

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ PLASMA ĐẾN ĐỘ BẮM DÍNH CỦA LỚP PHỦ KHẤU MẠCH QUANG TRÊN NỀN POLYPROPYLEN

## Phần 1. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ PLASMA KHÔNG KHÍ ĐẾN TÍNH CHẤT BỀ MẶT POLYPROPYLEN

Mạc Văn Phúc\*, Nguyễn Anh Hiệp, Đào Phi Hùng, Nguyễn Thiên Vương, Lê Xuân Hiền, Trịnh Văn Thành, Đỗ Minh Thành

*Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

Đến Tòa soạn 25-12-2014; Chấp nhận đăng 26-8-2015

### Abstract

In this work, polypropylene (PP) was treated by air plasma to improve its adhesion properties. The influence of plasma treatment time was studied. As can be showed from results of static contact angle, the air plasma treatment improved significantly hydrophilic property of PP surface - the contact angle was reduced from 109 to 56°, respectively, before and after 3 minutes plasma treatment. In addition, Scanning Electron Microscope (SEM) images showed that after plasma treatment, the morphology of polymer surface saw rougher than before. The results of Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR) also presented that newly created hydrophilic functional groups (C=O, O-H) on the polypropylene surface caused by plasma treatment. As a result, the lap-shear strengths of PP after plasma treatment were substantially improved. As can be conclude from the results of this study, the suitable plasma treatment time for PP was 3 minutes.

**Keywords.** Air plasma, surface treatment, polypropylene, adhesion.

### 1. MỞ ĐẦU

Polypropylen (PP) là vật liệu polyme được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng đời sống hàng ngày và công nghiệp nhờ có tính chất cơ học tốt, tỷ trọng nhẹ, giá thành rẻ và dễ gia công tái chế. Tuy nhiên bản chất bề mặt nhựa PP không phân cực, có khả năng thấm ướt thấp (có góc tiếp xúc với nước ~ 100°, năng lượng bề mặt thấp ~ 30 mN/m) và kết dính kém với nhiều loại lớp phủ làm hạn chế các ứng dụng của PP khi cần in ấn, cũng như tạo lớp phủ hay kết dính lên bề mặt [1-5].

Để cải thiện khả năng bám dính trên bề mặt nhựa PP, có nhiều phương pháp hóa học và vật lý để xử lý bề mặt như phương pháp ăn mòn hóa học, tạo lớp lót, bổ sung phụ gia hỗ trợ liên kết và xử lý bề mặt bằng lửa, plasma,.... Trong đó, phương pháp xử lý plasma là một trong những kỹ thuật hiện đại được sử dụng làm biến đổi tính chất bề mặt vật liệu, phục vụ nhiều mục đích sử dụng khác nhau trong công nghiệp. Xử lý bằng plasma có thể làm thay đổi hiệu quả tính chất bề mặt của một số loại vật liệu polyme (với độ sâu giới hạn chỉ vài chục nm) mà không ảnh hưởng đến các tính chất chính của vật liệu. Các phản ứng hóa-lý phá vỡ các liên kết vật lý và hóa học, tạo

ra các vị trí hoạt động, các nhóm phân cực và các sản phẩm cắt mạch trên bề mặt polyme. Xử lý plasma thúc đẩy loại bỏ các mảnh và phân tử nhỏ, hình thành nên một lớp bề mặt có chứa các nhóm chức mới [3-7, 16]. Việc sử dụng không khí để làm khí plasma trong xử lý bề mặt vật liệu polyme là phương pháp có ý nghĩa về mặt kinh tế, thân thiện với môi trường. Vì vậy trong những năm gần đây, xử lý bề mặt nhựa PP bằng phương pháp xử lý plasma không khí đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi [7-15, 17].

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu xử lý bề mặt vật liệu polyme nói chung và nhựa PP nói riêng bằng phương pháp plasma chưa có nhiều công bố. Hiện nay, mới chỉ có nhóm nghiên cứu của PGS. Tạ Thị Phương Hòa (Trường Đại học Bách khoa Hà Nội) tiến hành nghiên cứu xử lý plasma bề mặt một số loại nhựa như Polycarbonat (PC), acrylnitril butadien styren (ABS), polybutylen terephthalat (PBT), blend polyamit/polyetylen và màng polyetylen (PE) [16].

Bài báo này trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý plasma không khí theo thời gian tới bề mặt nhựa PP thông qua sự thay đổi khả năng thấm ướt, hóa học và hình thái bề mặt bằng phép đo góc tiếp

xúc với nước, FTIR, SEM và đo độ bền kéo trượt.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Nguyên vật liệu

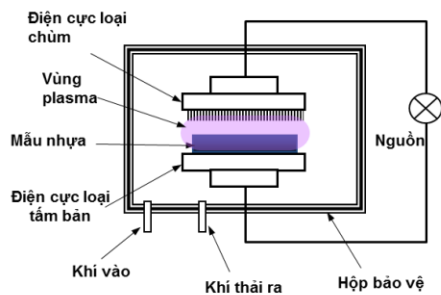
Mẫu nhựa PP được chế tạo từ PP dạng hạt của Công ty LG (Hàn Quốc) có tỷ trọng  $d = 0,96 \text{ g/cm}^3$ , chỉ số chảy MFI = 2,5 g/10 phút/2,16 kg/190 °C.

Các hạt nhựa PP được đưa vào máy trộn nội Polylab system, HAAKE (Đức) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam với tốc độ trộn 60 vòng/phút trong 10 phút ở 190 °C. Nhựa PP sau khi trộn được tạo thành dạng tấm có chiều dày từ 1-1,5 mm và dạng màng mỏng dày khoảng 50-60  $\mu\text{m}$  bằng máy ép thủy lực ở 190 °C trong 5 phút.

Các mẫu PP được làm sạch bằng axeton để loại bỏ dầu mỡ hoặc tạp chất nếu có trên bề mặt, sau đó được rửa lại bằng nước cất và sấy khô 30 phút ở 50 °C trong tủ sấy chân không, cuối cùng mẫu được lưu giữ trong túi nhựa kín sạch.

### 2.2. Xử lý plasma không khí

Quá trình xử lý plasma được tiến hành ở áp suất thường với nhiệt độ phòng, trong môi trường không khí, bằng thiết bị tạo plasma tại Trung tâm nghiên cứu vật liệu polyme (Trường Đại học Bách khoa Hà Nội).



Hình 1: Sơ đồ thiết bị tạo plasma không khí

Tiến hành xử lý plasma với các thông số được khảo sát như sau: tần số 17 kHz; công suất 100 W; thời gian xử lý: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 phút.

Các mẫu nhựa PP sau khi được xử lý plasma sẽ được lưu giữ trong túi nhựa kín sạch.

### 2.3. Các phương pháp phân tích, đánh giá tính chất của bề mặt nhựa PP

#### 2.3.1. Góc tiếp xúc tĩnh với nước

Khả năng thấm ướt là diện tích được phủ bởi giọt chất lỏng trên một bề mặt vật liệu. Khả năng

này thay đổi theo loại chất lỏng và bề mặt vật liệu, được đo bằng góc tiếp xúc  $\theta$ .

Góc tiếp xúc tĩnh được xác định bằng phương pháp thả giọt trên thiết bị đo góc tiếp xúc tại Phòng Vật lý năng lượng tái tạo và kỹ thuật môi trường, Viện Vật lý ứng dụng và Thiết bị khoa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

#### 2.3.2. Phổ hồng ngoại FTIR

Các mẫu màng PP (dày 50-60  $\mu\text{m}$ ) trước và sau xử lý plasma được chụp phổ hồng ngoại FTIR nhằm đánh giá sự thay đổi hóa học bề mặt. Mẫu được chụp trên máy FTIR, model NEXUS 670, Nicolet (Mỹ) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

#### 2.3.3. Hình thái bề mặt SEM

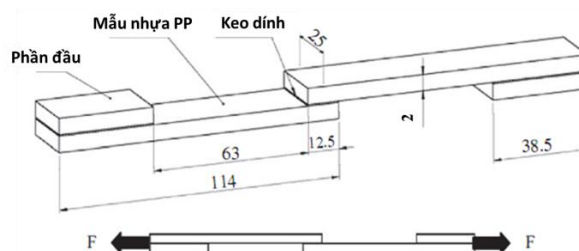
Hình thái bề mặt của mẫu PP trước và sau xử lý plasma được chụp trên thiết bị kính hiển vi điện tử quét (SEM) Hitachi S-4800 (Nhật Bản) tại Viện Vệ sinh dịch tễ Trung ương.

#### 2.3.4. Độ bền kéo trượt

Thử nghiệm độ bền kéo trượt được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM D 3163-01, trên thiết bị đo cơ lý đa năng ZWICK (Đức), tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Nguyên lý: mẫu PP được cắt và mài cạnh theo kích thước như hình 2, phần dán keo được ép bằng kẹp cho đến khi keo khô, phần đầu kia của mỗi nối cũng được gắn thêm để tạo cho phương của lực kéo được nằm trên một đường thẳng. Keo dán dùng loại isocyanat (Super Glue – Công ty ADB, Thái Lan).

Mẫu được để ổn định ở điều kiện thường trong 1 tuần trước khi thử. Sau đó mẫu được kéo với tốc độ 5mm/phút. Độ bền trượt được tính bằng tải lớn nhất đạt được chia cho diện tích đầu gắn keo ( $S = 25 \text{ mm} \times 12,5 \text{ mm} = 312,5 \text{ mm}^2$ ) và là giá trị trung bình của 3 phép đo.

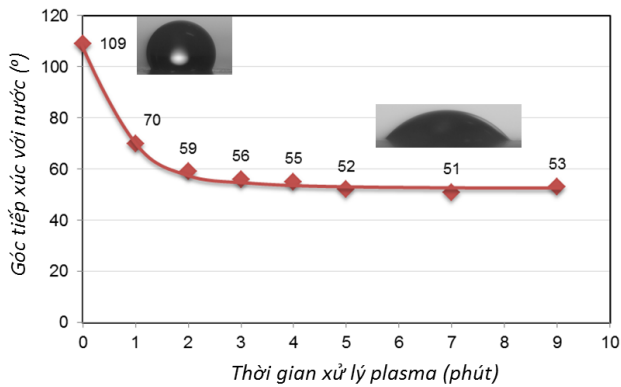


Hình 2: Kích thước mẫu thử độ bền kéo trượt (theo ASTM D3163, đơn vị đo là mm)

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của thời gian xử lý plasma đến góc tiếp xúc tĩnh với nước của nhựa PP

Ảnh hưởng của thời gian xử lý plasma đến khả năng thấm ướt của bề mặt nhựa PP được thể hiện bằng cách đo góc tiếp xúc tĩnh với nước (hình 3).



Hình 3: Ảnh hưởng của thời gian xử lý plasma đến góc tiếp xúc với nước của bề mặt nhựa PP

Từ hình 3 cho thấy, trước khi được xử lý plasma góc tiếp xúc của nhựa PP khá cao tới  $109^\circ$ , vì bản chất của PP là kỵ nước. Khi được xử lý plasma, góc tiếp xúc giảm nhanh từ  $109^\circ$  xuống  $70^\circ$  sau 1 phút xử lý, sau đó giảm chậm và đạt giá trị không đổi  $\sim 52^\circ$  sau 5 phút xử lý plasma. Có thể thấy thời gian xử lý bề mặt PP bằng plasma không khí để đạt góc tiếp xúc thích hợp trong khoảng 3-5 phút.

Việc giảm góc tiếp xúc của PP khi được xử lý

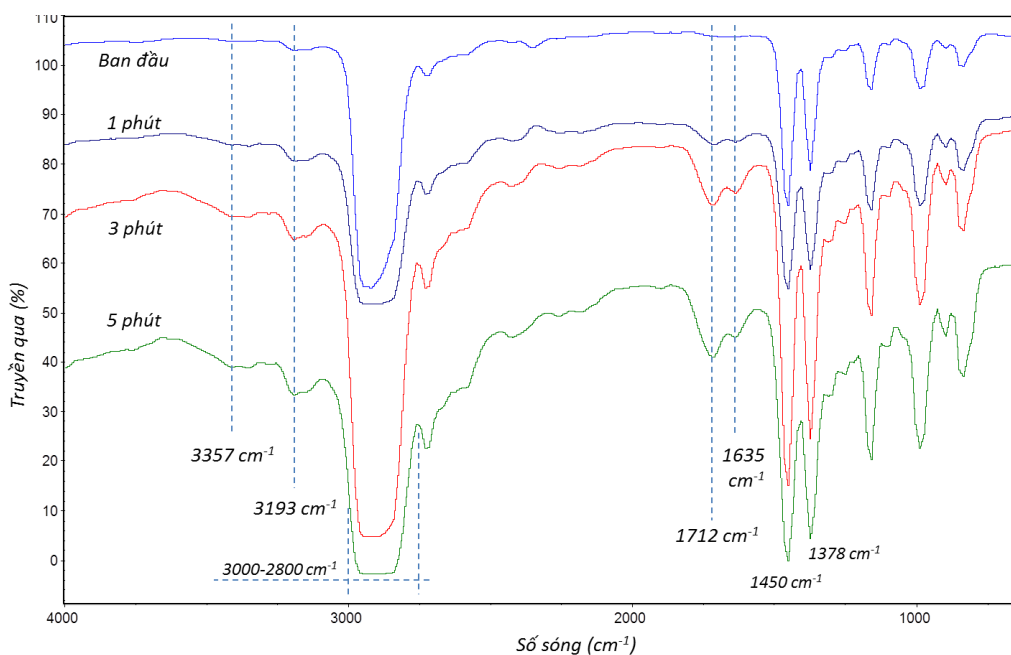
plasma có thể được giải thích như sau: quá trình xử lý plasma đã loại bỏ các tạp chất hữu cơ trên bề mặt nhựa nhờ sự bắn phá các dạng hoạt tính trong plasma, đồng thời cũng xảy ra quá trình oxy hóa bề mặt hình thành nên các nhóm phân cực. Phân tử nước có khả năng tạo thành liên kết hydro với những nhóm chức phân cực này dẫn đến làm giảm góc tiếp xúc. Góc tiếp xúc với nước càng thấp thì năng lượng tự do bề mặt càng cao, khả năng thấm ướt càng tăng [6, 11].

Tuy nhiên, xảy ra đồng thời với quá trình tạo các nhóm chức mới thì tại lớp bề mặt cũng xảy ra quá trình tách hydro khỏi mạch polyme, hình thành các sản phẩm dễ bay hơi, khối lượng phân tử thấp. Ở trạng thái ổn định, cả hai quá trình xảy ra đạt được cân bằng và dẫn đến một lớp bề mặt được biến đổi chỉ có độ dày vài nm, lúc này việc kéo dài thêm thời gian xử lý plasma không làm thay đổi nhiều khả năng thấm ướt hay góc tiếp xúc của polyme [12].

#### 3.2. Phân tích phổ hồng ngoại

Phổ hồng ngoại của màng nhựa PP trước và sau khi xử lý plasma 1, 3 và 5 phút được trình bày trên hình 4.

Hình 4 cho thấy phổ FTIR của mẫu PP không xử lý plasma thể hiện các dải hấp thụ tiêu biểu như: dao động biến dạng bất đối xứng  $\text{CH}_3$  tại vùng  $1450\text{ cm}^{-1}$ ; dao động biến dạng đối xứng  $\text{CH}_3$  tại vùng  $1378\text{ cm}^{-1}$ . Tuy nhiên, một số dao động đặc trưng cho PP trong dải hấp thụ  $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$  như: dao động hóa trị đối xứng và bất đối xứng của  $\text{CH}_2$  (tương ứng với



Hình 4: Phổ hồng ngoại FTIR của màng PP không và có xử lý plasma theo thời gian.

vùng 2868 và 2950  $\text{cm}^{-1}$ ); dao động hóa trị đối xứng và bất đối xứng của  $\text{CH}_2$  (tương ứng với vùng 2838 và 2917  $\text{cm}^{-1}$ ) [9, 12-14] không được thể hiện rõ là do màng PP khá dày.

So sánh giữa phổ PP trước và sau xử lý plasma, vị trí các hấp thụ đặc trưng gần như không thay đổi, chứng tỏ cấu trúc của PP không bị phá hủy do xử lý plasma [14]. Tuy nhiên, trên phổ của mẫu được xử lý plasma xuất hiện rõ các dải hấp thụ mới tại các vùng 1635, 1712, 3193 và 3357  $\text{cm}^{-1}$  với cường độ tăng theo thời gian xử lý.

Hấp thụ tại số sóng 1712  $\text{cm}^{-1}$  nằm trong dải hấp thụ của nhóm cacbonyl  $\text{C}=\text{O}$ , được hình thành trong quá trình oxy hóa PP chủ yếu ở cacbon bậc III (khả năng thay thế của cacbon bậc III, II và I là 7000:1100:1) [18]. Các dải hấp thụ của nhóm cacbonyl trong quang phổ PP là rộng, có thể chỉ ra sự hiện diện của nhóm cacbonyl trong các sản phẩm khác nhau của quá trình oxy hóa, chẳng hạn như andehit (1725-1740  $\text{cm}^{-1}$ ), xeton (1715  $\text{cm}^{-1}$ ) và axit cacboxylic (1760  $\text{cm}^{-1}$ ) [12, 18].

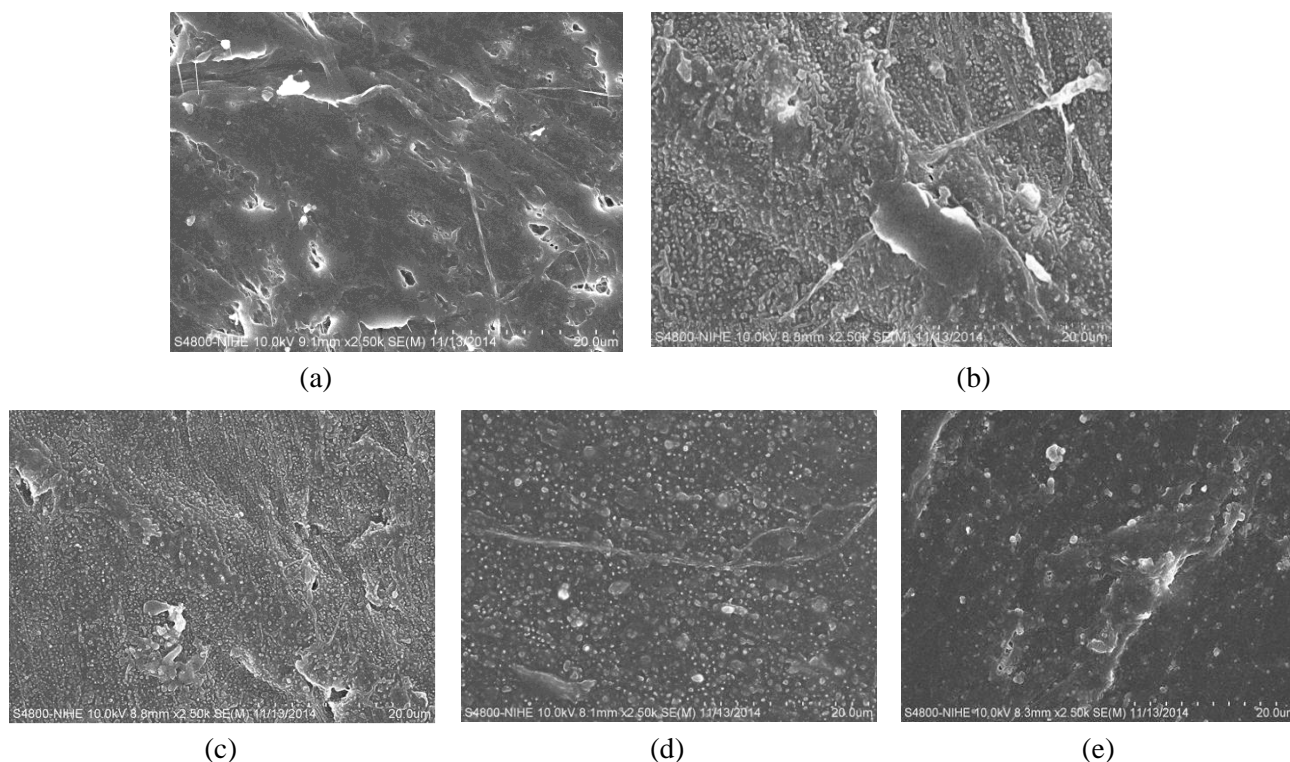
Phổ của màng PP đã xử lý plasma có xuất hiện thêm hấp thụ tại 1635  $\text{cm}^{-1}$ , có thể đây là hấp thụ của dao động hóa trị  $-\text{C}=\text{C}-$ . Các hấp thụ tại vùng 3193 và 3357  $\text{cm}^{-1}$  được cho là dao động hóa trị của O-H trong rượu, axit hoặc vết nước [12].

Từ các phân tích định tính trên ta thấy lớp bề mặt PP đã có những thay đổi do xử lý plasma, tạo thành các nhóm chức phân cực, điều đó sẽ làm tăng tính ưa nước cho PP mà kết quả đo góc tiếp xúc đã chứng minh điều đó.

### 3.3. Phân tích hình thái bề mặt

Mẫu PP trước và sau xử lý plasma đã được chụp SEM nhằm đánh giá sự thay đổi hình thái bề mặt (hình 5).

Hình 5 cho thấy, bề mặt PP ban đầu khá trơn nhẵn, có một số điểm khuyết tật có thể do quá trình gia công tạo mẫu. Sau khi được xử lý plasma bề mặt PP trở nên thô nhám rõ rệt ngay sau 1 phút xử lý (hình 5b).



Hình 5: Ảnh SEM của polypropylen ban đầu (a); và sau khi xử lý plasma 1 phút (b); 3 phút (c); 5 phút (d) và 7 phút (e)

Sau 3 phút xử lý bề mặt có độ nhám đồng đều và nhỏ hơn (hình 5c), tiếp tục sau 5 phút bề mặt có độ nhám thô hơn với các hạt to (hình 5d). Tuy nhiên khi thời gian kéo dài đến 7 phút thì các chỗ lồi lõm nhỏ trên bề mặt PP biến mất, bề mặt bằng phẳng hơn, hình thành các dạng hạt, vảy (hình 5e).

Nguyên nhân được cho là do sự khắc gọt, mài

mòn của plasma, đây là kết quả của sự va chạm các dạng hoạt tính có trong plasma, nó làm tăng độ nhám bề mặt (hình 5a, 5b, 5c và 5d). Nhưng khi thời gian xử lý plasma kéo dài, quá trình mài mòn tiếp tục xảy ra làm cho các chỗ lồi lõm nhỏ biến mất, bề mặt mịn hơn. Cùng với sự mài mòn, quá trình tạo liên kết ngang cũng được cho là có liên quan đến sự

thay đổi hình thái bề mặt. Cả hai quá trình có thể làm cho bề mặt PP xuất hiện những nếp nhăn, hình thành các dạng hạt và vảy khi thời gian xử lý plasma kéo dài (hình 5e) [19, 20].

### 3.4. Độ bền kéo trượt

Phương pháp thử độ bền kéo trượt so sánh kết quả độ bền trượt cho mỗi nối của mẫu nhựa PP, từ đó đánh giá hiệu quả của việc xử lý plasma bề mặt nhựa. Các mẫu có thời gian xử lý plasma là 0, 1, 3, 5 phút được chế tạo như hình 2 và đem thử độ bền kéo trượt. Kết quả đo cũng như kiểu phá hủy được thể hiện trong bảng 1 và hình 6.

*Bảng 1:* Đánh giá độ bền kéo trượt của PP theo thời gian xử lý plasma

Thời gian xử lý plasma (phút)	Lực kéo lớn nhất (N)	Độ bền kéo trượt (MPa)	Kiểu phá hủy
0	231	0,74	Bám dính nền/keo
1	1204	> 3,85	Vật liệu nền PP
3	1300	> 4,16	Vật liệu nền PP
5	1025	> 3,28	Vật liệu nền PP

0 phút



1 phút



3 phút



5 phút



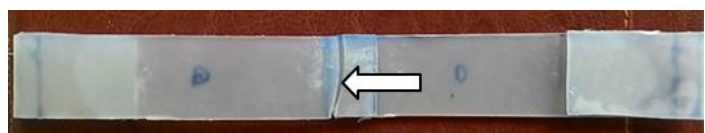
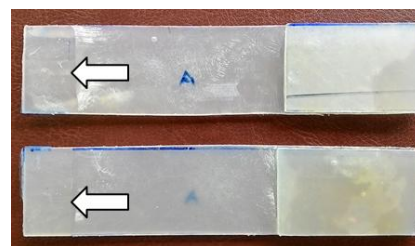
(a)

### Nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý plasma. Phần 1.

Trong kết quả bảng 1, mẫu PP không xử lý plasma có giá trị độ bền kéo trượt khá thấp, phá hủy xảy ra tại bề mặt bám dính nền-keo (phần mũi tên hình 6b), phần keo còn lại trên bề mặt nền gần như không có, điều đó chứng tỏ độ bám dính giữa bề mặt PP và keo rất thấp. Kết quả này của bề mặt PP không xử lý plasma phù hợp với các kết quả đã nghiên cứu về góc tiếp xúc, SEM: bề mặt nhựa nền trơn nhẵn, kỵ nước, dẫn đến sự thấm ướt bề mặt PP với keo dính là rất thấp, dẫn đến bám dính kém.

Với các mẫu PP có xử lý plasma ở các mức thời gian khác nhau 1, 3 và 5 phút không tính được độ bền kéo trượt do đều chung một kiểu phá hủy tại phần vật liệu nền, khu vực kết dính của hai đầu hầu như còn nguyên vẹn (hình 6b).

Yếu tố để xác định kiểu phá hủy của mẫu là sự khác biệt giữa độ bền của keo dính, độ bền bám dính của bề mặt nền-keo và độ bền của vật liệu nền. Sự phá hủy sẽ xảy ra tại điểm kém bền nhất [21]. Với mẫu không xử lý plasma, sự bám dính của keo dán và bề mặt nền PP là kém nhất dẫn đến sự phá hủy ở bề mặt tương tác nền-keo. Còn với các mẫu có xử lý plasma, có thể thấy việc xử lý plasma đã đem lại hiệu quả rõ rệt khi phá hủy xảy ra tại phần vật liệu nền, duy trì sự toàn vẹn của phần kết dính bề mặt nền-keo dán.



(b)

*Hình 6:* Mẫu PP xử lý plasma theo các mốc thời gian 0, 1, 3 và 5 phút trong thử nghiệm độ bền kéo trượt: trước khi thử nghiệm (a); sau khi thử nghiệm (b)

Kết quả này có thể giải thích như sau: sau khi xử lý plasma, PP có độ nhám bề mặt tăng dẫn đến tăng diện tích bề mặt, tăng năng lượng bề mặt, cộng thêm sự có mặt của các nhóm phân cực trên bề mặt dẫn đến

sự tương tác với keo dính có các nhóm isocyanat ( $R-N=C=O$ ), làm tăng độ bám dính của keo với nhựa nền PP dẫn đến tăng độ bền kéo trượt của mẫu [9, 21].



## 4. KẾT LUẬN

Đã nghiên cứu xử lý bề mặt PP bằng plasma không khí (100W, 17 kHz) và tác động của quá trình xử lý lên bề mặt thông qua kết quả đo góc tiếp xúc với nước, phổ hồng ngoại, SEM và độ bền kéo trượt. Các kết luận thu được trong nghiên cứu này như sau:

(1) PP ban đầu có bề mặt rất kỵ nước với góc tiếp xúc là  $109^\circ$ . Quá trình xử lý bằng plasma không khí đã làm tăng tính ưa nước của bề mặt PP, sau 1 phút và 3 phút xử lý, góc tiếp xúc đã giảm tương ứng xuống  $70^\circ$  và  $56^\circ$ . Thời gian thích hợp xử lý plasma không khí cho PP trong nghiên cứu này được chọn là 3 phút;

(2) Phân tích kết quả FTIR và SEM của PP sau khi xử lý plasma không khí cho thấy đã xảy ra quá trình oxy hóa bề mặt, tạo ra các nhóm chức phân cực như C=O, O-H,... và độ nhám bề mặt tăng. Chính lý do này đã cải thiện đáng kể khả năng thấm ướt của bề mặt PP, tăng độ bám dính với keo dán, được thể hiện rõ qua kết quả thử nghiệm độ bền kéo trượt.

**Lời cảm ơn.** Tập thể tác giả chân thành cảm ơn quý hoạt động thường niên của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hỗ trợ kinh phí để hoàn thành công trình này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. D. M. Brewis and I. Nathieson. *Adhesion and Bonding to Polyolefins*, Rapra Review Reports (2001).
2. Igor Novák, Anton Popelka, Ivan Chodák and Ján Sedliačik. *Chapter 9: Study of Adhesion and Surface Properties of Modified Polypropylene*, Polypropylene, Fatih Dogan, InTech, 125-160 (2012).
3. Luigi Carrino, Giovanni Moroni, Wilma Polini. *Cold plasma treatment of polypropylene surface: a study on wettability and adhesion*, J. Mater. Proc. Tech., **121**, 373-382 (2002).
4. F. D. Egitto, L. J. Matienzo. *Plasma modification of polymer surfaces for adhesion improvement*, IBM Journal of Research and Development, **38(4)**, 423-439 (1994).
5. C. Borcia, G. Borcia, N. Dumitrascu. *Surface treatment of polymers by plasma and UV radiation*, Rom. Journ. Phys., **56(1-2)**, 224-232 (2011).
6. A. Bismarck, W. Brostow, R. Chiu, H. E. H. Lobland, K. C. Ho. *Effects of surface plasma treatment on tribology of thermoplastic polymers*, Polymer Engineering and Science, **48(10)**, 1971-1975 (2008).
7. Yasuyuki Tsuchiya, Kensuke Akutu, Akinori Iwata. *Surface modification of polymeric materials by atmospheric plasma treatment*, Progress in Organic Coatings, **34**, 100-107 (1998).
8. C. Borcia, I. L. Punga, G. Borcia. *Surface properties and hydrophobic recovery of polymers treated by atmospheric-pressure plasma*, Applied Surface Science, **317**, 103-110 (2014).
9. N. Encinas, J. Abenojar, M. A. Martínez. *Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications*, International Journal of Adhesion & Adhesives, **33**, 1-6 (2012).
10. K. Navaneetha Pandiyaraj, V. Selvarajan, R.R. Deshmukh, Changyou Gao. *Modification of surface properties of polypropylene (PP) film using DC glow discharge air plasma*, Applied Surface Science, **255(7)**, 3965-3971 (2009).
11. T. Gururaj, R. Subasri, K.R.C. Soma Raju, G. Padmanabham. *Effect of plasma pretreatment on adhesion and mechanical properties of UV-curable coatings on plastics*, Applied Surface Science, **257**, 4360-4364 (2011).
12. K. G. Kostov, T. M. C. Nishime, L. R. O. Hein, A. Toth. *Study of polypropylene surface modification by air dielectric barrier discharge operated at two different frequencies*, Surface & Coatings Technology, **234**, 60-66 (2013).
13. J. H. Ku, I. H. Jung, K. Y. Rhee, S. J. Park. *Atmospheric pressure plasma treatment of polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites*, Composites: Part B, **45**, 1282-1287 (2013).
14. F. A. Morsy, S. Y. Elsayad, A. Bakry and M. A. Eid. *Surface properties and printability of polypropylene film treated by an air dielectric barrier discharge plasma*, Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions, **89(1)**, 49-55 (2006).
15. Rajesh Dorai, Mark J Kushner. *A model for plasma modification of polypropylene using atmospheric pressure discharges*, J. Phys. D: Appl. Phys., **36**, 666-685 (2003).
16. Tạ Thị Phương Hòa. *Plasma và ứng dụng trong kỹ thuật vật liệu polyme*, Nxb. Bách Khoa – Hà Nội (2012).
17. Oh-June Kwon, Shen Tang, Sung-Woon Myung, Na Lu, Ho-Suk Choi. *Surface characteristics of polypropylene film treated by an atmospheric pressure plasma*, Surface & Coatings Technology, **192**, 1-10 (2005).
18. Wieslawa Urbaniak-Domagala. *Chapter 3: The use of spectrometric technique FTIR-ATR to examine the polymers surface*, Advanced Aspects of Spectroscopy, Muhammad Akhyar Farrukh, InTech,

85-104 (2012).

19. N. Gomathi, R. Rajasekar, R. Rajesh Babu, Debasish Mishra, S. Neo. *Development of bio/blood compatible polypropylene through low pressure nitrogen plasma surface modification*, Materials Science and Engineering, **C 32**, 1767-1778 (2012).
20. N. Gomathi, Sudarsan Neogi. *Surface modification of polypropylene using argon plasma: Statistical optimization of the process variables*, Applied Surface Science, **255**, 7590-7600 (2009).
21. P. Cognard. *Handbook of adhesives and sealants*, Versailles: Elsevier, v. 2 (2006).

**Liên hệ: Mạc Văn Phúc**

Viện Kỹ thuật nhiệt đới  
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam  
Nhà A13, Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội  
E-mail: phucmvchem@gmail.com.