

**TCVN 13347:2021**

Xuất bản lần 1

**BÊ TÔNG NHỰA – PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH  
KHẢ NĂNG KHÁNG NỨT BẰNG MÔ HÌNH  
UỐN MẪU BÁN NGUYỆT SCB**

Asphalt Mixture - Test method for Determining the Cracking Resistance using the Semi  
Circular Bend

HÀ NỘI – 2021



## Mục lục

	Trang
1 Phạm vi áp dụng .....	5
2 Tài liệu viện dẫn .....	5
3 Thuật ngữ, định nghĩa .....	6
4 Tóm tắt phương pháp .....	7
5 Ý nghĩa và sử dụng .....	8
6 Thiết bị, dụng cụ .....	8
7 Hiệu chuẩn .....	12
8 Chuẩn bị, chế tạo mẫu thử và xác định sơ bộ .....	12
9 Trình tự thử nghiệm .....	14
10 Tính toán kết quả .....	14
11 Hệ số hiệu chỉnh .....	16
12 Báo cáo thử nghiệm .....	17
Phụ lục A (tham khảo). Hướng dẫn tính toán kết quả thử nghiệm .....	18
Phụ lục B (tham khảo). Độ chụm và độ chệch .....	24
Phụ lục C (tham khảo). Biểu mẫu báo cáo kết quả thử nghiệm .....	25

## **Lời nói đầu**

**TCVN 13347:2021** được biên soạn trên cơ sở AASHTO TP124-2018.

**TCVN 13347:2021** do Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải biên soạn, Bộ Giao thông Vận tải đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ Công bố.

---

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

---

Xuất bản lần 1

**Bê tông nhựa – Phương pháp xác định khả năng kháng nứt bằng mô hình uốn mẫu bán nguyệt SCB***Asphalt Mixture - Test method for Determining the Cracking Resistance using the Semi Circular Bend***1 Phạm vi áp dụng**

**1.1** Tiêu chuẩn này quy định trình tự thí nghiệm, tính toán, xử lý số liệu để xác định khả năng kháng nứt tại nhiệt độ trung gian của hỗn hợp bê tông nhựa theo mô hình kéo mở trong quá trình lan truyền vết nứt (mode I) bằng thử nghiệm uốn mẫu bán nguyệt (nhiệt độ trung gian ở tiêu chuẩn này là 25°C).

**1.2** Tiêu chuẩn này bao gồm trình tự tính toán chỉ số mềm FI (Flexibility Index) của mẫu bê tông nhựa từ năng lượng phá hủy ( $G_f$ ) và độ dốc sau phá hủy ( $m$ ) được xác định từ đường cong quan hệ giữa lực - chuyển vị trong quá trình thí nghiệm. Chỉ số mềm FI được sử dụng để đánh giá khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa tại nhiệt độ trung gian.

**1.3** Tiêu chuẩn này áp dụng cho các mẫu thử bê tông nhựa có cỡ hạt lớn nhất danh định (NMMAS) không vượt quá 19 mm. Có thể sử dụng các mẫu bê tông nhựa chế tạo trong phòng thí nghiệm và mẫu khoan hiện trường.

**1.4** Tiêu chuẩn này có thể được sử dụng để đánh giá khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng các chất kết dính nhựa đường khác nhau, nhựa đường cải tiến polymer, sử dụng các loại cốt liệu khác nhau, phụ gia sợi, và vật liệu bê tông nhựa tái chế RAP.

**2 Tài liệu viện dẫn**

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 6910 (tất cả các phần), Độ chính xác (độ đúng và độ chụm) của phương pháp đo và kết quả đo.

TCVN 8860-5:2011, Bê tông nhựa - Phương pháp thử - Phần 5: Xác định tỷ trọng khối, khối lượng thể tích của bê tông nhựa đã đầm nén.

TCVN 8860-9:2011, Bê tông nhựa - Phương pháp thử - Phần 9: Xác định độ rỗng dư.

TCVN 12817:2019, Bê tông nhựa - Phương pháp chế bị và xác định độ chặt của mẫu thử bằng thiết bị đầm xoay Superpave.

TCVN 12914:2020, Bê tông nhựa – Xác định khả năng kháng ẩm của mẫu đã đầm chặt.

TCVN 13049:2020, Nhựa đường phân cấp theo đặc tính làm việc - Yêu cầu kỹ thuật.

## **TCVN 13347:2021**

ASTM C670-15, Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials (Tiêu chuẩn Phương pháp xác định độ chụm và độ chệch cho các phương pháp thử nghiệm đối với vật liệu xây dựng).

AASHTO R 30, Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA) (Các điều kiện bảo dưỡng của hỗn hợp bê tông nhựa nóng).

### **3 Thuật ngữ, định nghĩa**

Trong tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ sau:

#### **3.1**

**Chuyển vị tới hạn** (critical displacement),  $u_1$

Chuyển vị tương ứng với điểm giao cắt giữa đường độ dốc sau phá hủy với trục chuyển vị của đồ thị biểu diễn quan hệ lực - chuyển vị.

#### **3.2**

**Chuyển vị tại điểm có lực lớn nhất** (displacement at peak load),  $u_0$

Chuyển vị ghi được tại điểm có lực lớn nhất.

#### **3.3**

**Chuyển vị cuối cùng** (final displacement),  $u_{final}$

Chuyển vị tại thời điểm dỡ tải tương ứng với giá trị lực 0,1 kN của đường cong sau phá hủy.

#### **3.4**

**Chỉ số mềm** (flexibility index), FI

Chỉ số đặc trưng cho khả năng chống lại phá hoại nứt của bê tông nhựa, được tính bằng cách nhân tỷ số giữa năng lượng phá hủy và độ dốc sau phá hủy với một hệ số không đổi.

#### **3.5**

**Năng lượng phá hủy** (fracture energy),  $G_f$

Năng lượng cần thiết để gây ra vết nứt trên một đơn vị diện tích bề mặt.

#### **3.6**

**Diện tích vùng lan truyền nứt** (ligament area),  $Area_{lig}$

Diện tích mặt cắt ngang của mẫu thử mà vết nứt lan truyền, được xác định bằng tích của chiều rộng đường nứt (chiều dày mẫu thử) với chiều dài đường nứt (tính từ đỉnh mẫu đến cuối rãnh xẻ).

#### **3.7**

**Đầu đo chuyển vị** (linear variable displacement transducer), LVDT

Thiết bị cảm biến để đo chuyển vị tuyến tính.

#### **3.8**

**Chuyển vị thẳng đứng** (load line displacement), LLD

Chuyển vị đo được theo phương thẳng đứng.

### 3.9

**Độ dốc sau phá hủy** (post-peak slope),  $m$

Độ dốc tại điểm uốn đầu tiên của đường cong lực – chuyển vị sau khi phá hủy.

### 3.10

**Mẫu bán nguyệt SCB** (semicircular bend (SCB) geometry)

Mẫu thí nghiệm được gia công từ mẫu chế tạo trong phòng thí nghiệm, có dạng hình bán nguyệt với một rãnh xẻ song song với phương tác dụng lực.

### 3.11

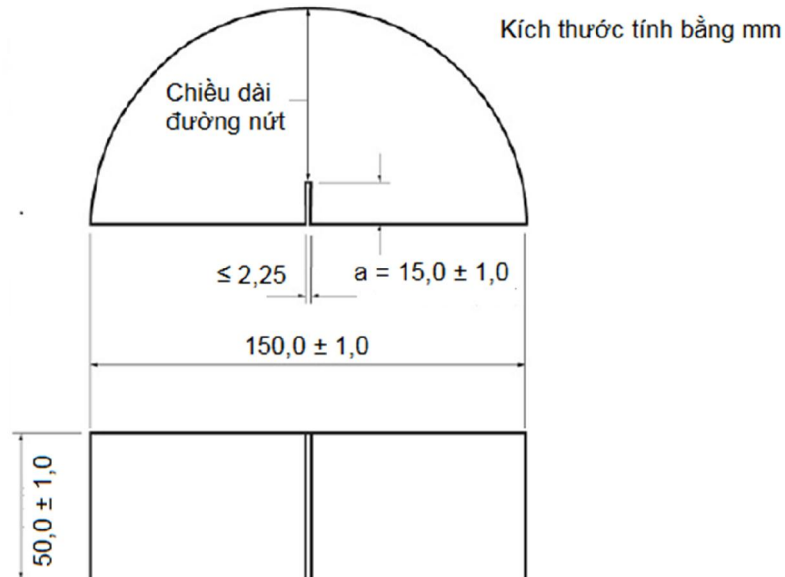
**Công phá hủy** (work of fracture),  $W_f$

Công phá hủy nứt, được tính bằng diện tích phần dưới đường cong lực - chuyển vị.

## 4 Tóm tắt phương pháp

**4.1** Mẫu bê tông nhựa được đầm nén bằng đầm xoay Superpave (SGC) trong phòng thí nghiệm hoặc mẫu khoan bê tông nhựa hiện trường được cắt làm đôi để tạo ra mẫu thử hình bán nguyệt. Một rãnh được xẻ từ mặt phẳng dưới của mẫu bán nguyệt đối diện với cạnh cong. Mẫu thử được bảo dưỡng và duy trì tại nhiệt độ  $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  trong suốt quá trình thử nghiệm. Mẫu thử hình bán nguyệt được đặt giữa 2 gối hình tròn với phần đáy phía dưới, rãnh xẻ ở vị trí giữa hai gối. Tải trọng tác dụng thẳng đứng trên đỉnh cong của mẫu thử với tốc độ gia tải  $50 \text{ mm/min}$  được khống chế trong suốt thời gian thử nghiệm. Hình dạng mẫu bán nguyệt SCB được gia công từ mẫu bê tông nhựa đầm nén bằng đầm xoay Superpave trong phòng thí nghiệm được mô tả trong Hình 1.

**4.2** Năng lượng phá hủy ( $G_f$ ), độ dốc sau phá hủy ( $m$ ), chuyển vị tại điểm có lực lớn nhất ( $u_0$ ), chuyển vị tới hạn ( $u_1$ ), và chỉ số mềm (FI) được tính toán từ biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị.



**Hình 1 – Hình dạng mẫu bán nguyệt SCB được gia công từ mẫu bê tông nhựa đầm nén bằng đầm xoay trong phòng thí nghiệm**

## **5 Ý nghĩa và sử dụng**

**5.1** Thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt SCB được sử dụng để xác định các thông số kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa ở nhiệt độ trung gian. Chỉ số mềm FI của hỗn hợp bê tông nhựa được tính toán từ năng lượng phá hủy ( $G_f$ ) và độ dốc sau phá hủy ( $m$ ). Chỉ số mềm FI sử dụng để xác định đặc tính giòn, dễ bị nứt sớm của các hỗn hợp bê tông nhựa. Phạm vi giới hạn chỉ số mềm FI thay đổi tùy theo điều kiện môi trường địa phương, vị trí, vai trò của lớp vật liệu bê tông nhựa, cỡ hạt lớn nhất danh định, hàm lượng nhựa, cấp nhựa đường PG, độ rỗng dư và tuổi thọ phục vụ kỳ vọng của mặt đường...

**5.2** Chỉ số mềm FI được sử dụng để đánh giá khả năng chống lại sự phá hoại liên quan đến nứt của hỗn hợp bê tông nhựa. Nói chung, hỗn hợp bê tông nhựa có chỉ số mềm FI cao hơn có thể chịu được sự lan truyền vết nứt trong thời gian dài hơn dưới tác dụng của ứng suất kéo. Chỉ số FI không nên sử dụng trực tiếp trong phân tích và thiết kế kết cấu mặt đường. Giá trị chỉ số mềm FI thu được bằng thử nghiệm này, được sử dụng để đánh giá khả năng kháng nứt của các hỗn hợp bê tông nhựa theo các mức khác nhau cho một lớp nhất định trong thiết kế kết cấu. Năng lượng phá hủy ( $G_f$ ) phụ thuộc vào kích thước mẫu, thời gian tác dụng tải trọng và nhiệt độ. Cơ chế nứt gãy đối với vật liệu đàn nhớt bị ảnh hưởng bởi vết nứt trước đàn nhớt và tính đàn nhớt của vật liệu (ở xa vết nứt tạo trước). Tổng năng lượng phá hủy ( $G_f$ ) được tính toán từ thử nghiệm này bao gồm lượng năng lượng tiêu tán do sự lan truyền vết nứt, các cơ chế đàn nhớt từ vết nứt tạo trước và các quá trình phi đàn hồi khác (quá trình ma sát và hư hỏng tại các điểm gối đỡ tải).

**5.3** Năng lượng phá hủy ( $G_f$ ) là một trong các thông số được sử dụng để tính toán chỉ số mềm FI, nó còn được sử dụng để dự đoán khả năng nứt gãy của hỗn hợp bê tông nhựa. Năng lượng phá hủy là một trong những thông số chính được sử dụng trong các phân tích phức tạp dựa trên mô hình lý thuyết phát triển vết nứt (vùng kết dính). Để được sử dụng như một phần của mô hình vùng kết dính, năng lượng phá hủy theo tính toán từ thí nghiệm phải được hiệu chỉnh để xác định phần năng lượng chỉ liên quan đến lan truyền vết nứt. Một hệ số hiệu chỉnh có thể được sử dụng để loại bỏ các phần năng lượng khác trong tổng năng lượng phá hủy được tính toán trực tiếp từ thí nghiệm.

**5.4** Mẫu thí nghiệm dễ dàng được cắt từ mẫu đầm nén bằng đầm xoay Superpave trong phòng thí nghiệm hoặc mẫu khoan từ hiện trường có đường kính 150mm.

## **6 Thiết bị, dụng cụ**

**6.1 Bộ máy thí nghiệm:** Hệ thống thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt (SCB) bao gồm một thiết bị gia tải, loadcell đo lực, khung thí nghiệm uốn, thiết bị đo biến dạng/chuyển vị của mẫu, và hệ thống điều khiển, thu thập dữ liệu. Phải sử dụng thiết bị có tốc độ gia tải không đổi như cơ điện, máy chạy bằng trực vít, thủy lực.

**6.1.1 Thiết bị gia tải dọc trục:** Thiết bị gia tải phải có lực nén tối thiểu 10 kN và có khả năng thu nhận số liệu lực nén trong quá trình thí nghiệm với độ phân giải tối đa 10 N.

**6.1.2 Khung thí nghiệm uốn:** Bộ khung bao gồm một đầu gia tải, một tấm đế bằng thép và hai gối đỡ trụ tròn bằng thép có đường kính 25 mm. Đầu của thiết bị gia tải có bán kính cong ( $12,5 \pm 0,05$ ) mm. Đầu gia tải có thể xoay được so với trục thẳng đứng tiện cho sự vi chỉnh mẫu. Chiều dài tối thiểu của hai gối đỡ trụ tròn trong Hình 2 và Hình 3 là 65 mm. Minh họa về bộ phận gia tải và gối đỡ được hiển thị trong Hình 2 và Hình 3.

**6.1.2.1 Phương pháp A:** Thông thường, hai gối đỡ trụ tròn bằng thép có đường kính 25 mm được gắn trên các ổ trục thông qua trục quay của chúng và được gắn vào tấm đế thép bằng các giá đỡ.

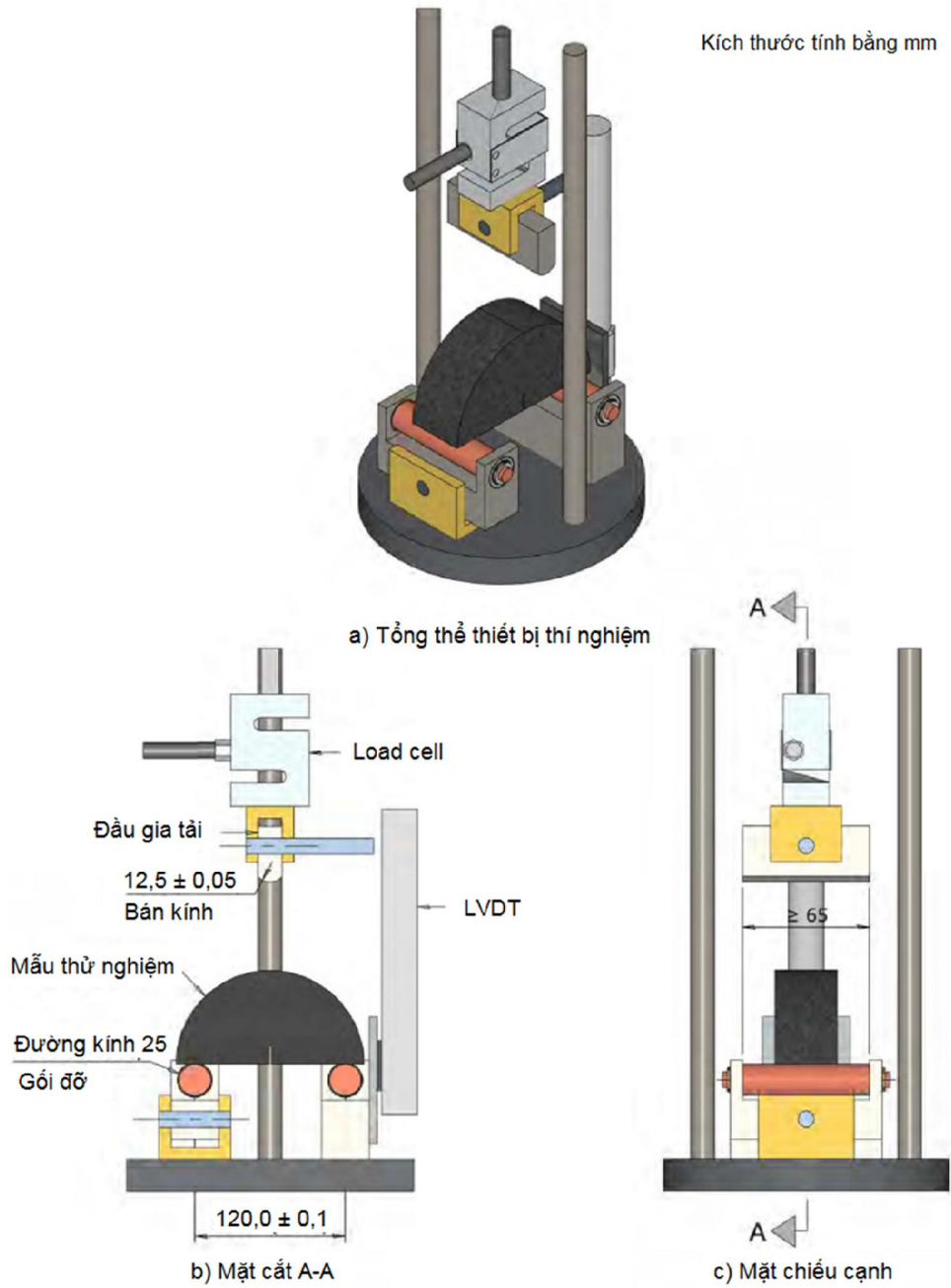


Các trục hay gối có khả năng quay nhằm tiện cho sự vi chỉnh mẫu. Khoảng cách giữa hai gối đỡ trụ tròn bằng thép được duy trì là  $(120 \pm 0,1)$  mm trong suốt quá trình thử nghiệm.

**6.1.2.2 Phương pháp B:** Một thiết kế bộ khung thí nghiệm uốn khác sử dụng hai gối đỡ trụ tròn bằng thép có đường kính 25 mm, mỗi gối đỡ trụ tròn bằng thép có thể quay trong một khung hình chữ U. Vị trí gối đỡ ban đầu được cố định bởi lò xo và các thanh chặn để thiết lập khẩu độ nhịp thử nghiệm ban đầu là  $(120 \pm 0,1)$  mm. Các gối đỡ trụ tròn được phép xoay trong quá trình thử nghiệm nhưng vẫn đảm bảo tiếp xúc với mẫu.

**6.1.3 Thiết bị đo chuyển vị bên trong:** Có thể thực hiện phép đo chuyển vị bằng cách sử dụng bộ cảm biến đo chuyển vị của máy nếu độ phân giải của nó nhỏ hơn hoặc bằng 0,01 mm. Thiết bị đo chuyển vị phải được hiệu chuẩn để đảm bảo độ chính xác.

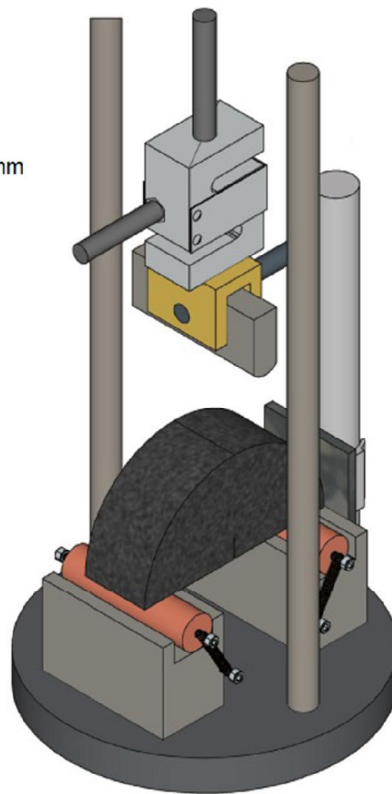
**6.1.4 Thiết bị đo chuyển vị bên ngoài:** Nếu không có thiết bị đo chuyển vị bên trong hoặc thiết bị không đủ độ chính xác, có thể sử dụng thiết bị đo chuyển vị lắp bên ngoài có độ chính xác đến 0,01mm (xem Hình 2 và Hình 3).



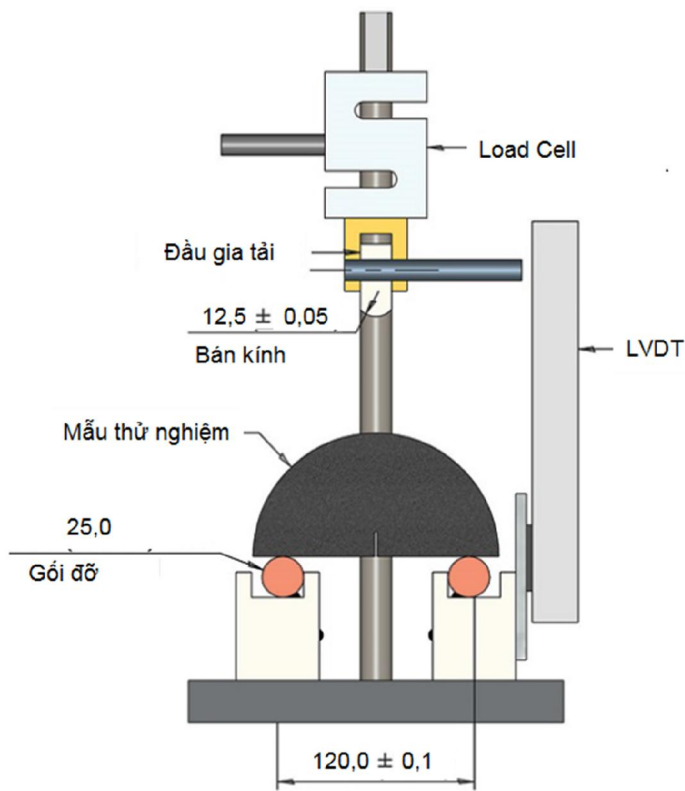
Hình 2 - Thiết bị thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt SCB theo phương pháp A (đơn vị mm)

Kích thước tính bằng mm

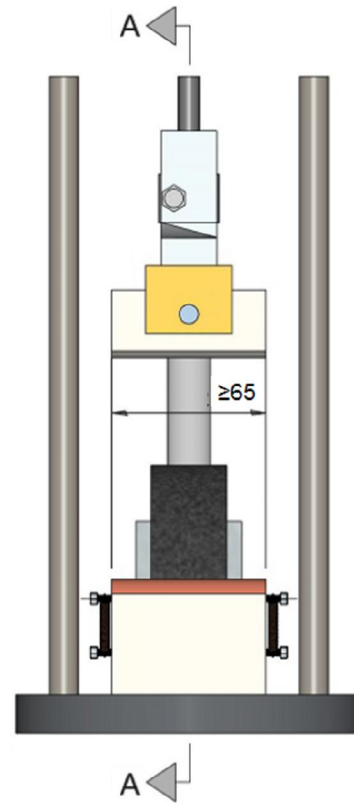
Thông số gói đỡ:  
 Hằng số lò xo "k" 0,7 N/mm  
 Lực ban đầu < 4,5 N



a) Tổng thể thiết bị thí nghiệm



b) Mặt cắt A-A



c) Mặt chiếu cạnh

Hình 3 - Thiết bị thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt SCB theo phương pháp B (đơn vị mm)

## **TCVN 13347:2021**

**6.1.5 Hệ thống điều khiển và thu thập dữ liệu:** Hệ thống ghi lại thời gian, tải trọng, đường quan hệ lực - chuyển vị (sử dụng thiết bị đo chuyển vị bên ngoài hoặc thiết bị đo chuyển vị bên trong) trong quá trình thí nghiệm. Hệ thống điều khiển phải đảm bảo tốc độ gia tải không đổi ( $50 \pm 1$ ) mm/ min và hệ thống thu thập dữ liệu phải đảm bảo tần suất lấy mẫu tối thiểu là 20 Hz để có được đường cong lực-chuyển vị trơn mịn.

CHÚ THÍCH 1: Có thể sử dụng hai đầu đo chuyển vị thẳng đứng trên mỗi mặt của mẫu thử. Theo cách tiếp cận này, giá trị chuyển vị thẳng đứng trung bình được tính để kiểm soát thử nghiệm. Kiểm soát thử nghiệm bằng cách sử dụng giá trị chuyển vị thẳng đứng trung bình có thể làm giảm độ biến thiên của thử nghiệm.

**6.1.6 Máy cắt:** Có khả năng cắt các mẫu bê tông nhựa thí nghiệm, cắt xẻ rãnh như mô tả ở Hình 1.

**6.1.7 Buồng bảo ôn:** Buồng khí hậu hoặc bể nước dùng để ngâm mẫu trước khi thí nghiệm phải có khả năng duy trì nhiệt độ của mẫu như quy định ở Điều 9.1.

**6.1.8 Thước đo:** Thước kẹp hoặc thước thẳng có độ chính xác  $\pm 0,1$ mm để đo kích thước mẫu.

## **7 Hiệu chuẩn**

**7.1** Kiểm tra xác nhận khả năng của buồng khí hậu để duy trì nhiệt độ ổn định và đồng đều. Một bể nước ngâm mẫu như quy định trong TCVN 12914:2020 có thể được sử dụng thay cho buồng khí hậu.

**7.2** Kiểm tra và hiệu chuẩn của tất cả các thiết bị đo (như loadcell đo lực và cảm biến đo chuyển vị) của hệ thống thử nghiệm.

**7.3** Nếu có bất kỳ dữ liệu nào thu được qua kiểm tra lại không phù hợp với độ chính xác đã quy định, phải hiệu chỉnh trước khi tiếp tục thí nghiệm. Các công việc phù hợp có thể bao gồm: bảo dưỡng các bộ phận của hệ thống, hiệu chuẩn các thiết bị của hệ thống (bằng cách thuê dịch vụ hiệu chuẩn độc lập hoặc dịch vụ của nhà sản xuất thiết bị, hoặc các nguồn lực tự có), hoặc thay thế các thiết bị của hệ thống.

## **8 Chuẩn bị, chế tạo mẫu thử và xác định sơ bộ**

### **8.1 Kích thước mẫu thí nghiệm:**

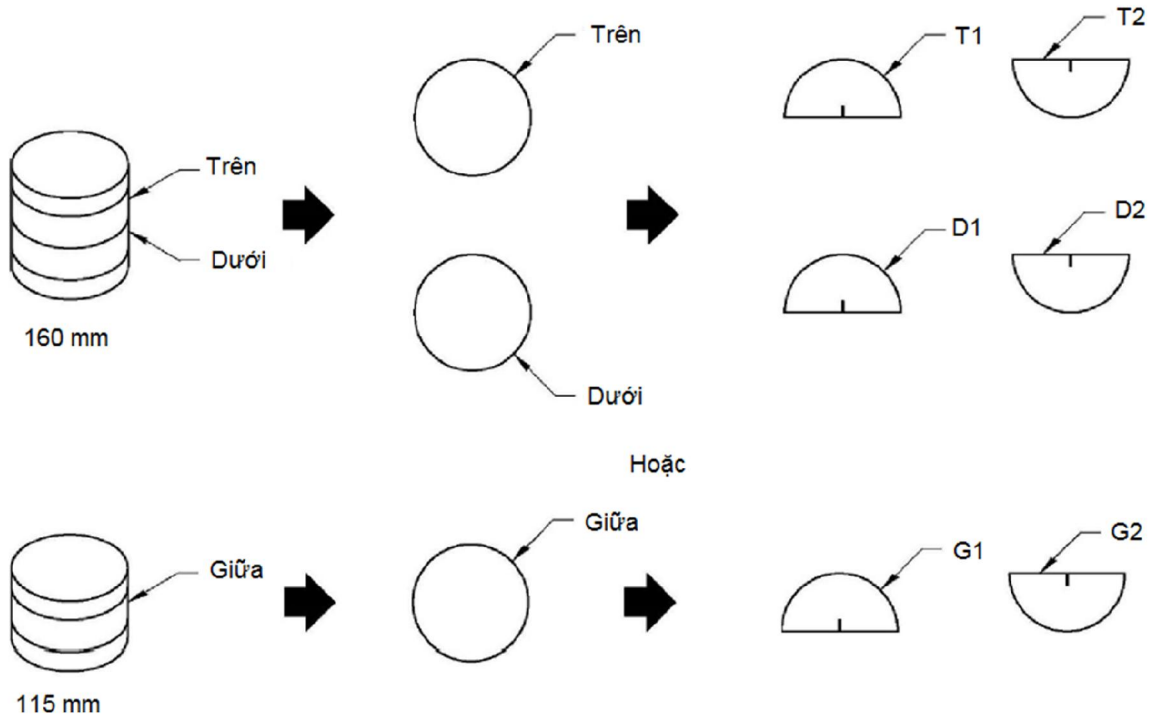
Với các hỗn hợp bê tông nhựa có cỡ hạt danh định lớn nhất không vượt quá 19 mm, chuẩn bị các mẫu thí nghiệm từ mẫu được chế tạo trong phòng bằng thiết bị đầm xoay Superpave hoặc mẫu khoan hiện trường. Các mẫu được cắt từ mẫu đầm xoay SGC phải có bề mặt song song với nhau và bằng phẳng với chiều dày ( $50 \pm 1$ ) mm và đường kính ( $150 \pm 1$ ) mm (xem Hình 4). Nếu mẫu khoan hiện trường được sử dụng, kích thước mẫu phải có đường kính ( $150 \pm 8$ ) mm với bề mặt song song và bằng phẳng, chiều dày từ 25 mm đến ( $50 \pm 1$ ) mm tùy thuộc vào chiều dày lớp vật liệu.

CHÚ THÍCH 2: Phòng thí nghiệm phải có thiết bị cắt mẫu để đảm bảo 2 bề mặt mẫu phẳng, song song với nhau và vuông góc với trục. Nên dùng cưa gạch để xẻ rãnh sâu ( $15 \pm 1$ ) mm trong các mẫu bán nguyệt SCB. Sử dụng lưỡi cắt kim cương được làm mát bằng nước để đảm bảo không gây hư hại cho mẫu. Khi cắt thành 2 mẫu bán nguyệt và xẻ khe, phải đảm bảo mẫu đều, không bị hư hỏng.

**8.1.1** Mẫu chế tạo trong phòng bằng thiết bị đầm xoay Superpave: Mẫu được chế tạo bằng thiết bị đầm xoay Superpave theo TCVN 12817:2019 với chiều cao tối thiểu ( $160 \pm 1$ ) mm. Cắt 2 mẫu với chiều dày ( $50 \pm 1$ ) mm từ giữa mẫu thử (xem Hình 4), sau đó xác định độ rỗng dư của mỗi mẫu tròn này theo TCVN 8860-9:2011. Độ rỗng dư của mỗi mẫu tròn phải là ( $7,0 \pm 1,0$ ) %. Tiếp tục cắt mỗi mẫu tròn thành 2 mẫu bán nguyệt SCB. Kết quả thu được 4 mẫu bán nguyệt SCB. Chuẩn bị tối thiểu

3 mẫu bán nguyệt SCB cho một thử nghiệm chỉ số mềm FI.

CHÚ THÍCH 3: Chiều cao của mẫu chế tạo trong phòng bằng thiết bị đầm xoay phải là  $(160 \pm 1)$  mm với độ rỗng dư  $(7,0 \pm 1,0)$  % trong mỗi mẫu thử bán nguyệt SCB (xem Hình 4). Nếu phòng thí nghiệm không có khả năng chế tạo mẫu với chiều cao  $(160 \pm 1)$  mm, thì cho phép chế tạo 2 mẫu có chiều cao  $(115 \pm 1)$  mm để thay thế. Sau đó cắt 1 mẫu tròn với chiều dày  $(50 \pm 1)$  mm từ giữa mỗi mẫu thử. Tiếp tục cắt mỗi mẫu tròn thành 2 mẫu bán nguyệt SCB. Kết quả thu được 4 mẫu bán nguyệt SCB (xem Hình 4).



**Hình 4 - Chuẩn bị mẫu bán nguyệt SCB từ mẫu chế tạo trong phòng bằng thiết bị đầm xoay**

**8.1.2** Mẫu khoan từ mặt đường: Khoan lấy một lõi khoan đường kính 150 mm nếu chiều dày lớp bê tông nhựa lớn hơn hoặc bằng 100 mm hoặc khoan lấy hai lõi khoan đường kính 150 mm nếu chiều dày lớp bê tông nhựa nhỏ hơn 100 mm.

**8.1.2.1** Chuẩn bị mẫu bán nguyệt SCB từ mẫu khoan từ mặt đường: Chuẩn bị bốn mẫu bán nguyệt SCB từ các mẫu khoan bê tông nhựa từ mặt đường, các mẫu phải đảm bảo các bề mặt phẳng, song song, phù hợp với yêu cầu về chiều cao và đường kính quy định. Để đảm bảo tối ưu chiều dày của mẫu khoan, bề mặt mẫu khoan đã được lu lèn chặt được xem như bề mặt đã cất xẻ. Chiều dày của mẫu thử trong hầu hết các trường hợp có thể thay đổi từ 25 mm đến  $(50 \pm 1)$  mm. Nếu chiều dày của mẫu nhỏ hơn  $(50 \pm 1)$  mm, mẫu thử phải được chuẩn bị càng dày càng tốt nhưng trong mọi trường hợp không được nhỏ hơn hai lần kích thước cỡ hạt danh định lớn nhất của hỗn hợp bê tông nhựa và không nhỏ hơn  $(25 \pm 1)$  mm. Nếu chiều dày của mẫu lớn hơn  $(50 \pm 1)$  mm, phải cắt mẫu để có được chiều dày  $(50 \pm 1)$  mm. Mẫu khoan từ mặt đường có chiều dày lớp lớn hơn  $(75 \pm 1)$  mm có thể được cắt thành hai mẫu hình trụ có chiều dày bằng nhau. Bề mặt lớp trên cùng đã được lu lèn chặt thì không cần phải cất xẻ, tiến hành cắt ở phía dưới để tạo ra 2 mẫu tròn có chiều dày không được nhỏ hơn hai lần kích thước cỡ hạt danh định lớn nhất của hỗn hợp bê tông nhựa và không nhỏ hơn  $(25 \pm 1)$  mm. Các mẫu tròn phải có bề mặt song song và bằng phẳng. Xác định độ rỗng dư của mỗi mẫu tròn này theo TCVN 8860-9:2011. Các mẫu khoan từ mặt đường sẽ không phải đảm bảo dung sai về

## **TCVN 13347:2021**

độ rỗng dư như mẫu được chế tạo trong phòng thí nghiệm. Tiếp tục cắt mỗi mẫu tròn thành 2 mẫu bán nguyệt SCB. Mẫu khoan từ mặt đường phải có bề mặt song song và bằng phẳng.

### **8.2 Xác định tỷ trọng khối**

Xác định tỷ trọng khối của mỗi mẫu thử theo TCVN 8860-5:2011.

### **8.3 Xẻ rãnh:**

Xẻ rãnh tại tâm của mặt phẳng đáy của mỗi mẫu bán nguyệt SCB với chiều sâu ( $15 \pm 1$ ) mm và chiều rộng  $\leq 2,25$  mm (xem Hình 1).

CHÚ THÍCH 4: Nếu rãnh xẻ kết thúc tại đúng trong một hạt cốt liệu cỡ 9,5 mm hoặc lớn hơn ở cả hai mặt của mẫu thí nghiệm thì phải loại bỏ mẫu ấy.

### **8.4 Đo kích thước mẫu**

Đo chiều sâu xẻ rãnh trên cả hai mặt của mẫu thử và ghi lại giá trị trung bình chính xác đến 0,5 mm. Đo và ghi lại chiều dài đường nứt (xem Hình 1), chiều dày của từng mẫu thử. Chiều dài đường nứt có thể được đo trực tiếp trên hai mặt của mẫu thử và ghi lại giá trị trung bình, hoặc có thể đo gián tiếp bằng cách lấy bán kính của mẫu thử trừ đi chiều sâu xẻ rãnh. Đo chiều dày mẫu thử tại hai bên rãnh xẻ (cách rãnh xẻ khoảng 19mm) và tại mặt cong đối diện rãnh xẻ, ghi lại giá trị trung bình của 3 điểm đo chính xác tới 0,1 mm.

CHÚ THÍCH 5: Nếu thử nghiệm đánh giá tác động của quá trình lão hóa dài hạn (LTA) được thực hiện, thì tiến hành theo quy định tại AASHTO R30.

## **9 Trình tự thử nghiệm**

**9.1 Điều kiện thí nghiệm:** Các mẫu thử phải được đặt trong buồng khí hậu hoặc ngâm trong bể nước ở ( $25 \pm 0,5$ )°C trong  $2h \pm 10$  min.

**9.1.1 Kiểm soát nhiệt độ:** Thử nghiệm phải được hoàn thành trong vòng ( $5 \pm 1$ ) min sau khi lấy mẫu thử ra khỏi buồng khí hậu hoặc bể nước ngâm mẫu để bảo đảm nhiệt độ của mẫu được giữ nguyên.

**9.2 Vị trí đặt mẫu trong khung thí nghiệm uốn:** Mẫu thử phải được đặt vuông góc với các gối trụ thép trong cả mặt phẳng ngang và mặt phẳng thẳng đứng. Tải trọng tác dụng phải đi theo phương thẳng đứng qua tâm của mẫu thử và qua rãnh xẻ.

**9.3 Tải trọng tiếp xúc:** Đầu tiên, tác dụng một tải trọng tiếp xúc nhỏ ( $0,1 \pm 0,01$ ) kN với với tốc độ gia tải nhỏ phù hợp. Đảm bảo tải trọng tiếp xúc trên khắp bề mặt mẫu mới tiến hành thí nghiệm.

**9.3.1** Ghi lại giá trị tải trọng tiếp xúc.

**9.3.2** Gia tải: Sau khi tải trọng tiếp xúc đạt được 0,1 kN, tăng tải với tốc độ gia tải 50mm/ min cho đến khi mẫu phá hoại và tải trọng giảm dần. Thí nghiệm dừng lại khi tải trọng giảm đến dưới 0,1 kN.

**9.3.3** Thực hiện thử nghiệm với từng mẫu thử theo trình tự từ Điều 9.1 đến Điều 9.3.2.

## **10 Tính toán kết quả**

### **10.1 Xác định công phá hủy ( $W_f$ )**

Công phá hủy được tính bằng diện tích phần dưới đường cong quan hệ giữa lực - chuyển vị (xem Hình 5). Nếu thí nghiệm bị dừng trước khi tải trọng giảm đến 0,1 kN, phần còn lại của đường cong quan hệ giữa lực - chuyển vị phải được tạo ra bằng các kỹ thuật ngoại suy. Diện tích dưới đường cong quan hệ giữa lực - chuyển vị được tính toán bằng phép tích phân. Để áp dụng tích phân, biểu

đồ lực - chuyển vị phải được chia thành hai đường cong được mô tả bởi phương trình phù hợp. Một phương trình đa thức bậc sáu mô tả cho đường cong từ lúc bắt đầu thí nghiệm đến khi đạt lực lớn nhất (Công thức 1). Phương trình hàm mũ (Công thức 2) được sử dụng cho phần đường cong sau khi đạt lực lớn nhất. Sau đó, tổng các tích phân sẽ được áp dụng để tính diện tích đường cong tổng hợp (Công thức 3).

**10.1.1** Đối với đường cong từ lúc bắt đầu thí nghiệm đến khi đạt lực lớn nhất ( $P_{max}$ ):

$$P_1(u) = c_1 \times u^6 + c_2 \times u^5 + c_3 \times u^4 + c_4 \times u^3 + c_5 \times u^2 + c_6 \times u^1 + c_7 \quad (1)$$

trong đó:  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$  là các hệ số hồi quy của đa thức bậc 6.

**10.1.2** Đối với đường cong sau khi đạt lực lớn nhất ( $P_{max}$ ) đến chuyển vị cuối cùng ( $u_{final}$ ):

$$P_2(u) = \sum_{i=1}^{n=4} d_i \exp \left[ - \left( \frac{u - e_i}{f_i} \right)^2 \right] \quad (2)$$

trong đó:  $d, e, f$  là các hệ số hồi quy;  $n$  là số khoảng chia để xây dựng hàm mũ.

**10.1.3** Công phá hủy, hay diện tích phần dưới đường cong quan hệ lực - chuyển vị được tính bằng tổng các tích phân theo Công thức 3:

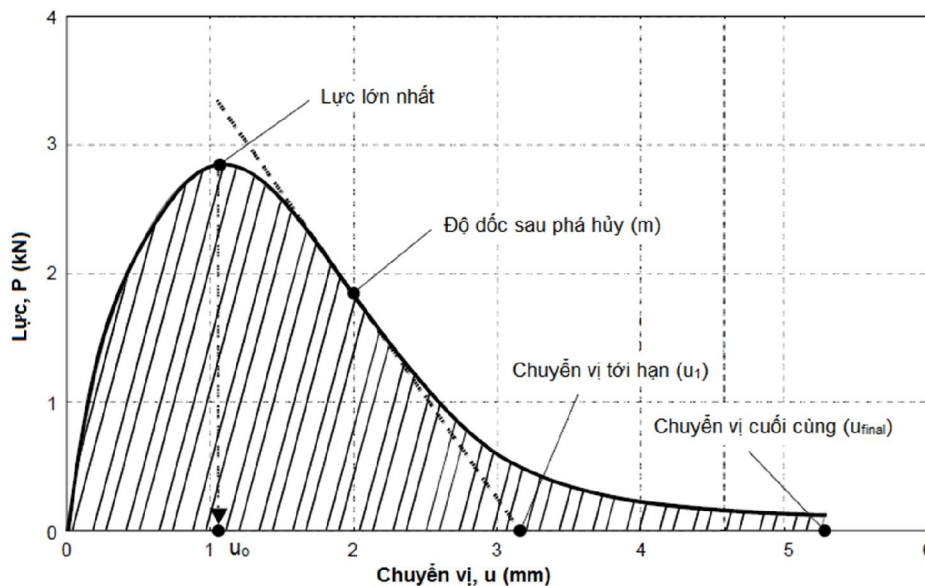
$$W_f = \int_0^{u_0} P_1(u) du + \int_{u_0}^{u_{final}} P_2(u) du \quad (3)$$

trong đó:

$u_0$  là chuyển vị ghi được tại điểm có lực lớn nhất.

$u_{final}$  là chuyển vị cuối cùng tại điểm có giá trị lực 0,1 kN của đường cong sau khi phá hủy.

CHÚ THÍCH 6: Do sự khác biệt tương đối giữa độ cứng khung thử nghiệm và mẫu thử, chuyển vị được ghi lại có thể khác nhau. Một hệ số hiệu chỉnh có thể được xem xét để điều chỉnh giá trị chuyển vị khi áp dụng.



Hình 5 - Biểu đồ lực - chuyển vị



**10.2 Năng lượng phá hủy ( $G_f$ )**

Năng lượng phá hủy  $G_f$  được tính bằng cách chia công phá hủy (diện tích phần dưới đường cong quan hệ lực - chuyển vị, xem Hình 5) cho diện tích lan truyền vết nứt (tích của chiều dài đường nứt và chiều dày mẫu) của mẫu bán nguyệt SCB trước khi thí nghiệm.

$$G_f = \frac{W_f}{Area_{lig}} \times 10^6 \quad (4)$$

trong đó:

$G_f$  là năng lượng phá hủy ( $J/m^2$ );

$W_f$  là công phá hủy (J);

$Area_{lig}$  là diện tích lan truyền vết nứt ( $mm^2$ ), được tính toán như sau:  $Area_{lig} = (r - a) \times t$ ,

trong đó:

$r$  là bán kính của mẫu (mm);

$a$  là chiều sâu xẻ rãnh (mm);

$t$  là chiều dày mẫu (mm).

CHÚ THÍCH 7: Năng lượng phá hủy  $G_f$  phụ thuộc kích thước mẫu và chiều dài đường nứt. Do đó, khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa xác định bằng năng lượng phá hủy có thể thay đổi khi tỷ số giữa chiều sâu xẻ rãnh và bán kính mẫu thử thay đổi.

**10.3 Xác định độ dốc sau phá hủy (m):** Điểm uốn được xác định trên đường cong lực - chuyển vị (xem Hình 5) sau điểm lực lớn nhất. Độ dốc của đường tiếp tuyến với đường cong lực - chuyển vị tại điểm uốn là độ dốc sau phá hủy.

**10.4 Xác định chuyển vị tại điểm có lực lớn nhất ( $u_o$ ):** Chuyển vị ghi được khi lực đạt tới giá trị lớn nhất.

**10.5 Xác định chuyển vị tới hạn ( $u_f$ ):** Xác định giao điểm giữa đường độ dốc sau phá hủy với trục chuyển vị của đồ thị biểu diễn quan hệ lực - chuyển vị. Giá trị trên trục chuyển vị của giao điểm này chính là chuyển vị tới hạn.

**10.6 Chỉ số mềm (FI):** Chỉ số mềm FI được tính từ các thông số thu được trên đường cong lực - chuyển vị. Hệ số A được sử dụng để chuyển đổi đơn vị. A bằng 0,01. Hướng dẫn chi tiết về trình tự tính toán xem phụ lục A.

$$FI = \frac{G_f}{|m|} \times A \quad (5)$$

trong đó:  $|m|$  là giá trị tuyệt đối của độ dốc sau phá hủy (kN/mm).

**11 Hệ số hiệu chỉnh**

Hệ số hiệu chỉnh cho chỉ số mềm FI đối với chiều dày các mẫu khoan từ mặt đường và sự khác biệt giữa đầm nén tại hiện trường và đầm nén trong phòng thí nghiệm là cần thiết. Hệ số hiệu chỉnh chiều dày có thể được áp dụng cho các mẫu khoan từ mặt đường có chiều dày nhỏ hơn 45 mm. Các hệ số hiệu chỉnh có thể điều chỉnh tùy theo khu vực để xem xét vật liệu có sẵn tại địa phương và các yêu cầu



thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa.

## 12 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo thử nghiệm tối thiểu cần có các thông tin sau:

- Đơn vị yêu cầu.
- Tên công trình, dự án, hạng mục áp dụng.
- Phòng thí nghiệm; Ngày thử nghiệm.
- Loại mẫu chế tạo trong phòng thí nghiệm hay mẫu là lõi khoan.
- Ký hiệu từng mẫu, vật liệu của mẫu, lý trình khoan lõi.
- Số lượng mặt cắt xẻ của mỗi mẫu thử, nếu sử dụng mẫu là lõi khoan.
- Số hợp đồng hoặc văn bản yêu cầu thử nghiệm.
- Tỷ trọng khối của mỗi mẫu thử, chính xác đến 0,001;
- Tỷ trọng lớn nhất của bê tông nhựa, chính xác đến 0,001;
- Độ rỗng dư của mỗi mẫu thử, chính xác đến 0,1%;
- Chiều dày  $t$  và chiều dài đường nứt của mỗi mẫu thử, chính xác đến 0,1mm;
- Chiều sâu rãnh xẻ  $a$ , chính xác đến 0,5mm;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của lực lớn nhất, chính xác đến 0,1 kN;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của thời gian tại lực lớn nhất, chính xác đến 0,1s;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của chuyển vị tại điểm có lực lớn nhất ( $u_0$ ), chính xác đến 0,1mm;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của chuyển vị tới hạn ( $u_1$ ), chính xác đến 0,1mm;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của độ dốc sau phá hủy ( $m$ ), chính xác đến 0,1kN/mm;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của năng lượng phá hủy ( $G_f$ ), chính xác đến 1 J/m<sup>2</sup>;
- Giá trị trung bình và hệ số biến sai của chỉ số mềm (FI), chính xác đến 0,1.
- Chữ ký của người làm thí nghiệm, phòng thí nghiệm và đơn vị quản lý phòng thí nghiệm.

## Phụ lục A

(tham khảo)

### Hướng dẫn xử lý, tính toán kết quả thử nghiệm

#### A.1 Phạm vi áp dụng

**A.1.1** Phụ lục này hướng dẫn trình tự và các thuật toán được sử dụng để xử lý đường cong lực - chuyển vị và tính toán các thông số như năng lượng phá hủy, độ dốc sau phá hủy (sau khi vết nứt bắt đầu lan truyền) và chỉ số mềm FI. Thuật toán bao gồm các bước sau:

**A.1.1.1** Xử lý sơ bộ đường cong quan hệ lực - chuyển vị;

**A.1.1.2** Tính toán các thông số của đường cong lực - chuyển vị trước điểm lực lớn nhất; và

**A.1.1.3** Tính toán các thông số của đường cong lực - chuyển vị sau điểm lực lớn nhất.

**A.1.2** Ngoài trình tự tính toán được hướng dẫn trong Phụ lục này, có thể sử dụng phần mềm chuyên dụng hoặc phép chia khoảng trên excel để tính toán kết quả thử nghiệm.

#### A.2 Xử lý sơ bộ

**A.2.1** Thuật toán bắt đầu với việc xử lý sơ bộ tập số liệu thô lực và chuyển vị thu được sau thử nghiệm. Bước đầu tiên là cắt phần đuôi của đường cong lực - chuyển vị. Các điểm số liệu có giá trị lực nhỏ hơn 0,1 kN bị loại bỏ. Bởi vì đường cong lực - chuyển vị thể hiện các đặc trưng khác nhau ở trước và sau khi lực đạt lớn nhất, vì vậy việc cắt đường cong lực - chuyển vị được chia thành hai phần: phần trước điểm lực lớn nhất và phần sau điểm lực lớn nhất. Để thực hiện việc này, phải xác định điểm có lực lớn nhất. Các giá trị của đường cong lực - chuyển vị trước điểm có lực lớn nhất được gán cho phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất; các số liệu còn lại được gán cho phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất. Các tính toán cần thiết cho các phân đoạn này được trình bày trong Điều A.3 và Điều A.4.

#### A.3 Tính toán các thông số của đường cong lực - chuyển vị trước điểm lực lớn nhất

**A.3.1** Xác định tọa độ điểm đầu ( $u_i, P_i$ ) và điểm cuối ( $u_0, P_{max}$ ) của phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất của đường cong lực - chuyển vị.

**A.3.2** Một phương trình đa thức bậc sáu mô tả cho phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất của đường cong đường cong lực - chuyển vị (Công thức A.1).

$$P_1(u) = c_1 \times u^6 + c_2 \times u^5 + c_3 \times u^4 + c_4 \times u^3 + c_5 \times u^2 + c_6 \times u^1 + c_7 \quad (A.1)$$

trong đó:  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$  là các hệ số hồi quy của đa thức bậc 6.

**A.3.3** Một tập số liệu mới được tạo ra với các gia số dịch chuyển bằng nhau bằng cách sử dụng hàm đa thức bậc sáu đã xác định được tại Điều A.3.2 với giới hạn điểm đầu và điểm cuối theo Điều A.3.1. Các gia số được sử dụng để phân chia số liệu được tìm thấy bằng cách chia chuyển vị ở điểm có lực lớn nhất cho 1000. Một vectơ chuyển vị mới ( $u_{pre}$ ) được tạo ra từ  $u_i$  đến  $u_0$  với các gia số được tính toán. Vectơ lực mới được tính bằng cách thay thế giá trị của vectơ chuyển vị trong Công thức A.1. Mục đích của việc tạo tập số liệu với độ phân giải cao hơn là để tăng độ chính xác của phép tính tích phân được mô tả trong Điều A.3.4.

**A.3.4** Phép tính tích phân được áp dụng để tính toán diện tích phần dưới của phân đoạn trước điểm

có lực lớn nhất của đường cong lực - chuyển vị (Công thức A.2). Một kỹ thuật tính tổng diện tích các hình thang có thể được sử dụng để thay cho phép tính tích phân của Công thức A.2. Khi có sẵn các công cụ để tính tích phân, thì nên áp dụng phép tính tích phân tích để nâng cao độ chính xác.

$$W_f(\text{phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất}) = \int_0^{u_0} P_1(u) du \quad (\text{A.2})$$

**A.3.5** Khi đường cong lực - chuyển vị bắt đầu với lực dư tại chuyển vị bằng không, thì đường cong cần phải được ngoại suy để hiệu chỉnh diện tích đã tính ở bước trước. Trong những trường hợp như vậy, đường cong được ngoại suy tuyến tính tới tọa độ chuyển vị ở đó lực bằng không. Chuyển vị tại điểm lực bằng không ( $u_r$ ) được xác định. Diện tích phía dưới phân đoạn ngoại suy được cộng vào để tính tổng diện tích đường cong trước điểm lực lớn nhất. Phép tính tích phân được áp dụng để tính toán diện tích này theo Công thức A.3.

$$W_f(\text{phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất}) = \int_0^{u_0} P_1(u) du + u_r \times P_r \times 0,5 \quad (\text{A.3})$$

trong đó:

$P_r$  là lực dư tại chuyển vị bằng không (kN);

$u_r$  là chuyển vị tính toán được tại điểm có lực bằng không (mm);

#### **A.4 Tính toán các thông số của đường cong lực - chuyển vị sau điểm lực lớn nhất**

**A.4.1** Một thuật toán đã được phát triển để xử lý phân đoạn sau điểm lực lớn nhất của đường cong lực - chuyển vị để tính toán diện tích phía dưới đường cong cũng như điểm uốn và độ dốc tại điểm uốn.

**A.4.1.1** Xác định tọa độ điểm đầu ( $u_0, P_0$ ) và điểm cuối ( $u_f, P_f$ ) của phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất của đường cong lực - chuyển vị. Các số liệu thô được lưu trữ trong hai vector là  $u_{\text{post}} = \{u_0, \dots, u_f\}$  và  $P_{\text{post}} = \{P_0, \dots, P_f\}$ .

**A.4.1.2** Trong bước này, các giới hạn dưới cho tham số  $f$  trong Phương trình A.4 được khởi tạo và giữ trong một vector. Tham số này có thể chi phối đạo hàm bậc nhất của phân đoạn sau điểm lực lớn nhất dẫn đến các giá trị độ dốc bất thường. Ví dụ: nếu giới hạn dưới không được xác định cho tham số này, thì nó có thể về 0, tạo ra một độ dốc giả, giống như tăng vọt. Mặt khác, nếu giới hạn được xác định quá cao, độ chính xác của đường cong có thể bị ảnh hưởng. Do đó, các giá trị cho các giới hạn dưới của tham số này được tìm thấy là  $f_{\text{giới hạn}} = \{0,9, 0,7, 0,5, 0,3, 0,1, 0,05, 0,01, 0,005, 0,001\}$ . Giá trị tối ưu được tìm thấy lặp đi lặp lại trên các giá trị được khởi tạo trong  $f_{\text{giới hạn}}$ . Thứ tự của các giá trị phải giảm dần.

$$P_2(u) = \sum_{i=1}^{n=4} d_i \exp \left[ - \left( \frac{u - e_i}{f_i} \right)^2 \right] \quad (\text{A.4})$$

trong đó:  $d, e, f$  là các hệ số hồi quy;  $n$  là số khoảng chia để xây dựng hàm mũ.

**A.4.1.3** Tất cả các tham số của mô hình trong Công thức A.4 đều được điều chỉnh bằng cách đặt giới hạn dưới và giới hạn trên cho mỗi tham số. Giới hạn trên và giới hạn dưới cho mỗi tham số

## TCVN 13347:2021

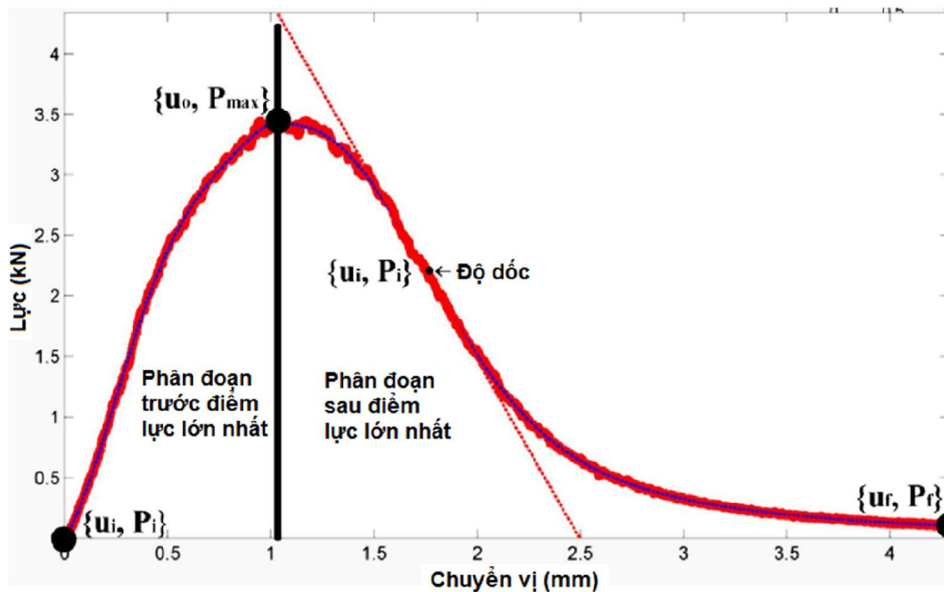
ngoại trừ  $f$  được khởi tạo lần lượt là 10 và  $-10$ . Do những hạn chế của hàm hồi quy được sử dụng trong MATLAB (hàm được gọi là "phù hợp"), các quy tắc phải được tiến hành theo cách suy nghiệm.

**A.4.1.3.1** Một hàm hồi quy mà đầu vào là  $u_{\text{post}}$  và  $P_{\text{post}}$  được phát triển bằng cách điều chỉnh hàm Gaussian (Phương trình A.4) với phân đoạn sau điểm lực lớn nhất của số liệu bị giới hạn bởi các giới hạn được xác định trong Điều A.4.1. Số khoảng chia để xây dựng hàm Gaussian được chọn là 4. Sau đó, các điểm uốn mà tại đó đạo hàm bậc hai của phương trình phù hợp trở thành 0 được trích xuất, và các đạo hàm bậc nhất chỉ ra độ dốc ( $m_i$ ) được tính toán tại các điểm uốn trích xuất ( $u_i$ ).

**A.4.1.3.2** Đạo hàm bậc hai của phương trình  $P_2(u)$  có thể không có nghiệm nguyên nào (tức là không có điểm uốn; do đó, không thể tìm thấy độ dốc). Nếu phương trình  $P_2(u)$  không có nghiệm nguyên nào, giá trị tiếp theo trong vectơ  $f_{\text{giới hạn}}$  phải được chọn trước khi tiếp tục các bước còn lại. Nếu tồn tại một nghiệm nguyên nào của phương trình  $P_2(u)$ , thì chuyển sang bước tiếp theo.

**A.4.1.3.3** Tại mỗi điểm uốn được tìm thấy, vẽ đường độ dốc tiếp tuyến bằng cách ngoại suy một đường thẳng cắt trục chuyển vị, như trong Hình A.1. Giá trị đạo hàm bậc nhất tại điểm uốn được xác định là độ dốc sau phá hủy ( $m$ ) như Công thức A.5 dưới đây.

$$m = \left( \frac{\partial P(u)}{\partial u} \right)_{u=u_{mf}} \quad (\text{A.5})$$



Hình A.1 - Mô tả các phân đoạn trước và sau điểm có lực lớn nhất

**A.4.1.3.4** Thông thường, phương trình phù hợp có thể tạo ra nhiều hơn một độ dốc khi có nhiều hơn một nghiệm nguyên của phương trình  $P_2(u)$  được tìm thấy ở bước trước. Chỉ có một độ dốc được coi là phù hợp với định nghĩa của thử nghiệm này; các độ dốc còn lại là giả và cần phải loại bỏ. Để tìm ra độ dốc tiêu biểu nhất và loại bỏ (các) độ dốc không thực tế, ba tiêu chí dựa trên quan sát được thực hiện. Các tiêu chí, phân loại và quy trình loại bỏ như sau:

(1) Tiêu chí 1 — Các giá trị chuyển vị tăng dần ( $u_n$ ) được tạo ra với các gia số bằng nhau giữa  $u_0$  và  $u_i$ . Phương trình độ dốc tuyến tính,  $S(u)$ , được mô tả bằng cách sử dụng độ dốc (xem Công thức A.5) và đi qua điểm uốn ( $u_i$ ). Giá trị trung bình của sự khác biệt giữa phương trình độ dốc và đường cong lực - chuyển vị sau điểm có lực lớn nhất được tính toán bằng Công thức A.6.

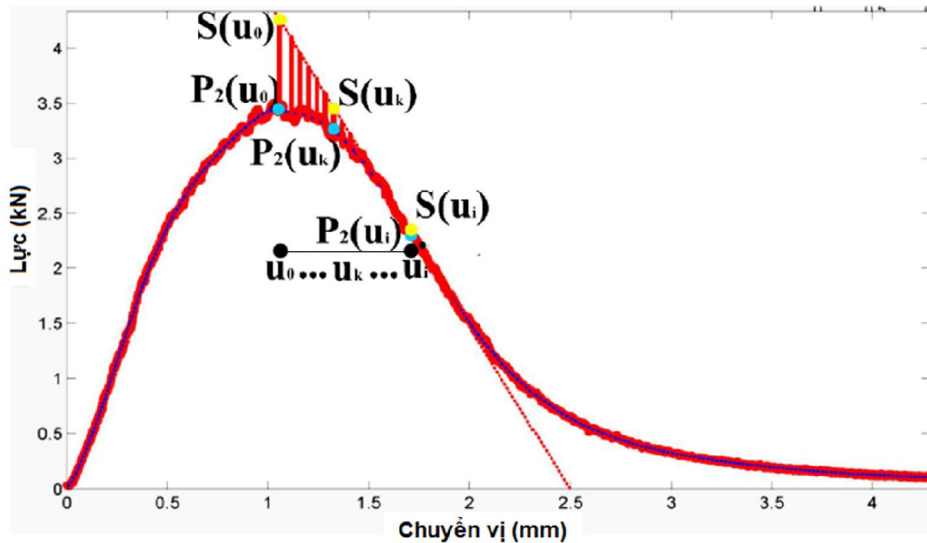
$$C1 = \left( \sum_{n=1}^M [S(u_n) - P_2(u_n)] \right) / M \quad (A.6)$$

trong đó:

M là số lượng các giá trị chuyển vị sao cho ( $u_0 < u_n < u_i$ ). Kích thước bằng nhau của các bước tăng được sử dụng để tạo ra các giá trị chuyển vị M-lần ( $u_n$ ). M có thể thay đổi tùy theo độ dài giữa  $u_0$  và  $u_i$ ;

$S(u_n)$  là giá trị của phương trình độ dốc tính toán tại  $u = u_n$ ;

$P_2(u_n)$  là giá trị của đường cong lực - chuyển vị sau điểm có lực lớn nhất tính toán tại  $u = u_n$ .



**Hình A.2 - Kiểm tra sự khác biệt cho tiêu chí 1**

(2) Tiêu chí 2 — Các giá trị chuyển vị tăng dần ( $u_n$ ) được tạo ra với các gia số bằng nhau giữa  $u_0$  và  $u_t$ .  $u_t$  được tìm thấy bằng cách lấy 30 phần trăm của  $P_i = P_2(u_i)$  (lực tương ứng với điểm uốn) (xem Hình A.3). Phương trình độ dốc tuyến tính tương tự,  $S(u)$ , được sử dụng như trong Tiêu chí 1. Giá trị trung bình của sự khác biệt giữa phương trình độ dốc và đường cong lực - chuyển vị sau điểm có lực lớn nhất được tính toán bằng Công thức A.7.

$$C2 = \left( \sum_{n=1}^M [P_2(u_n) - S(u_n)] \right) / M \quad (A.7)$$

trong đó:

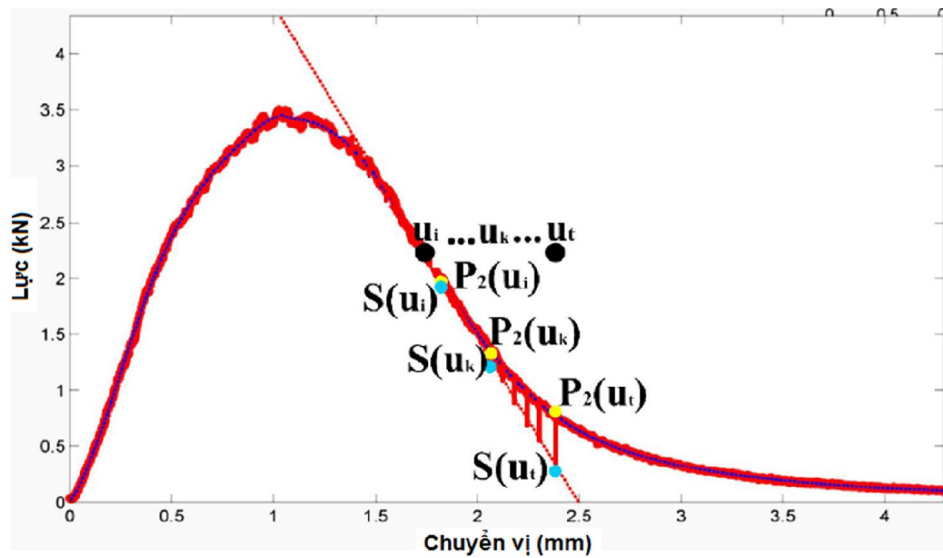
M là số lượng các giá trị chuyển vị sao cho ( $u_0 < u_n < u_t$ ). Kích thước bằng nhau của các bước tăng được sử dụng để tạo ra các giá trị chuyển vị M-lần ( $u_n$ ). M có thể thay đổi tùy theo độ dài giữa  $u_0$  và  $u_t$ ;

$S(u_n)$  là giá trị của phương trình độ dốc tính toán tại  $u = u_n$ ;

$P_2(u_n)$  là giá trị của đường cong lực - chuyển vị sau điểm có lực lớn nhất tính toán tại  $u = u_n$ .

Đường độ dốc lý tưởng phải tiếp tuyến hoàn hảo hoặc nằm dưới đường cong phù hợp. Do đó, các đường độ dốc có giá trị âm bị loại bỏ. Phương án phân loại cho tiêu chí này tương tự như phần trước. Nếu vẫn còn nhiều hơn một độ dốc sau khi loại bỏ, các độ dốc được xếp hạng theo thứ tự

tăng dần theo giá trị trung bình của sự khác biệt (C2). Độ dốc có giá trị C2 thấp nhất được xếp hạng cao nhất.



Hình A.3 - Kiểm tra sự khác biệt cho tiêu chí 2

(3) Tiêu chí 3 — Giá trị của tiêu chí này là tọa độ x của các điểm uốn (tức là,  $u_i$ ). Nếu có nhiều đường độ dốc, chúng được xếp hạng theo thứ tự tăng dần theo  $u_i$ . Ví dụ: độ dốc được tìm thấy ở các điểm uốn nhỏ hơn được xếp hạng cao hơn độ dốc được tìm thấy ở phần đuôi của đường cong.

**A.4.1.3.5** Nếu tìm thấy ít nhất một độ dốc thực tế và hệ số xác định của phương trình hồi quy lớn hơn hoặc bằng 0,997 ( $R^2 \geq 0,997$ ), thì độ dốc đó được chấp nhận và vòng lặp bị dừng lại. Trong trường hợp đó, chuyển sang Điều A.4.1.4 để tính toán năng lượng phá hủy và báo cáo độ dốc đại diện cùng với các kết quả thử nghiệm yêu cầu khác. Nếu không, vòng lặp vẫn tiếp tục, nghĩa là giá trị tiếp theo từ  $f_{\text{giới hạn}}$  được chọn để hiệu chỉnh giới hạn dưới cho tham số  $f$ . Lặp lại các phần từ A.4.1.3.1 đến A.4.1.3.5 cho đến khi tìm thấy độ dốc đại diện có hệ số xác định của phương trình hồi quy lớn hơn hoặc bằng 0,997.

**A.4.1.4** Sử dụng đường cong phù hợp  $P_2(u)$  và giá trị điểm uốn đại diện, độ dốc sau phá hủy (m), các thông số thử nghiệm yêu cầu được tính toán.

**A.4.1.4.1** Độ dốc đại diện được báo cáo là độ dốc có điểm xếp hạng cao nhất từ quá trình phân loại (Điều A.4.1.3.4).

**A.4.1.4.2** Tương tự như tính toán diện tích phần dưới đường cong lực - chuyển vị trước điểm lực lớn nhất, một vector chuyển vị mới giữa  $u_p$  và  $u_{\text{final}}$  với gia số 0,005 được tạo ra. Sau đó, các giá trị lực tương ứng được tính toán bằng cách cung cấp vector chuyển vị này cho các hàm hồi quy đã lựa chọn. Mục đích của việc tạo tập số liệu mới với độ phân giải cao hơn là để tăng độ chính xác của phép tích phân trong bước tiếp theo.

**A.4.1.4.3** Một kỹ thuật tính tổng diện tích các hình thang (hình A.2) được sử dụng cho phép tính tích phân của Công thức A.8 để tính diện tích phần dưới phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất của đường cong quan hệ lực - chuyển vị.

$$W_f(\text{phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất}) = \int_{u_0}^{u_{final}} P_2(u) du \quad (\text{A.8})$$

**A.4.1.4.4** Tổng diện tích phần dưới đường cong quan hệ lực - chuyển vị được tính toán bằng cách cộng các phần diện tích của phân đoạn trước và phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất của đường cong quan hệ lực - chuyển vị. Sau đó, công phá hủy được tính toán theo công thức A.9.

$$W_f = W_f(\text{phân đoạn trước điểm có lực lớn nhất}) + W_f(\text{phân đoạn sau điểm có lực lớn nhất}) \quad (\text{A.9})$$

**A.4.1.4.5** Công phá hủy và độ dốc sau phá hủy được sử dụng để tính toán Năng lượng phá hủy theo công thức A.10a và Chỉ số mềm FI theo công thức A.10b.

$$G_f = \frac{W_f}{Area_{lig}} \times 10^6 \quad (\text{A.10a})$$

$$FI = \frac{G_f}{|m|} \times A \quad (\text{A.10b})$$

**Phụ lục B**  
(tham khảo)  
**Độ chụm và độ chệch**

**B.1 Độ chụm**

**B.1.1** Độ chụm khi thử nghiệm tại một phòng thí nghiệm (thử nghiệm đơn phòng)

Hệ số biến sai của chỉ số mềm (FI) khi thử nghiệm đơn phòng là 27,1%. Do đó, hai kết quả thí nghiệm thu được với cùng điều kiện thử nghiệm (do một người thí nghiệm trên cùng loại thiết bị, cùng loại mẫu thử nghiệm, cùng thời gian thí nghiệm) đảm bảo độ chụm khi sự khác biệt của hai kết quả không vượt quá 75,9% giá trị trung bình của của hai kết quả.

**B.1.2** Độ chụm khi thử nghiệm tại các phòng thí nghiệm (thử nghiệm liên phòng)

Hệ số biến sai của chỉ số mềm (FI) khi thử nghiệm liên phòng là 34,1%. Do đó, hai kết quả thí nghiệm thu được do hai người thí nghiệm khác nhau trên cùng một vật liệu trong các phòng thí nghiệm khác nhau đảm bảo độ chụm khi sự khác biệt của hai kết quả không vượt quá 95,5% giá trị trung bình của của hai kết quả.

**B.1.3** Trình tự tính toán đánh giá độ chụm được thực hiện theo TCVN 6910 và ASTM C670.

**B.2 Độ chệch**

Các nghiên cứu cần thiết để thiết lập độ chệch của phương pháp này chưa được thực hiện.



**Phụ lục C**

(tham khảo)

**Biểu mẫu báo cáo kết quả thử nghiệm**

Số hiệu thí nghiệm .../...

**ĐƠN VỊ QUẢN LÝ PHÒNG THÍ NGHIỆM****KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM****KHẢ NĂNG KHÁNG NỨT BẰNG PHƯƠNG PHÁP UỐN MẪU BÁN NGUYỆT SCB***Determining the Cracking Resistance using the Semi-Circular Bend Test method***1. Đơn vị yêu cầu:****2. Công trình:****3. Nguồn gốc mẫu:****4. Tiêu chuẩn thí nghiệm:** TCVN 13347:2021**5. Kết quả thí nghiệm:**

Mã số mẫu		M1	M2	M3	M4
Đường kính mẫu, mm	D				
Chiều dày mẫu, mm	t				
Chiều dài đường nứt của mẫu, mm	lig				
Chiều sâu rãnh xẻ, mm	a				
Diện tích lan truyền vết nứt, mm <sup>2</sup>	Area <sub>lig</sub>				
Tỷ trọng khối của mẫu thử, g/cm <sup>3</sup>	G <sub>mb</sub>				
Tỷ trọng lớn nhất của bê tông nhựa, g/cm <sup>3</sup>	G <sub>mm</sub>				
Độ rỗng dư, %	AV				
Lực lớn nhất, kN	P <sub>max</sub>				
Chuyển vị tại điểm có lực lớn nhất, mm	u <sub>o</sub>				
Chuyển vị tới hạn, mm	u <sub>1</sub>				
Độ dốc sau phá hủy, kN/mm	m				
Công phá hủy, J	W <sub>f</sub>				
Năng lượng phá hủy, J/m <sup>2</sup>	G <sub>f</sub>				
Chỉ số mềm	FI				
Giá trị trung bình của Chỉ số mềm	FI <sub>tb</sub>				

Ghi chú:

Người thí nghiệm:

**ĐƠN VỊ QUẢN LÝ PHÒNG THÍ NGHIỆM****PHÒNG THÍ NGHIỆM**