

Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị thí nghiệm đo hệ số ma sát và cường độ mòn của vật liệu

Studying, designing and manufacturing a laboratory equipment to determine coefficient of friction and wear intensity for different materials

Nguyễn Văn Thắng*, Phạm Văn Đông, Bùi Tiến Sơn

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: nguyenvanthang@hau.edu.vn; thangspsbu@mail.ru*

Tel: +84 946360383

Tóm tắt

Từ khóa:

Hệ số ma sát; Hợp kim đồng; POD; Thép; Cường độ mòn.

Bài báo trình bày nghiên cứu thiết kế và chế tạo thiết bị đo cường độ mòn và hệ số ma sát của các dạng vật liệu khác nhau (thép C45, hợp kim đồng LCuZn30) theo nguyên lý Pin - on - disk (POD). Loại thiết bị chế tạo có thể điều chỉnh thông số tải đặt thay đổi (từ 10 tới 70) N và vận tốc trượt tương đối thay đổi (từ 1 tới 5) m/s. Các thí nghiệm tiến hành bằng cách giữ nguyên tải trọng thay đổi vận tốc trượt tương đối hoặc ngược lại. Biểu đồ sự phụ thuộc của cường độ mòn và hệ số ma sát vào tải đặt và vận tốc trượt thu được rất tương đồng với lý thuyết và kết quả thực hiện trên máy ngoại nhập UMT hãng CERT - Hoa Kỳ. Kết quả của bài báo cũng chỉ ra được cường độ mòn tỉ lệ thuận với tải đặt và vận tốc trượt tương đối giữa các bề mặt.

Abstract

Keywords:

Coefficient of friction; Copper alloy; POD; Steel; Wear intensity.

This paper presents a study in designing and manufacturing an equipment to determine the wear intensity and coefficient of friction for different materials (C45 Steel, Copper alloy LCuZn30) based on POD (Pin-on-disk) theory. The manufactured equipment can change its load (10 to 70)N and the relative sliding speed (1 to 5) m/sec. The experiments were performed by maintaining the load while changing relative sliding speed and vice versa. The chart of the recorded dependent of the wear intensity and coefficient of friction on the load and sliding speed is similar to the theory and results obtained on UMT machine imported from CERT. The results also showed that the wear intensity will be directly proportional with relative sliding speed and load.

Ngày nhận bài: 17/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 13/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

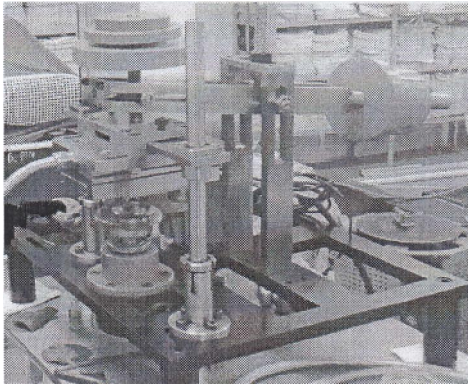
1. GIỚI THIỆU

Kỹ thuật ma sát gắn liền với những vấn đề cấp thiết như: Sự mòn của máy móc và thiết bị, chi phí sửa chữa máy móc do mòn rất lớn và tăng lên hàng năm, kéo dài tuổi thọ của máy...

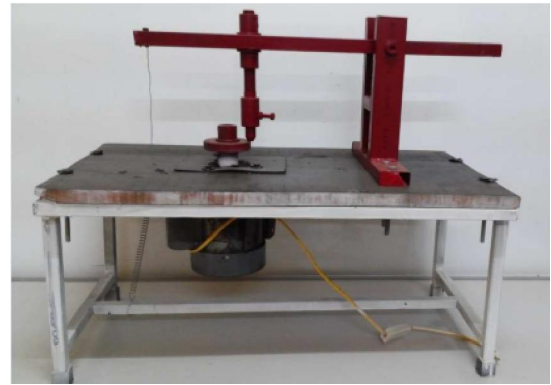
Vì vậy nhiều nhà thiết kế, công nghệ, người sử dụng, các nhà khoa học của nhiều ngành khác nhau đã nghiên cứu vấn đề này nhằm đưa ra những biện pháp thiết kế, công nghệ và sử dụng nâng cao tuổi thọ của máy và phát triển học thuyết về ma sát học. Do vậy, hệ thống các máy móc, thiết bị phục vụ nghiên cứu về ma sát và khả năng chịu mòn của vật liệu không ngừng được phát triển. Chỉ bằng một lần chạy máy các thông số từ hệ số ma sát, lượng mòn, khả năng chịu mòn, đặc biệt ảnh hưởng của các nhân tố đến các thông số này như độ ẩm môi trường, vận tốc ma sát giữa hai bề mặt, nhiệt độ bề mặt hoàn toàn có thể xác định được trên các phần mềm của máy. Các thiết bị này đều đáp ứng tiêu chuẩn đánh giá và báo cáo hệ số ma sát ASTM G115-10-2013 (Standard guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients) cũng như tiêu chuẩn đánh giá mòn ASTM G132-96-2013 (Standard Test Method for Pin Abrasion Testing) của tổ chức ASTM (American Society for Testing and Materials) của Hoa Kỳ. Các máy điển hình như: WDP-2000 của hãng Jinan Testing Equipment IE Corporation [1], có thể kiểm tra hệ số ma sát và tính mài mòn trong điều kiện khô hoặc bôi trơn; TE 88/P của Phoenix Tribology Ltd [2], có thể chứa đến ba pin trên các trạm kiểm tra đĩa và đo ma sát trong môi trường chất lỏng với nhiệt độ giới hạn là 200°C; thiết bị UMT của hãng CERT - Hoa Kỳ [3], được dùng để thử nghiệm ma sát, kiểm tra vết xước tế vi, chụp lại ảnh tổ chức vật liệu, thử nghiệm về cơ tính cho nhiều dạng vật liệu và lớp phủ mỏng. Thiết bị này đã được trang bị cho Học viện kỹ thuật quân sự. Đây cũng là thiết bị đo mòn và hệ số ma sát được đánh giá là thiết bị hiện đại và tiên tiến nhất tại Việt Nam hiện nay; máy Pin on disk TE -165-SPOD được thiết kế và phát triển bởi kỹ sư Ấn Độ Magnum chủ yếu để xác định đặc điểm ma sát học của nhiều loại vật liệu trong điều kiện tải trọng và nhiệt độ khác nhau.

Ở Việt Nam, lĩnh vực chế tạo các thiết bị cơ khí chính xác trong ma sát và mòn hiện còn khá mới và tương đối khó tiếp cận. Tác giả Đoàn Yên Thế [4] dựa trên máy thí nghiệm Tribometer của viện chi tiết máy và công nghệ chế tạo TU Freiberg - LB Đức đã nghiên cứu chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng tới sai số kết quả thí nghiệm như khe hở ban đầu giữa mẫu và đĩa, tính chất ma sát của cơ cấu gia tải, độ không tròn của đĩa. Tác giả Nguyễn Trường Sinh [3] tính toán, thiết kế và biên soạn các bài thí nghiệm về đo mòn và ma sát dựa trên thiết bị hãng CERT - Hoa Kỳ đã được trang bị. Tác giả Nguyễn Văn Giáp và đồng nghiệp [5] nghiên cứu thiết kế và chế tạo thành công thiết bị đo ma sát và mòn dựa trên nguyên lý POD, gia tải theo nguyên lý đòn bẩy. Thử nghiệm bằng các cặp ma sát có kết quả tương đồng với các nghiên cứu trong và ngoài nước, hình 1. Nhóm tác giả Nguyễn Thị Quốc Dung, Lý Việt Anh [6] đã nghiên cứu, chế tạo được thiết bị với nguyên lý vận hành khá đơn giản. Tuy nhiên nghiên cứu mới chỉ giới hạn ở cùng một tải trọng và một tốc độ của động cơ, hình 2. Thiết bị đáp ứng nhu cầu cần thiết như giá thành rẻ, hoạt động tương đối tin cậy. Nguyên lý vận hành máy rất đơn giản phù hợp làm mô hình học cụ cho sinh viên. Ngoài ra còn một vài các nghiên cứu khác, tuy nhiên nhìn chung các nghiên cứu chế tạo trong nước chỉ dừng lại ở các mô hình nhỏ có độ chính xác chưa cao, chưa đáp ứng tiêu chuẩn đánh giá quốc tế, ứng dụng trong phạm vi hẹp.

Bài báo trình bày nghiên cứu thiết kế và chế tạo thiết bị đo tốc độ mòn và hệ số ma sát của các dạng vật liệu khác nhau (thép C45, hợp kim đồng LCuZn30) theo nguyên lý Pin - on - disk (POD). Loại thiết bị chế tạo có thể điều chỉnh thông số tải đặt thay đổi (từ 10 tới 70) N và vận tốc trượt tương đối thay đổi (từ 1 tới 5) m/s. Tiến hành thực nghiệm và so sánh kết quả của cường độ mòn và hệ số ma sát với máy ngoại nhập UMT hãng CERT - Hoa Kỳ. Kết quả của bài báo cũng chỉ ra được cường độ mòn tỉ lệ thuận với tải đặt và vận tốc trượt tương đối giữa các bề mặt.



Hình 1. Máy đo hệ số ma sát và mòn của vật liệu



Hình 2. Mô hình thiết bị thí nghiệm kiểm tra đặc tính ma sát và độ chịu mòn của lớp bề mặt

2. SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ VÀ MÔ HÌNH MÁY ĐO HỆ SỐ MA SÁT VÀ MÒN

Để xác định tình trạng mòn ta đo cường độ mòn không thứ nguyên I dựa trên lý thuyết cơ phân tử theo nguyên lý đo khối lượng hao hụt. Đường kính và khối lượng của chốt sẽ được xác định trước khi thí nghiệm. Sau một khoảng thời gian nhất định sau khi vận hành thiết bị chốt sẽ được tháo ra và cân lại và đối sánh. Từ đó ta xác định được khối lượng hao hụt Δm và lượng mòn nhờ cân tiểu li. Từ lượng mòn đã xác định ta xác định được cường độ mòn và vận tốc mòn của vật liệu theo công thức (1).

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho A_{dn} \cdot S_{ms}} \quad (1)$$

Trong đó: I_h : cường độ mòn dạng đường;
 Δm : khối lượng hao hụt;
 A_{dn} : diện tích bề mặt ma sát của chốt;
 S_{ms} : quãng đường ma sát;
 ρ : khối lượng riêng của chốt.

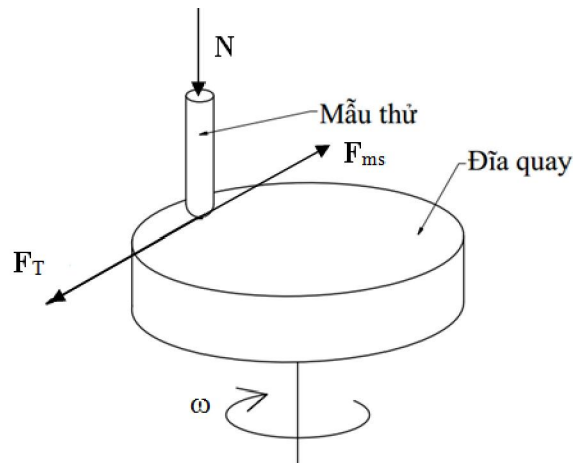
Tính chất ma sát giữa hai bề mặt đặc trưng bởi hệ số ma sát của cặp vật liệu, được xác định thông qua lực ma sát nhờ cảm biết lực. Để xác định hệ số ma sát, nhóm tác giả chọn phương pháp đo thực nghiệm dựa trên công thức (2):

$$f = \frac{F_{ms}}{N} \quad (2)$$

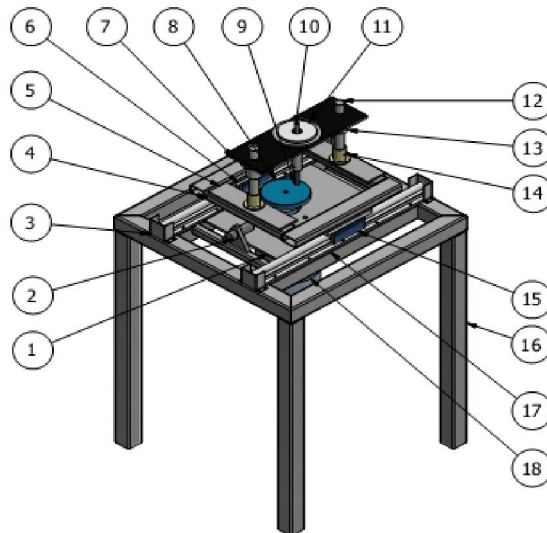
Trong đó: f : hệ số ma sát;
 F_{ms} : lực ma sát giữa chốt và đĩa;
 N : tải pháp tuyến của chốt lên đĩa.

Lực ma sát $F_{ms} = F_T$ - do điều kiện cân bằng, hình 3. Lực F_T được xác định thông qua cảm biến. Tải trọng tác dụng của chốt lên đĩa N là tổng tải trọng của bộ phận gia tải và quả nặng.

Dựa trên sơ đồ nguyên lý, mô hình máy đo hệ số ma sát và cường độ mòn theo phương pháp POD được thể hiện như hình 4.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý đo lực ma sát F_{ms}

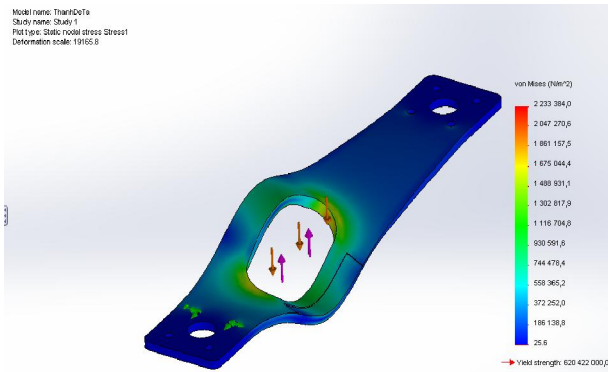


Hình 4. Mô hình máy đo hệ số ma sát và mòn bằng phương pháp POD

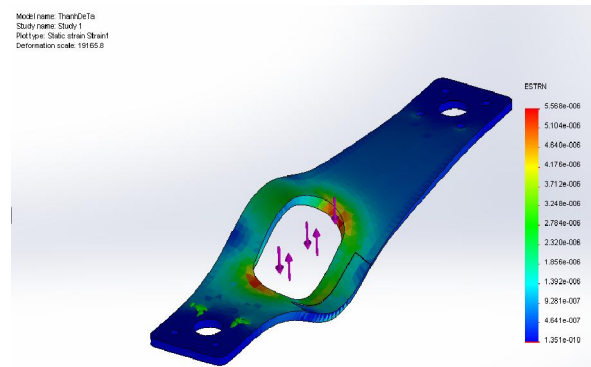
Khung máy (16) được thiết kế chắc chắn, chân của khung được gắn các vít lấy cân bằng cho toàn bộ thiết bị; động cơ (18); đĩa (8) có đường kính 150 mm, độ dày 10 mm, được tiện bậc để tăng độ chắc chắn khi bắt trực tiếp vào động cơ bằng bulông ren trái để khi động cơ quay không bị văng và dễ dàng thay thế. Chốt (9) hình trụ có đường kính 7,8 mm, dài 40 mm và có thể thay thế dễ dàng. Chốt được kẹp vào hệ thống kẹp chốt bằng vít chìm và tì vuông góc lên đĩa quay nhờ hai thanh dẫn hướng là hai rãnh trượt thẳng (6, 13). Quả nặng (11) được thiết kế bằng thép có khối lượng 0,5 kg; 1 kg và 2 kg, được đặt trên cơ cấu gia tải (7). Toàn bộ các quả nặng này cùng với cơ cấu gia tải và kẹp chốt (10) trượt tự do trên hai thanh trượt (6, 13) cho ta thành phần tải pháp tuyến hay áp lực pháp tuyến của N của chốt lên mặt đĩa. Áp lực pháp tuyến được xác định bằng cách đo trọng lượng quả nặng và cơ cấu gia tải. Việc sử dụng một lò xo nén có tác dụng triệt tiêu dao động tạo ra giữa các quả nặng do cộng hưởng. Cơ cấu trượt và con trượt tròn (5,6,12,13,14,15,17) chuyển động nhờ hệ thống bi tuyến tính giúp cơ cấu gia tải chuyển động nhẹ nhàng, linh hoạt. Cảm biến lực (2) có phương song song với mặt đĩa và thanh trượt, đo lực ma sát F_{ms} giữa đĩa và đầu chốt.

3. TÍNH TOÁN VÀ KIỂM BỀN CHO MỘT SỐ CỤM CHI TIẾT CHÍNH

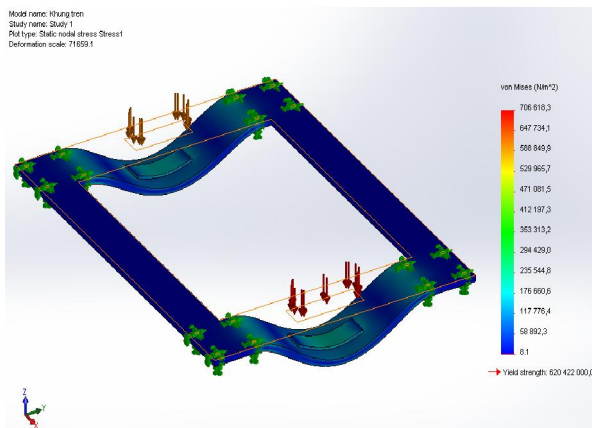
Thiết bị thí nghiệm nói chung yêu cầu độ chính xác cao. Để hạn chế sai số của thiết bị do nhóm tác giả tiến hành kiểm bền và biến dạng của một số cụm chi tiết có thể ảnh hưởng đến kết quả đo của thiết bị. Thanh đỡ tạ và khung trượt ngoài nhiệm vụ dùng để tải tất cả các quả nặng phải đảm bảo độ vuông góc giữa trục của chốt hình trụ và mặt đĩa. Do đó, cần kiểm tra độ cứng vững, biểu đồ ứng suất biến dạng tại các điểm trong hai chi tiết này. Sử dụng phần mềm ANSYS 12 đưa ra các biểu đồ ứng suất, biến dạng và chuyển vị như trên hình 5, 6, 7 và 8.



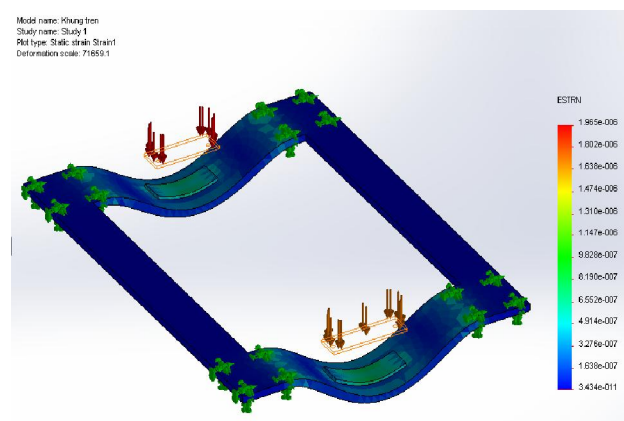
Hình 5. Biểu đồ ứng suất của chi tiết thanh đỡ tạ



Hình 6. Biểu đồ biến dạng của chi tiết thanh đỡ tạ



Hình 7. Biểu đồ ứng suất của khung trượt trên



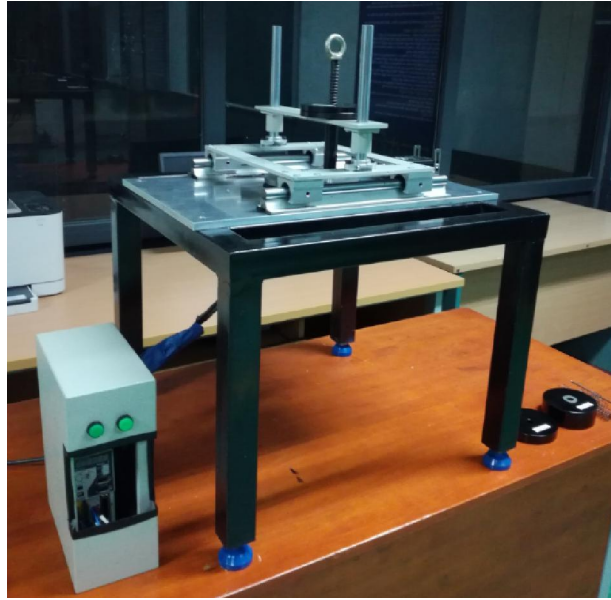
Hình 8. Biểu đồ biến dạng của khung trượt trên

Qua phân tích mô phỏng ta thấy, các chỉ số về kiểm tra bền như ứng suất, biến dạng đều nằm trong giới hạn cho phép.

4. CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ

4.1. Chế tạo thiết bị đo hệ số ma sát và cường độ mòn bằng phương pháp POD

Dựa trên mô hình thiết kế được thể hiện trên hình 4, thiết bị POD được chế tạo thực tế như hình 9. Dạng sản xuất của thiết bị là dạng sản xuất loạt nhỏ, đơn chiếc, gia công theo phương pháp tập trung nguyên công.



Hình 9. Thiết bị đo mòn, hệ số ma sát theo nguyên lý POD

Thông số kỹ thuật:

- Công suất: 200 W
- Tốc độ quay: $10 \div 2000$ vòng/phút, điều chỉnh bằng biến tần.
- Vận tốc trượt: Từ 0,5 đến 7 m/s.
- Tải trọng tác dụng: 10N đến 70N.
- Điều kiện ma sát khô, không bôi trơn.
- Đĩa: Có đường kính 150 mm, độ dày 10 mm.
- Chốt: Có đường kính 7,8 mm, dài 40 mm.

Lưu ý: Khi sử dụng vận hành thiết bị, tránh vùng cộng hưởng gây ra sự sai lệch của kết quả đo khi tốc độ động cơ nằm trong khoảng $1100 \div 1350$ v/ph.

4.2. Thử nghiệm và phân tích kết quả trên thiết bị chế tạo

Trong khuôn khổ bài báo, nhóm tác giả lựa chọn hai cặp vật liệu: đĩa - thép C45; chốt - thép C45 và đĩa - thép C45; chốt - hợp kim đồng LCuZn30. Bề mặt chốt và đĩa được chế tạo đạt độ nhám $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ và được kiểm nghiệm bằng thiết bị đo độ nhám Surftest SV 2100, hãng Mitutoyo, Nhật Bản. Đây là những vật liệu phổ biến được sử dụng trong chế tạo các chi tiết máy. Thí nghiệm được tiến hành theo quy trình:

- Khi xác định sự phụ thuộc tải đặt đến cường độ mòn và hệ số ma sát, vận tốc trượt tương đối của đầu chốt so với mặt đĩa được cố định 2 m/s.

+ Tải đặt thay đổi lần lượt theo các mức: 10 N, 20 N, 30 N và 70 N;

+ Thời gian chạy rà 120 s;

- Khi xác định sự phụ thuộc vận tốc trượt tương đối đến cường độ mòn và hệ số ma sát, tải được đặt cố định 20 N.

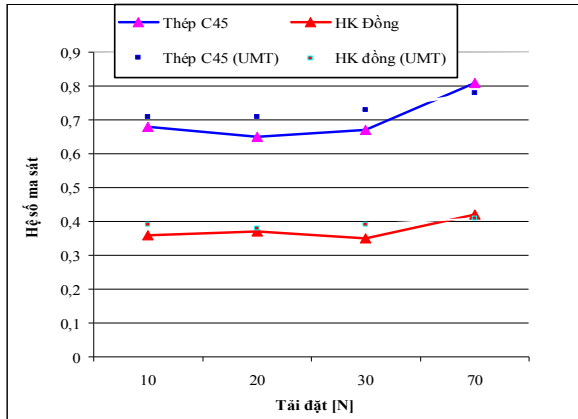
+ Vận tốc trượt tương đối thay đổi theo các mức: 1m/s, 2 m/s, 3 m/s và 5 m/s;

+ Thời gian chạy rà 120 s;

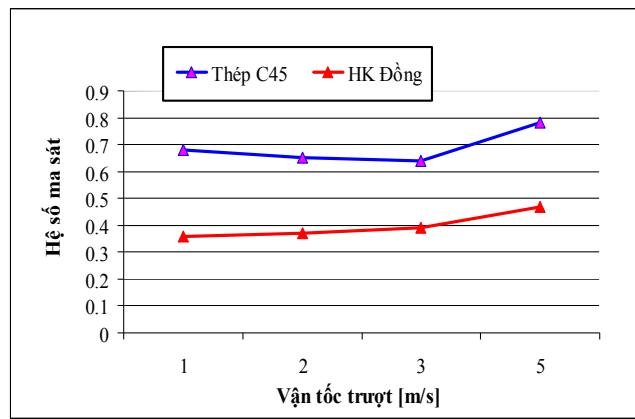
Biểu đồ sự phụ thuộc tải đặt và vận tốc trượt đến hệ số ma sát thể hiện trên hình 10, 11. Trên hình 12, 13 là đồ thị sự phụ thuộc tải đặt và vận tốc trượt đến cường độ mòn của vật liệu.

Từ kết quả này ta thấy, hệ số ma sát và cường độ mòn ổn định khi tải đặt và vận tốc trượt trong phạm vi cho phép. Khi tải đặt và vận tốc trượt vượt quá giá trị tới hạn cho phép hệ số ma sát và cường độ mòn tăng cao do xảy ra hiện tượng bong, tróc bề mặt gây nên hư hỏng vật liệu.

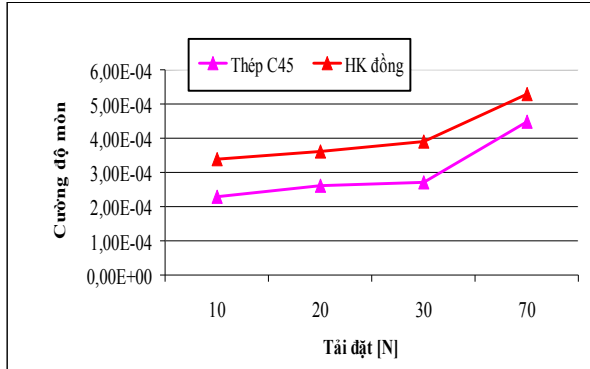
Kết quả thí nghiệm thể hiện trên hình 10 cho thấy hệ số ma sát lần lượt trên thiết bị chế tạo và trên thiết bị UMT của hãng CERT - Mỹ khi tải thay đổi từ 10 N đến 70 N. Sai số của kết quả đo trên hai thiết bị này $\leq 5\%$. Sai số này xuất phát từ nhiều nguyên nhân như điều kiện môi trường thí nghiệm, sai số của cảm biến lực, sai số do cân điện tử... Các biểu đồ này khá tương đồng với biểu đồ cường độ mòn và hệ số ma sát của chi tiết máy theo lý thuyết [8, 9, 10].



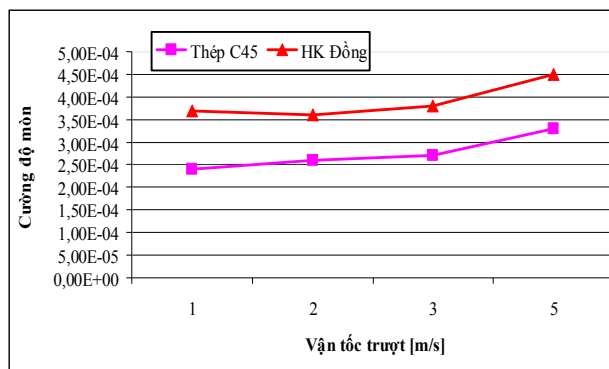
Hình 10. Biểu đồ sự phụ thuộc tải đặt đến hệ số ma sát



Hình 11. Biểu đồ sự phụ thuộc vận tốc trượt đến hệ số ma sát



Hình 12. Biểu đồ sự phụ thuộc tải đặt đến cường độ mòn



Hình 13. Biểu đồ sự phụ thuộc vận tốc trượt đến cường độ mòn

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu thiết kế và chế tạo thiết bị đo tốc độ mòn và hệ số ma sát của các dạng vật liệu khác nhau (thép C45, hợp kim đồng LCuZn30) theo nguyên lý Pin - on - disk (POD). Loại thiết bị chế tạo có thể điều chỉnh thông số tải đặt thay đổi (từ 10 tới 70) N và vận tốc trượt tương đối thay đổi (từ 0,5 tới 7) m/s. Kết quả bài báo cũng chỉ ra rằng, hệ số ma sát của cặp ma sát thép C45 - hợp kim đồng LCuZn30 nhỏ hơn thép C45 - thép C45. Trong khi đó cường độ mòn của thép C45 - hợp kim đồng LCuZn30 lớn hơn cường độ mòn của thép C45 - thép C45. Do vậy khi thiết kế kết cấu ma sát, tùy vào thông số vận tốc trượt, tải đặt để ta chọn

vật liệu phù hợp. Độ chính xác và độ tin cậy của thiết bị có thể được cải thiện nếu sử dụng cảm biến có độ chính xác cao hơn, có khả năng kết nối với máy tính và tự động hoá quá trình đo như thay đổi phương pháp đặt tải tự động.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Vụ Khoa học Công nghệ - Bộ Công Thương, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trong nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <http://www.testingequipmentie.com/pin-disc-friction-wear-testing-system-p-1150.html>.
- [2]. Bhushan ,1999. *Principles and Applications of Tribology*, John Wiley and Sons, USA.
- [3]. Nguyễn Trường Sinh, 2013. *Tài liệu hướng dẫn thí nghiệm ma sát, mài mòn, bôi trơn*, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [4]. Đoàn Yên Thế, 2015. *Nghiên cứu các thông số ảnh hưởng đến đặc tính ma sát của máy thí nghiệm ma sát mài mòn*, Tuyển tập hội nghị khoa học thường niên, 124-126.
- [5]. Nguyễn Văn Giáp, 2014. *Nghiên cứu chế tạo máy xác định đặc tính ma sát- mòn*, Tạp chí Khoa học và công nghệ, Trường Đại học Thái Nguyên, 118(04), 37-41.
- [6]. Nguyễn Thị Quốc Dung, 2014. *Thiết kế chế tạo thiết bị thí nghiệm kiểm tra đặc tính ma sát và độ chịu mài mòn của lớp bề mặt*, Tạp chí Khoa học và công nghệ, Trường Đại học Thái Nguyên, 118(04), 29-36.
- [7]. Phetnoy BOUNMYXAY, 2015. *Khảo sát khả năng chịu tải và độ lệch tâm của trục chính trong ổ đỡ thủy động*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
- [8]. Nguyễn Đăng Bình, Phạm Quang Thế, 2006. *Ma sát, mài mòn và bôi trơn trong kỹ thuật*, NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [9]. Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Hùng, 2005. *Ma sát học*, NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [10]. Nguyễn Doãn Ý, 2005. *Giáo trình ma sát mòn bôi trơn tribology*, NXB Xây dựng.