

## Nghiên cứu đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt theo ASTM của một số loại dầu bôi trơn

Study on the Characteristics of Surface Contacted Friction According to ASTM of Different Lubricants

**Trần Đức Toàn\*, Phạm Văn Hùng**

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 10-9-2018; chấp nhận đăng: 27-9-2019

### Tóm tắt

Bài báo trình bày nghiên cứu về đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt theo ASTM của một số loại dầu thương mại có cùng chỉ tiêu độ nhớt công bố, khi làm việc ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau. Kết quả cho thấy có sự thay đổi đáng kể của đặc tính ma sát theo nhiệt độ của các loại dầu bôi trơn có độ nhớt tương đương. Sự thay đổi đặc tính ma sát dầu sẽ quyết định tính chống mòn và tuổi thọ của cặp ma sát làm việc. Vì vậy lựa chọn dầu bôi trơn theo các chỉ tiêu độ nhớt là chưa đầy đủ, cần phải căn cứ thêm vào đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu mới đảm bảo tuổi thọ và độ tin cậy cho cặp ma sát được bôi trơn.

Từ khóa: Bôi trơn, ma sát, ASTM D4172, đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt.

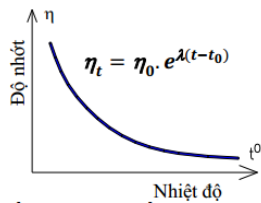
### Abstract

This paper presents the study on the characteristics of surface contacted friction according to ASTM of different commercial lubricants with the same viscosity index working at different temperature conditions. The results show that there are significant changes in the friction characteristics following the temperature of lubricants with equivalent viscosities. The changes in lubricant friction characteristics decide the wear resistant ability and longevity of the working friction pair. Therefore, choosing lubricant according to the viscosity index was not sufficient. It must also be based on the lubricant friction characteristic to ensure the longevity and reliability of the lubricated friction pair.

Keywords: Lubrication, Friction, ASTM D4172, Characteristic of surface contacted friction.

### 1. Đặt vấn đề

Độ nhớt của dầu bôi trơn thay đổi theo nhiệt độ với quan hệ phi tuyến, như hình 1. Đa số dầu bôi trơn thương mại độ nhớt chỉ được công bố ở một mức nhiệt độ quy định. Điều này không thuận lợi cho người sử dụng, do độ nhớt dầu ở nhiệt độ làm việc của máy trong các điều kiện cụ thể cần phải thông qua các tính toán với các hệ số rút ra từ thực nghiệm.



**Hình 1.** Đồ thị nguyên tắc sự phụ thuộc độ nhớt vào nhiệt độ [1,2]

Trên hình:

$\eta_t$ : Độ nhớt ở mức nhiệt  $t$

$\eta_0$ : Độ nhớt ở mức nhiệt  $t_0$

$\lambda$ : Hệ số (0,02-0,03 với dầu)

Về nguyên tắc, khi nhiệt độ tăng độ nhớt dầu giảm, tính năng bôi trơn – chống mòn giảm. Các kết quả thực nghiệm về thay đổi độ nhớt theo nhiệt độ được tiến hành trên các loại dầu bôi trơn đa cấp từ SAE 5W - 30 đến SAE 20W - 50 thể hiện trên hình 2 [3]

Do đó, dầu có độ bền nhiệt tốt là dầu có độ nhớt thay đổi theo nhiệt độ ít nhất và là dầu có tính bôi trơn tốt, tuổi thọ cao. Để đánh giá độ bền nhiệt của dầu bôi trơn hiện nay căn cứ vào chỉ số độ nhớt VI (Viscosity Index). Chỉ số VI càng cao thì độ nhớt dầu càng ít thay đổi theo nhiệt độ. Hiện nay, chỉ tiêu VI được đánh giá theo tiêu chuẩn ASTM D2270, TCVN 6019 - 1995 và ISO2909, một số dầu bôi trơn được bổ sung phụ gia và các dầu tổng hợp có thể đạt  $VI > 100$ . Đồ thị xác định chỉ số VI được thể hiện trên hình 3 và công thức (1)[4].

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \quad (1)$$

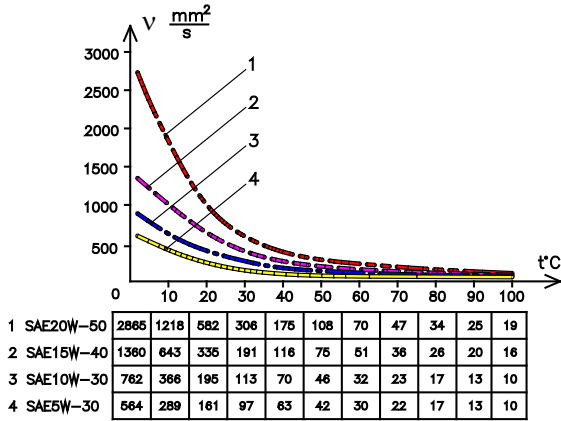
Trong đó:

$U$ : Độ nhớt động học của dầu ở  $40^\circ C$

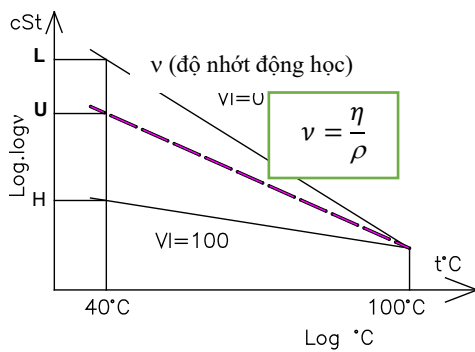
$L, H$ : Độ nhớt động học ở  $40^\circ C$  của dầu  $VI=0$  và  $VI=100$

\* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 988215333

Email: toan.tranduc@hust.edu.vn



**Hình 2.** Biến đổi độ nhớt theo nhiệt độ của một số loại dầu [3]



**Hình 3.** Đồ thị xác định chỉ số VI của dầu [4]

Trong công nghiệp thường dùng công thức Walther [4]

$$\text{Log log} (v + a) = b - c \cdot \text{log} T$$

Trong đó:

*v*: độ nhớt động học

*a*: hằng số (*a* = 0,6-0,8 xác định từ thực nghiệm)

*b, c*: hằng số phụ thuộc dầu

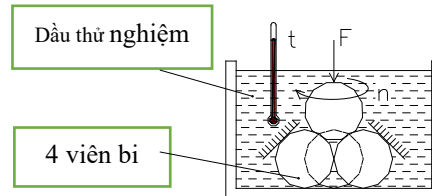
Trên thực tế, độ nhớt và chỉ số nhớt của dầu bôi trơn chưa thể hiện được đầy đủ tính chống mòn của dầu trên bề mặt ma sát tiếp xúc. Tính chống mòn của bề mặt ma sát tiếp xúc là chỉ tiêu quan trọng quyết định tới tuổi thọ và độ tin cậy của cặp ma sát khi làm việc. Vì vậy, đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt theo tiêu chuẩn ASTM của các dầu bôi trơn thương mại trong điều kiện nhiệt độ thay đổi là cơ sở cho việc lựa chọn dầu bôi trơn theo quan điểm ma sát tiếp xúc bề mặt. Đây là căn cứ quan trọng để đưa ra các lựa chọn, sử dụng dầu bôi trơn phù hợp chi tiết máy, thiết bị theo quan điểm chống mòn, tuổi thọ và độ tin cậy trong các điều kiện làm việc cụ thể, đồng thời cũng là cơ sở cho việc điều chỉnh tính toán thiết kế các cặp ma sát nói riêng và thiết bị công nghiệp nói chung.

## 2. Giải quyết vấn đề

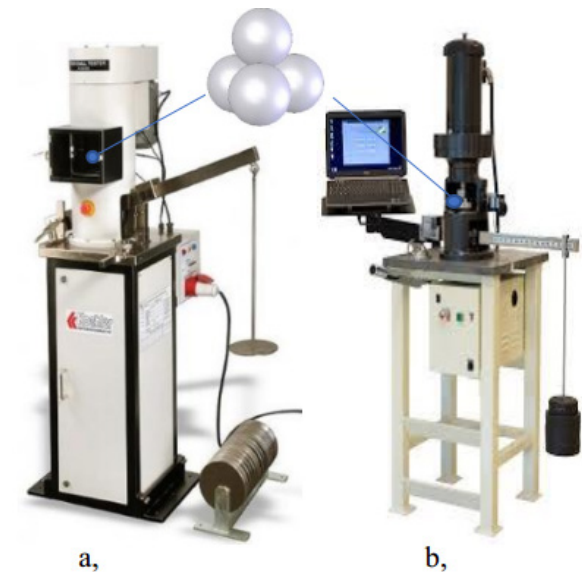
### 2.1. Tiêu chuẩn ASTM về đánh giá đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu bôi trơn [5,6]:

Phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn ASTM D4172 bao gồm các loại dầu bôi trơn cho các cặp ma sát trong điều kiện bôi trơn giới hạn, nửa ướt và ướt. Chỉ tiêu đánh giá là đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt, cụ thể là đường kính vết mòn trong điều kiện thử nghiệm.

Sơ đồ thử nghiệm theo ASTM D4172 được thể hiện như hình 4 – Sơ đồ bố trí các bi khảo sát đặc tính ma sát tiếp xúc



**Hình 4.** Sơ đồ khảo sát đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu theo ASTM D4172



**Hình 5.** Thiết bị thử nghiệm dầu bôi trơn theo phương pháp 4 bi của a: Koehler; b: Falex [7,8]

Theo tiêu chuẩn ASTM D4172, điều kiện và thiết bị thực hiện thí nghiệm được xác định như sau:

\* Các viên bi thực hiện thử nghiệm:

- Đường kính: 12,7 mm
- Vật liệu: Theo ASTM số E 52100
- Độ cứng: 64-66 HRC
- Các bi đôi một tiếp xúc nhau.
- Bi dưới cố định, bi trên quay quanh tâm cố định

\* Nhiệt độ dầu bôi trơn thí nghiệm:  $t = 75 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

\* Tốc độ:  $n = 1200 \pm 60$  vòng/phút

\* Thời gian thí nghiệm:  $60 \pm 1$  phút

\* Tải trọng:

- Phương án thử nghiệm 1:  $F = 147 \pm 2 N$

(có đồ gá đo kết hợp các viên bi theo hướng dẫn).

- Phương án thử nghiệm 2:  $F = 392 \pm 2 N$

(đo kích thước vết mòn từng viên bi và lấy giá trị trung bình)

\* Độ chính xác thiết bị đo:  $\Delta = 0,01$  mm

Dựa trên tiêu chuẩn thử đặc tính ma sát tiếp xúc của dầu: ASTM D4172, nhiều công ty trên thế giới đã sản xuất ra các thiết bị thử nghiệm theo phương pháp 4 bi. Một số thông số kỹ thuật cơ bản của thiết bị được trình bày trong bảng 1 và hình ảnh thiết bị trên hình 5.

**Bảng 1.** Thông số kỹ thuật thiết bị thử nghiệm theo phương pháp 4 bi của một số công ty [7,8]

	Koehler	Falex
Tuân thủ tiêu chuẩn ASTM	D2266; D2596; D2783; D4172; D5183; IP 239.	D2266; D2596; D2783; D4172; D5183; IP 300.
Công suất	1,5 kW	0,5 HP (0,4kW)
Tốc độ (min/max)	300/3000 vg/ph	1200 vg/ph
Tải max N/(vg/ph)	10000/3000 12000/1800.	60kg
Nhiệt độ	75°C	Tự động, max 171°C
Thời gian	1-999'	Rơ le thời gian
Bi (mm)	12,7 mm	

**2.2. Mục đích và phạm vi của thử nghiệm xác định đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu bôi trơn trong điều kiện nhiệt độ thay đổi**

Nghiên cứu được tiến hành trên cơ sở thiết bị được chế tạo theo tiêu chuẩn ASTM D4172, có thể điều chỉnh mức nhiệt độ khác nhau để nghiên cứu đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt thay đổi theo biến thiên của nhiệt độ:

- Xác định đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt thông qua kích thước vết mòn của các viên bi trong tiếp xúc ma sát với các loại dầu thông dụng có cùng đặc tính nhớt theo ISO hoặc SAE

- Đánh giá sự tương quan của chỉ tiêu độ nhớt đặc trưng với chỉ tiêu ma sát tiếp xúc bề mặt thông qua kích thước vết mòn.

Thử nghiệm được tiến hành trong điều kiện nhiệt độ thay đổi trong phạm vi làm việc thực tế của các cấp ma sát (từ 40°C – 100°C).

**2.3. Một số thông số thử nghiệm cơ bản trong nghiên cứu trên cơ sở tiêu chuẩn ASTM**

Lựa chọn các thông số cơ bản của thiết bị và dầu bôi trơn trong thử nghiệm:

\* Chọn phương án đặt tải: 40kg (392N);

\* Tốc độ quay của viên bi: 1200 vòng/phút,

\* Thời gian mỗi lần thử: 60 phút;

\* Nhiệt độ thử: 40°C ÷ 100°C (có t<sup>o</sup> tiêu chuẩn 75°C theo ASTM D4172)

Thử nghiệm được thực hiện với ba loại dầu thương mại có chung thông số đặc trưng 20W-50 – Đây là loại dầu đa cấp có độ nhớt ở nhiệt độ 100°C là 17,5÷21 cSt, và độ nhớt cũng ổn định theo nhiệt độ. Bảng 2 thể hiện một số thông số kỹ thuật được công bố của ba loại dầu.

**Bảng 2.** Một số thông số kỹ thuật của dầu được chọn thí nghiệm

	Dầu 1	Dầu 2	Dầu 3
Thành phần	Dầu gốc khoáng + Phụ gia	Dầu khoáng + Phụ gia	Dầu gốc khoáng
Đạt tiêu chuẩn	API SG; Jaso MA	API SJ; Jaso MA2	API SG; Jaso MA
Khuyến nghị	Động cơ 4T		
Công bố khả năng đặc biệt	Bảo vệ pittong - xilanh ở nhiệt độ cao, ngăn ngừa mài mòn.	Siêu chống nhiệt; Ổn định độ nhớt	-

Như vậy các thông số kỹ thuật không có dữ liệu về VI, do đó đánh giá bền nhiệt của dầu bôi trơn theo VI là chưa có. Nhiệt độ tiến hành thử nghiệm được trình bày trong bảng 3

**Bảng 3.** Bảng thông số thí nghiệm

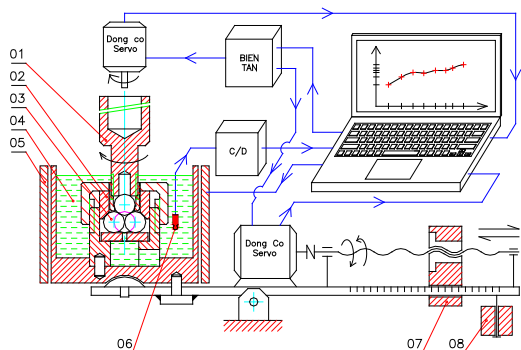
	Dầu 1	Dầu 2	Dầu 3
40°C	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.
50°C	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.
75°C	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.
100°C	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.	392N; 60'; 1200 vg/ph.

**Thiết bị thí nghiệm**

Trên cơ sở tiêu chuẩn ASTM D4172 và yêu cầu cụ thể của thử nghiệm, thiết bị được thiết kế chế tạo đảm bảo các yêu cầu của tiêu chuẩn quy định, và có thể thay đổi các thông số thí nghiệm theo mong muốn: Nhiệt độ, Tải, Tốc độ quay, Thời gian thí nghiệm.

Thiết bị thử nghiệm BK-MSBT.2017 được thiết kế, chế tạo, có kết cấu cơ khí theo nguyên tắc 4 bi thể hiện trên hình 6.

Hệ thống điều khiển của thiết bị được kết nối với máy tính. Hình ảnh tổng thể của thiết bị BK-MSBT-2017 được thể hiện trên hình 7



**Hình 6.** Sơ đồ nguyên lý hoạt động và điều khiển thiết bị BK-MSBT-2017.

Trên hình:

C/D: Bộ chuyển đổi tín hiệu

1: Đầu kẹp bi chuyển động (quay)

2: Vòng kẹp bi cố định

3: Các viên bi trong thí nghiệm

4: Dầu sử dụng trong thí nghiệm

5: Gia nhiệt cảm ứng

6: Cảm biến nhiệt độ

7: Chốt chống xoay

8: Tải trọng (tạo tải, có thể thay đổi)

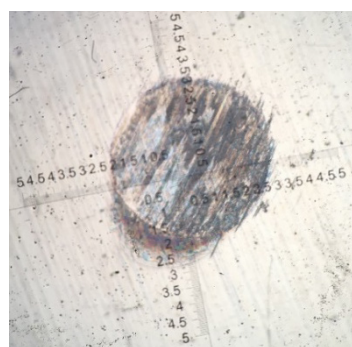


**Hình 7.** Hình dáng chung của thiết bị thí nghiệm BK-MSBT.2017

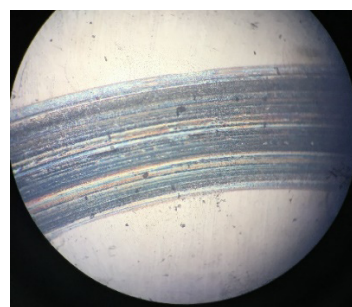
#### 4. Kết quả thử nghiệm, xử lý số liệu và thảo luận

Thực nghiệm được tiến hành ở các mức nhiệt độ khác nhau với tải trọng, số vòng quay và thời gian tương thích tiêu chuẩn ASTM 4172. Tiến hành đo vết mòn viên bi sau mỗi thí nghiệm trên kính hiển vi soi nổi Mitutoyo (Japan) độ chính xác 0,01 mm. Hình 8 thể hiện ảnh chụp vết mòn của viên bi dưới, vết mòn có biên dạng tròn có đường kính thay đổi theo nhiệt độ. Hình 9 thể hiện ảnh chụp vết mòn của viên bi trên,

vết mòn có biên dạng vành khăn, kích thước tương ứng với vết mòn bi dưới



**Hình 8.** Hình ảnh vết mòn của bi dưới



**Hình 9.** Hình ảnh vết mòn bi trên

Tổng hợp kết quả đo kích thước vết mòn các viên bi được thể hiện trong bảng 4.

**Bảng 4.** Đường kính vết mòn các viên bi dưới trong các thí nghiệm Đơn vị: (mm)

	40°C		50°C		75°C		100°C	
	d	TB	d	TB	d	TB	d	TB
Dầu 1	0,565	0,56	0,566	0,568	0,569	0,570	0,576	0,578
	0,553		0,571		0,561		0,572	
	0,562		0,566		0,580		0,584	
Dầu 2	0,599	0,596	0,628	0,629	0,648	0,661	0,700	0,703
	0,596		0,629		0,663		0,702	
	0,594		0,630		0,672		0,708	
Dầu 3	0,565	0,563	0,580	0,585	0,602	0,600	0,629	0,626
	0,565		0,588		0,599		0,630	
	0,559		0,587		0,600		0,620	

*d*-đường kính vết mòn; *TB*-Trung bình đường kính vết mòn

Căn cứ vào bảng kết quả thực nghiệm, xây dựng được đồ thị biến thiên của diện tích vết mòn phụ thuộc nhiệt độ tương thích với tiêu chuẩn ASTM thể hiện trên hình 10.

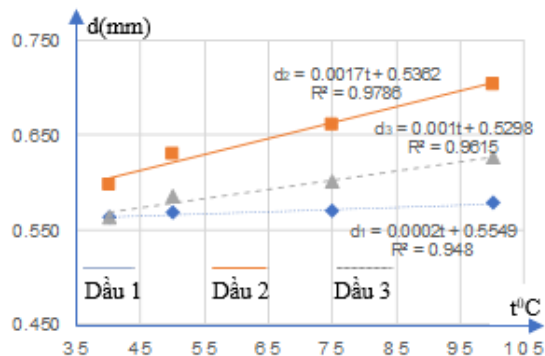
Nhận xét:

- Đường kính vết mòn là đại lượng đặc trưng cho lượng mòn tổng hợp của bi thử nghiệm

- Lượng mòn tăng tuyến tính theo nhiệt độ ( $y=ax+b$ ) cho thấy thử nghiệm nằm trong phạm vi mòn bình thường của các viên bi

- Hệ số ảnh hưởng của “a” cho thấy tốc độ mòn của ba loại dầu là: 0,0002; 0,0017 và 0,001 – có sự khác biệt đáng kể, cho thấy có khả năng do ảnh hưởng của chất phụ gia

- Thừa số “b” của phương trình tại  $t = 40^{\circ}\text{C}$  là 0,563; 0,604; 0,570 cho thấy sự khác biệt về tính chống mòn của các loại dầu không phụ thuộc vào nhiệt độ, thể hiện có khả năng do ảnh hưởng của dầu gốc ban đầu khi chưa bổ sung phụ gia.



**Hình 10.** Đồ thị ảnh hưởng của nhiệt độ đến đường kính vết mòn

Thảo luận:

Độ nhớt của dầu bôi trơn biến đổi phi tuyến theo nhiệt độ, nhiệt độ càng cao thì độ nhớt giảm và khả năng bôi trơn giảm, tính chống ma sát càng kém. Tuy nhiên, hiện nay dầu bôi trơn hiện đại đều được bổ sung thêm các chất phụ gia ổn định nhiệt, chống tạo bọt, chống bám cặn, ... để giảm mức độ ảnh hưởng nhiệt độ đến độ nhớt. Điều này được thể hiện ở chỉ tiêu chỉ số VI của ba loại dầu đều lớn hơn 100.

Đồ thị ảnh hưởng của nhiệt độ đến vết mòn trên hình 10 cho thấy:

- Các loại dầu thực nghiệm có cùng chỉ tiêu độ nhớt công bố là 20W-50 nhưng đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu thể hiện bằng đường kính vết mòn là rất khác nhau. Như vậy tính chống mòn của bề mặt là khác nhau

- Ở  $40^{\circ}\text{C}$  sự khác biệt đặc tính ma sát tiếp xúc của ba loại dầu bôi trơn trong phạm vi khoảng 1,07 lần, ở  $100^{\circ}\text{C}$  sự khác biệt lên đến 1,23 lần.

Cặp ma sát nói riêng và thiết bị nói chung được thiết kế với điều kiện làm việc cụ thể tương ứng với loại dầu bôi trơn có đặc tính kỹ thuật phù hợp. Nó thường được thể hiện bằng chỉ tiêu độ nhớt của dầu theo ISO hoặc SAE hoặc có thêm chỉ số VI trong điều kiện có yêu cầu kỹ thuật cao hơn. Như vậy chỉ tiêu ma

sát tiếp xúc bề mặt ảnh hưởng trực tiếp tới mòn và tuổi thọ chưa được quan tâm công bố.

Tiêu chuẩn ASTM quy định mức nhiệt độ thử chỉ tiêu ma sát tiếp xúc bề mặt ở  $75^{\circ}\text{C}$  chưa bao quát hết điều kiện làm việc cụ thể của thiết bị. Trên thực tế cần có các thử nghiệm đánh giá dầu bôi trơn ở  $100^{\circ}\text{C}$  (Ví dụ nhiệt độ làm việc của động cơ) để đảm bảo gần với điều kiện làm việc để xác định được đường kính vết mòn. Như vậy, đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của dầu bôi trơn là cơ sở quan trọng trong đánh giá tính chống mòn, tuổi thọ và độ tin cậy của dầu cần lựa chọn, nhất là sử dụng cho động cơ đốt trong.

**Kết luận:**

- Các dầu bôi trơn thương mại chỉ công bố chỉ tiêu độ nhớt theo ISO hoặc SAE hoặc bổ sung thêm chỉ số VI là chưa đủ thông tin cần thiết để chọn dầu tối ưu theo quan điểm ma sát tiếp xúc.

- Việc bổ sung thêm các loại chất phụ gia với thành phần và hàm lượng khác nhau tùy thuộc vào các mức dầu bôi trơn của các công ty, dẫn tới sự thay đổi đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt – cụ thể là đường kính vết mòn của các viên bi tiếp xúc ma sát theo nhiệt độ là khác nhau, tuy nhiên, trên thực tế nó không được công bố trong chỉ tiêu kỹ thuật của dầu bôi trơn.

- Nghiên cứu đưa ra mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ tới đặc tính ma sát tiếp xúc bề mặt của các loại dầu bôi trơn, phù hợp với tiêu chuẩn ASTM D4172 là căn cứ quan trọng để đánh giá chất lượng dầu bôi trơn theo quan điểm mòn, độ tin cậy và tuổi thọ.

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2017-PC-043

**Tài liệu tham khảo**

- [1]. Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Hùng (2006). Ma sát học. NXB Khoa học và kỹ thuật;
- [2]. Nguyễn Doãn Ý (2010) Giáo trình Ma sát, Mòn, Bôi trơn Tribology. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật
- [3]. oilandenergy. com. au / wp - content / uploads / 2016 / 06 / vistemp. jpeg
- [4]. researchgate.net/figure/Schematic-representation – of - the-viscosity-index-definition\_fig2\_ 281243055
- [5]. ASTM D4172 – 94(2016). Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four-Ball Method);
- [6]. ASTM D2266 -01 (2007). Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Grease (Four-Ball Method).
- [7]. koehlerinstrument.com/products/four-ball-tester.
- [8]. falex.com/wp-content/uploads / 2017/ 05/ Falex - 4Ball Wear-6page.pdf