

SỬ DỤNG LƯU BIẾN KÉ QUAY ĐỒNG TRỤC DẠNG CÁNH ĐỂ XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ TÍNH CHẤT LƯU BIẾN CỦA HỖN HỢP VỮA USING A ROTATIONAL VANE TYPE RHEOMETER TO STUDY ON VISCOSITY AND YEILD STRESS OF CEMENT MORTAR

TS. NGUYỄN KHÁNH SƠN*, KS. VÕ THỊ KIM NGỌC, ThS. LÊ MINH SƠN,
TS. NGUYỄN NGỌC TRÍ HUỖNH

Khoa Công nghệ Vật liệu - Trường ĐH Bách Khoa, ĐHQG TP. Hồ Chí Minh

*Liên hệ: ksnguyen@hcmut.edu.vn

Tóm tắt: Trong bài báo, các tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu đặc trưng lưu biến học của hỗn hợp vật liệu vữa xi-măng. Nghiên cứu giả sử mô hình ứng xử lưu chất Bingham và thiết bị lưu biến ké quay đồng trục dạng cánh đối với cấp phối vữa gồm xi-măng, cát, nước và phụ gia siêu dẻo. Kết quả thí nghiệm cho thấy giá trị thông số độ nhớt và ngưỡng chảy cũng như độ chạy qua phễu đo phản ánh đúng trạng thái lưu biến học của mẫu vữa thay đổi theo thời gian lưu khác nhau. Trong đó biến thiên giá trị độ nhớt và ngưỡng chảy có độ nhạy cao, đây là cơ sở cho những nghiên cứu về đặc trưng lưu biến hỗn hợp vữa nhằm ứng dụng tối ưu cấp phối, quá trình nhào trộn, thi công tạo hình vật liệu.

Từ khóa: lưu biến ké, độ nhớt, ngưỡng chảy, tính công tác, độ chảy

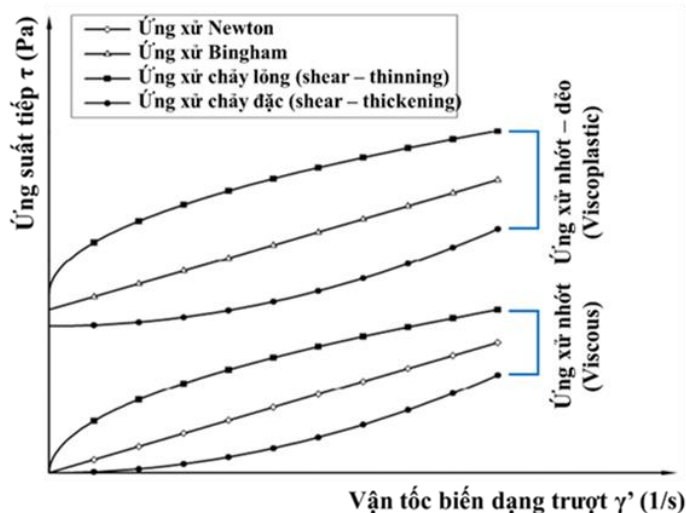
Abstracts: In this paper, we studied on the rheological properties of cement mortar by using a developed co-axial rheometer (vane type). We based on the assumption that the rheological behavior of cement concrete is fitted with Bingham model. The correlation between measured values of mortar flowability (Grout Flow Cones test -ASTM C939) and obtained values of viscosity and yeild stress was established over different resting time of mortar mixture. In the conclusion, we discussed on the perspective that by considering those rheological properties we could optimize the mixture proportional and other concrete mixing and casting process.

Keywords: rheometer, viscosity, yeild stress, early-age properties of concrete, flowability

1. Giới thiệu

Đối với vật liệu bê-tông xi-măng nói chung thì tính công tác hỗn hợp vữa ngay sau khi kết thúc nhào trộn thường đóng vai trò quan trọng bậc nhất. Đặc tính công tác tốt đồng nghĩa với khả năng đảm bảo quá trình thi công, phù hợp công nghệ tạo hình, cũng như các đặc trưng cơ học và độ bền vượt trội sau đó vữa bê-tông xi-măng đóng rắn phát triển cường độ chịu lực.

Thuật ngữ “lưu biến” được đặt ra bởi Eugene C. Bingham, năm 1920 và được nghiên cứu về sự chảy của vật chất: chủ yếu là chất lỏng nhưng cũng có thể là các chất rắn mềm hoặc chất rắn trong điều kiện chúng bị chảy hơn là biến dạng đàn hồi. Ngày nay, đối với hầu hết các loại vật liệu thì lưu biến học tập trung nghiên cứu về sự biến dạng và dòng chảy của trạng thái chất lưu hay nói cách khác là cách thức vật liệu biểu hiện ứng xử chảy dưới tác dụng ngoại lực [1]. Qua đó xây dựng được mối quan hệ giữa biến dạng và ứng suất tương ứng tác dụng lên vật liệu đồng thời xét đến quá trình tác dụng của ứng suất theo thời gian. Phương trình lưu biến là hàm toán học giữa ứng suất cắt τ và vận tốc biến dạng trượt $\dot{\gamma}$ (đạo hàm của biến dạng trượt γ theo thời gian t). Đường cong mô tả phương trình lưu biến được gọi là đồ thị lưu biến, dựa vào đó để phân biệt những loại ứng xử lưu biến khác nhau như hình 1 [2]. Ứng xử của vật liệu nhớt tuyệt đối (Newton) nếu sự chảy xảy ra ngay sau khi vật liệu chịu tác dụng của một ứng suất tiếp τ dù rất nhỏ, đồ thị lưu biến tuyến tính và đi qua gốc tọa độ. Ngược lại, ứng xử của vật liệu nhớt – dẻo (Bingham) nếu sự chảy chỉ xảy ra khi ứng suất tiếp τ vượt quá một giá trị τ_0 gọi là ngưỡng chảy, đồ thị lưu biến tuyến tính và bắt nguồn từ điểm có tung độ ứng suất tiếp τ_0 .



Hình 1. Đồ thị lưu biến ứng với các loại ứng xử lưu biến khác nhau của loại lưu chất [2]

Đối với vật liệu xi-măng, bê-tông, đã có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới quan tâm đến đặc tính lưu biến học của chúng nhằm mục đích liên hệ kiểm soát chất lượng vữa sau khi nhào trộn, cũng như tối ưu hóa công nghệ tạo hình [3]. Nhìn chung, do đặc điểm không đồng nhất thành phần nên đặc tính lưu biến của chúng cũng rất phức tạp. Tùy thuộc vào thời điểm sau khi nhào trộn, vữa xi-măng có cấu trúc kết bông do sự hút nhau của các hạt xi-măng. Để vữa xi-măng có thể chảy được cần phải tác động lên chúng một ứng suất τ đủ lớn nhằm phá vỡ liên kết của các hạt xi-măng. Điều này làm cho vữa xi-măng và bê-tông có thể xem biểu hiện ứng xử nhớt – dẻo, tức là tồn tại ngưỡng chảy hay sức kháng cắt τ_0 cần phải vượt qua để vật liệu bắt đầu chảy được. Ngoài ra, chúng còn có những biểu hiện khác như ứng xử xúc biến có nguồn gốc từ sự phục hồi một phần trạng thái liên kết giữa các nhóm hạt xi-măng sau khi trải qua quá trình cắt. Điều này được thể hiện bởi sự giảm độ nhớt μ của vật liệu theo thời gian trong khi ứng suất τ hoặc vận tốc biến dạng trượt $\dot{\gamma}$ không đổi [4]. Hay biểu hiện ứng xử chảy lỏng thể hiện qua sự giảm độ nhớt μ của vật liệu khi ứng suất τ hoặc vận tốc biến dạng trượt $\dot{\gamma}$ tăng lên. Vữa xi-măng và bê-tông là những vật liệu nhớt – dẻo tồn tại ngưỡng chảy τ_0 và chúng có thể có ứng xử lưu biến phi tuyến tùy thuộc vào thành phần hỗn hợp bê-tông. Trong số nhiều mô hình lưu biến xét đến sự tồn tại ngưỡng chảy của vật liệu, mô hình lưu biến Herschel – Bulkley đặc trưng bởi ba thông số τ_0 , K , n đã được đánh giá thích hợp nhất trong việc mô tả ứng xử lưu biến của vữa xi-măng và bê-tông do mô hình này cho phép xét đến ứng xử phi tuyến của vật liệu một cách thích hợp. Mô hình Bingham không cho phép mô tả ứng xử lưu

biến phi tuyến của vật liệu. Tuy nhiên, nhờ sự đơn giản, nó đã được sử dụng trong rất nhiều công trình nghiên cứu về ứng xử lưu biến của vữa xi-măng và bê-tông [3].

Sau đây, chúng tôi sẽ trình bày nghiên cứu phát triển thiết bị lưu biến kế loại cánh quay từ máy khuấy đũa, đồng thời áp dụng mô hình Bingham nhằm ước tính một số thông số đặc trưng lưu biến của vữa xi-măng bê-tông. Sự tương quan giữa kết quả biến thiên thông số độ nhớt, sức kháng cắt với khả năng chảy của vữa cũng được dùng để đánh giá mức độ tin cậy của thiết bị. Trong phần kết luận chúng tôi đề cập hướng ứng dụng của thiết bị cho các nghiên cứu lưu biến học vữa xi-măng bê-tông, đồng thời triển vọng ứng dụng trong điều chỉnh cấp phối, biện pháp nhào trộn và tạo hình.

2. Nguyên liệu và thiết bị lưu biến kế

2.1 Nguyên liệu và phối trộn

Các nguyên liệu sử dụng để phối trộn mẫu vữa gồm: xi-măng Poóclăng PC40 (Vicem Hà Tiên), cát mịn (gồm 3 nhóm cỡ hạt), nước sạch và phụ gia siêu dẻo thế hệ 3 gốc Polycarboxylate SIKA ViscoCrete 8700M. Kết quả phân tích, thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý nguyên liệu xi-măng PC40 Vicem Hà Tiên trong bảng 1 cho thấy hoàn toàn đáp ứng yêu cầu sử dụng theo tiêu chuẩn xi-măng. Ngoài ra kết quả phân tích kích thước hạt trung bình (phương pháp Laser) xi-măng là 19,10 μm và khoảng min-max từ 0,46 μm đến 152,45 μm . Thử nghiệm về mức giảm nước và tính tương thích với phụ gia SIKA ViscoCrete 8700M của xi-măng PC40 Vicem Hà Tiên cho thấy tính tương thích tốt, với liều dùng 1,5% khối lượng xi-măng thì mức độ giảm nước 42,60% thông qua thí nghiệm đo độ dẻo tiêu chuẩn.

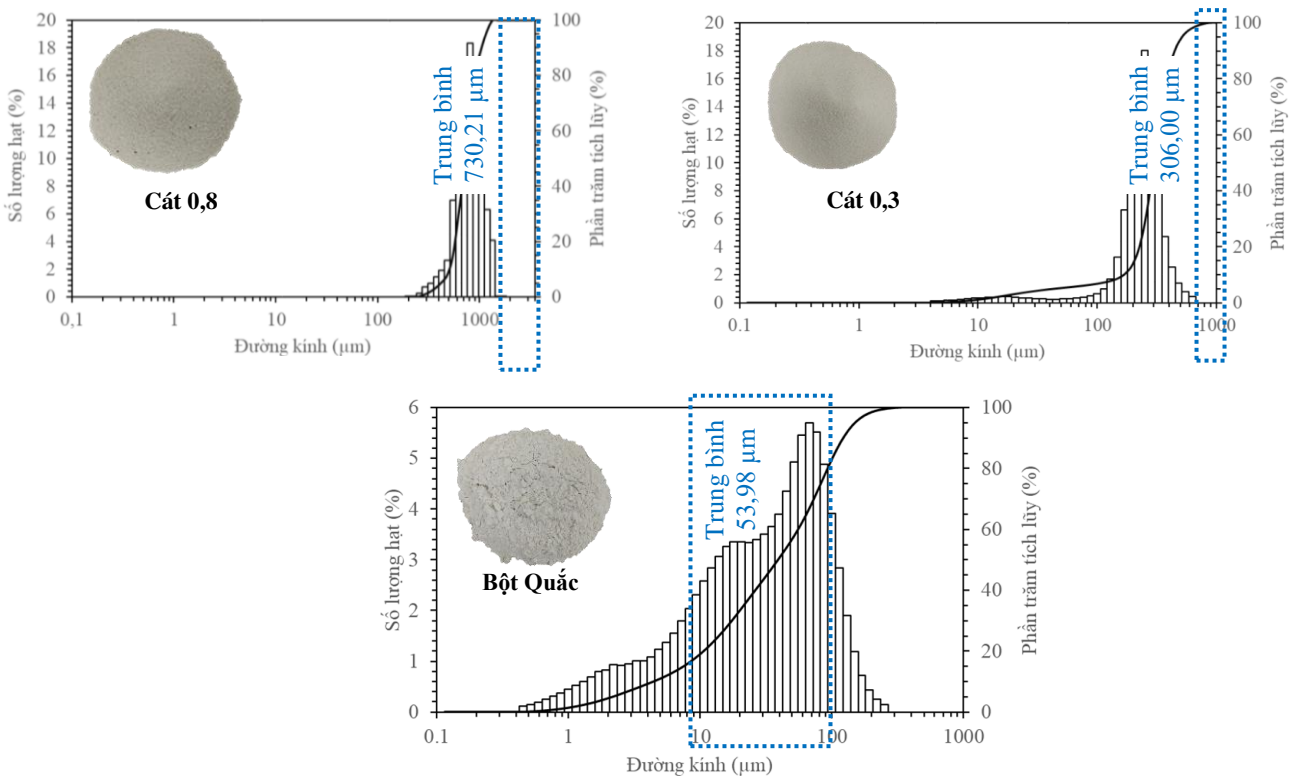
VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm chỉ tiêu tính chất cơ lý xi-măng PC40 Vicem Hà Tiên

Tính chất	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
Lượng sót sàng 0,09 mm	%	4,9	≤ 10	TCVN 4030:2003
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	27,2	-	TCVN 6017:2015
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,13	-	TCVN 4030:2003
Thời gian đông kết				
<i>Bắt đầu</i>	Phút	165	≥ 45	TCVN 2682:2009
<i>Kết thúc</i>	Phút	245	≤ 375	
Cường độ chịu nén				
<i>3 ngày ± 45 phút</i>	MPa	31,1	18	TCVN 6016:2011
<i>28 ngày ± 8 giờ</i>	MPa	44,7	≥ 40	

Đối với cốt liệu cát mịn, chúng tôi sử dụng cát trắng Fico Cam Ranh – Khánh Hòa, sạch, chất lượng cao. Có 3 loại cỡ hạt mịn của cát được sử

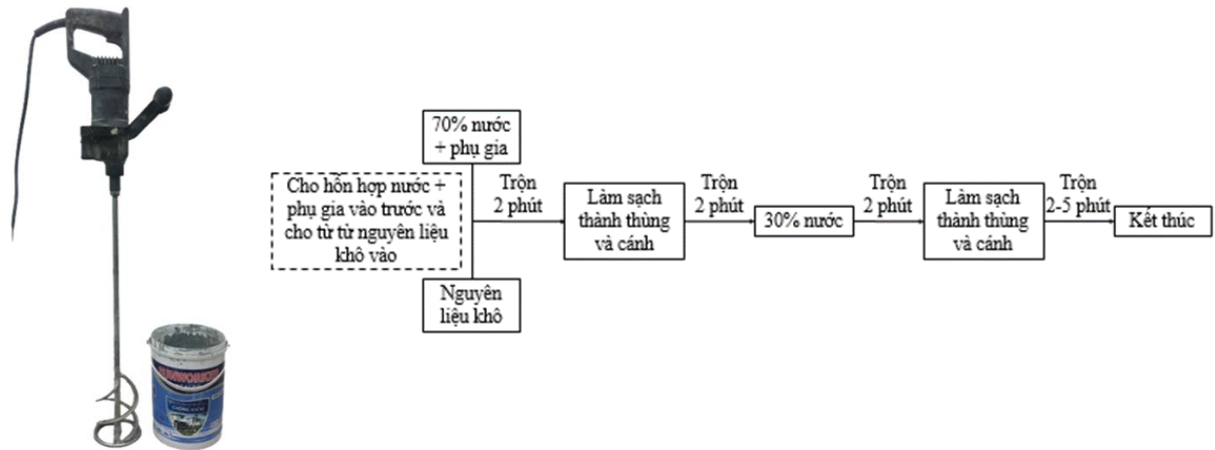
dụng với kết quả phân tích phân bố kích cỡ hạt bằng phương pháp Laser tương ứng như sau (hình 2).



Hình 2. Kết quả phân tích kích thước hạt cát bằng phương pháp Laser

Thành phần cấp phối 1 mẻ trộn vữa gồm: 1000g xi-măng + 309 g cát 0,3 + 619 g cát 0,8 + 309 g cát nghiền + 240g nước + 15g phụ gia hóa học. Do cấp phối sử dụng nhiều xi-măng và nhằm tăng cường khả năng đánh phân tán xi-măng và để tạo độ linh động cho vữa, nghiền cứu sử dụng máy trộn cầm

tay Eibenstock EHR 15,1 SB (tốc độ vòng quay max 450 vòng/phút) như hình 3. Tổng thời gian nhào trộn 10 phút, trong đó cánh quay được điều chỉnh theo hai phương từ trên xuống dưới và quay theo hình xoắn ốc để tạo điều kiện đồng nhất vữa cũng như khử bọt.



Hình 3. Máy trộn cầm tay và quy trình phối trộn vữa

2.2 Thiết bị lưu biến kế quay đồng trục dạng cánh

Nguyên lý hoạt động của lưu biến kế mà trong đó lưu chất nghiên cứu được đặt giữa hai ống trụ có bán kính R_1, R_2 với cùng chiều cao H , chịu các biến dạng trượt do sự chuyển động tương đối của hai ống trụ này. Rõ ràng quá trình quay này của lưu biến kế là

quay đồng trục và có thể có 2 kiểu là Couette và kiểu Searle tùy thuộc vào việc ống trụ ngoài hay trong quay tương ứng [3]. Việc cắt chất lưu có thể sử dụng cánh cắt trong trường hợp lưu chất khó biến dạng, cắt đứt. Trong trường hợp này thì ống trụ bên trong chính là do phần cánh quay tạo thành khi quay quanh trục.



Cánh khuấy bằng đồng, đường kính 5cm, chiều cao 5cm, bề dày của 6 cánh 1mm

Cối chứa inox đường kính 10cm, lót tấm đệm nhựa và hàn trên bề mặt chắc chắn

Hình 4. Cấu tạo hệ thống lưu biến kế quay đồng trục dạng cánh

Trên cơ sở thiết bị máy khuấy đĩa Hei-Torque (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG) chúng tôi đã thiết kế thiết bị lưu biến kế loại đồng trục dạng cánh quay cắt chất lưu vữa xi-măng. Cấu tạo hệ thống (hình 4) gồm: Máy khuấy, giá đỡ, đĩa inox cứng, cối chứa bằng inox, cánh khuấy bằng đồng, hệ thống máy tính và chương trình điều khiển chu trình khuấy và ghi nhận kết quả mômen xoắn. Đầu máy khuấy đĩa Hei-Torque cho phép thiết lập chu trình khuấy với vận tốc 10 – 400 vòng/phút (chế độ quay chậm) và 200 – 2000 vòng/phút (chế độ quay nhanh) theo chương trình lập trình theo mỗi giây (s). Cảm biến lực tích hợp trong máy cho phép ghi nhận giá trị mômen xoắn (N.mm) khi cánh khuấy gặp sức cản, với độ chính xác đơn vị. Thực tế khi khuấy việc

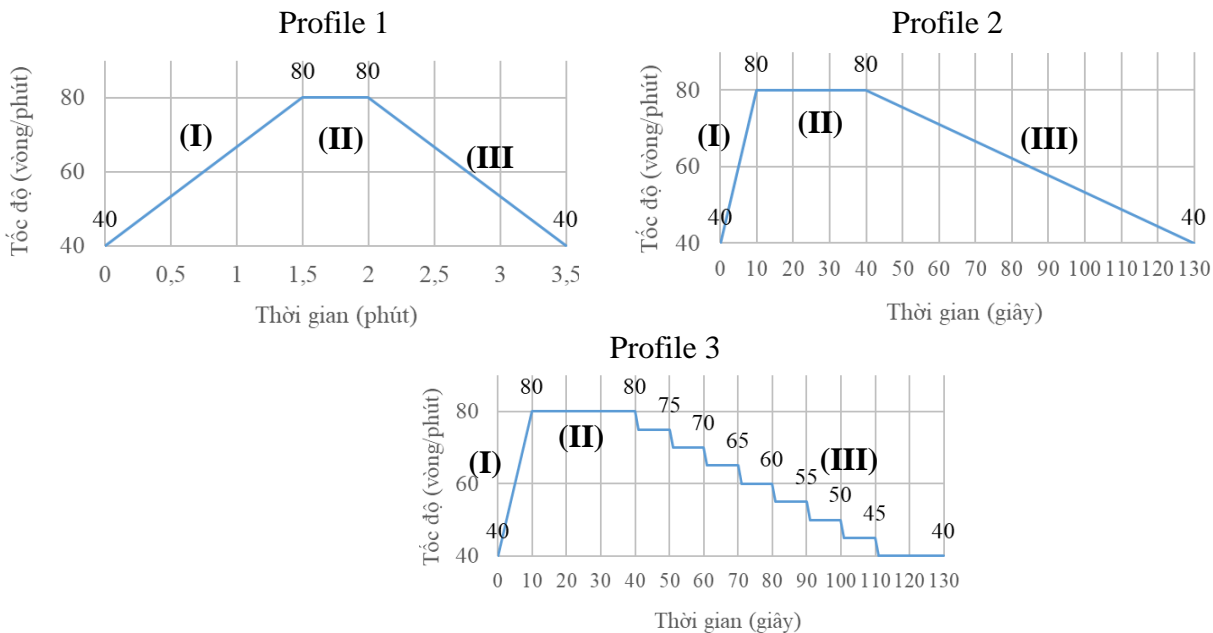
ghi nhận giá trị mômen xoắn có mục đích điều khiển động cơ bù vận tốc quay nhằm đảm bảo chế độ quay ổn định khi khuấy dung môi. Cối chứa inox đóng vai trò hình trụ ngoài đường kính 10 cm và được đặt lên một tấm đế hình vuông chắc chắn. Để giảm tính bám dính của chất lưu vữa xi-măng với thành cối, trong cối được lót thêm một tấm nhựa có bề mặt gai nhọn. Việc sử dụng tấm lót nhựa giúp cho việc vệ sinh cối dễ dàng hơn trong mỗi lần thí nghiệm. Cánh khuấy bằng đồng gia công chính xác có đường kính 5 cm, chiều cao 5 cm, bề dày của cánh là 1 mm. Cánh được gắn vào đĩa khuấy inox bằng hệ ren. Quá trình motor quay kéo theo cánh khuấy quay, máy sẽ đo và hiển thị giá trị mô-men xoắn theo thời gian và vận tốc được cài đặt. Giá trị

mômen do ảnh hưởng của lưu chất hiện diện trong cối đo là hiệu số kết quả đo mômen xoắn ở mỗi vận tốc quay trong trường hợp cối chứa có và không có lưu chất (chỉ không khí). Mỗi phép đo lặp lại 5 lần để lấy trung bình cộng nhằm loại trừ yếu tố sai số hệ thống.

3. Phương pháp thí nghiệm và ước tính thông số lưu biến

Cần lưu ý trước khi đo mẫu vữa trên lưu biến kế, cần khởi động quay động cơ trước với tốc độ 300 – 400 vòng/phút trong vòng 30 phút nhằm mục đích cho máy vận hành trơn tru, giảm hiện tượng ì của động cơ từ đó giảm được dữ liệu nhiễu ban đầu. Máy khuấy được lắp cố định với giá đỡ và điều chỉnh sao cho đầu máy song song với trục của giá đỡ và vuông góc với mặt phẳng ngang, hệ thống được giữ nguyên trong suốt quá trình thí nghiệm để

tránh sai lệch kết quả đo. Quá trình thí nghiệm thực tế cho thấy ảnh hưởng trạng thái nhiễu động vữa ngay sau khi nhào trộn là đáng kể do đó các thí nghiệm đo được tiến hành sau khi kết thúc nhào trộn 15 phút, ủ để vữa ổn định trạng thái. Một thông số cần thiết phải khảo sát do phụ thuộc rất lớn vào từng loại chất lưu là chương trình điều khiển quay cánh theo thời gian. Tham khảo các nghiên cứu trước đây [5], chu trình quay bao gồm: (I) quá trình tăng tốc ban đầu để đạt trạng thái tĩnh ban đầu của vữa, (II) sau khi đã mất cấu trúc vữa chuyển sang trạng thái lỏng khi tốc độ quay duy trì không đổi, (III) cuối cùng là giai đoạn giảm tốc để thực hiện quá trình tái tạo lại trạng thái vữa dẻo. Trong nghiên cứu này, chúng tôi lần lượt khảo sát 3 loại chương trình (profile) quay (hình 5).



Hình 5. Ba loại profile chương trình điều khiển khuấy vữa

Profile 1: (I) từ 40 - 80 vòng/phút trong 1 phút 30 giây, (II) sau đó giữ tốc độ 80 vòng/phút trong 30 giây, (III) rồi giảm từ 80 - 40 vòng/phút trong 1 phút 30 giây.

Profile 2: (I) từ 40 – 80 vòng/phút trong 10 giây, (II) sau đó giữ tốc độ 80 vòng/phút trong 30 giây (III) rồi giảm từ 80 – 40 vòng/phút trong 1 phút 30 giây.

Profile 3: (I) từ 40 – 80 vòng/phút trong 10 giây, (II) sau đó giữ tốc độ 80 vòng/phút trong 30 giây, (III) rồi giảm từ 80 – 40 vòng/phút theo hình bậc thang trong 1 phút 30 giây, mỗi bậc cách nhau 5 vòng/phút và giữ trong 10 giây, riêng tốc độ 40

vòng/phút được giữ trong 20 giây.

Đồ thị giá trị đo mômen xoắn theo vận tốc quay cánh trong giai đoạn đầu thường cho kết quả mômen xoắn tăng liên tục cho đến khi cánh phá vỡ được liên kết trong vữa. Do vậy, từ mối quan hệ gần như tuyến tính này, đường giao với trục mômen xoắn giá trị ứng suất cắt tới hạn hay ngưỡng chảy τ_0 được tính theo công thức. Trong công thức đáng chú ý có tính đến ảnh hưởng phần chuyển động xoáy của lưu chất nằm trong khoảng cánh giữa cánh khuấy và đáy (cố định 60mm) [6]:

$$\tau_0 = \frac{2C_0}{\pi D^2 \left(h + \frac{D}{6}\right)}$$

τ_0 - là ứng suất tới hạn (ứng suất dư) (Pa).
 C_0 - là mô-men xoắn ban đầu (Nm).
 D - là đường kính cánh khuấy (m).
 h - là chiều dài cánh (m).

Với giả thiết vữa xi-măng ứng xử lưu biến học theo mô hình Bingham, qua đó cần thiết làm quan hệ giữa ứng suất cắt τ và vận tốc biến

$$\tau = \frac{2(C - \frac{\pi D^3 \tau_0}{12})}{\pi D^2 h} = \frac{2C}{\pi D^2 h} - \frac{D \tau_0}{6h}$$

Mối quan hệ giữa vận tốc biến dạng trượt γ' và mô-men xoắn ban đầu phụ thuộc vào chế độ dòng chảy lưu trong giai đoạn đầu. Do vậy lần lượt giá trị vận tốc biến dạng trượt khi vữa mới bị tác dụng lực

$$\gamma'_1 = 2C \frac{\partial \Omega}{\partial M}$$

$$\gamma'_2 = 2 \frac{C \frac{\partial \Omega}{\partial M}}{1 - \frac{R_1^2}{R_2^2}} - \frac{\Omega - C \frac{\partial \Omega}{\partial M}}{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}$$

Từ kết quả biểu đồ các giá trị ứng suất cắt và vận tốc biến dạng trượt, tương ứng với phương trình $\tau = \tau_0 + \mu \gamma'$, có thể ước tính được giá trị độ nhớt μ và ngưỡng chảy τ_0 . Thực tế, để đảm bảo cho quá trình xử lý và tính toán được nhanh và đồng bộ có thể sử dụng công cụ Excel.

Bên cạnh thí nghiệm đo lưu biến kế, vữa sau khi nhào trộn cũng được đo độ chảy dùng phễu theo hướng dẫn của ASTM C939 như vữa rót (grout mortar) qua đó chúng tôi muốn đánh giá tính đồng nhất thành phần, khả năng chảy nhanh thành dòng và tính tương quan của nó đối với kết quả đo độ nhớt vữa ở trên. Tổng thể tích vữa 1725 ± 5 mL và các mốc đo gồm thời điểm 0 phút sau khi trộn (t_0), sau 30 phút (t_{30}), sau 60 phút (t_{60}), sau 90 phút (t_{90}) và sau 120 phút (t_{120}).

4. Kết quả và thảo luận

4.1 Kết quả đo thời gian chảy và cường độ chịu lực mẫu vữa

dạng trượt γ' để ước tính giá trị độ nhớt. Công thức tính ứng suất cắt τ trên mặt cắt hình trụ như sau:

C - là giá trị mô-men xoắn đo được (N.m)

Giá trị ứng suất cắt trung bình τ_{tb} tính theo công thức

$$\tau_{tb} = \frac{1}{2} (\tau_i + \tau_{i+1})$$

τ_i - ứng suất cắt trước (Pa).

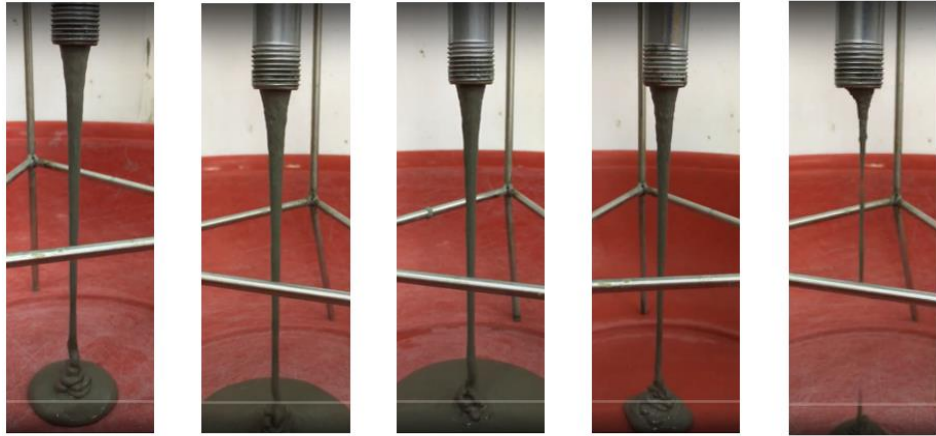
τ_{i+1} - ứng suất cắt sau (Pa).

cắt (cắt một phần) γ'_1 và khi bị cắt hoàn toàn γ'_2 được tính bằng các công thức [5]. Giá trị thích hợp là giá trị có nhiều ảnh hưởng hơn trong hai giá trị và bằng max (γ'_1, γ'_2).

R_1 - bán kính của cánh (m);

R_2 - bán kính trong cối (m).

Hình 6 là ảnh chụp quá trình mất khả năng chảy qua phễu của vữa theo thời gian. Kết quả đo thời gian chảy từ thời điểm kết thúc quá trình trộn vữa (t_0) là $5,32 \pm 0,1$ phút, sau các mốc thời gian lưu vữa có đảo lại bằng máy trộn vữa siêu tốc: 30 phút (t_{30}) là $6,58 \pm 0,18$ phút, 60 phút (t_{60}) là $7,33 \pm 0,20$ phút, 90 phút (t_{90}) là $9,44 \pm 0,09$ phút và sau 120 phút (t_{120}) vữa không còn khả năng chảy qua phễu. Từ hình 4.8, có thể thấy rằng thời gian chảy của vữa tăng theo thời gian lưu vữa. Dễ dàng nhận thấy đường kính dòng chảy của vữa giảm dần khi thời gian lưu vữa tăng lên. Sau 30 phút, 60 phút, 90 phút thì vữa quánh hơn, dày, đặc hơn do xi-măng thủy hóa và liên kết với nhau mạnh mẽ hơn tác dụng của lực trọng trường vốn là động lực phá vỡ các liên kết ràng buộc trong chất lưu để vữa chảy thành dòng qua đáy phễu. So với các loại vữa chảy (grout mortar) thời gian chảy tính bằng giây (s) thì nhìn chung mẫu vữa thí nghiệm này là khó chảy hơn.

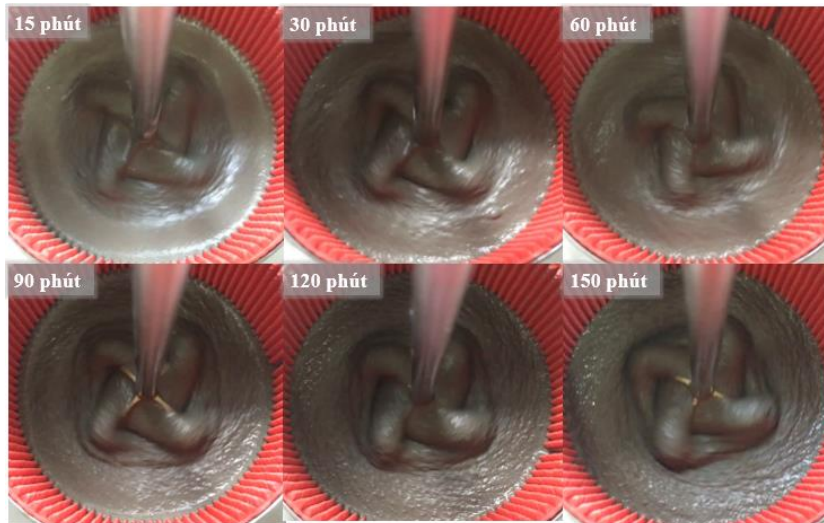


Thời điểm t_0 Sau 30 phút Sau 60 phút Sau 90 phút Sau 120 phút
Hình 6. Tính chảy qua phễu của mẫu vữa ở các thời điểm khác nhau sau khi nhào trộn

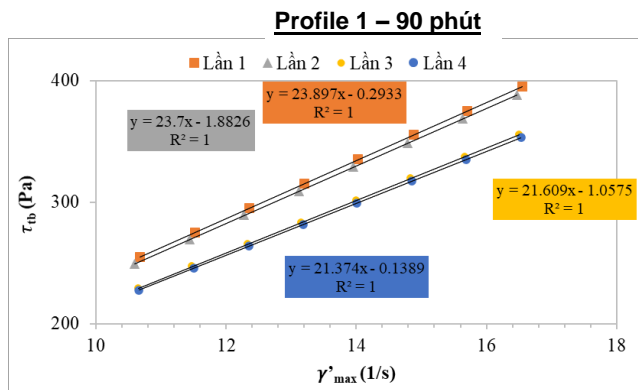
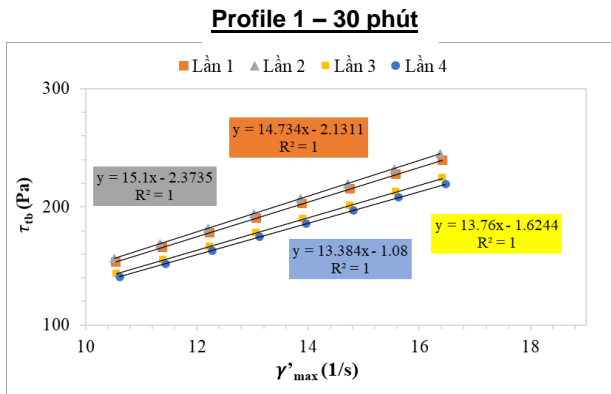
Kết quả đo cường độ chịu uốn và nén mẫu đúc 4x4x16cm ở 3 ngày tuổi lần lượt $24,4 \pm 0,24$ MPa và $84,6 \pm 1,18$ MPa. Tương tự kết quả ở 28 ngày tuổi lần lượt $30,0 \pm 0,20$ MPa và $101,0 \pm 0,23$ MPa. Kết quả cho thấy mẫu vữa có quá trình phát triển cường độ cao, độ lệch trung bình kết quả cường độ thấp ở tất cả các ngày tuổi chứng tỏ có sự đồng nhất thành phần tốt của các mẫu vữa trộn.

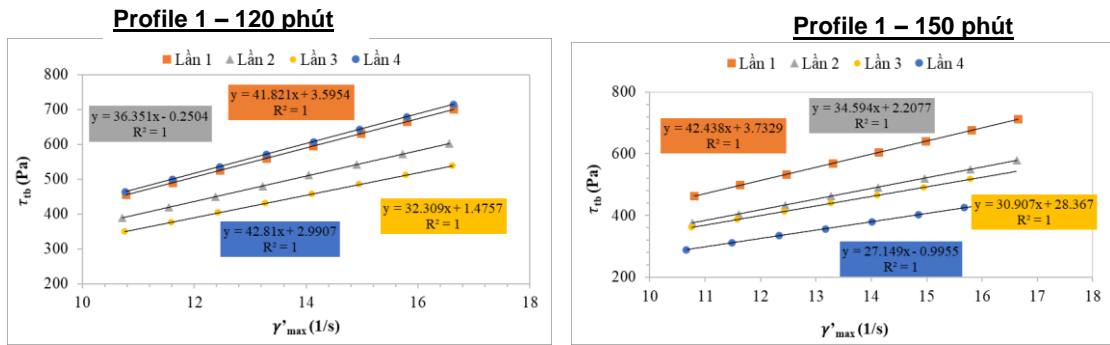
4.2 Kết quả ước tính độ nhớt và ngưỡng chảy sử dụng profile 1

Hình 7 là ảnh chụp quá trình quay cánh để cắt khối vữa trong cối chứa thiết bị lưu biến kể khi áp dụng profile quay 1. Quan sát bằng mắt thường có thể thấy tính quán, đặc lên của vữa.



Hình 7. Trạng thái vữa khi đo lưu biến ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 1





Hình 8. Tổng hợp biểu đồ liên hệ τ vs. γ' ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 1

Bảng 2. Kết quả ước lượng thông số độ nhớt và ngưỡng chảy mẫu vữa khi sử dụng profile 1

Thời gian (phút)	15	30	60	90	120	150
μ (Pa.s)	~	14,24±0,67	22,65±1,15	~	36,83±3,33	30,89±2,50
T_0 (Pa)	~	~	~	~	2,54±1,06	2,53±0,56

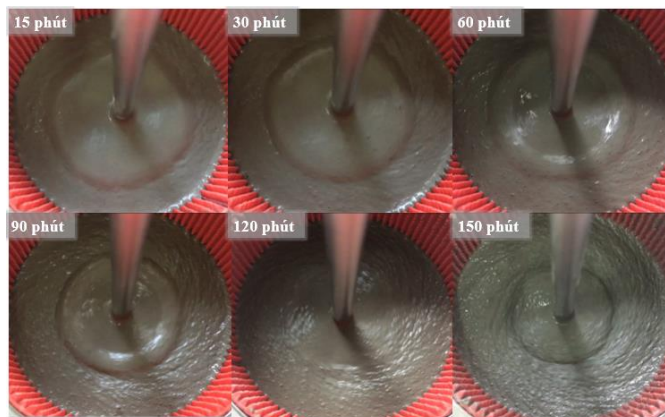
Ghi chú: ~: giá trị ghi nhận âm (-), không có ý nghĩa vật lý

Kết quả ước lượng thông số độ nhớt và ngưỡng chảy cho trong bảng là trung bình cộng của 5 lần đo. Đáng lưu ý có một số thời điểm kết quả ước tính bị âm hoặc không ghi nhận được. Giá trị độ nhớt vữa có xu hướng tăng theo thời gian 14,24±0,67 Pa (sau 30 phút) và 36,83±3,33 (sau 120 phút), tuy nhiên sau 150 giá trị lại giảm, điều này có thể liên hệ với hiện tượng vữa đặc, bết vào cánh quay như quan sát trên hình 7, do đó kết quả không chính xác của chất lưu. Ngoài ra giá trị ngưỡng chảy hầu hết không ghi nhận được và rất bé, chứng tỏ không có ý nghĩa liên hệ vật lý với trạng thái vữa. Điều này cho thấy profile 1 không phù hợp với trạng thái lưu

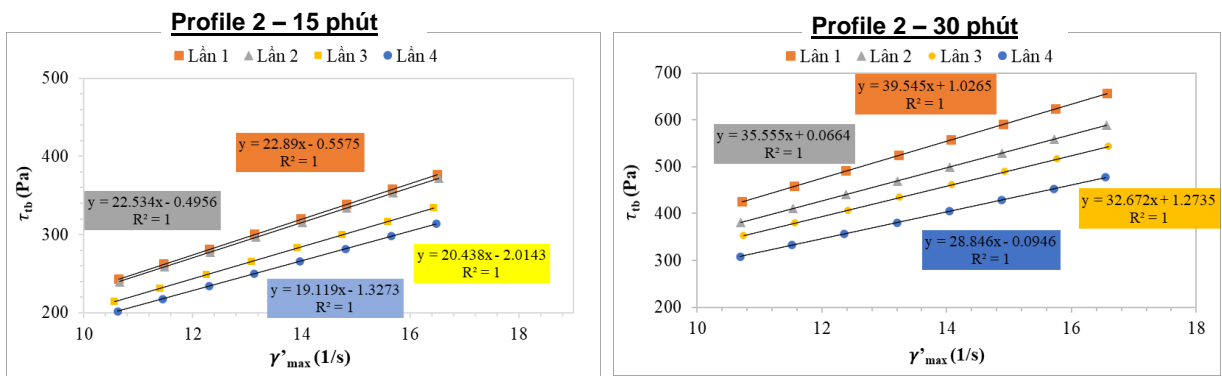
biến của mẫu vữa, nguyên nhân theo chúng tôi là quá trình cất vữa kéo dài gây hiện tượng keo tụ lại dẫn đến trong giai đoạn giảm tốc cánh đã bị vữa bết lại không thể hiện đúng trạng thái đang cất vào vữa mà trượt nhiều hơn.

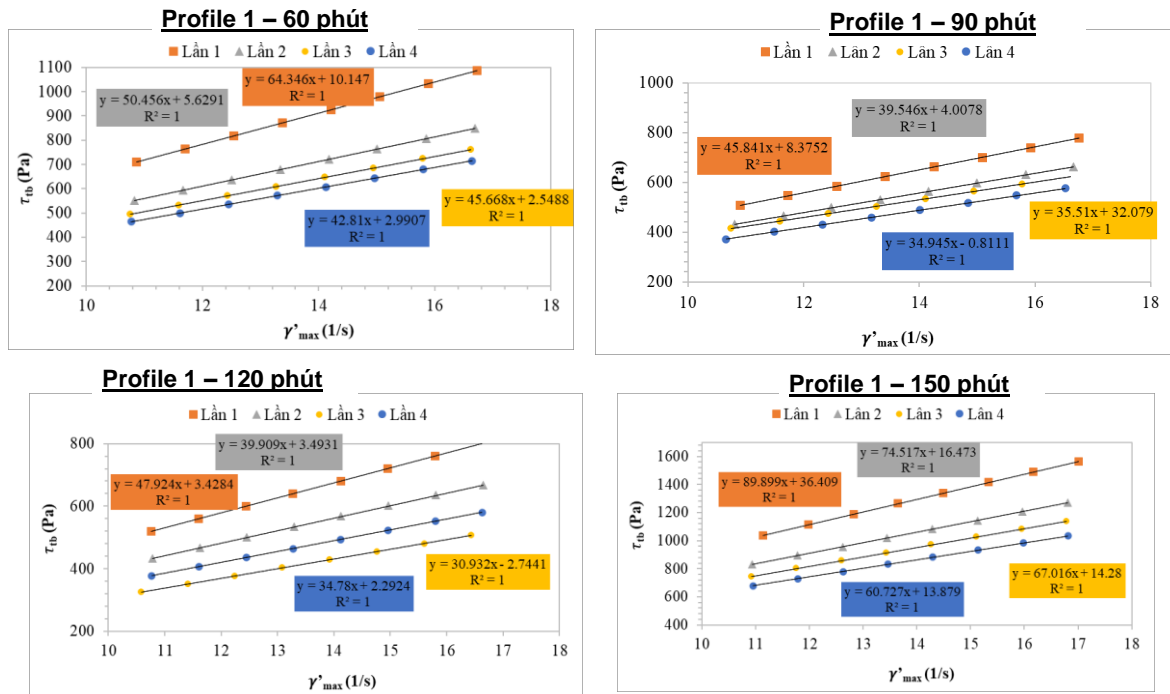
4.3 Kết quả ước tính độ nhớt và ngưỡng chảy sử dụng profile 2

Tương tự, hình 9 là ảnh chụp quá trình quay cánh để cất khối vữa trong cối chứa thiết bị lưu biến kể khi áp dụng profile quay 2. Quá trình quay cho thấy vữa di chuyển thành dòng trong cối chứa.



Hình 9. Trạng thái vữa khi đo lưu biến ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 2





Hình 10. Tổng hợp biểu đồ liên hệ τ vs. γ' ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 2

Bảng 3. Kết quả ước lượng thông số độ nhớt và ngưỡng chảy mẫu vừa khi sử dụng profile 2

Thời gian (phút)	15	30	60	90	120	150
μ (Pa.s)	21,25±1,47	34,15±3,40	46,31±2,67	40,30±3,69	40,87±4,70	67,44±4,72
τ_0 (Pa)	~	1,15±0,12	3,72±1,27	4,88±2,33	3,05±0,51	14,88±1,06

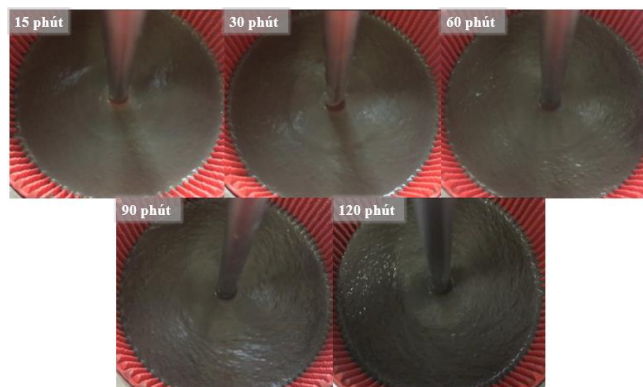
Ghi chú: ~: giá trị ghi nhận âm (-), không có ý nghĩa vật lý

Kết quả độ nhớt thể hiện tương đồng với trạng thái hồ thực tế dày đặc dần theo thời gian. Từ mốc thời gian t_{15} đến t_{150} thì giá trị độ nhớt có tăng lên, nhưng nhìn tổng quan thì vẫn chưa ổn định. Cụ thể ở các thời điểm t_{90} , t_{120} độ nhớt tăng nhưng thấp hơn giá trị thu được ở t_{60} . Giá trị độ nhớt 46,31±2,67 Pa.s (sau 60 phút) gấp đôi độ nhớt 21,25±1,47 Pa.s (sau 15 phút). Đối với kết quả ngưỡng chảy thì theo các mốc thời gian tăng dần nhưng vẫn có vài mốc thời gian giá trị thu được còn chưa ổn định. Ngưỡng chảy thể hiện sức kháng cắt ban đầu ngay khi kết

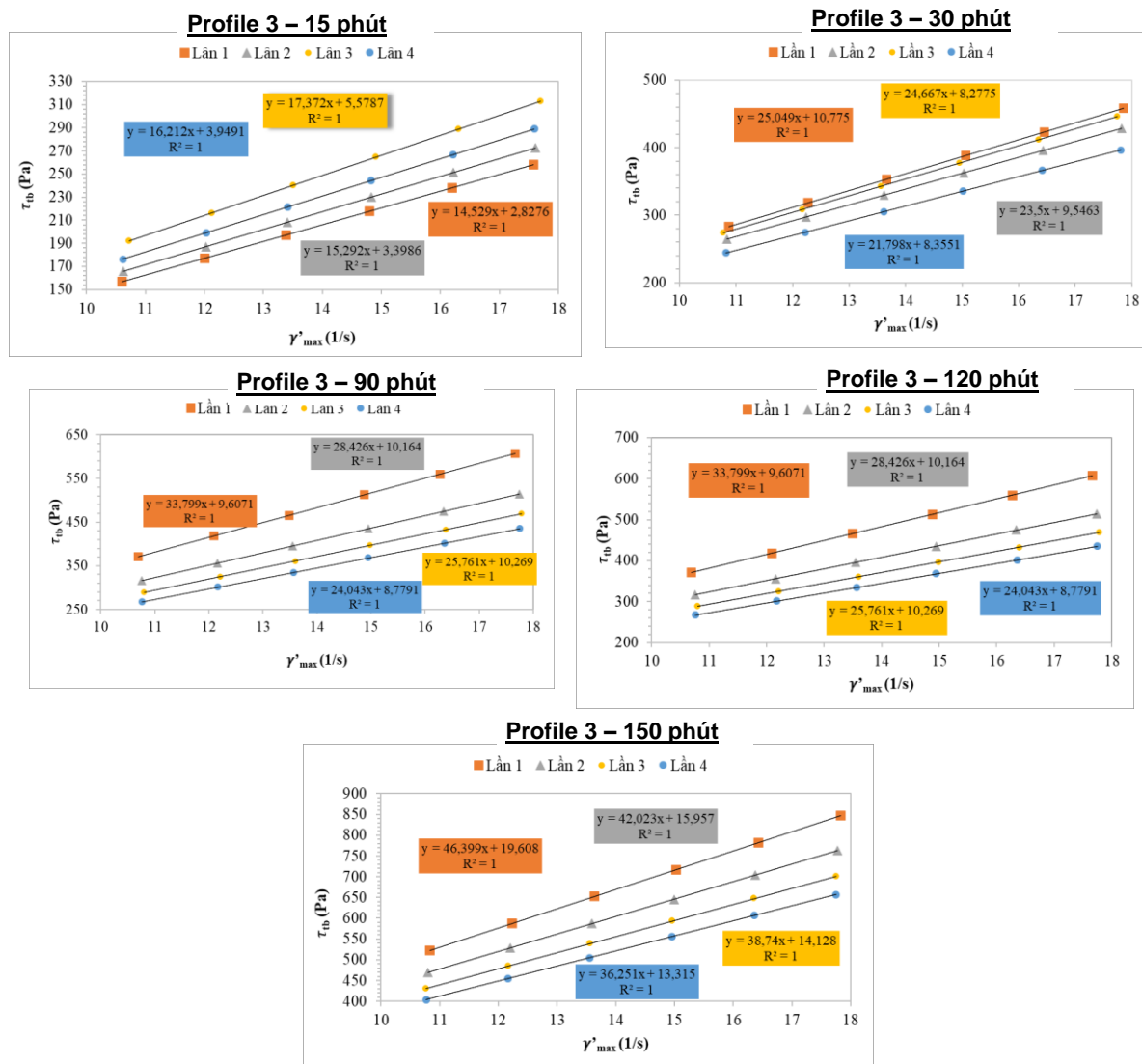
thúc nhào trộn của vữa nên giá trị ghi nhận này là khá nhỏ, chứng tỏ vữa dễ cắt để chảy lỏng.

4.4 Kết quả ước tính độ nhớt và ngưỡng chảy sử dụng profile 3

Đối với trường hợp áp dụng profile quay 3, chúng tôi chỉ tiến hành đo đến mốc sau 120 phút đo như đối với 2 trường hợp profile trên mốc sau 150 phút kết quả thường không có ý nghĩa do vữa đã quá dày, đặc. Hình 9 là ảnh chụp quá trình quay cánh để cắt khối vữa trong cối chứa thiết bị lưu biến kế.



Hình 11. Trạng thái vữa khi đo lưu biến ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 3



Hình 12. Tổng hợp biểu đồ liên hệ τ vs. γ' ở các mốc thời gian lưu khác nhau sử dụng profile 3

Bảng 4. Kết quả ước lượng thông số độ nhớt và ngưỡng chảy mẫu vữa khi sử dụng profile 3

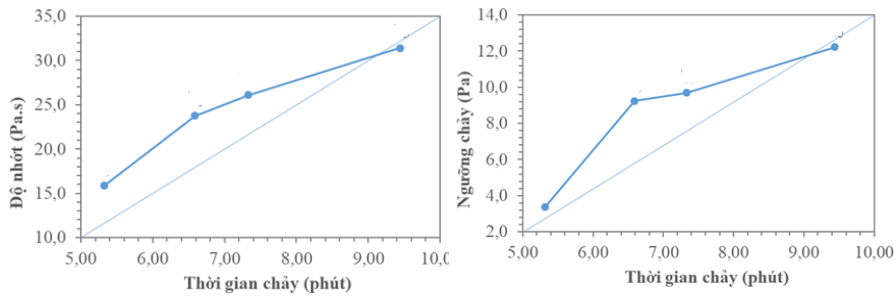
Thời gian (phút)	15	30	60	90	120	150
μ (Pa.s)	15,85±0,94	23,75±1,10	26,08±1,57	31,40±3,02	40,85±3,36	
τ_0 (Pa)	3,39±0,38	9,24±0,92	9,70±0,51	12,22±1,20	14,47±0,99	

Có thể nhận thấy từ mốc sau 15-120 phút, giá trị độ nhớt phản ánh hợp lý trạng thái thực tế của vữa – tăng dần theo từng mốc thời gian lưu, biến thiên từ 15,85 Pa.s đến 40,85 Pa.s. Giá trị độ nhớt thấp hơn một chút so với trường hợp đo bằng profile 2, nhưng có tính ổn định hơn nhiều biểu hiện qua độ lệch trung bình kết quả của các thí nghiệm lặp lại. Đối với kết quả ngưỡng chảy, giá trị ước tính cũng tăng theo thời gian lưu vữa, đồng nghĩa vữa khó cát dần. Khoảng giá trị ngưỡng chảy biến thiên trong khoảng 3,39 Pa đến 14,47 Pa, có tính tương đồng với trường hợp áp dụng profile 2. Vữa tương đối dễ cát ở thời điểm sau khi kết thúc nhào trộn, điều này

có thể lí giải như tham khảo [7] do cấp phối vữa có tỉ lệ xi-măng/cát lớn và kích thước hạt cát sử dụng mịn.

4.5 Đánh giá tương quan thông số lưu biến và thời gian chảy

Biểu đồ trên hình 13 cho thấy sự biến thiên kết quả ước lượng giá trị độ nhớt và ngưỡng chảy của mẫu vữa thí nghiệm với giá trị đo thời gian chảy qua phễu. Chúng tôi sử dụng kết quả ước tính độ nhớt và ngưỡng chảy ổn định nhất trong trường hợp áp dụng profile 3 khuấy vữa trong thiết bị lưu biến kế.



Hình 13. Biểu đồ liên hệ biến thiên giá trị độ nhớt, ngưỡng chảy và thời gian chảy vữa qua phễu

Có thể nhận thấy các đồ thị có xu hướng biến thiên tuyến tính cùng nhau tức theo thời gian lưu vữa thì thời gian chảy và giá trị độ nhớt, ngưỡng chảy cũng tăng theo. Rõ ràng điều này hoàn toàn phù hợp về mặt trạng thái lưu biến học vật liệu vữa xi-măng vốn có tính chảy dẻo với quá trình hình thành sản phẩm thủy hóa xi-măng theo thời gian. Như vậy, có thể đánh giá hai thiết bị sử dụng đều phản ánh trạng thái vữa đồng thời có sự tương quan tốt. Ngoài ra các điểm giá trị đều thuộc nửa trên phần tư thứ I gốc tọa độ, do đó có thể kết luận về độ nhạy cao hơn của giá trị thông số lưu biến (độ nhớt và sức cắt) ghi nhận.

5. Kết luận

Qua nghiên cứu này, chúng tôi rút ra một số kết luận sau:

- Thiết bị lưu biến kế quay đồng trục dạng cánh đơn giản đã được chúng tôi thiết kế từ thiết bị đầu khuấy dĩa trong nghiên cứu này đã vận hành ổn định và thông qua việc xử lý quan hệ kết quả thông số vận tốc và mômen xoắn đã gián tiếp ước tính được các thông số đặc trưng lưu biến (độ nhớt, ngưỡng chảy) của hỗn hợp vật liệu vữa xi-măng;
- Profile 3 khuấy vữa với 3 giai đoạn (I) tăng tốc 40 – 80 vòng/phút, (II) giữ cố định tốc độ 80 vòng/phút và giảm tốc 80 – 40 vòng/phút theo hình bậc thang cho phép ghi nhận ổn định các giá trị thông số độ nhớt và ngưỡng chảy mẫu vữa thí nghiệm. Cụ thể từ mốc sau 15-120 phút, giá trị độ nhớt biến thiên tăng dần từ 15,85 Pa.s đến 40,85 Pa.s và tương ứng giá trị ngưỡng chảy biến thiên từ 3,39 Pa đến 14,47 Pa. Điều này phản ánh hợp lý trạng thái thực tế của vữa là dày, đặc và khó cắt, chảy dần theo thời gian lưu vữa do quá trình phản ứng thủy hóa xi-măng;
- Cấp phối mẫu vữa thí nghiệm có hàm lượng xi-măng cao giúp tạo dẻo đồng thời hạt cốt liệu đều khá mịn được phối trộn phân tán tốt nên thí nghiệm đo độ chảy qua đáy phễu cho thấy tính dễ chảy ban đầu. Kết quả đo vữa bằng phễu chảy và thông số lưu biến học có tính tương quan tốt ở tất cả các mốc thời gian. Kết quả giá trị độ nhớt và ngưỡng chảy cho thấy độ nhạy cao phù hợp nghiên cứu trạng thái lưu biến. Đây là cơ sở quan trọng kết hợp

các nghiên cứu trước đây đối với vữa bê-tông siêu cường độ (UHPC) dự kiến cho phép mở rộng các nghiên cứu tiếp theo về đặc tính tạo hình vữa cũng như ảnh hưởng của thành phần cấp phối thông qua các hiệu chỉnh về cấp phối nguyên liệu phụ gia khoáng như Silica Fume và tro bay.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG Tp.Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. F. Steffe (1996), Rheological methods in food process engineering. *Freeman Press*, 418 pages.
2. Cao Xuân Phong, Hoàng Thanh Liên và Nguyễn Việt Hưng (2009), “Ứng xử lưu biến và mô hình thí nghiệm chảy xòe của bê tông tự đầm lèn”. *Báo cáo đề tài NCKH sinh viên năm 2009, Trường ĐH Kiến trúc Tp.Hồ Chí Minh*.
3. M. Haist et al. (2020), “Interlaboratory study on rheological properties of cement pastes and reference substances: comparability of measurements performed with different rheometers and measurement geometries”. *Mater. Struct.*, vol. 53, no. 4, pp. 1–26.
4. J. P. Bombed (1973), “Rheologie des mortiers et des betons frais; Influence du facteur ciment”. in *Proceeding of RILEM, Leeds Seminar*, vol. 1, pp. 1–169.
5. H. Soualhi, E.-H. Kadri, T.-T. Ngo, A. Bouvet, F. Cussigh, and Z.-E.-A. Tahar (2017), “Design of portable rheometer with new vane geometry to estimate concrete rheological parameters”, *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 23, no. 3, pp. 347–355.
6. C. Lanos and P. Estellé (2016), “SCC flow curves from vane geometry rheometer”. *8th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, May, Washington, DC, United States*.
7. K. H. Khayat, W. Meng, K. Vallurupalli, and L. Teng (2019), “Rheological properties of ultra-high-performance concrete—An overview”. *Cem. Concr. Res.*, vol. 124, p. 105828.
8. Hoàng Quốc Gia (2016), “Ảnh hưởng của các thông số thành phần đến tính chất lưu biến của vữa xi-măng”. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2016, Trường ĐH Thủy lợi, ISBN: 978-604-82-1980-2, pp. 20–22*.

Ngày nhận bài: 15/10/2021.

Ngày nhận bài sửa: 04/11/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 05/11/2021.

