

NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ ĐO ĐỘ NHỚT DẪN CỦA POLYME

Nguyễn Ngọc Minh

Trường Đại học Thủy lợi, email: ngminh@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thiết kế và chế tạo một thiết bị đo độ nhớt dẫn của polyme theo nguyên lý của máy đo lưu biến dẫn CaBER (capillary breakup extensional rheometer). Thiết bị này được thiết kế sử dụng vật liệu cũng như các phần tử đơn giản dễ trang bị như cuộn hút dây tác động nhanh và kính hiển vi điện tử. Sau khi thiết kế chế tạo chúng tôi đã sử dụng polyethylene oxide (PEO) để đo thử nghiệm. Kết quả cho thấy thiết bị đo độ nhớt dẫn thiết kế có thể mô tả định tính quá trình dẫn và ước lượng được độ nhớt dẫn của polyme.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trước tiên chúng tôi thiết kế và chế tạo thiết bị đo độ nhớt dẫn dựa theo nguyên lý của máy đo lưu biến dẫn CaBER. Sau đó chúng tôi tiến hành đo thử nghiệm với một số loại polyme để đánh giá thiết bị đã được thiết kế chế tạo.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Giới thiệu

Lưu biến dẫn hoặc kéo dài nghiên cứu các đặc tính lưu biến liên quan đến lực cản kéo, thông số quan trọng nhất của lưu biến dẫn là độ nhớt dẫn - xuất hiện trong các quá trình sản xuất và chế biến. Đối với nhiều quy trình công nghiệp như kéo, thổi và ép polyme hoặc nhựa thì độ nhớt dẫn là một đặc tính quan trọng của các loại polyme có tính đàn hồi nhớt. Một số loại polyme cho thấy sự khác biệt về độ nhớt trượt không nhiều nhưng lại cho thấy sự khác biệt lớn về độ nhớt dẫn. Các thiết bị đo độ nhớt trượt (Shear Viscometer) không thể đo

được độ nhớt dẫn. Nếu như các thiết bị đo độ nhớt trượt đã có từ lâu thì các thiết bị đo độ nhớt dẫn là tương đối mới và đắt tiền. Các loại máy đo độ nhớt dẫn như CaBER (Capillary Breakup Extensional Rheometer), FiSER (Filament Stretching Extensional Rheometer) và SLR (Spin Line Rheometer) đều theo dõi sự thất bại của các sợi chất lỏng dẫn theo thời gian, từ đó sẽ tính toán được các thông số lưu biến dẫn như độ nhớt dẫn, thời gian phục hồi và tốc độ biến dạng. Tuy nhiên, những thiết bị trên đều rất đắt tiền. Gần đây, tác giả đã báo cáo về độ nhớt dẫn của dịch nhầy chiết xuất từ quả đậu bắp bằng thiết bị đo độ nhớt dẫn dạng CaBER [1].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về độ nhớt dẫn của polyme vẫn chưa nhiều. Nguyên nhân là do không có các máy đo độ nhớt dẫn chưa được phổ biến. Do vậy, trong nghiên cứu này, tác giả đã thiết kế chế tạo một thiết bị đo độ nhớt dẫn đơn giản có thể mô tả định tính được quá trình dẫn của polyme và ước lượng được độ nhớt dẫn của polyme với độ chính xác trong phạm vi chấp nhận được.

3.2. Vật liệu và thiết lập thí nghiệm

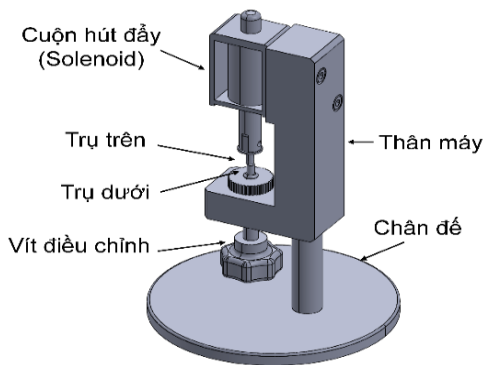
3.2.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, dung dịch polyethylene oxide (PEO15) (Sigma Aldrich, USA) có khối lượng phân tử 3.8×10^6 được chuẩn bị bằng cách thêm từ từ polyme vào nước khử ion. Dung dịch được lắc rất nhẹ ở tốc độ 20 vòng trên phút trên máy lắc (MK161, Yamato Scientific) trong 2 ngày ở nhiệt độ phòng để đảm bảo rằng dung dịch đồng nhất và giảm thiểu sự đứt gãy chuỗi dưới ảnh hưởng của dòng khuấy có tốc độ

cao. Để đo độ nhớt dẫn chúng tôi sử dụng PEO15 với nồng độ khối lượng là 1,0% và 2,5% do mẫu có nồng độ thấp thời gian kéo giãn không đủ để đo đường kính, còn khi nồng độ quá cao sẽ ảnh hưởng đến khả năng dẫn của polyme.

3.2.2. Mô tả thiết bị thí nghiệm

Kết cấu của thiết bị đo độ nhớt dẫn bao gồm một cuộn điện từ (Loại: JF-0530B, Điện áp định mức: DC 6V, Dòng điện định mức: 300mA, Lực/hành trình: 5N/10mm) để dẫn động phân trụ trên với đường kính $3 \pm 0,01$ mm. Trụ dưới có đường kính $3 \pm 0,01$ mm một phần có ren và có núm vặn để có thể điều chỉnh khe hở ban đầu giữa hai trụ. Cuộn điện từ và vít điều chỉnh được lắp trên một giá đỡ bằng nhôm. Kết cấu của thiết bị như mô tả trong hình 1.



Hình 1. Thiết bị đo độ nhớt dẫn

Thiết bị đo độ nhớt dẫn hoạt động dựa trên nguyên tắc đo độ mỏng của cầu chất lỏng bị kéo dẫn hình thành giữa trụ trên và trụ dưới theo thời gian. Mẫu thí nghiệm ban đầu được đặt giữa hai bề mặt trụ kim loại, sau đó trụ kim loại được điều chỉnh nhanh chóng dịch chuyển ra xa nhau một khoảng xác định (10 mm) với tốc độ khoảng 0,2 mm/s rồi dừng lại (thời điểm đó được coi là thời điểm bắt đầu của thử nghiệm). Lúc đó, giữa hai trụ trên và dưới hình thành một cầu chất lỏng (Hình 2). Sự phát triển của cầu chất lỏng hình thành giữa hai trụ trên và dưới được ghi lại bằng kính hiển vi điện tử Dino-Lite 5MP (AnMo Electronics Corp., Taiwan) có độ phân giải

đầy đủ là 5.0 Mpixels với độ phân giải hình ảnh 2560×1920 ở tốc độ 45 khung hình/giây. Các phép đo được thực hiện ở nhiệt độ phòng (25 ± 1 °C). Các ảnh liên tiếp của cầu chất lỏng được xử lý bằng phần mềm ImageJ để thu được dữ liệu thay đổi của đường kính cầu chất lỏng theo thời gian. Từ thông số đường kính của cầu chất lỏng thu được, độ nhớt dẫn có thể được ước lượng theo công thức (1):

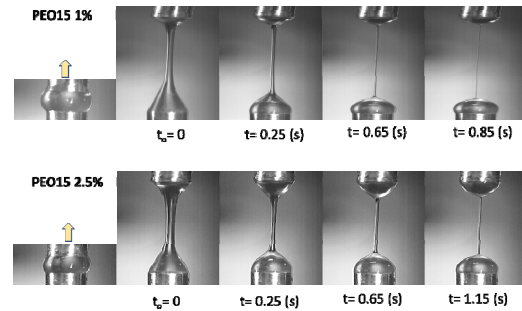
$$\eta_E = \frac{-(2X - 1)}{d(D_{mid}(t))} \sigma \quad (1)$$

trong đó: X là một hệ số tính đến độ lệch trong hình dạng của cầu chất lỏng, ở đây giá trị $X = 0,7127$ được lựa chọn để đảm bảo giai đoạn cuối của quá trình dẫn diễn ra mượt mà và cầu chất lỏng tiệm cận dạng trụ [2]; $D_{mid}(t)$ là đường kính mặt cắt giữa của cầu chất lỏng hình thành giữa trụ trên và trụ dưới tại thời điểm t và σ là sức căng mặt ngoài của chất lỏng.

3.3. Kết quả và thảo luận

3.3.1. Phương pháp đo bằng máy đo độ nhớt dẫn

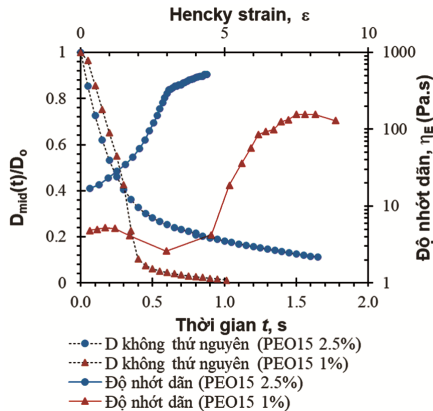
Chất lỏng thử nghiệm được đặt cẩn thận vào khe hở ban đầu giữa trụ trên và trụ dưới bằng một xi lanh tiêm loại 25G (Temuro Corp). Tiếp theo kính hiển vi điện tử được kích hoạt đồng thời với cuộn điện từ để ghi lại diễn tiến quá trình dẫn của mẫu polyme. Quá trình kéo dẫn polyme được quay và ghi lại dưới định dạng các ảnh tuần tự.



Hình 2. Quá trình giảm kích thước của cầu chất lỏng đối với dung dịch PEO15 1% và 2.5%

Hình 2 thể hiện quá trình giảm kích thước của cầu chất lỏng đối với dung dịch PEO15 nồng độ 1% và 2.5%. Quá trình giảm kích thước đường kính của cầu chất lỏng có thể được chia thành bốn giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên là giai đoạn chịu ảnh hưởng của trọng lực nên chất lỏng như bị tụt xuống ($t = 0$). Giai đoạn thứ hai là giai đoạn hình thành sự cân bằng giữa áp suất mao quản và ứng suất nhớt ($t = 0.25s$). Trong giai đoạn thứ ba ($t = 0.65s$), mẫu thí nghiệm vẫn ở trạng thái cân bằng giữa áp suất mao quản và ứng suất nhớt và trong giai đoạn này bắt đầu có sự tách rời cao hơn của các chuỗi polyme. Cuối cùng, giai đoạn thứ tư ($t = 1.15s$) được đặc trưng bởi sự cân bằng đàn hồi - mao dẫn giữa sức căng bề mặt và ứng suất đàn hồi của các chuỗi polyme bị kéo căng. Khi sự cân bằng giữa áp suất mao dẫn và ứng suất nhớt đạt được, lúc đó đường kính của cầu chất lỏng sẽ giảm từ từ. Kết quả trên cho thấy, thiết bị đo độ nhớt dẫn thiết kế có thể mô tả được định tính quá trình dẫn của polyme dưới tác dụng của lực kéo dẫn.

3.3.2. Độ nhớt dẫn của polyethylene oxide (PEO15)



Hình 3. Sự thay đổi của đường kính không thứ nguyên và độ nhớt dẫn của PEO15

Hình 3 biểu diễn sự thay đổi của đường kính không thứ nguyên của cầu chất lỏng theo thời gian ($D_{mid}(t)/D_0$). Có thể thấy, ở nồng độ cao cầu chất lỏng sẽ tồn tại lâu hơn. Hơn nữa, tốc độ giảm đường kính của cầu chất lỏng cũng phụ thuộc vào sức căng mặt ngoài của

dung dịch. Hình 3 cũng cho thấy với dung dịch polyme có nồng độ thấp (PEO15 1%) thì độ dốc của đường cong lớn hơn hay tốc độ giảm đường kính nhanh hơn và thời gian tồn tại cũng ngắn hơn dung dịch polyme có nồng độ cao (PEO15 2.5%). Sau khi xác định được sự thay đổi đường kính của cầu chất lỏng theo thời gian như ở phần trên chúng ta có thể tính toán được độ nhớt dẫn theo công thức (1). Độ nhớt dẫn của PEO được thể hiện trong hình 3 như là hàm số của biến dạng Hencky. Biến dạng Hencky được định nghĩa là $\epsilon = \ln \lambda$ hoặc công thức (2), trong đó $\lambda = L/L_0$ là hệ số giãn được tính từ chiều dài mẫu ban đầu (L_0) và chiều dài sau khi kéo giãn (L) [3].

$$\epsilon = 2 \ln \left(\frac{D_0}{D_{mid}(t)} \right) \quad (2)$$

Hình 3 cho thấy dung dịch PEO thể hiện độ nhớt dẫn rất cao (lớn hơn 600 Pa.s), trong khi đó độ lớn trượt lớn nhất chưa đến 3 Pa.s. Khi biến dạng Hencky tăng thì độ nhớt dẫn cũng tăng lên. Như vậy với thiết bị chế tạo trong nghiên cứu này hoàn toàn có thể mô tả một cách định tính quá trình dẫn của polyme và ước lượng được độ nhớt dẫn của polyme.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày thiết kế và thử nghiệm một thiết bị đo độ nhớt dẫn có kết cấu đơn giản, dễ dàng xây dựng từ các vật tư sẵn có ngoài thị trường. Dung dịch polyethylene oxide PEO15 với nồng độ 1% và 2.5% được sử dụng để đo thử nghiệm. Với thiết bị đo độ nhớt dẫn thiết kế, độ nhớt dẫn và diễn tiến của quá trình dẫn đã được xác định. Tuy nhiên, để có thể ứng dụng rộng rãi cần có những nghiên cứu tiếp theo.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Minh NN. Nghiên cứu đặc tính độ nhớt của dịch nhầy chiết xuất từ quả đậu bắp. Tạp chí KHHT Thủy lợi và Môi trường 2022;78:7.
- [2] McKinley GH, Tripathi A. How to extract the Newtonian viscosity from capillary breakup measurements in a filament rheometer. J Rheol (N Y N Y) 2000;44:653-70. <https://doi.org/10.1122/1.551105>.