

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP TỰ ĐỘNG HÓA KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM ĐẦU NỐI VỎI CHỮA CHÁY

Phần I. TIÊU CHUẨN KIỂM ĐỊNH TCVN 5739:1993

STUDY ON SOLUTION FOR AN AUTOMATION INSPECTION SYSTEM OF FIRE- HOSE COUPLING'S GASKET

Part I. TESTING STANDARDS TCVN 5739:1993

Nguyễn Ngọc Hưng^{1,2,3}, Phan Hoàng Long^{1,2,3}, Dương Văn Tú^{1,2,3},

Nguyễn Huy Hùng^{1,2,3}, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trên cơ sở nghiên cứu các tiêu chuẩn kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy, bài báo trình bày tổng quan về các chỉ tiêu và quy trình kiểm định. Từ đó đề xuất phương án tự động hóa quy trình kiểm định bằng cách gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy, tạo tiền đề cho bài toán thiết kế hệ thống kiểm định tự động vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy.

Từ khóa: Vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy; Tiêu chuẩn kiểm định; PCCC.

ABSTRACT

Based on the research of the inspection standards for fire-hose coupling's gasket, the article provides an overview of the criteria and inspection process. Subsequently, it proposes an automated inspection approach by consolidating functional tests into related groups, enabling automation on a single machine or group of machines. This sets the foundation for designing an automatic inspection system for fire-hose coupling's gasket.

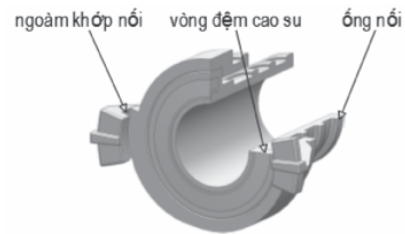
Keywords: Fire-hose coupling's gasket; Inspection standards; Fire fighting.

1. TỔNG QUAN

Tự động hóa các quy trình kiểm định nhằm chuẩn hóa sản phẩm theo các tiêu chí quy định bởi TCVN là vấn đề cấp bách hiện nay. Điều này giúp đảm bảo tính khách quan và minh bạch cho đơn vị quản lý cũng như doanh nghiệp. Vấn đề này là một trong những hướng nghiên cứu trọng tâm tại Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống (DCSELab). Một số giải pháp đã được triển khai và ứng dụng trong thực tế như: tự động hóa lò đốt kiểm định vật liệu cháy [11], [14], [15], [16]; Thiết kế hệ thống kiểm định vòi chữa cháy [10];... Một số hệ thống đang được thiết kế và thực nghiệm tại DCSELab như: Thiết kế robot kiểm định bình chữa cháy [12], [13];...

Bài báo này trình bày nghiên cứu về tiêu chuẩn kiểm định vòng đệm đầu chữa cháy. Để làm rõ hơn về phép thử cho các chỉ tiêu kiểm định và lượng hóa các bước thử, ngoài việc tìm hiểu thông tin từ TCVN 5739:1993 [1], bài báo đã tìm và tham khảo các tiêu chuẩn trong nước (TCVN) và ngoài nước (GOST, ISO,...) có đề cập đến nội dung liên quan. Tiếp theo, bài báo sẽ sơ đồ hóa và đề xuất phương án khả thi nhằm gộp các phép thử theo nhóm chức năng liên quan, có khả năng tự động hóa trên một máy, nhóm máy để thiết kế các thiết bị thử nghiệm tự động. Và sau cùng, dựa vào phương án trên, thiết kế và chế tạo thiết bị kiểm định. Bài báo này trình bày tổng quan và lượng hóa các chỉ tiêu về kiểm định đầu nối vòi chữa cháy.

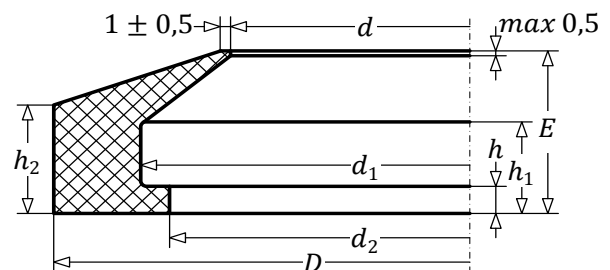
Đầu nối vòi chữa cháy là một bộ phận dùng để kết nối giữa vòi chữa cháy và hệ thống ống dẫn nước trong hệ thống chữa cháy. Trong đó, vòng đệm cao su có chức năng dùng để giữ chặt hai đầu nối và tránh rò rỉ nước.



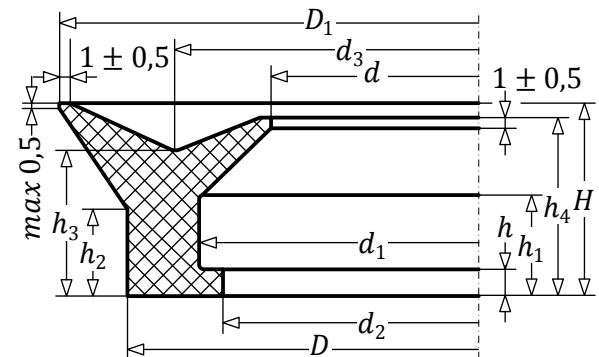
Hình 1. Cấu tạo đầu nối

Có hai loại vòng đệm: Vòng đệm đầu phun và vòng đệm đầu hút (Thông số kỹ thuật của vòng được tham khảo theo Tiêu chuẩn Việt Nam [1]).

Tự động hóa quy trình kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy mang lại nhiều lợi ích như giảm sai sót, tăng tính đồng nhất và nâng cao hiệu quả công việc. Tại Việt Nam hiện chưa có nghiên cứu chính thức về việc tự động hóa quy trình kiểm định vòng đệm đầu nối vòi chữa cháy. Vì vậy, bài báo này đề xuất giải pháp để tự động hóa quy trình trên.



a. Đầu phun



b. Đầu hút

Hình 2. Kích thước vòng đệm

2. TIÊU CHUẨN KIỂM ĐỊNH VÒNG ĐỆM

Theo Tiêu chuẩn Việt Nam [1], vòng đệm đầu nối cần được kiểm định về các tính chất hóa-lý của vật liệu làm vòng (cao su); kiểm định độ bền của vòng khi làm việc theo áp suất thủy lực và thời gian; hình dáng bên ngoài của vòng đệm; và kích thước của vòng.

Bảng 1. Các chỉ tiêu kiểm định tính chất hóa lý.

Chỉ tiêu kiểm định	Yêu cầu
1. Độ cứng theo ShoreA, đơn vị	45 ÷ 60
2. Giới hạn bền kéo, MPa	≥ 8
3. Độ giãn dài khi đứt, %	≥ 350
4. Độ biến dạng dư tương đối khi đứt, %	≥ 30
5. Nhiệt độ bị giòn, °C	≥ - 15
6. Độ biến dạng dư tương đối sau khi chịu nén 30% thể tích ở nhiệt độ 70°C ± 1°C (72h), %	≤ 60
7. Sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở 70°C ± 1°C (168h), %	≤ 40
8. Sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc H ₂ SO ₄ , hoặc xăng/dầu trong 24h ± 1h (ở 23°C ± 1°C), %	- 0,5 ÷ 1

Các chỉ tiêu và yêu cầu để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối dưới áp suất thủy lực và thời gian (Chỉ tiêu kiểm định 9).

Bảng 2. Chỉ tiêu và phương pháp thử để kiểm định vòng đệm khi lắp ghép đầu nối.

Vòng	Điều kiện	Yêu cầu
Đầu phun	t° làm việc: - 5°C ÷ 50°C Áp suất thủy lực 2MPa	Đảm bảo lắp ghép của đầu nối kín, không rò rỉ dung dịch
Đầu hút	t° làm việc: - 5°C ÷ 50°C Áp suất thủy lực 0,3MPa với độ chân không < 600mmHg	

Yêu cầu về hình dáng bên ngoài của vòng đệm: Mặt làm việc có độ nhám $R_a = 0,2\mu\text{m}$, không có vết nứt, bọt và các tạp chất (Chỉ tiêu kiểm định 10).

Kích thước vòng đệm và chỗ thừa theo mặt phân khuôn được kiểm tra bằng dụng cụ đo có độ chính xác ≤ 0,01mm; kiểm tra 3 lần và lấy kết quả trung bình cộng (Chỉ tiêu kiểm định 11).

Tương ứng với các chỉ tiêu kiểm định trên, bài báo đã tham khảo từ các tiêu chuẩn khác liên quan, có đề cập đến phương pháp thử cho các chỉ tiêu.

2.1. Xác định độ cứng cao su [4], [9]

Dụng cụ đo: Mô tả trên Hình 3.

Phương pháp thử:

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (*).

Bước 2: Nâng mẫu thử cho đến khi mẫu tiếp xúc với mặt của dụng cụ đo.

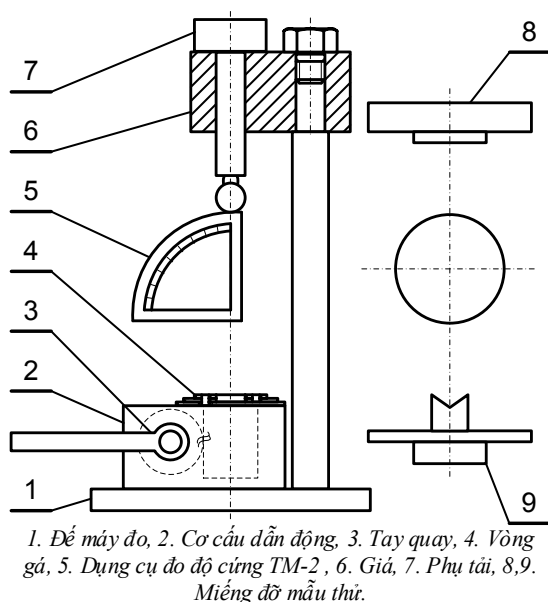
Bước 3: Nâng đến khi phụ tải bắt đầu được nâng và giữ trong 3 giây.

Bước 4: Ghi số đo từ đồng hồ đo.

(*) Chuẩn bị mẫu:

Sử dụng phụ tải 0.85kg.

Đặt dụng cụ đo độ cứng theo miếng đỡ mẫu thử 8 và miếng đỡ mẫu thử 9 sao cho mũi nén của dụng cụ đo trùng với lỗ của miếng đỡ mẫu thử 9, cố định mẫu thử tại vị trí đó.



Hình 3. Mô tả thiết bị đo độ cứng TM-2 [4]

2.2. Xác định giới hạn bền kéo, độ giãn dài khi đứt, độ biến dạng dư tương đối khi đứt [2]

Dụng cụ đo:

Sai số đo lực trong hành trình tải không quá $\pm 2\%$.

Tối thiểu máy phải có khả năng vận hành tại tốc độ kéo 100mm/min, 200mm/min và 500mm/min.

Đối với máy có đồng hồ đo lực, thang

tải trọng được chọn sao cho lực đo được nằm trong khoảng từ 20 đến 90% giá trị giới hạn của thang đo.

Phương pháp thử:

Thử ít nhất 3 mẫu (số lượng mẫu phải quyết định trước).

Khi tiến hành kéo cần giám sát liên tục sự thay đổi chiều dài thử và lực kéo với độ chính xác $\pm 2\%$.

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (*).

Bước 2: Đặt cột tải về mức "0" và tác dụng trước ứng suất 0.1MPa.

Bước 3: Kéo đến khi mẫu đứt.

(*) Chuẩn bị mẫu:

Đặt mẫu thử vào thiết bị kéo sao cho các đầu của mẫu kéo được kẹp đối xứng, giúp phân bố đồng đều sức căng trên toàn bộ mặt cắt ngang.

Kết quả tính toán:

Giới hạn bền kéo, MPa:

$$TS = \frac{F_m}{W_t} \quad (1)$$

Độ giãn dài khi đứt, %:

$$E_b = 100 \times \frac{L_b - L_0}{L_0} \quad (2)$$

Độ biến dạng dư tương đối khi đứt, %:

$$E = 100 \times \frac{H_b - H_0}{H_0} \quad (3)$$

Với: F_m là lực lớn nhất ghi được, N; W_t là tiết diện mặt cắt, mm²; L_b , H_b là chiều dài, mm

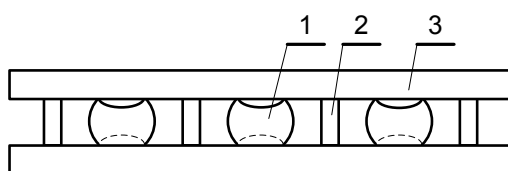
chiều cao mẫu thử tại điểm đứt, mm; L_0 , H_0 là chiều dài, chiều cao mẫu thử ban đầu, mm.

2.3. Xác định sự thay đổi độ dài tương đối khi đứt, khi lão hóa trong không khí ở nhiệt độ $70^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ trong 168h [4], [6], [8]

Dụng cụ đo:

- Mẫu thử cao su hình trụ cao $10 \pm 0.5\text{mm}$, đường kính $10 \pm 0.5\text{mm}$.

Các cỡ kim loại cao 7mm.



1. Mẫu thử, 2. Cỡ kim loại, 3. Tấm thép (để kẹp mẫu).

Hình 4. Mô tả thiết bị kẹp và mẫu thử.

Phương pháp thử:

- Thử ít nhất 3 mẫu.
- Mẫu thử được nén xuống $30 \pm 5\%$.
- Bước 1: Đo H_0 của mẫu.
- Bước 2: Nén mẫu và đo chiều cao H_1 .
- Bước 3: Gia nhiệt ở $t^\circ = 70^\circ\text{C}$ trong

168 giờ.

Bước 4: Để nguội ở $t^\circ = 23^\circ\text{C}$ trong 2-3 giờ.

Bước 5: Tháo, ổn định mẫu trong 1 giờ và đo chiều cao H_2 .

Kết quả tính toán:

Độ biến dạng, %:

$$Y_1 = (H_0 - H_2) \times \frac{100}{H_0 - H_1} \quad (3)$$

Với: H_0 , H_1 , H_2 là chiều cao mẫu thử ban đầu, khi nén, và sau khi thử, mm.

2.4. Xác định sự thay đổi thể tích sau khi tác động 10% dung dịch HCl hoặc H_2SO_4 hoặc xăng/dầu trong $24\text{h} \pm 1\text{h}$ ở nhiệt độ $23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ [7]

Dụng cụ đo:

- Bình chứa: Hình trụ thành dày bằng kim loại, dung tích nhỏ hơn $0,25\text{cm}^3$, có nắp đậy được lót miếng đệm để đảm bảo kín.

- Máy đo độ dày có giá trị chia $0,01\text{mm}$, lực đo $1,5\text{N}$, bề mặt đo có đường kính 16mm .

- Công cụ đo kích thước tuyến tính (Cấp chính xác 14), cân có giới hạn đo 200g (Cấp chính xác 2).

- Bộ điều nhiệt, sai số $\pm 2^\circ\text{C}$.

- Nhiệt kế thủy tinh lỏng: $0 \div 100^\circ\text{C}$, có giá trị chia 2°C .

- Đồng hồ, giấy lọc, gạc gia dụng, rượu etylic, nước cất, bình hút ẩm.

Phương pháp thử:

- Môi trường ngâm mẫu được thay đổi sau mỗi lần tiếp xúc mẫu.

- Khi cân, các mẫu cần đạt trạng thái cân bằng trương nở (TTCBTN: khi khối lượng mẫu không đổi).

- Khối lượng mẫu được lấy ra khỏi môi trường thử để cân định kỳ, sai số cho phép $\pm 0,001\text{g}$, và khối lượng không đổi khi chênh lệch giữa hai lần cân không quá $0,001\text{g}$.

- Đo kích thước ban đầu:

+ Khối lượng mẫu khi cân trong không khí M_1 .

+ Khối lượng mẫu khi cân trong rượu etylic/nước cất M_2 .

+ Chiều dài mẫu $l_1 \pm 0,5\text{mm}$, đo ở 2 vị trí gần trục dọc theo bề mặt trên và dưới.

+ Chiều rộng mẫu b_1 đo ở 4 vị trí cách đều nhau.

+ Chiều dày mẫu $h_1 \pm 0,01\text{mm}$, đo bằng dụng cụ đo độ dày ở 4 vị trí cách đều nhau.

+ Giá trị đo là trung bình cộng các lần đo.

+ Đo các kích thước sau khi thử:

+ Khối lượng mẫu khi cân trong không khí M_3 .

+ Khối lượng mẫu khi cân trong rượu etylic/nước cất M_4 .

+ Các kích thước l_2, h_2, b_2 .

- Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (*).

- Bước 2: Gia nhiệt ở $t^\circ = 23^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ trong thời gian $t = 24 \pm 1\text{h}$.

- Bước 3: Rửa mẫu với thể tích xà 1500cm³.

(*) Chuẩn bị mẫu:

- Ngâm mẫu trước trong rượu etylic từ 2 đến 3 giây để loại bỏ bọt khí.

- Vật chứa được đổ đầy môi trường theo tỷ lệ thể tích của môi trường và mẫu ít nhất là 15:1 và không quá 30:1.

- Mức môi trường trên mẫu ít nhất phải là 1cm khi vật chứa không đầy quá 75%.

- Hộp được đậy kín và để thử nghiệm ở

hiệt độ cao, được đặt trong bộ điều nhiệt, được làm nóng trước đến nhiệt độ xác định trước.

Kết quả tính toán:

Giá trị trung bình cộng của chỉ tiêu được tính từ kết quả thử nghiệm của ít nhất 3 mẫu, độ lệch lớn nhất của từ phép đo về khối lượng/thể tích là 10%, chiều dài 5%.

$$\Delta V = \frac{(M_3 - M_4) - (M_1 - M_2)}{M_1 - M_2} \quad (4)$$

2.5. Xác định nhiệt độ giòn [3], [5]

Dụng cụ đo:

- Sai số dụng cụ đo nhiệt độ $\leq \pm 1^\circ\text{C}$.

- Sai số điều chỉnh nhiệt độ trạng thái ổn định của môi trường $\leq \pm 1^\circ\text{C}$.

- Dụng cụ đo độ dày với giá trị chia 0,01mm và thước đo với độ chia nhỏ nhất 1mm.

- Rượu etylic, CO₂ rắn, nitơ lỏng.

Phương pháp thử:

- Mẫu được coi là bị phá hủy nếu có ít nhất một trong các dấu hiệu phá hủy sau: Mẫu bị tách thành nhiều phần, có một hoặc nhiều vết nứt, tách, nứt mẻ.

- Thanh đập được chuyển động theo quỹ đạo thẳng hoặc cong sao cho tốc độ thử tuyến tính là $2 \pm 0,2\text{m/s}$ và duy trì trong quãng đường $\geq 6\text{mm}$ sau va đập.

- Nếu ít nhất một trong bốn mẫu bị hỏng, giới hạn nhiệt độ của độ giòn cao su được coi là cao hơn nhiệt độ thử nghiệm. 

Ngoài ra, nếu sử dụng buồng lạnh với môi trường lỏng, cần trang bị thêm một thiết bị để trộn môi trường và làm mát các mẫu trong môi trường đến nhiệt độ thử nghiệm, giữ và thử nghiệm chúng ở nhiệt độ này.

t° thử nghiệm ban đầu thấp hơn t° dự kiến mà vật liệu không bị phá hủy.

Bước 1: Chuẩn bị mẫu theo (*).

Bước 2: Gia nhiệt theo t° thử trong thời gian $t = 3 \pm 0,5$ phút.

Bước 3: Thực hiện cú đập (**) và kiểm tra mẫu.

Bước 4: Khi tình trạng mẫu sau Bước 3 không bị phá hủy thì uốn mẫu một góc 90° theo phương biến dạng mẫu và kiểm tra.

Bước 5:

+ Bước 5.1: Khi tình trạng mẫu sau Bước 3 và Bước 4 bị phá hủy thì tiến hành tăng $\Delta t^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$ và thực hiện lại từ Bước 1 đến Bước 5.

+ Bước 5.2: Khi tình trạng mẫu sau Bước 4 không bị phá hủy thì ghi nhận $t_{\max}^{\circ}$, tăng $\Delta t^{\circ} = 2^{\circ}\text{C}$, sau đó thực hiện lại từ Bước 1 đến Bước 5.

- Bước 6: Khi tình trạng mẫu ở Bước 5.2 không bị phá hủy thì ghi nhận $t_{\max}^{\circ}$.

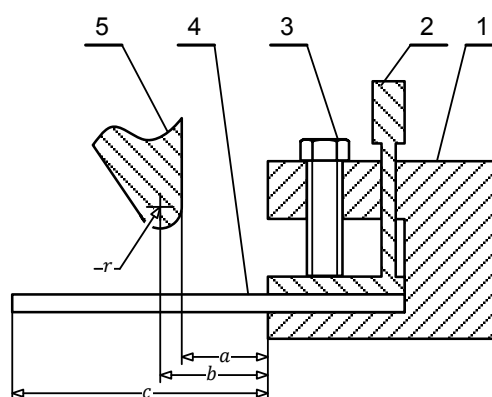
(*) Chuẩn bị mẫu:

Ổn định mẫu ở nhiệt độ $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ít nhất 1 giờ, cho dụng cụ đặt mẫu vào buồng lạnh và giữ ở nhiệt độ thử nghiệm ít nhất 10 phút. Thử nghiệm ở mỗi nhiệt độ được thực hiện trên bốn mẫu mới.

(**) Yêu cầu với cú đập:

- Cạnh thanh đập sẽ chuyển động tương đối với mẫu thử dọc theo đường vuông góc với bề mặt trên của mẫu thử với tốc độ thử tuyến tính là $2 \pm 0,2\text{m/s}$ khi va đập. Tốc độ phải được duy trì trong dải này ít nhất 6mm quãng đường sau khi va đập.

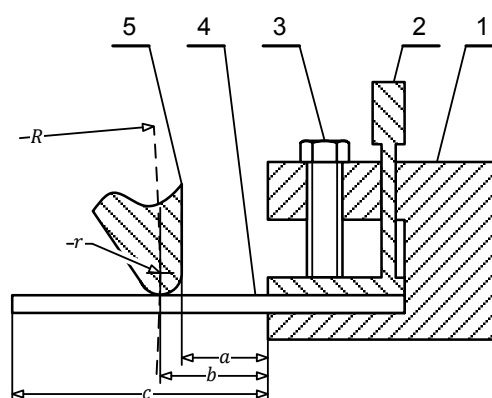
- Theo kinh nghiệm, năng lượng cần thiết để đập ít nhất phải là 3 Joules trên một mẫu thử.



1. Thân dụng cụ kẹp, 2. Đệm giữ mẫu, 3. Chốt giữ, 4. Mẫu thử, 5. Thanh đập.

Ghi chú: $a = (6,4 \pm 0,3)\text{mm}$; $b = (8 \pm 0,3)\text{mm}$; $c \geq 19\text{mm}$;
 $r = 1,6 \pm 0,1\text{mm}$.

a. Chuyển động thẳng



1. Thân dụng cụ kẹp, 2. Đệm giữ mẫu, 3. Chốt giữ, 4. Mẫu thử, 5. Thanh đập.

Ghi chú: $a = (6,4 \pm 0,3)\text{mm}$; $b = (8 \pm 0,3)\text{mm}$; $c \geq 19\text{mm}$;
 $r = 1,6 \pm 0,1\text{mm}$; $R \geq 125\text{mm}$.

b. Chuyển động cong

Hình 5. Dụng cụ kẹp mẫu thử và đầu đập [3]

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã tìm hiểu tổng quan và lượng hóa các bước trong các phép thử cho các chỉ tiêu kiểm định vòng đệm của đầu nối.

Trong tương lai, bài báo sẽ tiến hành sơ đồ hóa và đề xuất phương án khả thi để kết hợp các chỉ tiêu thành các cụm nhằm tối ưu hóa quy trình kiểm định và nghiên cứu sâu vào việc thiết kế thiết bị tự động hóa cho từng cụm và hệ thống để kết nối và quản lý các cụm.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **22/10/2023**

Ngày phản biện: **10/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. TCVN 5739: 1993; *Thiết bị đầu nối chữa cháy.*
- [2]. TCVN 4509:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định các tính chất ứng suất giãn dài khi kéo.*
- [3]. TCVN 5321:2007; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ giòn ở nhiệt độ thấp.*
- [4]. TCVN 2003-77; *Vòng đệm cao su có mặt cắt tròn để làm kín các thiết bị thủy lực và khí nén.*
- [5]. GOST 7912, *Method of test for temperature limit of brittleness for vulcanized.*
- [6]. GOST 9029-24, *Unified system of corrosion and ageing protection and Vulcanized rubbers – Method of testing of resistance under static deformation of compression.*
- [7]. GOST 9030-74, *Unified system of corrosion and ageing protection. Vulcanized rubbers – Method of testing resistance to attack by corrosive media in limp state.*
- [8]. TCVN 2229:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Phép thử già hóa tăng tốc và độ bền nhiệt.*
- [9]. TCVN 1595-1:2013; *Cao su lưu hóa hoặc nhiệt dẻo – Xác định độ cứng ấn lồi – Phần 1: Phương pháp sử dụng thiết bị đo độ cứng (độ cứng Shore).*
- [10]. Phan Hoang Long et. al., *Design and Implementation of Automation Testing Device for Fire Fighting Hoses*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.11, pp.69-77, 2020.
- [11]. Quoc Bao Nguyen et. al., *Design and Calibration of Multi-Channel Thermocouple Signal Converter*, The 2023 Int'l Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE 2023), Hochiminh City, October 19-20, 2023 - to appear soon.
- [12]. Xuan Quang Ngo et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part I: Key Specifications and Conceptual Design*, The 7th Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.1-10, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [13]. Thai Nguyen Chau et. al., *Design of Mobile Manipulator for Fire Extinguisher Testing. Part II: Design and Simulation*, The 7th Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.11-20, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [14]. Ho Hai Dang et. al., *Application of Multi-PID Controllers for Fire Resistance Testing Furnace*, The 2023 Int'l Symposium on Advanced Engineering (ISAE2023), pp.21-28, Hochiminh City, Vietnam, Feb. 2023.
- [15]. Huy Hung Nguyen et. al., *Model Identification of Gas-Fired Industrial Furnace*, The 7th Int'l Conference on Advanced Engineering - Theory and Applications 2022 (AETA2022), pp.42-51, Hochiminh City, Vietnam, Dec. 2022.
- [16]. Nguyen Tan Tien et. al., *Temperature Control of Gas Furnace with Time Delay*, Vietnam Mechanical Engineering Journal, Vol.295, pp.207-213, 2022.