

Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ dòng khí đến tính chất lớp phủ nhựa PA11 bảo vệ kim loại chế tạo bằng phương pháp tầng sôi

Tưởng Thị Nguyệt Ánh*, Trần Hùng Thuận, Nguyễn Thu Trang, Thái Thị Xuân Trang, Ưông Văn Vương

Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ

Ngày nhận bài 1/11/2017; ngày chuyển phản biện 6/11/2017; ngày nhận phản biện 13/12/2017; ngày chấp nhận đăng 20/12/2017

Tóm tắt:

Trong những năm gần đây, phương pháp phủ nhựa nhiệt dẻo bằng kỹ thuật tầng sôi được chú ý nhiều do được đánh giá là thân thiện với môi trường, thuận lợi trong việc tạo lớp phủ tính năng cao cho các sản phẩm kỹ thuật có hình dạng phức tạp. Trong nghiên cứu này, lớp phủ Polyamit 11 (PA11) bảo vệ bề mặt thép CT3 được chế tạo bằng phương pháp phủ nhựa tầng sôi, các đánh giá về ảnh hưởng của một số thông số công nghệ cơ bản như nhiệt độ đốt nóng mẫu, thời gian nhúng mẫu, tốc độ dòng cấp khí đến tính chất đặc trưng của lớp phủ như độ dày, độ nhám, khả năng bảo vệ chống ăn mòn kim loại đã được khảo sát. Kết quả cho thấy, nhiệt độ của mẫu thép trước khi phủ nhựa nằm trong khoảng 220-350°C là phù hợp đối với việc chế tạo lớp phủ bằng nhựa PA11. Các mẫu thép được đốt nóng trong khoảng nhiệt độ trên đều đạt độ dày lớp phủ tối đa trong khoảng thời gian 12-15 giây, trong đó mẫu thép có nhiệt độ đốt nóng ở 250°C với thời gian nhúng trong 12 giây cho độ dày lớp phủ đồng đều. Tốc độ dòng cấp khí tối ưu cho mẫu thép có nhiệt độ đốt nóng ở 250°C là 0,04 m/s. Tiến hành thử nghiệm và đánh giá khả năng bảo vệ chống ăn mòn của các lớp phủ bằng phương pháp phun mù muối trong thời gian 120 giờ cho thấy, lớp phủ nhựa PA11 chế tạo bằng phương pháp tầng sôi giữ được độ ổn định và cho khả năng bao phủ, bảo vệ kim loại tốt.

Keywords: Ăn mòn, lớp phủ, nhựa nhiệt dẻo, polyamit PA11, tầng sôi.

Chỉ số phân loại: 2.5

Đặt vấn đề

Hiện nay, các vấn đề liên quan tới môi trường nói chung và sự cần thiết phải cắt giảm hàm lượng các hợp chất hữu cơ bay hơi nói riêng đang nhận được sự quan tâm ngày càng lớn, dẫn tới quan điểm chung về việc tăng cường sử dụng các loại lớp phủ bột bảo vệ kim loại thay cho các lớp phủ truyền thống [1, 2]. Xu hướng này đã và đang hướng công nghệ sơn phủ sắp xếp lại trật tự của các kỹ thuật hiện có, chú trọng vào các kỹ thuật tạo lớp phủ thân thiện với môi trường, trong đó lớp phủ nhựa nhiệt dẻo bằng phương pháp tầng sôi đang gây được sự chú ý nhờ những ưu điểm vốn có.

Phương pháp tầng sôi phủ nhựa nhiệt dẻo dựa trên nguyên lý về khả năng nóng chảy của nhựa nhiệt dẻo, kỹ thuật này khá đơn giản nhưng mang lại hiệu quả rất lớn. Bột nhựa nhiệt dẻo trở thành “dung dịch sôi” bằng cách thổi không khí từ dưới đáy thiết bị thông qua đĩa khuếch tán, trong đó bột nhựa đã được sấy khô trước khi được đưa vào thiết bị để tạo “sôi”. Khi không khí đi vào, thể tích buồng chứa bột nhựa tăng khoảng 30% so với ban đầu và bề mặt trông như đang “sôi”. Mẫu vật kim loại cần phủ được nung nóng trong lò nung đến khoảng nhiệt độ nóng chảy của nguyên liệu nhựa và sau đó nhúng vào trong thiết bị tầng

sôi. Khi các hạt bột bám lên bề mặt mẫu kim loại nhờ nhiệt có sẵn sẽ chảy ra, tạo lên lớp phủ bao bọc vật liệu. Lớp phủ này được hình thành một cách rất nhanh chóng và đồng đều. Sau khi mẫu vật liệu được đưa ra khỏi buồng phủ, lượng nhiệt vẫn đủ để hoàn thiện lớp phủ cuối cùng. Nếu nhiệt còn dư quá lớn, cần làm mát mẫu vật liệu trước khi tiến hành kiểm tra, đánh giá. So với các lớp phủ truyền thống, lớp phủ nhựa nhiệt dẻo cho thấy ưu điểm rất lớn về độ đồng đều của lớp phủ, giảm giá thành sản phẩm, loại bỏ việc sử dụng dung môi hữu cơ độc hại, kiểm soát tốt thiết bị cũng như quá trình vận hành thiết bị, giảm chi phí nhân công, bột nhựa đã được làm khô trước khi đưa vào thiết bị nên có thể tái sử dụng nhiều lần. Ngoài ra, lớp phủ nhựa nhiệt dẻo còn có ưu điểm khác như có độ bền môi trường cao, tăng khả năng chống ăn mòn, cách điện, dễ làm sạch, nhiều màu sắc khác nhau, loại bỏ việc chảy nhỏ giọt, xê dịch và có bóng khí trên lớp phủ thành phẩm.

Lớp phủ nhựa nhiệt dẻo thông thường có độ dày nằm trong khoảng 300-2000 μm và phụ thuộc vào hai yếu tố chính của quá trình tầng sôi: Nhiệt độ đốt nóng của mẫu kim loại trước khi phủ và thời gian nhúng trong hệ thiết bị tầng sôi [1-6]. Do đó, việc nghiên cứu hai yếu tố này là cần thiết đối với mỗi quá trình phủ nhựa và phù hợp với từng loại

*Tác giả liên hệ: Email: nguyetanhk28@gmail.com

Preparation and properties of PA11 powder coating on metal using the fluidized bed method

Thi Nguyet Anh Tuong*, Hung Thuan Tran,
Thu Trang Nguyen, Thi Xuan Trang Thai, Van Vuong Ung

Center for Advanced Materials Technology, National Center for Technological Progress

Received 1 November 2017; accepted 20 December 2017

Abstract:

In recent years, plastic powder coating using the fluidized bed method has gained a great deal of attention due to its excellent performance and environmental friendliness. It has been widely used in the field of metal coating, especially in the protective film for metal-based products. In this study, we present the preparation and properties of PA11 coating layers on steel manufactured by the fluidized bed method at different preheat temperatures (220, 250, 350°C) and dipping times (4-20s). The results showed that coating thickness increases with dipping time. A high speed of polymer deposition was observed occurred in the first few seconds of the coating process and reached a maximum coating thickness. The results also showed the coating thickness increased in accordance with the pre-heat temperature. The surface of coated specimen (preheated at 250°C) with different airflow rates was evaluated by the roughness measurement. The anticorrosion of the PA11 coatings at the dipping times of 5-15 seconds was examined using the salt spray test.

Keywords: Anticorrosion, fluidized bed, plastic coating, polyamide PA11, powder coating.

Classification number: 2.5

vật liệu thử nghiệm. Bên cạnh đó, tốc độ dòng khí cũng là một yếu tố có ảnh hưởng lớn tới việc chế tạo lớp màng nhựa nhiệt dẻo này cũng như độ đồng đều và khả năng bảo vệ kim loại của lớp màng khỏi tác động của môi trường xâm thực.

Một số loại nhựa nhiệt dẻo sử dụng cho quá trình phủ bằng phương pháp tầng sôi như polyetylen, polyamit... ứng dụng trên các vật liệu nền như kim loại, gốm sứ, thủy tinh, trong đó kim loại là đối tượng chính được sử dụng trong phương pháp này.

Trong các loại nhựa polyamit trên thị trường, PA11 được sử dụng nhiều hơn do độ nhớt của loại nhựa này khá thấp, tạo ra lớp phủ rất bền, cứng, có khả năng chống xước, nứt

gãy, cho sản phẩm có bề mặt bóng, đẹp. Lớp phủ từ nhựa PA11 có khả năng kháng dung môi và hóa chất rất tốt, bền với môi trường, do đó được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của công nghiệp cũng như đời sống, đặc biệt hiện nay lớp phủ này đã và đang bước đầu được ứng dụng trong bảo vệ kim loại khỏi tác động của môi trường có khả năng ăn mòn cao như môi trường nước biển [1, 5, 7]. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng nhựa nhiệt dẻo polyamit PA11 để tạo ra lớp phủ bảo vệ bề mặt cho thép cacbon và nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số: Nhiệt độ và thời gian nhúng phủ đến độ dày màng phủ và đánh giá sơ bộ khả năng bảo vệ kim loại trong môi trường ăn mòn.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Vật liệu nền: Thép CT3 có kích thước các mẫu là 10 x 40 x 5 (xuất xứ LB Nga). Trước khi đưa vào thử nghiệm, các mẫu thép được làm sạch dầu mỡ và tẩy gỉ trên bề mặt (TCVN 8790).

Vật liệu chế tạo lớp phủ: Nhựa PA11 ở dạng bột với kích thước hạt 100-130 μm , nhiệt độ nóng chảy 190°C (xuất xứ Mỹ).

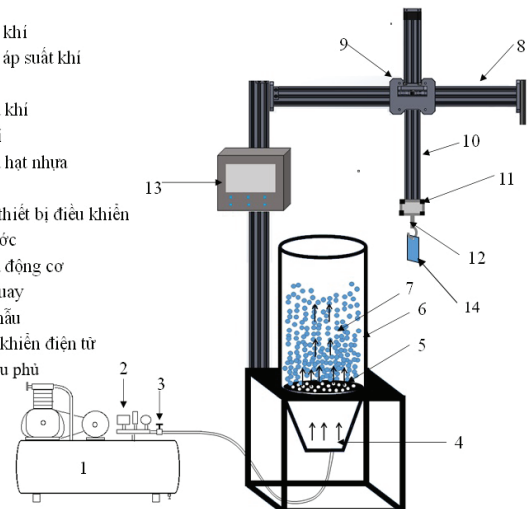
Phương pháp

Tính chất lớp phủ nhựa nhiệt dẻo được thử nghiệm và đánh giá theo các tiêu chuẩn: Độ dày lớp phủ (TCVN 9760:2013), độ nhám bề mặt (TCVN 5120:2007), thử nghiệm mù muối (ASTM B117).

Thiết kế hệ thiết bị và quy trình phủ nhựa PA11 lên bề mặt kim loại

Phương pháp tầng sôi: Cấu tạo hệ thiết bị tầng sôi có 3 phần chính, bao gồm: Thiết bị cấp khí, thiết bị tầng sôi, thiết bị điều khiển (hình 1).

- 1: Thiết bị cấp khí
- 2: Đồng hồ đo áp suất khí
- 3: Van khí
- 4: Buồng chứa khí
- 5: Đĩa chia khí
- 6: Buồng chứa hạt nhựa
- 7: Hạt nhựa
- 8: Trục X của thiết bị điều khiển
- 9: Động cơ bước
- 10: Trục Z của động cơ
- 11: Động cơ quay
- 12: Móc gắn mẫu
- 13: Bảng điều khiển điện tử
- 14: Mẫu vật liệu phủ



Hình 1. Sơ đồ hệ thiết bị phủ nhựa tầng sôi.

Quá trình phủ nhựa PA11 được thực hiện như sau: Các mẫu thép sau khi được xử lý và làm sạch bề mặt được đốt nóng trong lò đốt. Hệ thiết bị tầng sôi được cài đặt thông số trên hệ điều khiển bao gồm: Hành trình di chuyển, tốc độ di chuyển, thời gian quay... Mở van khí trên thiết bị cấp khí, điều chỉnh tốc độ dòng khí đưa vào thông qua đồng hồ đo đến khi nhựa trong buồng chứa “sôi” ổn định. Sau khi đạt nhiệt độ thích hợp, các mẫu được đưa ra khỏi lò đốt, giữ cố định trên móc gắn mẫu và di chuyển vào buồng phủ nhựa của thiết bị tầng sôi. Thời gian phủ nhựa PA11 cho các mẫu thép được cài đặt và điều khiển trên bảng điều khiển điện tử. Mẫu thép sau thời gian phủ được đưa ra ngoài, làm mát và tiến hành các đánh giá bề mặt cũng như đánh giá lớp phủ thu được.

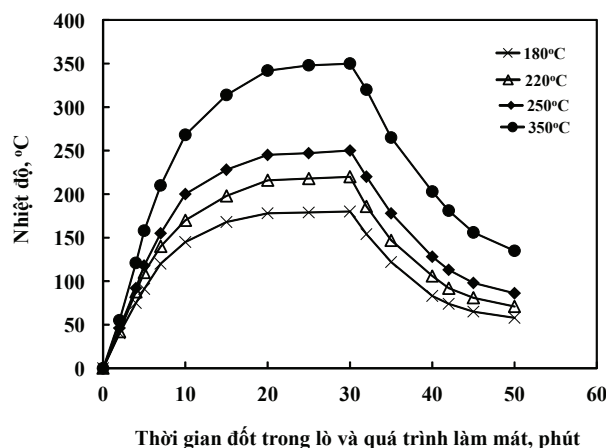
Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của quá trình đốt nóng mẫu thép và thời gian nhúng đến độ dày lớp phủ

Biến thiên nhiệt độ của mẫu thép theo thời gian:

Nhiệt độ mẫu thép trước khi đưa vào buồng phủ là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng tới sự phân bố độ dày và độ đồng đều của màng phủ. Do đó việc xác định điểm nhiệt độ đốt nóng mẫu thép phù hợp là yêu cầu cần thiết khi nghiên cứu phủ nhựa PA11 bằng phương pháp tầng sôi.

Do không khí trong lò đốt thường đạt nhiệt độ cao khá nhanh, nhanh hơn so với phần vật liệu kim loại cần phủ. Do đó để xác định các điều kiện tối ưu cho quá trình vận hành hệ thiết bị phủ tầng sôi cần xác định đường liên hệ giữa các yếu tố thời gian, nhiệt độ của quá trình phủ. Hình 2 biểu diễn quá trình tăng nhiệt khi đốt nóng trong lò và quá trình giảm nhiệt sau khi đưa ra khỏi lò nung của mẫu thép.



Hình 2. Nhiệt độ mẫu thép theo thời gian đốt nóng trong lò và quá trình giảm nhiệt sau khi đưa ra khỏi lò.

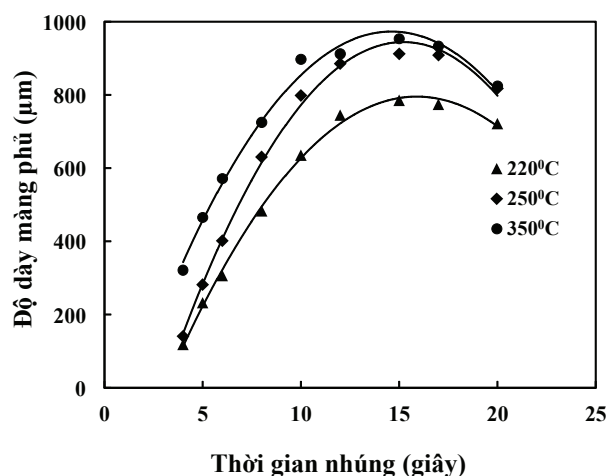
Từ đồ thị nhận thấy, đường biến thiên nhiệt độ của mẫu thép ở các nhiệt độ đều có dạng tương tự nhau và đều đạt được nhiệt độ mong muốn sau thời gian 30 phút đốt nóng. Sau 2 phút đưa ra khỏi lò, nhiệt độ các mẫu đều giảm khoảng

30°C so với nhiệt độ ban đầu (220-350°C). Do đó, khi phủ nhựa nhiệt dẻo lên bề mặt mẫu thép cần tính toán, lựa chọn khoảng nhiệt độ phù hợp với loại nhựa sử dụng, từ đó làm căn cứ để tính toán và thiết kế khoảng thời gian thích hợp cũng như quãng đường đi của mẫu từ lò đốt tới buồng phủ. Nhiệt độ nóng chảy của vật liệu nhựa PA11 là 190°C, do đó lựa chọn ba nhiệt độ phù hợp cho các thí nghiệm tiếp theo là 220, 250 và 350°C. Các nhiệt độ này đều cao hơn so với khoảng nhiệt độ nóng chảy của nhựa PA11 ít nhất là 30°C nhằm làm giảm độ chảy nhớt của vật liệu, giúp quá trình hình thành màng bao phủ bề mặt kim loại diễn ra thuận lợi.

Ảnh hưởng của thời gian nhúng:

Quá trình nhúng liên quan đến sự chuyển pha của vật liệu polyme phủ lên bề mặt kim loại. Một số thông số có ảnh hưởng tới quá trình nhúng trong phương pháp tầng sôi bao gồm: Thời gian nhúng, chuyển động nhúng trong hệ chuyển động, lực tác dụng ngang dọc, chuyển động của bột nhựa.

Trong phần này, đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đốt nóng trước của mẫu thép tới độ dày màng PA11 theo thời gian nhúng khác nhau. Mẫu thép CT3 được đốt nóng ở các nhiệt độ 220, 250 và 350°C trong thời gian 30 phút và thời gian đi từ lò đốt tới buồng phủ là 15 giây để ít tổn hao nhiệt nhất.

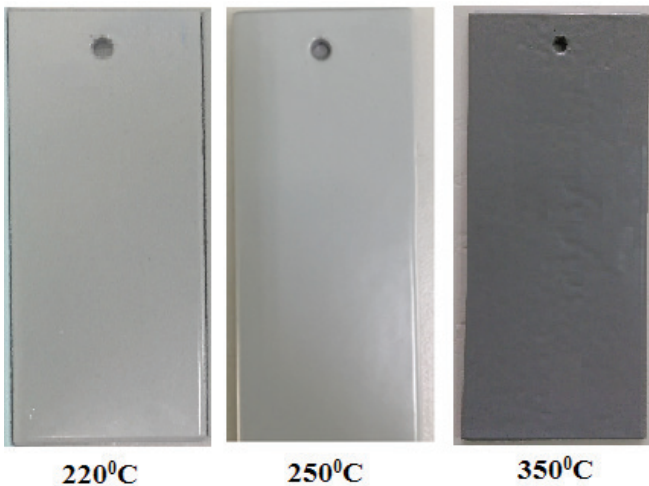


Hình 3. Đồ thị độ dày màng phủ theo thời gian nhúng ở các nhiệt độ đốt nóng mẫu thép khác nhau.

Đồ thị hình 3 biểu diễn độ dày màng phủ PA11 thu được ở các nhiệt độ đốt nóng khác nhau theo thời gian nhúng. Độ dày lớp phủ polyme trên bề mặt mẫu thép phù hợp với dữ liệu trong các bài báo đã công bố [8-11]. Thời gian đầu, sau khi nhúng mẫu thép vào hệ thiết bị phủ (dưới 6 giây), tốc độ hình thành màng rất nhanh. Sau đó, trong khoảng 6-12 giây tiếp theo tốc độ hình thành màng chậm dần, nguyên nhân là do việc lớp polyme hình thành trước đó đã đóng vai trò là lớp cách nhiệt, đồng thời nhiệt độ trên bề mặt mẫu thép

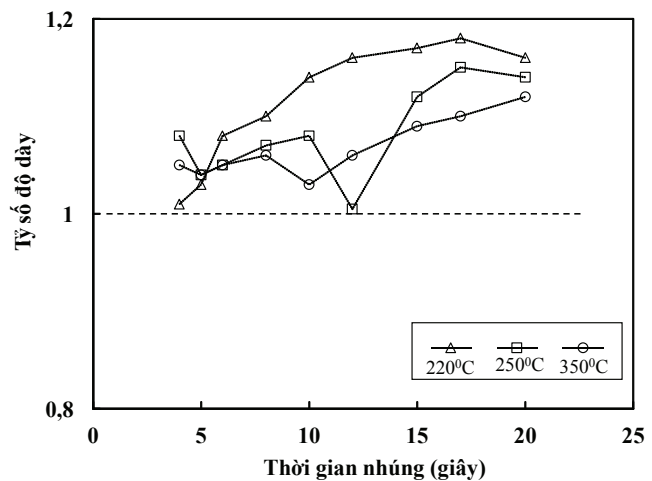
cũng đã giảm đi đáng kể. Sau thời gian 15 giây nhúng trong hệ phủ, độ dày màng không tăng lên ở cả ba nhiệt độ đã thử nghiệm, điều này được giải thích là do nhiệt năng trên bề mặt mẫu lúc này đã không còn đủ cung cấp để làm nóng chảy các hạt bột nhựa bám trên bề mặt mẫu phủ. Từ hình 4 có thể thấy, độ dày màng phủ tối đa ở nhiệt độ 350°C không có sự khác biệt quá lớn so với mẫu ở 250°C nhưng lại lớn hơn khá nhiều so với mẫu ở 220°C.

Quan sát lớp màng phủ đối với mẫu thép được đốt nóng ở 350°C cho thấy, các mẫu đều có màu đậm hơn so với mẫu bột ban đầu cũng như so với hai mẫu thép được phủ ở nhiệt độ 220 và 250°C (hình 4). Hiện tượng này chứng tỏ nhiệt độ của mẫu thép đã vượt quá nhiệt độ nóng chảy của nhựa và làm nhựa phân hủy một phần khi tiếp xúc trực tiếp với bề mặt kim loại. Với mẫu thép được phủ ở nhiệt độ 220°, xuất hiện một số hạt bột không nóng chảy trên bề mặt khi thời gian nhúng vượt quá 12 giây, cho thấy lượng nhiệt từ mẫu lúc này đã không còn đủ cung cấp để làm nóng chảy lớp polyme phủ bên ngoài.



Hình 4. Hình ảnh thực tế các mẫu kim loại phủ bột PA11 bằng phương pháp tăng sôi ở các nhiệt độ: 220, 250 và 350°C.

Xác định độ dày tại ít nhất 4 điểm trên mỗi mẫu và tính tỷ số giữa độ dày màng lớn nhất/độ dày màng nhỏ nhất. Kết quả cho thấy, thời gian nhúng dưới 15 giây đối với các mẫu thép được đốt nóng ở nhiệt độ 250 và 350°C, dưới 10 giây đối với mẫu đốt nóng ở 220°C, độ dày màng tại các vị trí khác nhau trên mỗi mẫu có sự khác biệt khá nhỏ, chứng tỏ mẫu thép đã được bao phủ khá đồng đều và sự khác biệt này được chấp nhận theo một số nghiên cứu đã được công bố [9, 10]. Trong khi đó, các thời gian nhúng trên 15 giây đối với mẫu đốt nóng ở nhiệt độ 250 và 350°C và trên 10 giây với mẫu đốt nóng ở 220°C, sự khác biệt về độ dày các vị trí đo được khá lớn và tăng nhanh khi thời gian nhúng phủ tăng (hình 5).



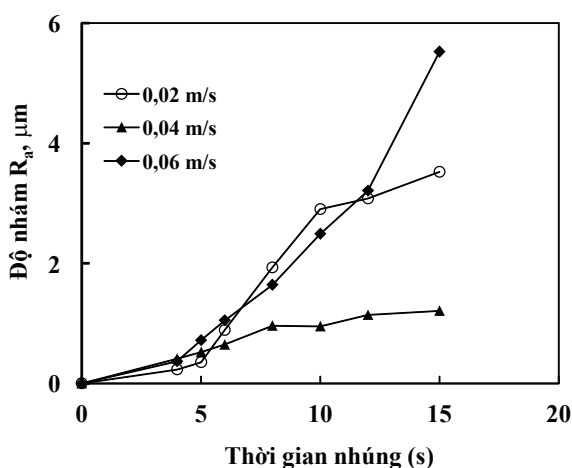
Hình 5. Đồ thị tỷ số độ dày màng lớn nhất/nhỏ nhất của các mẫu màng PA11 thu được theo thời gian nhúng ở các nhiệt độ khác nhau.

Các kết quả trên cho thấy, mẫu thép được đốt nóng ở nhiệt độ 250°C và thời gian nhúng dưới 15 giây cho lớp phủ có độ dày thích hợp và độ đồng đều cao, do đó các điều kiện này được sử dụng để tiến hành các thử nghiệm tiếp theo.

Ảnh hưởng của thời gian, tốc độ dòng khí đến độ nhám của màng phủ

Độ nhám của bề mặt lớp phủ trên kim loại cũng là một yếu tố có ảnh hưởng lớn tới khả năng bảo vệ của lớp phủ [1, 6]. Khi tiếp xúc với các môi trường điện ly, các khuyết tật hay các vị trí lỗi lõm trên bề mặt màng là nơi tập trung của các ion gây ăn mòn và rút ngắn đường đi của các ion này tới ranh giới phân chia giữa lớp phủ/bề mặt kim loại và đẩy nhanh quá trình phá hủy kim loại [12].

hình 6 biểu diễn độ nhám trung bình của các lớp phủ PA11 được chế tạo ở 250°C theo thời gian nhúng từ 3-15 giây với các tốc độ dòng khí khác nhau: 0,02; 0,04 và 0,06 m/s. Nhận thấy ở thời gian nhúng dưới 5 giây, độ nhám trung bình của các lớp phủ khá thấp. Tuy nhiên, khi thời gian nhúng tăng lên, chỉ có mẫu được phủ với tốc độ dòng khí 0,04 m/s cho độ nhám trung bình bề mặt khá đồng đều, còn mẫu thí nghiệm với hai tốc độ dòng khí 0,02 và 0,06 m/s có độ nhám bề mặt tăng lên rất nhanh, đặc biệt là ở tốc độ dòng khí 0,06 m/s. Kết quả này có thể được giải thích như sau: Với mẫu được phủ ở tốc độ dòng khí ở 0,02 m/s, do tốc độ các hạt nhựa bám trên bề mặt thép khá chậm nên khi thời gian nhúng mẫu thép càng lớn, nhiệt lượng tỏa ra qua lớp nhựa hình thành trước đó đã giảm đáng kể và không còn đủ để làm nóng chảy các hạt nhựa bám vào bề mặt thép. Trong khi đó với tốc độ dòng 0,06 m/s, tốc độ hạt nhựa lên bề mặt thép lại quá nhanh dẫn tới việc không đủ thời gian cho tất cả các hạt nhựa bám vào bề mặt thép kịp nóng chảy cũng

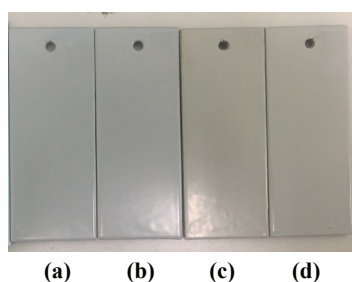


Hình 6. Đồ thị độ nhám các mẫu lớp phủ PA11 chế tạo ở 250°C theo thời gian nhúng ở các tốc độ dòng khí: 0,02; 0,04; 0,06 m/s.

truyền nhiệt lượng cho các lớp nhựa tiếp theo bám dính lên bề mặt. Chính sự nóng chảy không hoàn toàn của các hạt nhựa bám trên bề mặt thép sẽ làm cho độ nhám bề mặt của mẫu thép được phủ nhựa tăng.

Thử nghiệm khả năng bảo vệ kim loại

Kiểm tra khả năng bảo vệ kim loại của lớp phủ trong điều kiện thực tế bằng phương pháp thử muối. Các mẫu thép phủ PA11 chế tạo ở nhiệt độ 250°C, thời gian nhúng là 5 giây, 10 giây, 12 giây và 15 giây được đặt trong tủ muối (hình 7).



Hình 7. Hình ảnh sau 120 giờ thử nghiệm muối của các mẫu thép phủ PA11 chế tạo ở nhiệt độ 250°C trong thời gian nhúng: (a) 5 giây, (b) 10 giây, (c) 12 giây, (d) 15 giây.

Các mẫu được đưa vào trong môi trường tiếp xúc với dung dịch NaCl với thời gian thử nghiệm liên tục 120 giờ. Hết thời gian thử nghiệm theo tiêu chuẩn của phép đo, các mẫu đều không có hiện tượng dung dịch điện ly ngấm qua màng, bề mặt mẫu không thấy xuất hiện điểm gỉ nào, chứng tỏ khả năng bảo vệ kim loại trong môi trường điện ly của lớp màng PA11 chế tạo bằng phương pháp tăng sôi có thể đáp ứng được điều kiện làm việc thực tế.

Kết luận

Nhiệt độ thích hợp cho phủ nhựa nhiệt dẻo PA11 lên bề mặt thép CT3 là 220, 250 và 350°C, mẫu được phủ nhựa sau

khí đưa ra khỏi lò nung trong khoảng thời gian 5-10 giây để đảm bảo quá trình mất nhiệt ra ngoài không khí là nhỏ nhất.

Thời gian đạt độ dày tối đa đối với các mẫu ở cả ba nhiệt độ trên là từ 12-15 giây. Trong đó, độ dày màng tối đa của lớp phủ chế tạo ở 250 và 350°C tương đương nhau và cao hơn so với lớp phủ chế tạo ở 220°C. Khảo sát tỷ số độ dày màng cao nhất/độ dày thấp nhất cho thấy, thời gian nhúng dưới 10 giây ở 220°C và dưới 15 giây ở 250°C và 350°C là phù hợp.

Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ dòng khí tới độ nhám bề mặt trung bình của các mẫu màng PA11 trên bề mặt thép CT3 chế tạo ở 250°C cho thấy, tốc độ dòng 0,04 m/s là phù hợp cho chế tạo các lớp phủ với bề mặt đồng đều và bảo vệ tốt cho kim loại.

Đánh giá khả năng bảo vệ kim loại trong môi trường giả lập bằng phương pháp thử nghiệm muối cho thấy, mẫu thép phủ nhựa PA11 bằng phương pháp tăng sôi bền vững với môi trường tiếp xúc liên tục với dung dịch chất điện ly. Sau 120 giờ thử nghiệm, bề mặt lớp phủ không có nhiều thay đổi, dung dịch điện ly chưa ngấm qua màng, sự ăn mòn chưa xảy ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zhongyan Du, Shaoguo Wen, Jihu Wang, Changle Yin, Dayang Yu, Jian Luo (2016), "The Review of Powder Coatings", *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, **4**, pp.54-59.
- [2] Gerald Scott (1999), *Polymers and the Environment*, Royal Society of Chemistry, London, [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00146-X).
- [3] J. Ylirussi, E. Rasanen, J. Rantanen, J.P. Mannerman (2004), "The Characterization of Fluidization Behavior Using a Novel Multichamber Microscale Fluid Bed", *J. Pharma Sci.*, **3**, pp.780-791.
- [4] Robert P. Hesketh, C. Stewart Slater, Michael Carney (2000), "A Fluidized Bed Polymer Coating Experiment", *ASEE Annual Conference*.
- [5] R. Ahmad (2006), "Comparative study of nylon and PVC fluidized bed on mild steel", *Proceedings of the Pakistan Engineering Congress, 70th Annual Session Proceedings*, **679**, pp.438-447.
- [6] M. Barletta, G. Simone, V. Tagliaferri (2006), "Advance in fluidized bed coating: An experimental investigation on a performance polymer coating alloy", *Journal of Materials Processing Technology*, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.03.171.
- [7] Tường Thị Nguyệt Ánh và cộng sự (2013), "Nghiên cứu công nghệ phủ màng nhựa polyamit lên bề mặt sắt thép bằng phương pháp tăng sôi", *Báo cáo tổng kết đề tài cấp cơ sở*, Viện Ứng dụng Công nghệ.
- [8] C.K. Pettigrew (1966), "Fluidized bed coating, Part 1. Effects of fluidized bed variables, substrate pretreatment and preheating method", *Mod. Plastics*, **44**, pp.111-117.
- [9] C.K. Pettigrew (1966), "Fluidized bed coating, Part 2. Effects of dipping, postheating and complex geometrical variables", *Mod. Plastics*, **44**, pp.150-156.
- [10] K.C. Leong, G.Q. Lu (1995), "Fluidized bed coating of copper cylinders", *J. Mater. Proc. Tech.*, **48**, pp.525-532.
- [11] K.C. Leong, G.Q. Lu, V.A. Rudolph (1999), "Comparative study of the fluidized bed coating of cylindrical metal surfaces with various thermoplastic polymer powders", *J. Mat. Process. Technol.*, **89-90**, pp.354-360.
- [12] W. Funke. (1987), "Proc. Sym. on Corrosion Protection by Organic Coating", *Journal of the Electrochemical Society*, **1**, pp.43.