

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 11781:2017

Xuất bản lần 1

**NHỰA ĐƯỜNG - PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ CỨNG
CHỐNG UỐN TỪ BIẾN BẰNG LƯU BIẾN KÉ DẦM CHỊU
UỐN (BBR)**

*Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam
Rheometer (BBR)*

HÀ NỘI - 2017

Mục lục

1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	6
4 Tóm tắt phương pháp thử	7
5 Ý nghĩa sử dụng.....	7
6 Thiết bị, dụng cụ.....	8
7 Yêu cầu về vật liệu	12
8 Cảnh báo nguy hiểm	14
9 Chuẩn bị thiết bị, dụng cụ.....	14
10 Hiệu chuẩn thiết bị.....	14
11 Chuẩn bị khuôn và mẫu thử	17
12 Trình tự thử nghiệm.....	18
13 Xử lý số liệu và tính toán kết quả.....	20
14 Báo cáo kết quả thử nghiệm.....	20
15 Độ chụm và độ lệch cho phép	22
Phụ lục A.....	24

Lời nói đầu

TCVN 11781:2017 được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn AASHTO Designation: T 313 - 12 Standard Method of Test for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder using the Bending Beam Rheometer (BBR).

TCVN 11781:2017 do Trường Đại học 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.

Nhựa đường - Phương pháp xác định độ cứng chống uốn từ biến bằng lưu biến kế dầm chịu uốn (BBR)

Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR)

1 Phạm vi áp dụng

1.1 Tiêu chuẩn này quy định phương pháp xác định độ cứng chống uốn từ biến hoặc độ mềm khi uốn từ biến bằng lưu biến kế dầm chịu uốn. Tiêu chuẩn này áp dụng đối với vật liệu có giá trị độ cứng chống uốn từ biến trong khoảng từ 20 MPa đến 1 GPa (giá trị tương ứng độ mềm khi uốn từ biến trong dải từ 50 nPa^{-1} đến 1 nPa^{-1}).

1.2 Tiêu chuẩn thử nghiệm này được sử dụng để xác định đặc tính lưu biến của nhựa đường nguyên gốc, nhựa đường đã qua lão hóa bằng phương pháp sấy màng mỏng xoay (TCVN 11710) hoặc bằng thử nghiệm bình áp lực (AASHTO R28) hoặc cả hai.

1.3 Kết quả thử nghiệm không được sử dụng đánh giá chất lượng nhựa đường khi độ võng của mẫu lớn hơn 4 mm hoặc nhỏ hơn 0,08 mm.

2 Tài liệu viện dẫn

Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm ban hành sẽ áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm ban hành sẽ áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi bổ sung (nếu có). Nếu có TCVN tương đương, áp dụng các TCVN.

Các tài liệu viện dẫn cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này như sau:

TCVN 11710:2017 Nhựa đường - Thử nghiệm xác định ảnh hưởng của nhiệt và không khí bằng phương pháp sấy màng mỏng xoay.

AASHTO M320: Performance - Graded Asphalt Binder (Phân cấp đặc tính của nhựa đường).

AASHTO R28: Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel - PAV (Thử nghiệm hóa già nhanh nhựa đường bằng bình áp lực).

AASHTO T40: Sampling Bituminous Materials (Chuẩn bị mẫu vật liệu nhựa đường).

AASHTO T314: Determining the Fracture Properties of Asphalt Binder in Direct Tension (DT) (Xác định

đặc tính phá hoại giòn của nhựa đường bằng thử nghiệm kéo trực tiếp).

ASTM C670: Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials (Tiêu chuẩn thực hành quy định về độ chụm và độ lệch đối với các phương pháp thử nghiệm dành cho vật liệu xây dựng).

ASTM E1: Standard Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers (Tiêu chuẩn kỹ thuật cho nhiệt kế chất lỏng).

ASTM E77: Standard Test Method for Inspection and Verification of Thermometers (Phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn hướng dẫn kiểm tra và hiệu chỉnh nhiệt kế).

DIN 43760: Standard Norm for Industrial Platinum Resistance Thermometer and Platinum Temperature sensors (Tiêu chuẩn định mức nhiệt kế điện trở platin và cảm biến nhiệt platin)

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau:

3.1 Quá trình biến cứng vật lý (Physical hardening)

Quá trình biến cứng phụ thuộc thời gian của nhựa đường là kết quả quá trình độ cứng tăng chậm theo thời gian khi nhựa đường được lưu trữ ở nhiệt độ thấp. Khi nhiệt độ tăng lên, sự gia tăng độ cứng do quá trình biến cứng vật lý có thể đảo ngược (giảm độ cứng).

3.2 Thử nghiệm uốn từ biến (Flexural creep)

Thử nghiệm trong đó một dầm giản đơn làm bằng nhựa đường có kích thước quy định, đặt trên các gối đỡ được gia tải với tải trọng không đổi ở điểm giữa của dầm và độ võng của dầm được đo theo thời gian gia tải.

3.3 Độ cứng chống uốn từ biến đo được, $S(t)$ (Measured flexural creep stiffness)

Tỷ số giữa ứng suất uốn lớn nhất trong dầm chia cho biến dạng uốn lớn nhất, ký hiệu là $S(t)$.

3.4 Độ cứng chống uốn từ biến tính toán, $S'(t)$ (Estimated creep stiffness)

Độ cứng từ biến thu được bằng cách lấy đa thức bậc hai của logarit độ cứng đo được ở 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s và logarit thời gian, ký hiệu là $S'(t)$ (điều A1.11.1, phụ lục A).

3.5 Độ mềm khi uốn từ biến, $D(t)$ (Flexural creep compliance)

Hệ số thu được khi lấy biến dạng uốn lớn nhất trong dầm chia cho ứng suất uốn lớn nhất, ký hiệu là $D(t)$. Hệ số $D(t)$ là giá trị nghịch đảo của $S(t)$.

3.6 Giá trị m (m - value)

Giá trị tuyệt đối độ dốc tại điểm thuộc đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa đường logarit độ cứng

từ biến và logarit thời gian.

3.7 Tải trọng tiếp xúc (Contact load)

Tải trọng cần có để duy trì tiếp xúc giữa dầm và trục gia tải, có giá trị (35 ± 10) mN.

3.8 Tải trọng ổn định (Seating load)

Tải trọng yêu cầu được duy trì trong thời gian 1 s để ổn định mẫu dầm, có giá trị (980 ± 50) mN.

3.9 Tải trọng thử nghiệm (Test load)

Tải trọng duy trì trong thời gian 240 s dùng để xác định độ cứng của mẫu thử nghiệm, có giá trị (980 ± 50) mN.

3.10 Thời điểm bắt đầu tính toán (Testing zero time,s)

Thời gian mà tại đó tín hiệu được truyền đến van điện từ để chuyển từ bộ điều chỉnh tải trọng tiếp xúc sang bộ điều chỉnh tải trọng thử nghiệm.

4 Tóm tắt phương pháp thử

4.1 Lưu biến kế dầm chịu uốn đo độ võng tại điểm giữa của dầm giản đơn khi chịu tác động của tải trọng không đổi ở giữa dầm. Thiết bị chỉ hoạt động ở chế độ gia tải, không thử nghiệm ở chế độ dỡ tải.

4.2 Dầm thử nghiệm được đặt trong bồn chất lỏng, được kiểm soát nhiệt độ và được gia tải với tải trọng không đổi trong thời gian 240 s. Tải trọng thử nghiệm (980 ± 50) mN và độ võng ở giữa dầm được giám sát theo thời gian thông qua một hệ thống thu thập dữ liệu trên máy vi tính.

4.3 Ứng suất uốn lớn nhất tại điểm giữa của dầm được tính từ kích thước của dầm, chiều dài nhịp, và tải trọng tác dụng tại các thời điểm 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s. Biến dạng uốn lớn nhất được tính thông qua kích thước của dầm và độ võng của dầm ở cùng các thời điểm tương tự nhau. Độ cứng của dầm theo thời gian gia tải quy định ở trên được tính bằng cách chia ứng suất uốn lớn nhất cho biến dạng uốn lớn nhất.

4.4 Giá trị lực và độ võng đo tại thời điểm 0 s và 0,5 s được báo cáo để nhằm xác minh là tải trọng thử nghiệm lớn nhất (980 ± 50) mN được áp dụng trong 0,5 s đầu tiên. Giá trị này không được sử dụng trong việc tính toán độ cứng và giá trị m, không nên được coi là đại diện cho đặc tính vật liệu. Thời gian để chất tải hoàn toàn có thể bị sai lệch do sự hoạt động không phù hợp của các bộ phận điều chỉnh áp suất, áp lực nén không khí không phù hợp, quá trình nén không khí có lỗi (xuất hiện lực ma sát) và các yếu tố khác. Từ những báo cáo tại thời điểm 0 s và 0,5 s người sử dụng các kết quả thử nghiệm có thể xác định các điều kiện khi tác dụng tải trọng.

5 Ý nghĩa sử dụng

5.1 Nhiệt độ thử nghiệm là nhiệt độ của mặt đường trong khu vực của dự án dự kiến sử dụng loại nhựa đường được thử nghiệm.

5.2 Độ cứng chống uốn từ biến hoặc độ mềm khi uốn từ biến được xác định từ thử nghiệm này mô tả đặc tính vật liệu ở nhiệt độ thấp và ứng xử ứng suất – biến dạng theo thời gian của nhựa đường trong giới hạn đàn - nhớt tuyến tính.

5.3 Các đặc tính nứt ở nhiệt độ thấp của hỗn hợp rải mặt đường có liên quan đến độ cứng từ biến và độ dốc của đường cong quan hệ giữa logarit độ cứng từ biến với logarit thời gian của nhựa đường dùng trong hỗn hợp.

5.4 Độ cứng từ biến và độ dốc của đường cong quan hệ giữa logarit độ cứng từ biến với logarit thời gian được sử dụng làm chỉ tiêu đặc trưng kỹ thuật của nhựa đường theo tiêu chuẩn AASHTO M320.

6 Thiết bị, dụng cụ

6.1 Hệ thống thử nghiệm lưu biến ké dầm chịu uốn (BBR) bao gồm:

(1) giá truyền tải cho phép dầm thử nghiệm, gối đỡ và phần dưới của giá thử nghiệm được đặt ngập trong bể chất lỏng được duy trì nhiệt độ không đổi;

(2) bể chất lỏng được điều chỉnh nhiệt độ để duy trì dầm thử nghiệm ở nhiệt độ thử nghiệm và tạo một lực nổi để cân bằng với tổng hợp lực từ khối lượng của dầm;

(3) một máy tính tự động kiểm soát các dữ liệu thu được;

(4) khuôn mẫu;

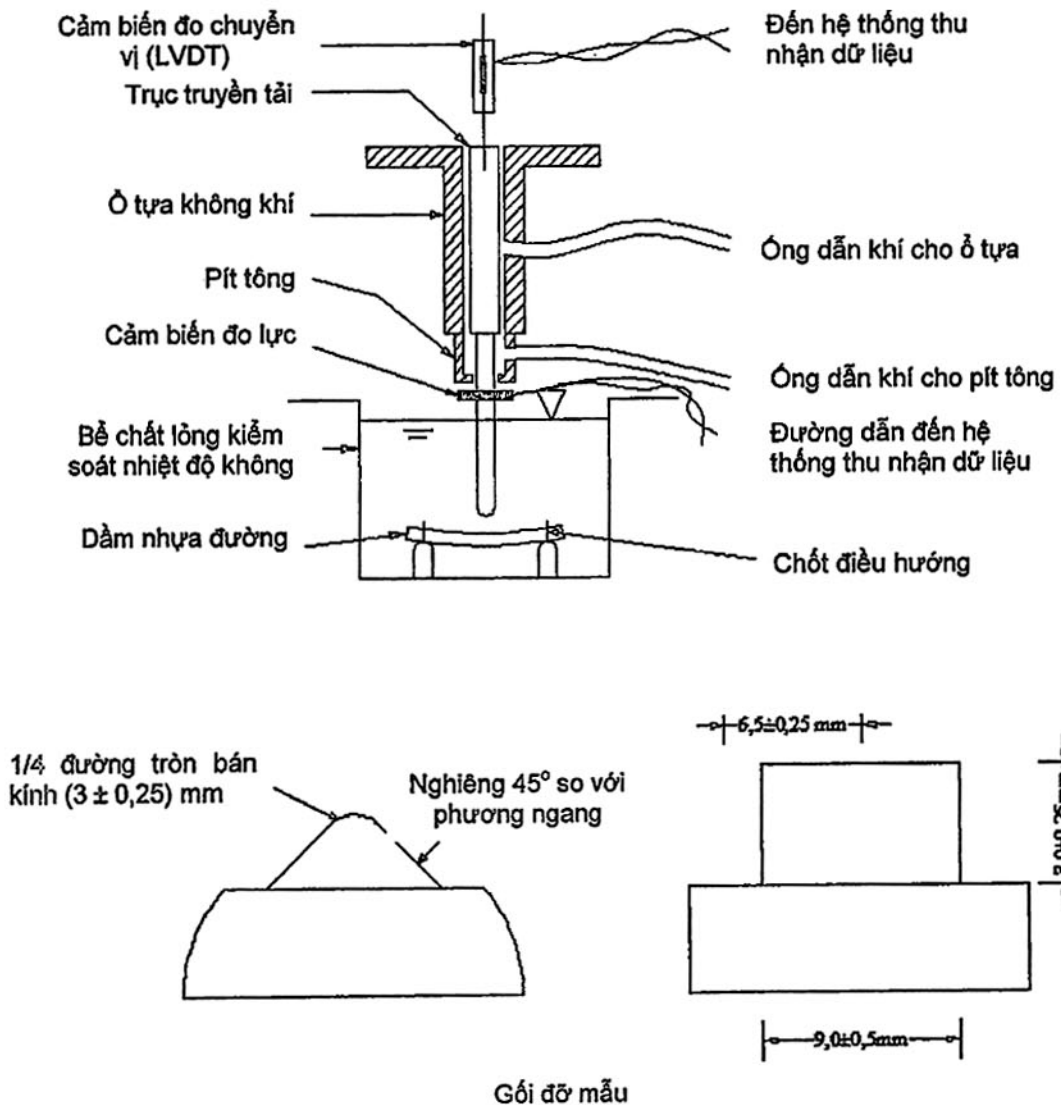
(5) các dụng cụ cần thiết để hiệu chuẩn và/hoặc kiểm tra lưu biến ké dầm chịu uốn.

6.1.1 Giá truyền tải – một giá bao gồm các gối đỡ mẫu, một trục truyền tải có đầu được vát tù dùng để truyền tải tại điểm giữa của mẫu thử nghiệm, một cảm biến đo lực được gắn trên trục truyền tải, một dụng cụ để điều chỉnh giá trị của tải tác dụng lên mẫu ban đầu về 0, một dụng cụ để gia tải không đổi lên trục truyền tải và một bộ chuyển đổi đo độ võng được kết nối vào trục truyền tải trọng. Sơ đồ của thiết bị được thể hiện trong Hình 1.

6.1.1.1 Hệ thống gia tải - hệ thống gia tải có khả năng tác dụng một tải trọng tiếp xúc là (35 ± 10) mN tới mẫu thử nghiệm và duy trì một tải trọng thử nghiệm là (980 ± 50) mN.

6.1.1.2 Những yêu cầu hệ thống truyền tải – thời gian tăng tải cho tải trọng thử nghiệm phải nhỏ hơn 0,5 s. Đây là thời gian cần thiết để tăng từ tải trọng tiếp xúc (35 ± 10) mN lên đến tải trọng thử nghiệm (980 ± 50) mN. Trong suốt thời gian tăng tải, hệ thống sẽ làm tăng và giữ ổn định tải trọng thử nghiệm (980 ± 50) mN. Từ 0,5 s đến 5 s, tải trọng thử nghiệm phải nằm trong khoảng ± 50 mN của tải trọng thử nghiệm trung bình và sau đó phải nằm trong khoảng ± 10 mN của tải trọng thử nghiệm trung bình.

6.1.1.3 Gối đỡ mẫu – đỉnh gối đỡ có bán kính bằng $(3 \pm 0,3)$ mm và nghiêng một góc 45° so với phương ngang (Hình 1). Các gối đỡ được làm bằng thép không gỉ (hoặc kim loại chống ăn mòn khác), đặt cách nhau (102 ± 1) mm. Chiều rộng của gối đỡ là $(9,5 \pm 0,25)$ mm. Điều này là cần thiết để đảm bảo rằng các cạnh của mẫu, kết quả từ quá trình đúc mẫu, không làm ảnh hưởng tới độ võng giữa nhịp của mẫu đo trong suốt quá trình thử nghiệm. Gối đỡ bao gồm cả các chốt định hướng đường kính $(2 + 4)$ mm được đặt ở mặt sau của mỗi gối đỡ mẫu ở vị trí $(6,75 \pm 0,25)$ mm từ điểm giữa của gối đỡ. Các chốt định hướng được đặt ở mặt sau của gối đỡ để căn chỉnh các mẫu vào điểm giữa của gối đỡ (Hình 1).



Hình 1 – Sơ đồ lưu biến kế dầm chịu uốn

6.1.1.4 Trục truyền tải – đầu mũi của trục truyền tải được vát tù với một điểm tiếp xúc hình cầu có bán kính $(6,25 \pm 0,3)$ mm liên kết với một cảm biến đo lực và một bộ chuyển đổi đo độ võng.

6.1.1.5 Cảm biến đo lực - có khả năng đo một lực tối thiểu là 2000 mN, có độ phân giải (độ nhạy) tối thiểu là 2,5 mN được gắn nối tiếp với trục truyền tải, được đặt ở bên trên chất lỏng để đo tải trọng tiếp xúc ban đầu và tải trọng thử nghiệm.

6.1.1.6. Cảm biến đo chuyển vị (LVDT) - cảm biến đo dịch chuyển hoặc dụng cụ thích hợp khác được gắn phía trên trục truyền tải, có khả năng nhận biết một chuyển động tuyến tính $\leq 2,5 \mu\text{m}$ với một biên độ ít nhất là 6 mm để đo độ võng của dầm thử nghiệm.

6.1.2 Bể chất lỏng kiểm soát nhiệt độ - bể chất lỏng được kiểm soát nhiệt độ có khả năng duy trì nhiệt độ ở tất cả các điểm trong bể giữa khoảng nhiệt độ (-36 ± 0) °C với sai số $\pm 0,1$ °C. Đặt mẫu thử đã làm lạnh vào trong bể có thể làm nhiệt độ dao động $\pm 0,2$ °C so với nhiệt độ thử nghiệm, do đó những biến động $\pm 0,2$ °C nhiệt độ trong bể so với điều kiện nhiệt độ của thử nghiệm là chấp nhận được.

6.1.2.1 Bộ phận khuấy – thiết bị để duy trì sự đồng nhất của nhiệt độ yêu cầu với tốc độ khuấy đủ để dòng chất lỏng không ảnh hưởng đến quá trình thử nghiệm và tiếng ồn do rung động nhỏ hơn độ nhạy quy định tại điều 6.1.3 .

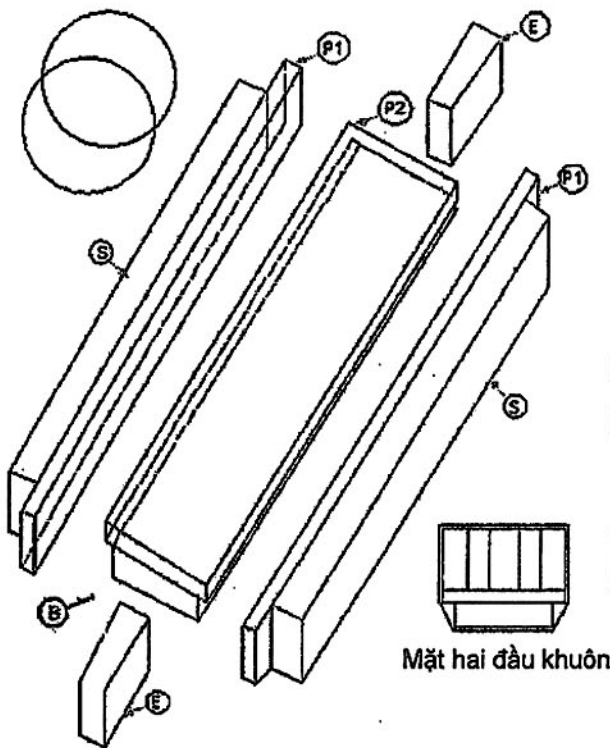
6.1.2.2 Bể tuần hoàn (không bắt buộc sử dụng) - bộ bể tuần hoàn tách rời với giá thử nghiệm, được sử dụng để bơm chất lỏng qua bể thử nghiệm. Nếu được sử dụng, những rung động từ hệ thống tuần hoàn phải được cách ly khỏi bể thử nghiệm để đảm bảo tiếng ồn máy móc là nhỏ hơn so với quy định tại điều 6.1.3 .

6.1.3 Hệ thống thu nhận dữ liệu – hệ thống thu thập dữ liệu có độ phân giải về lực đến 2,5 mN, về độ võng đến $2,5 \mu\text{m}$ và đến gần $\pm 0,1$ °C đối với nhiệt độ chất lỏng trong bể. Hệ thống sẽ cảm nhận được thời điểm khi tín hiệu được gửi đến các van điện tử để chuyển đổi tải trọng ban đầu (tải trọng tiếp xúc) đến tải trọng thử nghiệm. Đây là thời điểm bắt đầu tính toán (thời điểm 0). Sử dụng thời gian này như một số liệu tham khảo, hệ thống sẽ cung cấp một bản ghi tải trọng và độ võng đo được tương ứng với thời gian ấy. Hệ thống sẽ ghi lại các giá trị tải trọng và độ võng tại thời gian gia tải là 0 s; 0,5 s; 8 s; 15 s; 30 s; 60 s; 120 s và 240 s. Tất cả các giá trị được ghi sẽ được tính trung bình của ba (hoặc nhiều hơn) các giá trị nằm trong khoảng $\pm 0,2$ s của thời điểm đo lựa chọn. Ví dụ hệ thống sẽ sử dụng giá trị đo tại 7,8 s; 7,9 s; 8 s; 8,1 s và 8,2 s để tính giá trị tải trọng và độ võng tính trung bình của thời điểm đo 8 s. Bộ lọc tín hiệu làm trơn tín hiệu số hoặc tín hiệu analog (tín hiệu tương tự) đối với dữ liệu tải trọng và độ võng có thể được yêu cầu để loại bỏ sai số điện tử, nếu không những sai số này có thể ảnh hưởng đến khả năng để cho đa thức bậc hai ăn khớp với các dữ liệu có đủ độ chính xác, cung cấp một giá trị m đáng tin cậy. Các tín hiệu tải trọng và độ võng có thể được lọc bằng một bộ lọc tín hiệu analog băng tần số thấp hoặc bộ lọc kỹ thuật số mà có thể loại bỏ các tín hiệu tần số lớn hơn 4 Hz. Các giá trị trung bình sẽ được lấy ở thời điểm trong khoảng thời gian báo cáo nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,2$ s.

6.2 Thiết bị đo nhiệt độ - thiết bị đo nhiệt độ đã được hiệu chuẩn có khả năng đo chính xác đến 0,1 °C trong khoảng (-36 + 0) °C, được gắn trong khoảng 50 mm tại điểm giữa của các gối đỡ mẫu thử nghiệm.

CHÚ THÍCH 1. Thiết bị đo nhiệt độ có thể được thực hiện với một nhiệt kế điện trở platin được hiệu chỉnh phù hợp (RTD) hoặc điện trở nhiệt. Sự hiệu chuẩn nhiệt kế điện trở platin hoặc điện trở nhiệt có thể được kiểm tra theo điều 6.6. Nên sử dụng nhiệt kế RTD phù hợp với tiêu chuẩn DIN 43760 (loại A) cho việc đo nhiệt độ này. Độ chính xác và độ tin cậy yêu cầu chỉ đạt được khi mỗi RTD được hiệu chuẩn như một hệ thống với đồng hồ tương ứng của nó hoặc với mạch điện tử.

Các vòng cao su - chữ O



Các tấm kim loại (Mat'L – AL6061)

B: thanh đáy 6,35 mm x 19 mm x 165 mm

S: thanh bên 6,35 mm x 12,7 mm x 165 mm

E: các tấm 2 đầu 6,35 mm x 12,7 mm x 19 mm

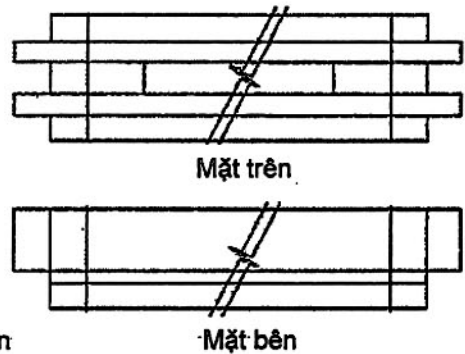
Các tấm bằng chất dẻo:

P1 12,7 mm x 178 mm

P2 19 mm x 165 mm

R: vòng cao su đường kính 18 mm

Chú dẫn: Các giá trị kính thước ở đây là kích thước danh định, cần chuẩn bị khuôn mẫu theo yêu cầu điều 6.3



Hình 2 – Khuôn đúc mẫu thử nghiệm bằng nhôm

6.3 Khuôn đúc mẫu thử nghiệm – khuôn đúc mẫu cần có kích thước phù hợp để mẫu thử nghiệm sau khi tháo khuôn có chiều dày ($6,35 \pm 0,05$) mm, chiều rộng ($12,7 \pm 0,05$) mm và chiều dài (127 ± 2) mm; khuôn được làm từ các tấm nhôm phẳng (Hình 2). Chiều dày của hai tấm đệm hai đầu khuôn (tấm nhỏ ở hai đầu của khuôn kim loại) được đo bằng vi trắc kế (dụng cụ đo vi lượng) và không được lệch nhau quá 0,05 mm.

CHÚ THÍCH 2. Những sai lệch nhỏ về chiều dày mẫu thử nghiệm có thể ảnh hưởng lớn đến mô đun tính toán của mẫu vì mô đun tính toán là hàm lũy thừa bậc 3 của chiều dày h.

6.4 Các dụng cụ dùng để kiểm tra và hiệu chuẩn thiết bị BBR bao gồm:

6.4.1 Dầm thép không gỉ (dày) dùng để hiệu chuẩn cảm biến đo lực – dầm thép không gỉ dài (127 ± 5) mm, rộng ($12,7 \pm 0,25$) mm, dày ($6,4 \pm 0,1$) mm.

6.4.2 Dầm thép không gỉ (mỏng) dùng để kiểm tra tổng thể hệ thống – dầm thép không gỉ dài (127 ± 5) mm, rộng ($12,7 \pm 0,1$) mm, dày ($1,3 \pm 0,3$) mm có giá trị mô đun đàn hồi được nhà sản xuất cung cấp với độ chính xác đến ba chữ số thập phân. Nhà sản xuất sẽ đo và cấp số liệu chiều dày của dầm chính xác đến 0,01 mm và chiều rộng của dầm chính xác đến 0,05 mm. Các kích thước này dùng để tính toán mô đun đàn hồi của dầm trong quá trình kiểm tra tổng thể hệ thống (Xem điều 10.3.1).

6.5 Các khối tải trọng tiêu chuẩn – một hoặc nhiều khối tải trọng tiêu chuẩn cần phải đạt được yêu cầu sau đây:

6.5.1 Kiểm tra sự hiệu chuẩn cảm biến đo lực – một hoặc nhiều khối tải trọng với tổng khối lượng ($100 \pm 0,2$) g và hai khối tải trọng với khối lượng ($2 \pm 0,2$) g (chú thích 3) được sử dụng khi kiểm tra sự hiệu chuẩn cảm biến đo lực.

CHÚ THÍCH 3. Bất kỳ vật thể nào đều có thể được sử dụng nếu khối lượng của nó thỏa mãn giá trị ($2 \pm 0,2$) g.

6.5.2 Hiệu chuẩn cảm biến đo lực – bốn khối tải trọng, mỗi khối tải trọng có khối lượng đã biết $\pm 0,2$ g, và tương đương với khoảng đo được trên dải đo tải trọng của cảm biến đo lực.

6.5.3 Kiểm tra hệ thống tổng thể hàng ngày – hai hoặc nhiều khối tải trọng có khối lượng đã biết $\pm 0,2$ g cần sử dụng cho kiểm tra hệ thống tổng thể như hướng dẫn của nhà sản xuất.

6.5.4 Độ chính xác của các khối tải trọng – độ chính xác của các khối tải trọng nói trên (điều 6.5) sẽ được kiểm tra ít nhất 3 năm 1 lần.

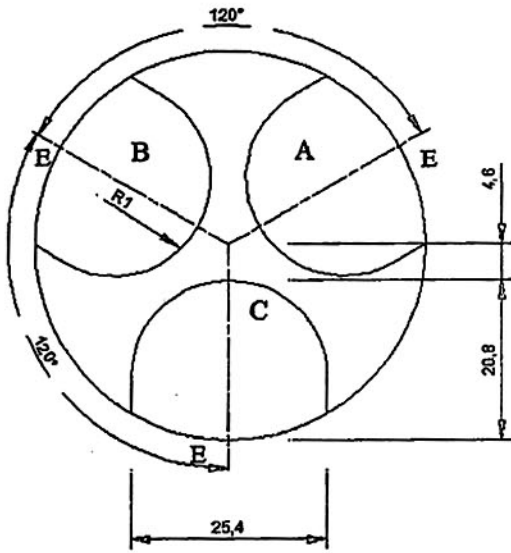
6.6 Nhiệt kế đã hiệu chuẩn – nhiệt kế chất lỏng trong ống thủy tinh đã hiệu chuẩn được sử dụng để hiệu chuẩn cảm biến nhiệt độ phải có khoảng chia là 0,1 °C. Nhiệt kế này sẽ được nhúng một phần vào môi trường với một điểm đóng băng và sẽ được hiệu chuẩn ít nhất 1 lần mỗi năm theo phương pháp ASTM E77. Một nhiệt kế phù hợp là nhiệt kế thủy ngân theo ASTM E1, loại 133C hoặc một nhiệt kế điện tử với độ chính xác tương đương.

6.7 Thiết bị đo chiều dày – thiết bị đo chiều dày có khác dùng để kiểm tra trong khi hiệu chuẩn cảm biến đo chuyển vị như được mô tả ở Hình 3.

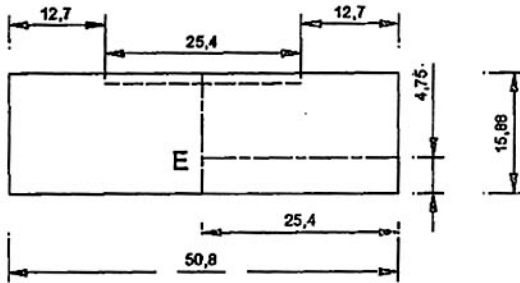
7 Yêu cầu về vật liệu

7.1 Tấm bằng chất dẻo - tấm nhựa trong, dày ($0,12 \pm 0,04$) mm, dùng để lót các mặt trong của ba phần khuôn nhôm dài. Các tấm này không bị biến dạng bởi nhựa đường nóng.

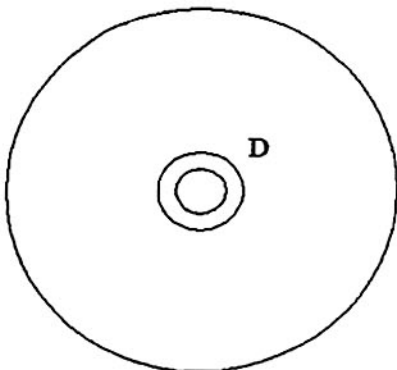
CHÚ THÍCH 4. Các tấm phim trong suốt dùng với mục đích in laze là phù hợp yêu cầu.



Hình chiếu bằng (nhìn từ bề mặt dụng cụ)



Hình chiếu cạnh (nhìn từ mặt bên dụng cụ, thẳng mỗi khác)



Hình chiếu bằng (nhìn từ đáy dụng cụ)

Chú dẫn: Các phần A, B và C là các khác với độ lõm tính từ bề mặt của thiết bị tương ứng là:

A: 1 mm (0,0394") \pm 0,01 mm;

B: 3 mm (0,1181");

C: 6 mm (0,2362");

Kích thước lỗ:

D: đường kính 4 mm x lõm sâu 7 mm, viền ngoài đường kính 6 mm x lõm sâu 0,8 mm;

E: khác, các khác kết thúc hình cầu có đường kính 2,4 mm; lõm sâu 1,52 mm. Ba vị trí thẳng hàng tương ứng với các mặt trên của khác.

Chú dẫn:

1. Mặt đáy là phẳng và song song với bề mặt;
2. Các đơn vị trong hình vẽ là mm trừ khi có các quy định khác

Hình 3 – Thiết bị đo chiều dày

7.2 Dầu bôi trơn – dầu bôi trơn được sử dụng để giữ các tấm nhựa liên kết với mặt bên trong của ba phần khuôn nhôm dãi.

CHÚ THÍCH 5. Cảnh báo: không được sử dụng sản phẩm có chứa silicon.

7.3 Hỗn hợp bột talc (hoạt thạch) và glycerin, sử dụng để phủ lên các tấm khuôn (ở hai đầu của khuôn nhôm).

CHÚ THÍCH 6. Có thể sử dụng hỗn hợp gồm 50 % khối lượng glycerin cấp USP và 50 % khối lượng talc cấp USP hoặc cao lanh.

7.4 Chất lỏng trong bể thử nghiệm – chất lỏng mà không bị hấp thụ hoặc không ảnh hưởng đến các đặc tính của nhựa đường được thử nghiệm. Khối lượng thể tích của chất lỏng không được vượt quá $1,05 \text{ g/cm}^3$ ở nhiệt độ thử nghiệm. Chất lỏng phải được nhìn xuyên qua rõ ràng ở mọi nhiệt độ thử nghiệm. Chất lỏng silicon hoặc hỗn hợp chứa silicon sẽ không được sử dụng.

CHÚ THÍCH 7. Chất lỏng phù hợp bao gồm ethanol, methanol, và hỗn hợp glycol - methanol (ví dụ 60 % glycol, 15 % methanol, 25 % nước).

8 Cảnh báo nguy hiểm

8.1 Tuân thủ quy trình an toàn trong phòng thử nghiệm tiêu chuẩn khi gia công nhựa nóng và chuẩn bị mẫu thử.

8.2 Bể chứa còn là chất lỏng dễ cháy và độc hại. Đặt bể được kiểm soát nhiệt độ trong một khu vực thông thoáng, xa nguồn bất lửa. Tránh hít hơi còn và tiếp xúc của chất lỏng trong bể với da.

8.3 Sự tiếp xúc giữa chất lỏng trong bể với da ở các nhiệt độ thấp được sử dụng trong phương pháp thử nghiệm này có thể gây ra sự tê cứng.

9 Chuẩn bị thiết bị, dụng cụ

9.1 Làm sạch các gối đỡ, đầu trực truyền tải và chất lỏng trong bể thử nghiệm.

CHÚ THÍCH 8. Do tính dòn của nhựa đường ở các nhiệt độ thử nghiệm quy định, các mảnh vỡ nhỏ của nhựa đường có thể có trong chất lỏng trong bể. Nếu các mảnh vỡ có mặt trên gối đỡ hoặc đầu trực truyền tải thì độ võng đo được sẽ bị ảnh hưởng. Các mảnh vỡ nhỏ, vì kích thước nhỏ của chúng, sẽ bị biến dạng dưới tải trọng và làm tăng thêm một độ võng biểu kiến của dầm. Lọc chất lỏng trong bể sẽ giúp giữ gìn độ sạch cần thiết.

9.2 Chọn nhiệt độ thử nghiệm và điều chỉnh chất lỏng trong bể để đạt được nhiệt độ đã chọn. Chờ cho đến khi nhiệt độ ổn định với sai số $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ so với nhiệt độ thử nghiệm trước khi tiến hành thử nghiệm.

9.3 Khởi động các hệ thống thu nhận dữ liệu và tải các phần mềm như được giải thích trong tài liệu hướng dẫn của nhà sản xuất cho hệ thống thử nghiệm.

10 Hiệu chuẩn thiết bị

10.1 Kiểm tra cảm biến chuyển vị, tải trọng và nhiệt độ như được mô tả trong các điều từ 10.2 đến 10.7. Mỗi bước hiệu chuẩn và tần suất thực hiện tối thiểu như được mô tả trong điều này. Các bước hiệu chuẩn bổ sung có thể được thực hiện theo khuyến cáo của nhà sản xuất. Quy trình hiệu chuẩn được mô tả trong Phụ lục A. Tùy lựa chọn của nhà sản xuất, các bước kiểm tra và hiệu chuẩn có thể được kết hợp với nhau.

10.2 Kiểm tra cảm biến nhiệt độ - mỗi ngày, trước khi tiến hành thử nghiệm và bất cứ khi nào nhiệt độ thử nghiệm bị thay đổi, cần thực hiện hiệu chuẩn cảm biến nhiệt độ bằng cách sử dụng nhiệt kế đã được hiệu chuẩn như được mô tả trong điều 6.6. Với khung gia tải đặt trong bể chất lỏng, ngâm nhiệt kế gần với cảm biến nhiệt độ đặt trong bể chất lỏng và so sánh giá trị nhiệt độ từ nhiệt kế với giá trị nhiệt độ hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu. Nếu giá trị nhiệt độ hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu nằm trong khoảng $\pm 0,1$ °C so với giá trị nhiệt độ trên nhiệt kế thì hiệu chuẩn đạt yêu cầu.

10.3 Kiểm tra ổ tựa không khí vận hành tự do - mỗi ngày, trước khi tiến hành thử nghiệm, phải xác minh ổ tựa không khí đang vận hành tự do, không có ma sát. Điều 10.3.1 và 10.3.2 sẽ được sử dụng để xác định trực tuyến tải động không chịu ma sát. Nếu kết quả kiểm tra không thỏa mãn yêu cầu của điều 10.3.1 và điều 10.3.2 tức là có tồn tại lực ma sát trong ổ tựa không khí. Cần làm sạch trực tuyến tải và điều chỉnh khoảng cách của cảm biến chuyển vị theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Nếu thao tác này không loại bỏ hết ma sát thì tạm dừng sử dụng thiết bị BBR và tư vấn nhà sản xuất.

CHÚ THÍCH 9. Ma sát có thể được hình thành do hiệu chuẩn không tốt cảm biến chuyển vị dẫn đến cọ sát với giá đỡ, sự tích tụ nhựa đường trên trục tải, do dầu hoặc các hạt khác trong quá trình cung cấp không khí và một số nguyên nhân khác.

10.3.1 Đặt dầm thép mỏng (điều 6.4.2) lên các gối đỡ mẫu, và tác động tải trọng với trị số (35 ± 10) mN lên dầm thép bằng thiết bị điều chỉnh không tải. Quan sát trị số đọc của LVDT được hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu. Nhẹ nhàng giữ trục và nâng nó lên khoảng 5 mm bằng cách quan sát trị số đọc của LVDT. Khi trục được thả ra nó sẽ ngay lập tức hạ xuống và tiếp xúc với dầm thép.

10.3.2 Nhắc các dầm thép khỏi gối đỡ. Sử dụng thiết bị điều chỉnh không tải để điều chỉnh trực tuyến tải sao cho trục có thể nổi tự do tại khoảng giữa trên hành trình thẳng đứng của nó. Nhẹ nhàng tác động tải trọng (đặt nhẹ quả nặng) 2 g vào trục truyền tải. Trục truyền tải sẽ hạ xuống từ từ dưới tác động của tải trọng.

10.4 Kiểm tra cảm biến chuyển vị - mỗi ngày, trước khi tiến hành thử nghiệm, cần hiệu chuẩn cảm biến chuyển vị bằng một hộp cảm biến dạng bánh răng (cảm biến đa bậc) có kích thước như Hình 3, với giá đỡ tải được định vị trong bể chứa ở nhiệt độ thử nghiệm. Di chuyển toàn bộ dầm (cần) thép khỏi gối đỡ và đặt hộp cảm biến trên bề mặt phía dưới trục truyền tải theo như bản hướng dẫn của nhà sản xuất. Tác dụng khối tải trọng có khối lượng $(100 \pm 0,2)$ g lên trục truyền tải và đo độ chênh cao giữa bánh răng với cảm biến chuyển vị. So sánh giá trị thu được bởi hệ thống thu thập dữ liệu với kích thước đã biết

của cảm biến dạng bánh răng. Nếu hai số liệu không lệch nhau quá $\pm 5 \mu\text{m}$ thì hiệu chuẩn đã đạt yêu cầu. Thực hiện hiệu chuẩn và lặp lại các bước trong điều 10.2. Nếu không đạt các yêu cầu ở điều 10.2 thì dừng sử dụng thiết bị và liên hệ với nhà sản xuất.

10.5 Kiểm tra tổng thể hệ thống hàng ngày – mỗi ngày, trước khi tiến hành thử nghiệm và với giá đỡ tải trọng được định vị trong bể chứa cần tiến hành kiểm tra sự vận hành tổng thể của hệ thống. Đặt một dầm thép mỏng không gỉ dày $(1,3 \pm 0,3)$ mm đã biết mô đun như được trình bày ở điều 6.4.2 lên các gối tựa. Theo hướng dẫn của nhà sản xuất, đặt dầm lên gối tựa và đặt lên dầm một tải trọng ban đầu có khối lượng là 50 g hoặc $(100 \pm 0,2)$ g (491 mN hoặc 981 mN ± 2 mN) để chắc chắn rằng dầm thép tiếp xúc tốt và kết nối chắc chắn với các gối đỡ. Theo hướng dẫn của nhà sản xuất, tác dụng thêm lên dầm tải trọng thứ hai có khối lượng từ 100 g đến $(300 \pm 0,2)$ g. Phần mềm được cung cấp bởi nhà sản xuất sẽ sử dụng giá trị thay đổi của tải trọng và độ võng để tính mô đun của dầm với 3 chữ số có nghĩa sau dấu phẩy. Giá trị mô đun được đưa ra bởi phần mềm phải nằm trong giới hạn sai số khoảng 10 % so với giá trị mô đun được đưa ra bởi nhà sản xuất dầm thép. Nếu không, sự vận hành tổng thể của thiết bị BBR phải dừng lại và cần liên hệ với nhà sản xuất.

10.6 Kiểm tra cảm biến đo lực – kiểm tra sự hiệu chuẩn cảm biến đo lực tiến hành như sau:

10.6.1 Tải trọng tiếp xúc – mỗi ngày, thực hiện việc kiểm tra sự hiệu chuẩn cảm biến đo lực trong thang đo của tải trọng tiếp xúc. Đặt dầm thép mềm không gỉ có chiều dày 6,4 mm (điều 6.4.1) lên các gối đỡ. Tác động tải trọng với trị số (20 ± 10) mN lên dầm bằng cách sử dụng bộ điều chỉnh áp lực không tải. Cho thêm vật nặng có khối lượng $(2 \pm 0,2)$ g như được nêu ở điều 6.5.1 lên bàn gia tải. Tải trọng tăng thêm được hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu sẽ là (20 ± 5) mN. Tác động thêm vật nặng thứ hai cũng với khối lượng $(2 \pm 0,2)$ g lên bàn gia tải. Tải trọng tăng thêm được hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu sẽ là (20 ± 5) mN. Nếu trị số tăng thêm của tải trọng được hiển thị không phải là (20 ± 5) mN thì hiệu chuẩn đạt yêu cầu. Sau khi hiệu chuẩn, nếu không đạt yêu cầu như đã đưa ra ở điều 10.6.1 thì dừng sử dụng thiết bị và liên hệ với nhà sản xuất.

10.6.2 Tải trọng thử nghiệm - mỗi ngày, trước khi tiến hành thử nghiệm, cần xác minh sự chuẩn hóa của cảm biến đo lực trong thang đo của tải trọng thử. Đặt một dầm thép mềm không gỉ có chiều dày 6,4 mm (điều 6.4.1) lên gối đỡ. Sử dụng bộ điều chỉnh không tải (tải trọng tiếp xúc) để tác động một tải trọng (20 ± 10) mN lên dầm thép. Đặt thêm một vật nặng có khối lượng 100 g lên bàn gia tải. Trị số tải trọng tăng lên được hiển thị trên hệ thống thu thập dữ liệu sẽ là (981 ± 5) mN. Nếu không, cần hiệu chuẩn cảm biến đo lực. Nếu không đạt yêu cầu của điều 10.6.2 sau khi hiệu chuẩn thì phải dừng sử dụng thiết bị và liên hệ với nhà sản xuất.

10.7 Kiểm tra độ hướng trục của trục truyền tải - 6 tháng một lần, cần kiểm tra độ hướng trục của trục truyền tải với điểm giữa của các gối đỡ mẫu bằng một cảm biến hướng trục được cung cấp bởi nhà sản xuất hoặc được đo như sau: cắt một băng (dải) giấy trắng dài 25 mm và hẹp hơn bề rộng của dầm

thép một chút. Dính băng giấy vào giữa dầm thép bằng băng dính. Di chuyển giàn khung ra khỏi bể chứa, đặt dầm thép trên các gối tựa và đặt một mảnh giấy than nhỏ lên trên băng giấy. Với áp suất không khí được áp dụng cho ổ tựa không khí, ấn trực truyền tải xuống mảnh giấy than để tạo dấu ấn trên băng giấy trắng. Lấy dầm thép ra và đo khoảng cách từ điểm giữa dấu ấn đến mỗi bên mép của dầm bằng một cặp thước có du xích. Nếu hai giá trị lệch nhau 1 mm hoặc nhỏ hơn tức là đạt yêu cầu, ngược lại cần liên hệ với nhà sản xuất để hiệu chuẩn thiết bị.

11 Chuẩn bị khuôn và mẫu thử

11.1 Quét một lớp rất mỏng dầu (hay mỡ) ở mặt trong ba thanh dài của khuôn vừa đủ để giữ được tấm nhựa mỏng vào mặt khuôn nhôm. Đặt tấm nhựa mỏng lên mặt khuôn nhôm và miết tấm chất dẻo bằng áp lực ngón tay. Ghép nối các tấm của khuôn lại với nhau bằng vòng cao su chữ O (Hình 2). Kiểm tra khuôn và ấn tấm nhựa áp chặt vào khuôn nhôm để đẩy bong bóng khí ra ngoài. Nếu bong bóng khí vẫn còn thì tháo khuôn nhôm ra và quét lại bề mặt các tấm bằng dầu hay mỡ. Phủ các mặt trong của hai tấm nhỏ ở hai đầu khuôn bằng glycerin và hoạt thạch (talc) để ngăn nhựa đường dính với hai tấm khuôn. Sau khi lắp, giữ khuôn ở nhiệt độ phòng chờ tới khi rót nhựa đường.

CHÚ THÍCH 10. Chiều dày của tấm mẫu được điều chỉnh bởi hai tấm nhỏ phía hai đầu khuôn. Chiều dày của hai tấm nhỏ cần được đo trước khi tạo mẫu để đảm bảo yêu cầu theo điều 6.3. Độ cứng sẽ tỷ lệ với lũy thừa bậc ba của chiều dày.

11.2 Nếu nhựa đường được thử nghiệm chưa bị lão hóa thì mẫu thử nghiệm được chuẩn bị theo AASHTO T40.

11.3 Khử khí trước khi thử nghiệm – nếu nhựa đường được thử nghiệm theo AASHTO T314 (DT) và đã được làm già hóa theo TCVN 11710 và AASHTO R28 (PAV) thì cần khử khí cho nhựa đường theo AASHTO R28 trước khi thử nghiệm. Ngoài ra, việc khử khí cho nhựa đường trước thử nghiệm là không cần thiết.

11.4 Dùng tủ sấy gia nhiệt cho nhựa đường ở nhiệt độ nhỏ nhất và thời gian ngắn nhất sao cho nó đủ lỏng để rót vào khuôn.

CHÚ THÍCH 11. Nhiệt độ rót nhỏ nhất là nhiệt độ tạo ra độ sệt tương đương với độ sệt của dầu động cơ SAE 10W30 ở nhiệt độ phòng (dễ dàng để rót mà không quá lỏng). Trong tất cả các trường hợp, thời gian gia nhiệt nên được giảm thiểu. Các lưu ý trên giúp hạn chế sự hóa cứng do oxy hóa và giảm mất mát do bay hơi, đây là những nguyên nhân thúc đẩy sự hóa cứng của mẫu nhựa đường. Trong quá trình gia nhiệt, mẫu nhựa đường nên được che phủ và đôi khi được khuấy đều để đảm bảo tính đồng nhất.

11.5 Đúc mẫu – rót nhựa đường dọc từ đầu này tới đầu kia của khuôn cho tới khi đầy hơn mặt khuôn một chút. Khi rót, giữ bình chứa nhựa cao hơn mặt khuôn (20 + 100) mm, rót liên tục theo một hướng từ đầu này tới đầu kia của khuôn. Để khuôn có mẫu ở nhiệt độ phòng khoảng (45 + 60) min sau đó cắt phẳng mặt mẫu theo khuôn bằng dao nung nóng hoặc dao trộn đã được gia nhiệt.

11.6 Giữ nguyên mẫu thử nghiệm trong khuôn ở nhiệt độ phòng tới khi thử nghiệm. Thử nghiệm được tiến hành sao cho công việc được hoàn toàn kết thúc trong vòng 4 h kể từ khi rót nhựa đường vào khuôn để tạo mẫu.

CHÚ THÍCH 12. Hiện tượng độ cứng của mẫu tăng lên theo thời gian, có thể xuất hiện khi nhựa đường được lưu trữ ở nhiệt độ phòng ngay cả trong khoảng thời gian ngắn. Đây là kết quả của sự liên kết phân tử và được đề cập đến trong các tài liệu như sự tăng bền (đông đặc, hóa cứng).

11.7 Ngay trước khi tiến hành thử nghiệm, làm lạnh khuôn nhôm chứa mẫu thử nghiệm trong bể đông hoặc bể đá ở $(-12 \pm +2)^\circ\text{C}$ trong (5 ± 10) min, đủ làm cứng mẫu nhựa đường để có thể tháo khuôn mà không gây bất kỳ biến dạng nào cho mẫu (chú thích 8). Với một số loại nhựa có tính mềm dẻo hơn thì cần làm lạnh ở nhiệt độ thấp hơn. Không được làm lạnh khuôn chứa mẫu trong bể thử nghiệm bởi nó có thể gây lên sự biến đổi nhiệt độ trong bể lên tới hơn $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

CHÚ THÍCH 13. Việc sử dụng nhiệt độ quá thấp để làm lạnh mẫu có thể gây nên sự hóa cứng không mong muốn đối với mẫu thử nghiệm và nó làm thay đổi kết quả thử nghiệm.

11.8 Việc tháo khuôn ngay khi mẫu đạt độ cứng phù hợp giúp cho mẫu không bị biến dạng trong quá trình tháo khuôn. Loại bỏ tấm bằng chất dẻo lót mặt khuôn nếu chúng bị biến dạng.

CHÚ THÍCH 14. Phải đảm bảo biến dạng là nhỏ nhất có thể trong suốt quá trình tháo khuôn. Sự tiếp xúc hoàn toàn giữa mẫu và gối đỡ phải được tính đến trong quá trình phân tích. Một mẫu thử nghiệm bị cong (biến dạng) sẽ cho giá trị độ cứng nhỏ hơn so với độ cứng thực tế của vật liệu.

12 Trình tự thử nghiệm

12.1 Khi tiến hành thử nghiệm trên mẫu nhựa đường theo tiêu chuẩn AASHTO M320 cần lựa chọn nhiệt độ thử nghiệm thích hợp theo tiêu chuẩn đó. Sau khi tháo khuôn, đặt ngay mẫu vào bể thử nghiệm và ngâm mẫu ở nhiệt độ thử nghiệm trong khoảng (60 ± 5) min.

CHÚ THÍCH 15. Nhựa đường có thể hóa cứng nhanh ở nhiệt độ thấp. Hiệu ứng này được gọi là biến cứng vật lý và nó sẽ thay đổi ngược lại khi nhựa đường được gia nhiệt đến nhiệt độ phòng hoặc lớn hơn một chút. Do hóa cứng vật lý, thời gian ngâm mẫu phải được kiểm soát chặt chẽ nếu gặp phải hiện tượng này nhiều lần (để đạt được kết quả như khi mẫu không bị hóa cứng).

12.2 Kiểm tra tải trọng tiếp xúc và tải trọng thử nghiệm - kiểm tra việc hiệu chuẩn đối với tải trọng tiếp xúc và tải trọng thử nghiệm trước khi tiến hành thử nghiệm mỗi tổ mẫu thử nghiệm. Dầm thép không gỉ có chiều dày 6,35 mm được sử dụng trong công tác kiểm tra này.

CHÚ THÍCH 16. Không được tiến hành thao tác kiểm tra này bằng dầm thép mỏng hoặc bằng mẫu nhựa thử nghiệm.

12.2.1 Đặt dầm thép đúng vị trí lên trên các gối tựa. Sử dụng van điều chỉnh tải trọng, tăng từ từ tải trọng tác dụng lên dầm cho tới giá trị (980 ± 50) mN.

12.2.2 Chuyển từ tải trọng thử nghiệm sang tải trọng tiếp xúc và điều chỉnh tải trọng tác dụng lên dầm tới giá trị (35 ± 10) mN. Tiến hành chuyển 4 lần giữa tải trọng thử nghiệm và tải trọng tiếp xúc.

12.2.3 Trong khi luân chuyển giữa tải trọng thử nghiệm và tải trọng tiếp xúc, theo dõi trực tải và bàn gia tải để kiểm tra chuyển động thẳng đứng. Trực truyền tải sẽ duy trì sự tiếp xúc với dầm thép khi thay đổi giữa tải trọng tiếp xúc và tải trọng thử lúc hai tải trọng này đạt giá trị tương ứng từ (35 ± 10) mN đến (980 ± 50) mN.

12.2.4 Hoạt động hiệu chuẩn – nếu yêu cầu ở các điều từ 12.2.1 đến 12.2.3 không đạt được, thiết bị có thể được hiệu chuẩn lại theo hướng dẫn của nhà sản xuất hoặc trực truyền tải cần được làm sạch và thẳng (hướng trục) theo yêu cầu (điều 10.3). Nếu yêu cầu từ các điều 12.2.1 đến 12.2.3 không đạt sau khi thực hiện các thao tác hiệu chuẩn, làm sạch hoặc một số hoạt động hiệu chuẩn khác thì phải dừng sử dụng thiết bị và liên hệ với nhà sản xuất.

12.3 Cài đặt vào máy tính điều khiển hệ thống thử nghiệm: thông số của mẫu, tải trọng thử nghiệm, nhiệt độ thử nghiệm, thời gian ngâm mẫu ở nhiệt độ thử nghiệm và những thông tin cần thiết khác.

12.4 Sau khi ngâm mẫu (bảo dưỡng), đặt mẫu lên các gối tựa và tiến hành gia tải liên tục trong quá trình thử nghiệm. Duy trì nhiệt độ trong bể thử nghiệm ở giá trị nhiệt độ thử nghiệm $\pm 0,1$ °C trong suốt quá trình thử nghiệm. Nếu không, thử nghiệm được coi là không đạt yêu cầu.

12.5 Bằng tay tác động một tải trọng tiếp xúc (35 ± 10) mN vào mẫu dầm để chắc chắn rằng mẫu dầm và đầu trực truyền tải đạt được tiếp xúc hoàn toàn sau không quá 10 s. Tải trọng tiếp xúc đã quy định cần được tác động để đảm bảo sự tiếp xúc liên tục giữa trực truyền tải và gối tựa và mẫu dầm. Sai sót trong thiết lập sự tiếp xúc liên tục trong khoảng tải trọng yêu cầu sẽ dẫn đến những kết quả sai lệch. Tải trọng tiếp xúc sẽ được tác động bằng cách tăng dần tải trọng lên tới (35 ± 10) mN. Trong khi tác động tải trọng tiếp xúc, tải trọng tác dụng trên dầm sẽ không vượt quá giá trị 45 mN, thời gian tác động và điều chỉnh tải trọng tiếp xúc không được vượt quá 10 s.

12.6 Khởi động hệ thống thử nghiệm tự động đã được thiết lập theo các bước sau:

12.6.1 Ngay sau khi tác động tải trọng tiếp xúc 35 mN, tăng tải trọng từ (35 ± 10) mN lên tải trọng cố định có giá trị (980 ± 50) mN trong $(1 \pm 0,1)$ s.

CHÚ THÍCH 17. Tải trọng cố định được mô tả trong điều 12.6.1 và 12.6.2 được tác động và tháo dỡ tự động bằng hệ thống tải trọng được kiểm soát trên máy tính và rất rõ ràng (dễ hiểu) đối với người điều khiển (vận hành). Dữ liệu không được ghi lại trong thời gian gia tải ban đầu.

12.6.2 Giảm tải trọng xuống còn (35 ± 10) mN và để cho mẫu dầm phục hồi trong $(20 \pm 0,1)$ s.

12.6.3 Áp dụng dải (khoảng) tải trọng thử nghiệm như được quy định ở điều 6.1.1.2.

CHÚ THÍCH 18. Tải trọng thực tế tác dụng lên mẫu dầm được đo bởi cảm biến đo lực được sử dụng để tính ứng suất xuất hiện trong dầm. Tải trọng cố định ban đầu (980 ± 50) mN và tải trọng thử nghiệm bao gồm cả tải trọng

tác động trước có giá trị (35 ± 10) mN.

12.6.4 Dỡ tải và kết thúc thử nghiệm.

12.6.5 Khi dỡ bỏ tải trọng cố định ban đầu và lúc kết thúc thử nghiệm, kiểm soát màn hình máy tính để xác định rằng tải trọng trên dầm giảm trở lại còn (35 ± 10) mN. Nếu tải trọng trên dầm không giảm trở lại còn (35 ± 10) mN thì thử nghiệm không đạt yêu cầu và lưu biên kế này cần được hiệu chuẩn lại.

12.7 Lấy mẫu thử nghiệm khỏi các gối tựa và tiến hành chuẩn bị cho thử nghiệm tiếp theo.

13 Xử lý số liệu và tính toán kết quả

Xem phụ lục A.

14 Báo cáo kết quả thử nghiệm

14.1 Dữ liệu báo cáo như thể hiện ở Bảng 1 mô tả cho từng thử nghiệm riêng lẻ, bao gồm:

14.1.1 Nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất của bề thử nghiệm được đo trong 240 s với khoảng dẫn cách thu kết quả là 1 s, độ chính xác tới $0,1$ °C;

14.1.2 Ngày và thời gian khi bắt đầu tác động tải trọng;

14.1.3 Tên của thư mục chứa dữ liệu thử nghiệm;

14.1.4 Tên của người thực hiện thử nghiệm (điều khiển);

14.1.5 Số hiệu của mẫu;

Bảng 1 - Báo cáo thử nghiệm điển hình

Thông số thử nghiệm						
Dự án	Thử nghiệm	Nhiệt độ mục tiêu	23 °C	Thử nghiệm xác nhận	2,199e+008	
Người thực hiện	JSY	Nhiệt độ thực tế	14,8 °C	Ngày	09/17/93	
Mẫu thử nghiệm	Dầm dẽo B	Thời gian ngâm nước	0 s	Hằng số tải trọng	0,24	
Thời gian	11:47:03	Bề rộng dầm	12,7 mm	Hằng số độ võng	0,0024	
Ngày	09/18/93	Chiều dày dầm	6,35 mm	Ngày	09/17/93	
File	0818934.DAT					
Kết quả						
Thời gian	Lực	Độ võng	Độ cứng đo	Độ cứng tính	Chênh lệch	Giá trị

t (s)	P (N)	d (mm)	được S(t) (kPa)	toán S'(t) (kPa)	(%)	m
8	0,9859	0,9126	87030	87060	0,03532	0,176
15	0,9894	1,022	77990	77930	-0,01812	0,175
30	0,9913	1,158	68690	68990	0,04809	0,175
60	0,9910	1,308	61110	61110	0,004487	0,174
120	0,9908	1,475	54150	54150	-0,001551	0,174
240	0,9906	1,664	48010	48000	-0,005077	0,174

Hệ số hồi quy:
 $A = 5,1$ $B = -0,1784$ $C = 0,00102$ $R^2 = 0,999996$
 - Lưu biến kế đảm chịu uốn - P để in ấn - ESC để tiếp tục

14.1.6 Thời gian ngâm mẫu trong bể ổn nhiệt;

14.1.7 Thời gian bắt đầu thử nghiệm;

14.1.8 Bất kỳ báo hiệu (tín hiệu) được đưa ra bởi phần mềm trong quá trình thử nghiệm;

14.1.9 Hệ số xác định, R^2 , giữa logarit của độ cứng và logarit của thời gian được biểu thị với độ chính xác 0,000001;

14.1.10 Những nhận xét nhỏ (không quá 256 ký tự);

14.1.11 Báo cáo các hằng số A, B và C với ba chữ số có nghĩa;

14.1.12 Độ chênh lệch giữa giá trị độ cứng đo được và độ cứng tính toán được tính như sau: (độ cứng tính toán - độ cứng đo được) x100 % / độ cứng đo được.

14.2 Báo cáo tải trọng và độ võng tại thời điểm ban đầu 0 s và 0,5 s.

14.3 Báo cáo số liệu như Bảng 1 tại các thời điểm 8 s; 15 s; 30 s; 60 s; 120 s và 240 s bao gồm:

14.3.1 Thời gian gia tải, chính xác tới 0,1 s;

14.3.2. Tải trọng, chính xác tới 1 mN;

14.3.3 Độ võng của dầm, chính xác tới 1 μm ;

14.3.4 Mô đun độ cứng đo được, MPa, lấy với 3 chữ số có nghĩa;

14.3.5 Mô đun độ cứng tính toán, MPa, với 3 chữ số có nghĩa;

14.3.6 Chênh lệch giữa độ cứng tính toán và độ cứng đo được với đơn vị phần trăm;

14.3.7 Giá trị m tính toán, độ chính xác tới 0,001;

14.3.8 Các hệ số hồi quy và hệ số xác định R^2 (tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu).

15 Độ chụm và độ lệch cho phép

15.1 Độ chụm – tiêu chuẩn quy định để chấp nhận kết quả đã thu được của độ dốc và độ cứng từ biến theo phương pháp thử nghiệm này đã cho ở Bảng 2.

15.1.1 Sai số do thí nghiệm viên – trong cột thứ 2 của Bảng 2 là hệ số biến sai được tìm ra tương ứng với những điều kiện thử nghiệm ghi ở cột 1. Hai kết quả thu được từ cùng một phòng thử nghiệm, được thực hiện bởi cùng một thử nghiệm viên với cùng một thiết bị với khoảng thời gian dẫn cách thực hiện ngắn nhất được xem là không đạt yêu cầu khi sự chênh lệch giữa hai kết quả - được tính bằng tỷ lệ phần trăm so với giá trị trung bình của hai kết quả, vượt quá giá trị quy định tại cột 3 của Bảng 2.

15.1.2 Sai số giữa các phòng thử nghiệm - ở cột thứ 2 của Bảng 2 là hệ số biến đổi được tìm ra tương ứng với những điều kiện thử nghiệm ghi ở cột 1. Hai kết quả được đưa ra bởi hai thử nghiệm viên tiến hành thử nghiệm trên cùng một loại vật liệu ở hai phòng thử nghiệm khác nhau sẽ được coi là không đạt yêu cầu nếu sự chênh lệch giữa hai kết quả, được tính theo tỷ lệ phần trăm so với giá trị trung bình, vượt quá trị số quy định ở cột 3 của Bảng 2.

Bảng 2 - Quy định về độ chụm (khi thử nghiệm)

Điều kiện thử nghiệm	Hệ số biến sai, (1s) ^a (% của giá trị trung bình)	Giới hạn chấp thuận của hai kết quả thử nghiệm, (d2s) ^a (% của giá trị trung bình)
Sai số do một thí nghiệm viên		
Độ cứng từ biến (MPa)	2,5	7,2
Độ dốc (giá trị m)	1,0	2,9
Sai số giữa các phòng thử nghiệm		
Độ cứng từ biến (MPa)	6,3	17,8
Độ dốc (giá trị m)	2,4	6,8
Những giá trị mô tả giới hạn 1s% và d2s% được xác định theo ASTM C670		

CHÚ THÍCH 19. Việc quy định sai số được đưa ra ở Bảng 2 là dựa trên cơ sở phân tích kết quả từ tám cặp mẫu thử nghiệm đạt tiêu chuẩn (AMRL). Dữ liệu về 8 cặp mẫu phục vụ phân tích được lấy từ 174 + 196 phòng thử nghiệm khác nhau. Thực hiện phân tích trên 5 cấp nhựa đường: PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22, và PG 76-22 (SBS - nhựa đường cải tiến). Trị số độ cứng từ biến trung bình thay đổi từ 125,4 + 236,8 MPa. Giá trị độ dốc trung bình (m) thay đổi từ 0,308 + 0,374. Các chi tiết của sự phân tích này có trong báo cáo cuối cùng của NCHRP, phần 3 dự án số 9 - 26.

CHÚ THÍCH 20. Như một ví dụ, hai thử nghiệm tiến hành với cùng loại vật liệu thu được hai giá trị độ cứng từ biến là 190,3 MPa và 200,7 MPa. Giá trị trung bình của hai kết quả là 195,5 MPa. Trị số độ lệch chấp nhận được

là $7,2\% \times 195,5 = 14,1$ MPa. VI độ lệch giữa 190,3 MPa và 200,7 MPa ($200,7 - 190,3 = 10,4$ MPa) nhỏ hơn 14,1 MPa nên kết quả thử nghiệm đạt yêu cầu.

15.2 Sai số hệ thống – không có thông tin nào trình bày về sai số hệ thống của quy trình thử nghiệm vì không có vật liệu nào có một giá trị chuẩn để so sánh.

Phụ lục A
(Quy định)

A1.1 Hiệu chuẩn cảm biến chuyển vị, để hiệu chuẩn cảm biến chuyển vị sử dụng hộp cảm biến bậc thang với kích thước như được mô tả ở Hình 3. Với khung gia tải được định vị trong bể ở nhiệt độ thử nghiệm, di chuyển tất cả các đảm khối các gối tựa và đặt hộp cảm biến bậc thang lên bàn gia tải bên dưới trực truyền tải theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Tác dụng một tải trọng với trị số 100 g lên trục gia tải và đọc trị số thu được từ cảm biến chuyển vị tương ứng cho mỗi bậc. Phần mềm do nhà sản xuất cung cấp sẽ chuyển đổi trị số đo thành hằng số hiệu chuẩn với đơn vị $\mu\text{m/bit}$ và lấy ba chữ số có nghĩa sau đó sẽ tự động cài đặt hằng số mới vào phần mềm. Hằng số này không được lệch quá 10 % giữa các lần hiệu chuẩn, nếu không sẽ phải dừng vận hành hệ thống thử nghiệm.

A1.2 Hiệu chuẩn cảm biến đo lực, để hiệu chuẩn cảm biến đo lực theo hướng dẫn của nhà sản xuất cần sử dụng ít nhất bốn giá trị tải trọng phân bố đều trong khoảng đo được của cảm biến đo lực. Phần mềm do nhà sản xuất cung cấp sẽ chuyển đổi trị số đo thành hằng số hiệu chuẩn với đơn vị mN/bit và lấy ba chữ số có nghĩa sau đó sẽ tự động cài đặt hằng số mới vào phần mềm. Hằng số này không được lệch quá 10 % giữa các lần hiệu chuẩn, nếu không sẽ phải dừng vận hành hệ thống thử nghiệm. Lập lại quy trình hiệu chuẩn mỗi khi thay đổi nhiệt độ thử nghiệm.

A1.3 Hiệu chuẩn cảm biến nhiệt độ, để hiệu chuẩn cảm biến nhiệt độ sử dụng nhiệt kế hiệu chuẩn có khoảng chia phù hợp với quy định tại điều 10.2. Ngâm nhiệt kế vào bồn chất lỏng ở vị trí gần với cảm biến nhiệt độ và so sánh giá trị nhiệt độ thu được từ nhiệt kế và từ bộ cảm biến. Nếu giá trị thu được từ cảm biến lệch quá $\pm 0,1$ °C so với giá trị thu được từ nhiệt kế thì điều chỉnh nhiệt độ hiển thị từ cảm biến theo giá trị thu được từ nhiệt kế.

A1.4 Xác định sự phù hợp (tính hợp lý) của hệ thống, để xác định tính phù hợp của hệ thống theo hướng dẫn của nhà sản xuất cần dùng ít nhất 4 giá trị tải trọng phân bố đều trong khoảng đo được của cảm biến đo lực. Phần mềm thu thập số liệu sẽ xác định vị trí cảm biến chuyển vị ứng với mỗi giá trị tải trọng và sẽ tính độ võng trên một đơn vị tải trọng. Phần mềm do nhà sản xuất cung cấp sẽ chuyển đổi trị số đo thành hằng số hiệu chuẩn với đơn vị $\mu\text{m/N}$ và lấy ba chữ số có nghĩa sau đó sẽ tự động cài đặt hằng số mới vào phần mềm. Số liệu hiệu chuẩn này có thể được sử dụng như là một phần trong hiệu chuẩn cảm biến đo lực và được sử dụng mỗi khi tiến hành hiệu chuẩn cảm biến đo lực. Hằng số này không được lệch quá 10 % giữa các lần hiệu chuẩn, nếu không sẽ phải dừng vận hành hệ thống thử nghiệm. Lập lại quy trình hiệu chuẩn mỗi khi thay đổi nhiệt độ thử nghiệm.

A1.5 Kết quả thử nghiệm điển hình (đặc trưng) – được thể hiện trong Bảng 1. Bỏ qua các thông số thu được và các đường cong hiển thị trên màn hình máy tính trong 8 s đầu tiên tác động tải trọng. Dữ liệu từ thử nghiệm từ biến thu được ngay sau khi tác động tải trọng có thể không chính xác vì ảnh hưởng của tải trọng động và khoảng thời gian tăng lên hữu hạn. Chỉ sử dụng kết quả thu được trong khoảng thời gian từ 8 s đến 240 s sau khi tác động tải trọng để tính $S(t)$ và m .

A1.6 Độ võng của dầm đàn hồi – sử dụng lý thuyết uốn cơ bản, độ võng ở giữa nhịp của dầm có mặt cắt ngang không đổi trong thử nghiệm đặt tải ở 3 điểm có thể được tính theo các biểu thức A1.1 và A1.2 như sau:

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (A1.1)$$

trong đó:

δ : độ võng của dầm tại giữa nhịp, mm;

P: tải trọng tác dụng, N;

L: chiều dài của nhịp, mm;

E: mô đun đàn hồi, MPa;

I: mô men quán tính, mm⁴.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (A1.2)$$

với:

I: mô men quán tính của mặt cắt ngang dầm thử nghiệm, mm⁴;

b: chiều rộng mặt cắt ngang dầm, mm;

h: chiều cao mặt cắt ngang dầm (chiều dày của dầm), mm.

CHÚ THÍCH A1 – mẫu thử nghiệm có tỷ lệ chiều dài/chiều dày là 16:1 và ảnh hưởng của lực cắt đến độ võng của dầm là không đáng kể.

A1.7 Mô đun uốn đàn hồi – theo lý thuyết đàn hồi, mô đun uốn của dầm hình lăng trụ có mặt cắt ngang không đổi chịu tác động của tải trọng ở giữa dầm được tính như sau:

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3\delta} \quad (A1.3)$$

trong đó:

E: độ cứng chống uốn từ biến phụ thuộc thời gian, MPa;

P: tải trọng không đổi, N;

L: chiều dài nhịp, mm;

b: chiều rộng dầm, mm;

h: chiều dày của dầm, mm

δ : độ võng của dầm, mm.

A1.8 Ứng suất uốn lớn nhất - ứng suất uốn lớn nhất trong dầm xuất hiện ở trên và dưới cùng của mặt cắt giữa dầm và được tính như sau:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (A1.4)$$

trong đó:

σ : ứng suất uốn lớn nhất trong dầm, MPa;

P: tải trọng không đổi, N;

L: chiều dài nhịp, mm;

b: chiều rộng dầm, mm;

h: chiều dày của dầm, mm.

A1.9 Biến dạng uốn lớn nhất – biến dạng uốn lớn nhất xuất hiện ở trên và dưới cùng tại giữa dầm và được xác định như sau:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (A1.5)$$

trong đó:

ε : biến dạng uốn lớn nhất trong dầm, mm/mm;

δ : độ võng của dầm, mm;

h: chiều dày của dầm, mm;

L: chiều dài nhịp, mm.

A1.10 Mô đun độ cứng đàn nhớt tuyến tính – theo lý thuyết đàn nhớt, có thể giả thiết rằng, nếu một dầm đàn nhớt tuyến tính chịu tác dụng của tải trọng không đổi tại $t = 0$ thì có phân bố ứng suất giống như một dầm đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của tải trọng tương tự. Ngoài ra, biến dạng và độ võng phụ thuộc vào thời gian và được suy ra từ (tính theo) biến dạng và chuyển vị của dầm đàn hồi tuyến tính bằng cách thay E bởi $1/D(t)$. Khi $1/D(t)$ tương đương với $S(t)$, tương tự như tính toán với dầm đàn hồi tuyến tính, độ cứng được tính như sau:

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \quad (A1.6)$$

trong đó:

$S(t)$: độ cứng chống uốn từ biến phụ thuộc thời gian, MPa;

P: tải trọng không đổi, N;

L: chiều dài nhịp, mm;

b: chiều rộng dầm, mm

h: chiều dày của dầm, mm;

A1.11 Trình bày kết quả (Trình bày dữ liệu):

A1.11.1 Biểu đồ thể hiện trạng thái của dầm dưới tác động của tải trọng từ biến được biểu diễn bằng mối tương quan giữa logarit của độ cứng và logarit của thời gian gia tải. Một ví dụ điển hình về trình bày các dữ liệu thử nghiệm được thể hiện ở Bảng 1. Khi nằm trọn trong khoảng thời gian hạn chế từ 3 s đến 240 s, dữ liệu được thể hiện ở Hình A1.1 có thể được tính theo đa thức bậc 2 như sau:

$$\log S'(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad (\text{A1.7})$$

và độ dốc (m) của đường cong quan hệ giữa logarit độ cứng và logarit thời gian được tính như sau:

$$|m(t)| = \frac{d[\log S'(t)]}{d[\log(t)]} = B + 2C[\log(t)] \quad (\text{A1.8})$$

trong đó:

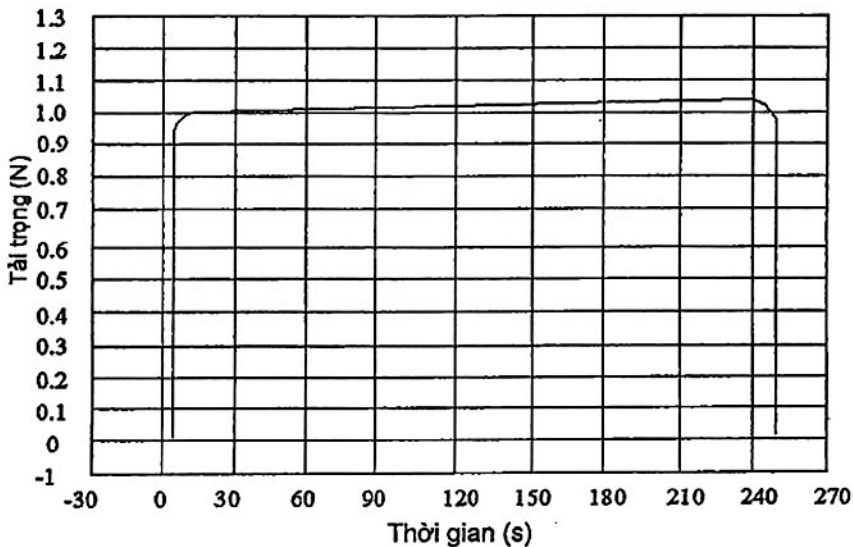
$S'(t)$: độ cứng chống uốn từ biến theo thời gian được tính theo biểu thức A1.7;

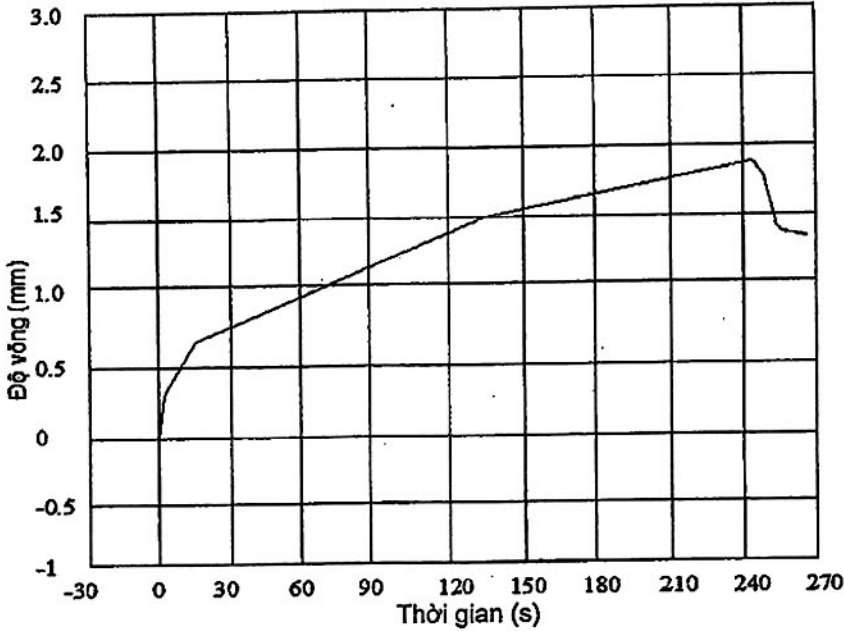
t: thời gian, s;

A, B, C: các hệ số hồi quy;

$|m(t)|$ - giá trị tuyệt đối của độ dốc m theo thời gian.

Thử nghiệm chống uốn từ biến





Hình A1.1 – Biểu đồ độ võng và tải trọng điển hình

A1.11.2 Cần phải xử lý số liệu để có được những đường cong tron phục vụ cho phân tích hồi quy và xác định trị số m. Quá trình này có thể được thực hiện bằng cách lấy trung bình 5 trị số đọc được tại thời điểm đã báo cáo $\pm 0,1$ s và $\pm 0,2$ s.

A1.11.3 Tìm được các hằng số A, B, C từ phương trình A1.7. Dùng số liệu so sánh tương đương với logarit thời gian để xác định các hệ số hồi quy theo biểu thức A1.7 và A1.8. Xác định giá trị độ cứng thông qua thực nghiệm, giá trị này được sử dụng trong quá trình hồi quy để tìm các hệ số A, B, C và tính giá trị m, sau các khoảng thời gian gia tải 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s.

A1.12 Xác định các hệ số hồi quy, độ cứng tính toán và m:

A1.12.1 Xác định hệ số hồi quy A, B, và C trong biểu thức A1.7 và A1.8, có thể sử dụng phần mềm Excel hoặc các phần mềm thống kê hoặc bằng các công thức như sau:

$$A = \frac{S_y(S_{x_2}S_{x_4} - S_{x_3}^2) - S_{xy}(S_{x_1}S_{x_4} - S_{x_2}S_{x_3}) + S_{xy}(S_{x_1}S_{x_3} - S_{x_2}^2)}{D} \quad (A1.9)$$

$$B = \frac{6(S_{xy}S_{x_4} - S_{xy}S_{x_3}) - S_{x_1}(S_yS_{x_4} - S_{xy}S_{x_2}) + S_{x_2}(S_yS_{x_3} - S_{xy}S_{x_2})}{D} \quad (A1.10)$$

$$C = \frac{6(S_{x_2}S_{xy} - S_{x_3}S_{xy}) - S_{x_1}(S_{x_1}S_{xy} - S_{x_3}S_y) + S_{x_2}(S_{x_1}S_{xy} - S_{x_2}S_y)}{D} \quad (A1.11)$$

$$D = 6(S_{x_2}S_{x_4} - S_{x_3}^2) - S_{x_1}(S_{x_1}S_{x_4} - S_{x_2}S_{x_3}) + S_{x_2}(S_{x_1}S_{x_3} - S_{x_2}^2) \quad (A1.12)$$

trong đó: các giá trị được tính tương ứng với các thời gian gia tải tại các thời điểm 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s như sau:

$$\begin{aligned} S_{x1} &= \log 8 + \log 15 + \dots \log 240; \\ S_{x2} &= (\log 8)^2 + (\log 15)^2 + \dots (\log 240)^2; \\ S_{x3} &= (\log 8)^3 + (\log 15)^3 + \dots (\log 240)^3; \\ S_{x4} &= (\log 8)^4 + (\log 15)^4 + \dots (\log 240)^4; \\ S_y &= \log S(8) + \log S(15) + \dots \log S(240); \\ S_{xy} &= \log S(8)(\log(8)) + \log S(15)\log(15) + \dots \log S(240)\log(240); \text{ và} \\ S_{xyy} &= [\log(8)]^2 \log S(8) + [\log(15)]^2 \log S(15) + \dots [\log(240)]^2 \log S(240). \end{aligned}$$

A1.12.2 Giá trị độ cứng $S'(t)$ được tính toán tại các thời điểm 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s như sau:

$$\log S'(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad (\text{A1.13})$$

A1.12.3 Giá trị tính toán m được tính toán tại các thời điểm 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s như sau:

$$|m| = B + 2C[\log(t)] \quad (\text{A1.14})$$

A1.12.4 Tính toán \bar{S} là giá trị trung bình độ cứng ở các thời điểm 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s và 240 s như sau:

$$\log \bar{S} = \frac{\log S(8) + \dots \log S(240)}{6} \quad (\text{A1.15})$$

A1.12.5 Xác định tỷ phần phương sai của độ cứng bằng đa thức bậc 2 sau:

$$R^2 = 1,00 - \left[\frac{[\log S(8) - \log S'(8)]^2 + \dots [\log S(240) - \log S'(240)]^2}{[\log S(8) - \log(\bar{S})]^2 + \dots [\log S(240) - \log(\bar{S})]^2} \right] \quad (\text{A1.16})$$

A1.12.6 Sử dụng giá trị độ cứng tính toán và m ở 60 s làm chuẩn (sử dụng làm tiêu chuẩn, làm quy định). Giá trị độ cứng tính toán và đo được không lệch nhau quá 2 % là đạt yêu cầu. Ngược lại, thử nghiệm không đạt yêu cầu.