩn EC + môi trường LB	$4,14 \times 10^4$	$4,08 \times 10^{10}$	4,62	10,61	100	0
2	ĐC dương: vi khuẩn EC + môi trường LB + Cephalexin	$4,14 \times 10^4$	0	4,62	0	0	100
3	M1 + vi khuẩn EC + môi trường LB	$4,14 \times 10^4$	$8 \times 10^9$	4,62	9,9	93,31	6,69

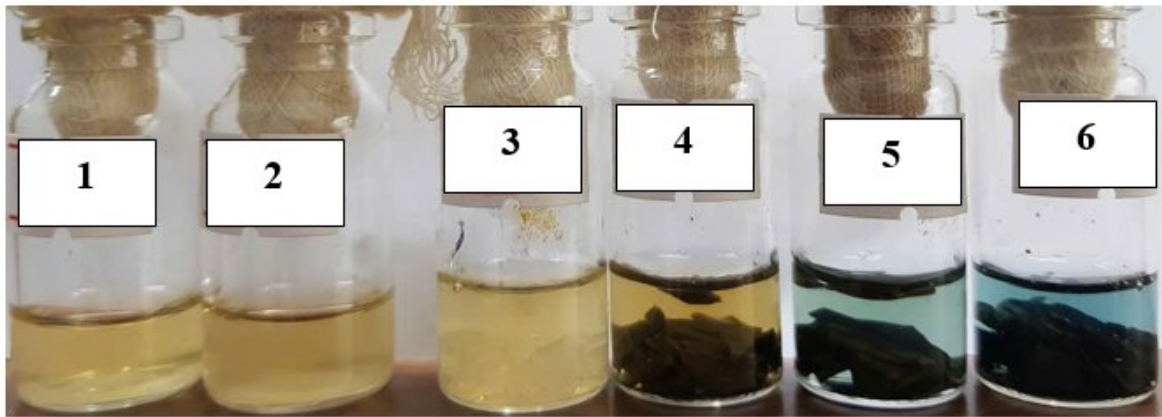
4	M2 + vi khuẩn EC + môi trường LB	$4,14 \times 10^4$	0	4,62	0	0	100
5	M3 + vi khuẩn EC + môi trường LB	$4,14 \times 10^4$	0	4,62	0	0	100
6	M4 + vi khuẩn EC + môi trường LB	$4,14 \times 10^4$	0	4,62	0	0	100
	<b><i>Staphylococcus aureus</i></b> <b>(SA)</b>						
7	ĐC âm: vi khuẩn SA + môi trường LB	$3 \times 10^5$	$1,08 \times 10^{11}$	5,48	11,03	100	0
8	ĐC dương: vi khuẩn SA + môi trường LB + Ampicillin	$3 \times 10^5$	$1,28 \times 10^5$	5,48	5,11	46,33	53,67
9	M1 + vi khuẩn SA + môi trường LB	$3 \times 10^5$	$3,62 \times 10^9$	5,48	9,56	86,67	13,33
10	M2 + vi khuẩn SA + môi trường LB	$3 \times 10^5$	$6 \times 10^4$	5,48	4,78	43,34	56,66
11	M3 + vi khuẩn SA + môi trường LB	$3 \times 10^5$	0	5,48	0	0	100
12	M4 + vi khuẩn SA + môi trường LB	$3 \times 10^5$	0	5,48	0	0	100



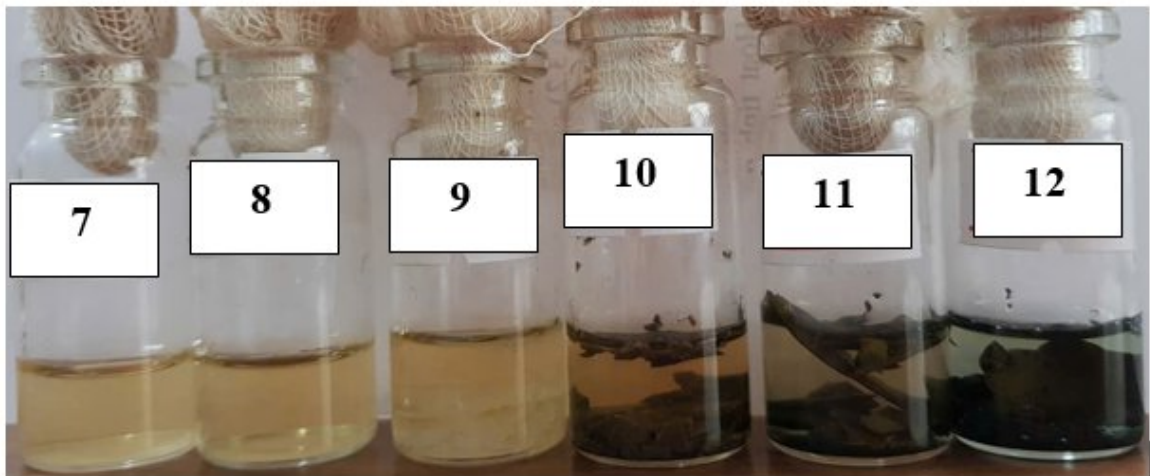
**Hình 3.10. Các mẫu màng khi ngâm vào môi trường LB tại thời điểm 0 giờ.  
ĐC1: màng 1; ĐC2: màng 2; ĐC3: màng 3; ĐC4: màng 4.**



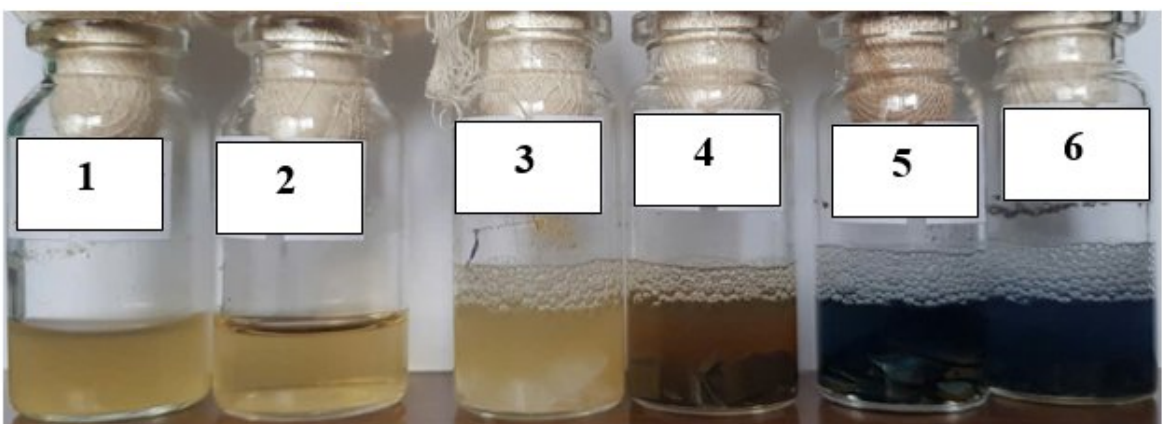
**Hình 3.11. Các mẫu màng khi ngâm vào môi trường LB sau 24 giờ lắc ở  
nhiệt độ 37°C, tốc độ lắc 200 vòng/phút. ĐC1: màng 1; ĐC2: màng 2; ĐC3:  
màng 3; ĐC4: màng 4.**



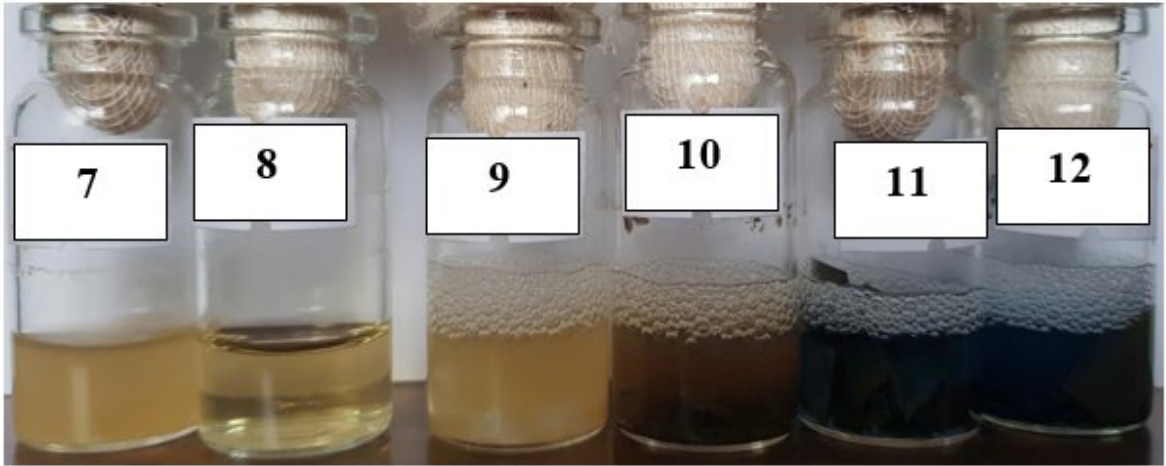
**Hình 3.12.** Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Escherichia coli* tại thời điểm 0 giờ nuôi cấy (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.8).



**Hình 3.13.** Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Staphylococcus aureus* tại thời điểm 0 giờ nuôi cấy (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.8).



**Hình 3.14.** Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Escherichia coli* sau 24 giờ nuôi cấy ở nhiệt độ 37°C, lắc 200 vòng/phút (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.8).



***Hình 3.15. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Staphylococcus aureus* sau 24 giờ nuôi cấy ở nhiệt độ 37°C, lắc 200 vòng/phút (Chú thích: Các ký hiệu của mẫu như trong Bảng 3.8).***

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### KẾT LUẬN

Đề tài đã chế tạo thành công lớp phủ acrylic nhũ tương chứa hạt HT-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag có tính năng kháng khuẩn và độ bền được cải thiện. Việc bổ sung các hạt nano giúp nâng cao tính chất cơ học, độ bền thời tiết và khả năng ức chế vi khuẩn *E. coli* và *S. aureus*. Mẫu AC/0.25HT-Ag/1.0Cu<sub>2</sub>O-Ag được đánh giá là mẫu thích hợp nhất và có tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực yêu cầu độ bền và vệ sinh bề mặt cao.

### KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở các kết quả đạt được, đề tài hướng tới tiếp tục nghiên cứu đánh giá khả năng kháng khuẩn của lớp phủ đối với các chủng vi sinh vật có ý nghĩa thực tiễn cao như *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis* và *Staphylococcus aureus* kháng methicillin (MRSA), đồng thời mở rộng khảo sát đối với một số chủng nấm mốc thường gặp như *Aspergillus niger* và *Penicillium sp.* nhằm đánh giá toàn diện phổ kháng khuẩn của vật liệu.

Bên cạnh đó, cần nghiên cứu bổ sung các tính chất chống ăn mòn, phản xạ nhiệt và chống bám bẩn để hoàn thiện hệ lớp phủ đa chức năng. Đồng thời, nên tiến hành các thử nghiệm ngoài trời trong thời gian dài nhằm đánh giá độ bền cơ học, độ bền màu và khả năng duy trì hoạt tính kháng khuẩn trong điều kiện sử dụng thực tế.

Với những đặc tính đã đạt được, lớp phủ acrylic chứa hạt HT-Ag và Cu<sub>2</sub>O-Ag có tiềm năng ứng dụng trên các bề mặt thường xuyên tiếp xúc với con người như tường và thiết bị trong bệnh viện, trường học, nhà trẻ, phương tiện giao thông công cộng, khu vực chế biến thực phẩm, phòng thí nghiệm và các công trình dân dụng yêu cầu cao về vệ sinh bề mặt và độ bền sử dụng.

## DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tian, X., Lv, S., Li, J., Zhang, J., Yu, L., Liu, X., & Xin, X., 2024, Recent advancement in synthesis and modification of water-based acrylic emulsion and their application in water-based ink: A comprehensive review, *Progress in Organic Coatings*, 189, 108320.

[2] Faccini, M., Bautista, L., Soldi, L., Escobar, A. M., Altavilla, M., Calvet, M., ... & Domínguez, E., 2021, Environmentally friendly anticorrosive polymeric coatings, *Applied Sciences*, 11(8), 3446.

[3] Jiao, C., Sun, L., Shao, Q., Song, J., Hu, Q., Naik, N., & Guo, Z., 2021, Advances in waterborne acrylic resins: synthesis principle, modification strategies, and their applications. *ACS omega*, 6(4), 2443-2449.

[4] Pieters, K., & Mekonnen, T. H., 2024, Progress in waterborne polymer dispersions for coating applications: commercialized systems and new trends. *RSC sustainability*, 2(12), 3704-3729.

[5] Ji, S., Gui, H., Guan, G., Zhou, M., Guo, Q., & Tan, M. Y., 2021, Molecular design and copolymerization to enhance the anti-corrosion performance of waterborne acrylic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 153, 106140.

[6] Dogan-Guner, E. M., Brownell, S., Schueneman, G. T., Shofner, M. L., & Meredith, J. C., 2021, Enabling zero added-coalescent waterborne acrylic coatings with cellulose nanocrystals. *Progress in Organic Coatings*, 150, 105969.

[7] Li, R., Xiao, F., Amirkhanian, S., You, Z., & Huang, J., 2017, Developments of nano materials and technologies on asphalt materials—A review, *Construction and Building Materials*, 143, 633-648.

[8] Pellico, J., Gawne, P. J., & de Rosales, R. T., 2021, Radiolabelling of nanomaterials for medical imaging and therapy, *Chemical Society Reviews*, 50(5), 3355-3423.

[9] Wang, H., Liang, X., Wang, J., Jiao, S., & Xue, D., 2020, Multifunctional inorganic nanomaterials for energy applications, *Nanoscale*, 12(1), 14-42.

[10] Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. ,2019, The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112.

[11] Sharma, A., Sharma, R. B., Verma, A., & Thakur, R. ,2022, Insight on Nanoparticles, Green Synthesis and Applications in Drug Delivery System: A Comprehensive Review. (2022). *Int. J. Life Sci. Pharma Res*, 12(5), P68-84.

[12] Pulit-Prociak, J., & Banach, M., 2016, Silver nanoparticles—a material of the future, *Open Chemistry*, 14(1), 76-91.

[13] Ruparelia J.P., Chatterjee A.K., Dutta Gupta S.P., Mukherji S., 2008, Stain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles, *Acta Biomater.*, 4, 707-716.

[14] Z. Yun, C. Yangping, W. Wei, Z. Zhiyu, S. Shuxin, L. Wei, C. Minfang, L. Ze., 2020, One-step in situ synthesis of nano silver-hydroxalcite coating for enhanced antibacterial and degradation property of magnesium alloys, *Materials Letters*,265, 127349.

[15] M. I. Chamanmalik, A. M. Antony, C. V. Yelamaggad, S. A. Patil, S. A. Patil, 2023, Biogenic silver nanoparticles/Mg-Al layered double hydroxides with peroxidase-like activity for mercury detection and antibacterial activity, *Molecules*, 28 (15), 5754.

[16] S. A. Ahmad, S. S. Das, A. Khatoon, M. T. Ansari, M. Afzal, M. S. Hasnain, A. K Nayak, 2020, Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review, *ScienceDirect*, 3, 756- 769.

[17] Thai, N. X., Chinh, N. T., Linh, B. T., Thuy, T. T., & Hoang, T, 2024, Optimizing Green Synthesis of Hydroxalcite–Silver Nanoparticles using *Syzygium Nervosum* based Reducing Agent, *Chemistry–An Asian Journal*, 19(14), e202400162.

[18] T. L. Pham, V. D. Doan, D. Q. Le, T. A. Nguyen, T. L. H. Nguyen, T. D. T. Tran, T. H. Nguyen, *RSC Adv.*, 2023, 13(30), 20994–21007. DOI: 10.1039/ D3RA02754F.

[19] F. Karimi, R. N. ETiri, A. Aygun, F. Gulbagca, S. Özdemir, S. Gonca, F. Sen, *Environ. Res.*, 2023, 218, 114757. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114757>

[20] Nguyen, T. D., Nguyen, T. C., Nguyen, X. T., Nguyen, T. K. A., Bui, T. L., Tran, T. T., & Thai, H., 2024, Eco-friendly synthesis of hydroxalcite-Ag

nanosheets using Areca catechu L. nut extract and its antibacterial activity, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 9(2), 100678.

[21] Nguyen, P. A., Phan, H. P., Dang-Bao, T., Nguyen, V. M., Duong, N. L., Huynh, X. T., ... & Nguyen, T., 2022, Sunlight irradiation-assisted green synthesis, characteristics and antibacterial activity of silver nanoparticles using the leaf extract of Jasminum subtriplinerve Blume, *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 31(1), 202-205.

[22] Chen, A. X., Dai, T., Zhu, S., Hong, C. S., Zhang, R., Kang, K. X., ... & Li, N. (2026). Recent Advances in Cu (I)-Based Antimicrobials for Healthcare Applications. *Advanced Materials Technologies*, e02278.

[23] Gudkov, S. V., Burmistrov, D. E., Fomina, P. A., Validov, S. Z., & Kozlov, V. A. (2024). Antibacterial properties of copper oxide nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(21), 11563.

[24] Ma, X., Zhou, S., Xu, X., & Du, Q. (2022). Copper-containing nanoparticles: Mechanism of antimicrobial effect and application in dentistry—a narrative review. *Frontiers in surgery*, 9, 905892.

[25] Zhao, Y., Tian, S., Lin, D., Zhang, Z., & Li, G. (2022). Functional anti-corrosive and anti-bacterial surface coatings based on cuprous oxide/polyaniline microcomposites. *Materials & Design*, 216, 110589.

[26] Herald, E., Rahmawati, F., Ardiyanti, D., & Nurmawanti, I., 2019, fabrication of mg-zn-al hydrotalcite and its application for pb<sup>2+</sup> removal.

[27] Cuevas, R., Vargas, A. A., García, A. J., Ramírez, J., & Pedraza, L. F., 2003, Ternary (Mg-Zn-Al) Hydrotalcites Synthesis, *In Emerging Fields in Sol-Gel Science and Technology*, (pp. 246-253). Boston, MA: Springer US.

[28] Palmer, S. J., Frost, R. L., & Nguyen, T., 2009, Hydrotalcites and their role in coordination of anions in Bayer liquors: Anion binding in layered double hydroxides, *Coordination Chemistry Reviews*, 253(1-2), 250-267.

[29] Zheludkevich M.L. et al., *LDH Nanocontainers for Corrosion Protection*, Nanomaterials, 2022.

[30] Cavani F. et al., *Layered Double Hydroxides in Smart Coating Systems*, Materials Today Chemistry, 2023.

[31] Wu, W., Zhao, W., Wu, Y., Zhou, C., Li, L., Liu, Z., ... & Zhou, K., 2019, Antibacterial behaviors of Cu<sub>2</sub>O particles with controllable morphologies in acrylic coatings, *Applied Surface Science*, 465, 279-287.

[32] Dam, X. T., Nguyen, T. C., Nguyen, A. H., Vu, D. H., Ly, T. N. L., Trinh, H. N., ... & Thai, H., 2024, Chemical Modification of Cu<sub>2</sub>O Nanoparticles with Triacetoxy (Vinyl) Silane: Enhanced Dispersion, Abrasion Resistance, and Thermal Stability in Acrylic Coatings, *Journal of Cluster Science*, 35(7), 2329-2340.

[33] Ma, C., Yang, Z., Wang, W., Zhang, M., Hao, X., Zhu, S., Chen, S., 2020, Fabrication of Ag–Cu<sub>2</sub>O/PANI nanocomposites for visible-light photocatalysis triggering super antibacterial activity, *Journal of Materials Chemistry C*, 8(8), 2888–2898.

[34] Boivin, G., Ritcey, A. M., Landry, V., 2023, Silver nanoparticles as antifungal agents in acrylic latexes: influence of the initiator type on nanoparticle incorporation and *Aureobasidium pullulans* resistance, *Polymers*, 15(6), 1586.

[35] Shahzadi, P., Majeed, M. A., Ibrahim, S., Asif, S., Kalsoom, R., Hussain, I., 2024, Polymeric coating doped with nanomaterials for functional impact on different substrates, *Scientific Reports*, 14(1), 578.

[36] Dam, X. T., Nguyen, T. C., Nguyen, A. H., Vu, D. H., Ly, T. N. L., Trinh, H. N., Thai, H., 2024, Chemical modification of Cu<sub>2</sub>O nanoparticles with triacetoxy (vinyl) silane: Enhanced dispersion, abrasion resistance, and thermal stability in acrylic coatings, *Journal of Cluster Science*, 35(7), 2329–2340.

[37] Le, T. T., Nguyen, T. V., Nguyen, T. A., Nguyen, T. T. H., Thai, H., Tran, D. L., Lu, L. T., 2019, Thermal, mechanical and antibacterial properties of water-based acrylic polymer/SiO<sub>2</sub>–Ag nanocomposite coating, *Materials Chemistry and Physics*, 232, 362–366.

[39] Quy, B. M., Chinh, N. T., Anh, N. T. K., Tuyet, V. T., Thai, N. X., Trung, V. Q., Hoang, T., 2024, Modification of hydrotalcite loading tannic acid with organic silane and application in anticorrosive epoxy coating, *ChemistryOpen*, 13(10), e202400120.

[40] Xuan Thang, D., Thuy Chinh, N., Thi Binh Minh, N., Hoang Nghia, T., & Hoang, T., 2024, Effect of Co-Surfactants on Properties and Bactericidal Activity of Cu<sub>2</sub>O and Hybrid Cu<sub>2</sub>O/Ag Particles. *ChemistryOpen*, 13(8), e202300274.

[41] Nguyen, T. C., Dao, P. H., Vu, Q. T., Nguyen, A. H., Nguyen, X. T., Ly, T. N. L., ... & Thai, H., 2022, Assessment of characteristics and weather stability of acrylic coating containing surface modified zirconia nanoparticles, *Progress in Organic Coatings*, 163, 106675.

[42] Guchait, A., Saxena, A., Chattopadhyay, S., & Mondal, T., 2022, Influence of nanofillers on adhesion properties of polymeric composites, *ACS omega*, 7(5), 3844-3859.

[43] Zhang, L., Yu, P., & Wang, X. Y., 2021, Surface roughness and gloss of polished nanofilled and nanohybrid resin composites, *Journal of Dental Sciences*, 16(4), 1198-1203.

[44] Ghamarpoor, R., Jamshidi, M., & Joshaghani, M., 2025, Hydrophobic silanes-modified nano-SiO<sub>2</sub> reinforced polyurethane nanocoatings with superior scratch resistance, gloss retention, and metal adhesion, *Scientific Reports*, 15(1), 31555.

[45] Dao, P. H., Phung, L. T., Nguyen, A. H., Mac, V. P., Nguyen, X. T., Nguyen, T. C., ... & Thai, H., 2023, Effect of organically modified titania and zirconia nanoparticles on characteristics, properties of coating based on acrylic emulsion polymer for outdoor applications, *Journal of Applied Polymer Science*, 140(16), e53752.

[46] Dao, P. H., Nguyen, T. D., Nguyen, T. C., Nguyen, A. H., Mac, V. P., Tran, H. T., ... & Thai, H., 2022, Assessment of some characteristics, properties of a novel waterborne acrylic coating incorporated TiO<sub>2</sub> nanoparticles modified with silane coupling agent and Ag/Zn zeolite, *Progress in Organic Coatings*, 163, 106641.

[47] Nguyen, T. V., Le, X. H., Dao, P. H., Decker, C., & Nguyen-Tri, P., 2018, Stability of acrylic polyurethane coatings under accelerated aging tests and natural outdoor exposure: The critical role of the used photostabilizers, *Progress in Organic Coatings*, 124, 137-146.

[48] Nguyen, T. V., Dao, P. H., Duong, K. L., Duong, Q. H., Vu, Q. T., Nguyen, A. H., ... & Le, T. L., 2017, Effect of R-TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles on the UV-shielding efficiency of water-borne acrylic coating, *Progress in Organic Coatings*, 110, 114-121.

[49] Nguyen, T. V., Dao, P. H., Nguyen, T. A., Dang, V. H., Ha, M. N., Nguyen, T. T. T., ... & Lu, L. T., 2020, Photocatalytic degradation and heat

reflectance recovery of waterborne acrylic polymer/ZnO nanocomposite coating, *Journal of applied polymer science*, 137(37), 49116.

[50] Nguyen, T. V., Nguyen, T. A., Dao, P. H., Mac, V. P., Nguyen, A. H., Do, M. T., & Nguyen, T. H., 2016, Effect of rutile titania dioxide nanoparticles on the mechanical property, thermal stability, weathering resistance and antibacterial property of styrene acrylic polyurethane coating, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 7(4), 045015.

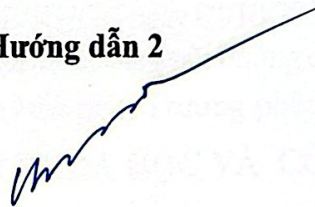
[51] Nguyen, T. V., Tri, P. N., Nguyen, T. D., El Aidani, R., Trinh, V. T., & Decker, C., 2016, Accelerated degradation of water borne acrylic nanocomposites used in outdoor protective coatings, *Polymer degradation and stability*, 128, 65-76.

**Hướng dẫn 1**



**Nguyễn Thúy Chinh**

**Hướng dẫn 2**



**Thái Hoàng**

**Học viên**



**Nguyễn Thị Kim Anh**