

ĐẶC TÍNH CHỐNG MÒN CỦA HỖN HỢP DẦU VÀ PHỤ GIA TRO BAY

ANTI-WEAR CHARACTERISTICS OF A BLEND OF OIL AND FLY ASH ADDITIVE

Bùi Tuấn Anh^{1*}, Hoàng Ngọc Lâm¹,
Lê Đức Độ¹, Nguyễn Trường Giang²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.078>

TÓM TẮT

Nâng cao các đặc tính bôi trơn của dầu luôn là vấn đề được các nhà khoa học cũng như các nhà sản xuất dầu công nghiệp quan tâm. Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá tác động của phụ gia tro bay đến tính chất của dầu bôi trơn trong điều kiện thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM. Kết quả cho thấy việc bổ sung tro bay vào dầu bôi trơn với tỉ lệ 0,5% theo khối lượng có thể cải thiện đáng kể tính chống mài mòn của dầu. Trong các thí nghiệm này, tro bay giúp giảm kích thước vết xước của các viên bi, đồng thời không ảnh hưởng đến các đặc tính vật lý và hóa học của dầu. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, việc bổ sung tro bay làm chất phụ gia trong dầu bôi trơn có thể là một cách hiệu quả để nâng cao tính năng của dầu về đặc tính chống mài mòn và giảm ma sát. Ngoài ra, nó cũng đưa ra một khía cạnh mới trong việc nghiên cứu và ứng dụng phụ gia tro bay cho dầu bôi trơn công nghiệp.

Từ khóa: Dầu bôi trơn, phụ gia tro bay, chống mòn.

ABSTRACT

Improving the lubrication properties of oil is always a concern for both scientists and industrial oil manufacturers. This study focuses on evaluating the impact of fly-ash additive on the characteristics of lubricating oil under ASTM experimental conditions. The results show that adding fly-ash additive to lubricating oil in a ratio of 0.5% by weight can significantly improve the oil's anti-wear properties. In these experiments, fly-ash additive helped reduce the size of scratches on balls, while not affecting the physical and chemical properties of the oil. This research demonstrates that adding fly-ash as an additive in lubricating oil can be an effective way to enhance the oil's performance in terms of anti-wear characteristics and friction reduction. Additionally, it provides a new perspective for the study and application of fly-ash additive in industrial lubricating oil.

Keywords: Oil, fly-ash additive, anti-wear.

¹Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: anh.buituan@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/02/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2023

1. GIỚI THIỆU

Dầu bôi trơn có vai trò của một lớp đệm nhớt nằm giữa bề mặt tiếp xúc của các chi tiết máy có chuyển động, với

vai trò làm giảm thiểu lực ma sát và mài mòn, làm mát và chống gỉ sét cho các bề mặt ma sát, làm tăng hiệu suất vận hành của máy cũng như tuổi thọ và tin cậy. Trong quá trình làm việc dầu bôi trơn bên cạnh việc phải chịu tải trọng và vận tốc còn phải chịu tác động của nhiệt độ, tốc độ lão hóa dầu, môi trường bên ngoài,... làm ảnh hưởng đến khả năng bôi trơn và tuổi thọ của dầu.

Nhu cầu sử dụng dầu bôi trơn công nghiệp ở Việt Nam trong những năm gần đây rất lớn, khoảng từ 350 - 370 nghìn tấn/năm, với tỉ lệ phụ gia khoảng 0,5 - 1%. Trong khi đó, một trong các chỉ tiêu quan trọng nhất đánh giá chất lượng dầu bôi trơn đó là độ nhớt và chỉ số Viscosity Index (VI) - khả năng bền nhiệt của dầu bôi trơn. Để nâng cao khả năng tải cũng như tính bền nhiệt (VI) của dầu bôi trơn người ta đã tiến hành bổ sung các chất phụ gia. Một số nghiên cứu đã công bố trình bày về đặc tính bôi trơn của dầu khi thêm phụ gia nano Al_2O_3 [1, 2]. Việc thêm các vật liệu nano như nano oxit nhôm vào dầu bôi trơn sẽ dẫn đến thay đổi tính chất lưu biến của dầu. Hạt nano oxit nhôm (kích thước khoảng 80 nm) đã được thêm vào dầu bôi trơn thương mại (như BP Vistra) [1]. Các tính chất lưu biến nói chung và độ nhớt động lực nói riêng của hỗn hợp nano oxit nhôm và dầu gốc đã được thực hiện ở các tỉ lệ phần trăm phụ gia và nhiệt độ khác nhau. Kết quả của các thí nghiệm chỉ ra rằng phụ gia nano oxit nhôm đã làm thay đổi độ nhớt động của dầu. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra các tỉ lệ và nhiệt độ của phụ gia nano oxit nhôm được thêm vào dầu bôi trơn để đảm bảo tính bôi trơn tốt. Mặt khác, hỗn hợp dầu bôi trơn và phụ gia nano oxit nhôm Al_2O_3 cũng là đối tượng để nghiên cứu ảnh hưởng của nó đến áp suất thủy động và khả năng chịu tải của ổ. Các kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng phụ gia nano Al_2O_3 đã tạo ra sự thay đổi đáng kể trong biểu đồ áp suất thủy động xung quanh chu vi của ổ, dẫn đến sự gia tăng đáng kể về khả năng chịu tải của ổ [2].

Trên thế giới, nhiều công trình nghiên cứu ảnh hưởng của một số phụ gia dạng hạt có kích thước nhỏ đến chất lượng dầu bôi trơn. Một số nhà khoa học đã trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của các tỷ lệ phụ gia nano oxit kim loại được bổ sung vào dầu bôi trơn (như CuO , Fe_2O_3 , NiO , Al_2O_3 ,...) và ảnh hưởng nhiệt độ đến độ nhớt của dầu. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở đưa ra giải pháp bôi trơn

phù hợp với điều kiện làm việc mong muốn của thiết bị, nhằm duy trì trạng thái làm việc ổn định, góp phần nâng cao tuổi thọ của thiết bị.

Năm 2018, Harshkumar Patel và cộng sự đã công bố nghiên cứu ảnh hưởng của các phần tử nano CuO, Fe₂O₃, NiO và nhiệt độ đến độ nhớt của dầu công nghiệp. Các tác giả tiến hành thí nghiệm với các tỉ lệ nano oxit khác nhau, đồng thời với điều kiện nhiệt độ thay đổi từ 27 - 71° C, với dầu có độ nhớt 77 và 350 PaS. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của các yếu tố này đến độ nhớt của hỗn hợp dầu, theo đó đã làm giảm độ nhớt của dầu 50 - 70% tùy theo tỉ lệ nano oxit kim loại [3]. Harshkumar Patel cho rằng, độ nhớt của hỗn hợp dầu nặng giảm sẽ giảm từ 20 - 93% tùy theo tỷ lệ pha trộn dung dịch nhũ tương vào dầu bôi trơn [4]. Trong một nghiên cứu của Yousef Hamedi Shokrlu và cộng sự năm 2014, các tác giả chỉ ra sự suy giảm độ nhớt phụ thuộc vào mật độ các các phần tử micro hoặc nano kim loại và kích thước của các phần tử này [5]. Yudong Shen và cộng sự cho rằng các hạt nano SiO₂ có thể gây ra hiện tượng ma sát lẫn trên bề mặt ma sát, làm giảm ma sát [6]. Yashvir Singh và cộng sự đã phát triển một loại dầu thân thiện với môi trường có khả năng bôi trơn tốt hơn. Các tác giả đã thêm vào dầu Madhuca indica oxit SiO₂ để cải thiện tính chất nhiệt lý và hiệu suất ma sát học, giảm hệ số ma sát và tốc độ mòn [7]. Trong một nghiên cứu của Can Wu và cộng sự, các tác giả đã cho thấy một nghiên cứu về việc sử dụng hạt nano composite nhân mềm vỏ cứng (ZnO@SiO₂) được tổng hợp bằng phương pháp hóa học như một phụ gia mới trong mỡ bôi trơn, dẫn đến giảm đáng kể hệ số ma sát và đường kính vết mòn khi thêm vào với tỷ lệ 1% và tạo thành một lớp màng bôi trơn pha rắn - lỏng, qua đó cải thiện các tính chất ma sát học của các loại mỡ truyền thống [8].

Các nghiên cứu đều cho thấy độ nhớt giảm do sự có mặt của các phần tử oxit nano kim loại và các loại oxit này là hậu quả của mài mòn, rơi vào vùng bôi trơn một cách tự nhiên. Ngoài ra, các nghiên cứu [9 - 14] cũng mô tả ảnh hưởng của các loại phụ gia nano tới một số tính chất bôi trơn của một số loại dầu công nghiệp. Các nghiên cứu đã sử dụng phụ gia oxit kim loại cho dầu bôi trơn công nghiệp đều cho thấy rằng các phụ gia này có thể cải thiện tính chất bôi trơn của dầu và tăng tuổi thọ của các bộ phận máy móc. Tuy nhiên, các nghiên cứu đánh giá khả năng tải của dầu do ảnh hưởng của các loại phụ gia này chưa được đề cập. Do đó, đây là một nhiệm vụ mà nhóm nghiên cứu thực hiện nhằm tìm ra giải pháp làm thay đổi độ nhớt hoặc ổn định điều kiện làm việc của chi tiết máy trên cơ sở khảo sát khả năng tải của hỗn hợp dầu với phụ gia tro bay. Điều này có ý nghĩa trong việc đánh giá chất lượng bôi trơn các thiết bị chịu tải trọng lớn, làm việc trong môi trường khắc nghiệt của nhà máy.

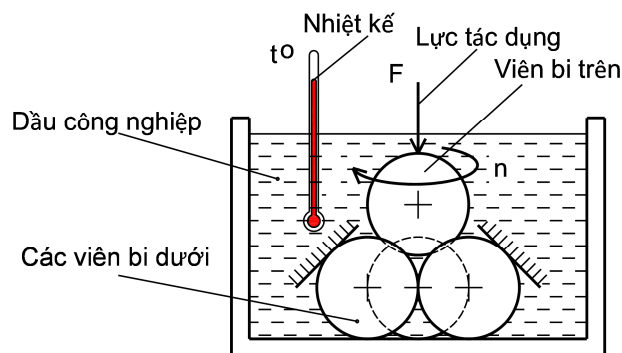
Tro bay là những tinh cầu tròn siêu mịn được cấu thành từ các hạt silic có kích thước hạt từ cỡ nano đến micro. Sử dụng tro bay biến tính nano từ tro bụi của các nhà máy nhiệt điện, một dạng phụ phẩm công nghiệp thu được từ các lò đốt than của nhà máy.

Do đó, nhóm nghiên cứu đề xuất giải pháp nâng cao khả năng tải của dầu bôi trơn công nghiệp bằng việc bổ sung phụ gia nano biến tính có nguồn gốc từ tro bay nhà máy nhiệt điện. Phụ gia nano tro bay sẽ có hàm lượng khoảng 0,5 - 1% của dầu bôi trơn, tạo ra chất bôi trơn công nghiệp dạng hỗn hợp các phần tử nano với dầu. Hàm lượng phù hợp của phụ gia nano được nghiên cứu phát triển sẽ tăng độ nhớt, tính dẫn nhiệt và tuổi thọ hỗn hợp dầu bôi trơn, giảm xả thải cặn dầu, góp phần phát triển xanh, bảo vệ môi trường trước những ảnh hưởng của công nghiệp lọc dầu và chất thải bôi trơn.

Tiêu chuẩn thử nghiệm đặc tính chống mòn dầu bôi trơn ASTM D-4172 của Mỹ là tiêu chuẩn được sử dụng cho các nhà khoa học, kỹ thuật trong việc nghiên cứu đánh giá khả năng tải của dầu, tính bền nhiệt,... thông qua diện tích vết mòn của bốn viên bi trong máy ma sát bốn bi. Thử nghiệm được tiến hành trong điều kiện khắc khe về nhiệt độ, tải tác dụng cũng như thời gian hành dích các viên bi khi độ nhớt của dầu không còn khả năng tách ly các bề mặt ma sát. Tiêu chuẩn ASTM D-4172 phù hợp để làm cơ sở đánh giá chất lượng dầu trong nghiên cứu bổ sung phụ gia nano từ tro bay.

2. THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

Để đánh giá các tính chất ma sát nhất định của dầu bôi trơn theo tiêu chuẩn ASTM D4172, thiết bị thí nghiệm và các tham số thí nghiệm được chuẩn bị và lập kế hoạch. Các tham số chính được bao gồm: (1) Nhiệt độ dầu được duy trì ổn định ở mức 75°C với sai số cho phép là ±2°C; (2) Tốc độ quay của bi trên là 1200 vòng/phút với sai số cho phép là ±60 vòng/phút; (3) Thời gian thí nghiệm là 60 phút với sai số cho phép là ±1 phút; (4) Tải được áp dụng lên bi là 392N với sai số cho phép là ±2N. Máy ma sát bốn bi dùng trong các thí nghiệm này có ký hiệu là B2021-BKA và có sơ đồ nguyên lý được minh họa trên hình 1.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động thiết bị ma sát bốn bi

Mỗi thí nghiệm được thực hiện với bốn viên bi thép có độ cứng cao và có đường kính 12,7mm. Trong đó, ba viên bi được đặt trên một mặt phẳng ngang, tiếp xúc với nhau và được cố định trong suốt quá trình thí nghiệm. Viên bi thứ tư được sắp xếp ở phía trên tiếp xúc với ba viên bi dưới. Các viên bi này được ngâm trong dầu thí nghiệm. Thí nghiệm được thực hiện bằng cách gia nhiệt và điều chỉnh ổn định nhiệt độ dầu bằng hệ thống cảm biến nhiệt độ. Tải

trọng được tác dụng lên viên bi trên theo hướng từ trên xuống dưới. Một chuyển động quay được truyền cho viên bi trên vuông góc với mặt phẳng được hình thành bởi ba viên bi. Thí nghiệm được thực hiện trong 60 phút, sau đó các viên bi được làm sạch và đo đặc kích thước vết xước trên bề mặt tiếp xúc của các viên bi dưới để đánh giá hiệu quả bôi trơn của dầu.

- Bước 1: Làm sạch cẩn thận bốn viên bi cho mỗi thí nghiệm, các bộ phận kẹp cho bi trên và dưới và cốc dầu. Các bộ phận có thể được lau bằng cách sử dụng khăn lau công nghiệp không có xơ vải. Sau khi làm sạch, tất cả các bộ phận chỉ được xử lý bằng cách sử dụng khăn lau mới. Không có dấu vết của dung môi còn lại khi dầu thử nghiệm được thay mới và máy lắp ráp.

- Bước 2: Thắt chặt một trong những bi sạch vào trục chính của máy và kiểm tra.

- Bước 3: Lắp ráp ba trong số các viên bi thử nghiệm đã làm sạch trong cốc dầu thử nghiệm và vận chuyển ren cơ cấu giữ 3 bi dưới.

- Bước 4: Đổ dầu cần đánh giá vào cốc dầu thử nghiệm đến mức ít nhất trên đỉnh của bi 3mm. Đảm bảo rằng mức dầu này vẫn tồn tại sau khi dầu thử nghiệm lấp đầy tất cả các khoảng trống trong cốc dầu thử nghiệm.

- Bước 5: Lắp đặt cốc dầu thử nghiệm vào máy và tránh tải sốc bằng cách từ từ áp dụng tải thử nghiệm (392N).

- Bước 6: Bật bộ phận gia nhiệt và cài đặt điều khiển để tiến hành gia nhiệt cho dầu đạt 75°C. Bộ phận gia nhiệt tự động ngắt khi nhiệt độ dầu cao hơn 75°C và ngược lại.

- Bước 7: Khi đạt đến nhiệt độ yêu cầu, khởi động động cơ để truyền chuyển động quay cho trục gắn bi trên. Động cơ được bật tự động bằng bộ điều khiển khi nhiệt độ đạt 75°C ± 2°C và chạy trong vòng 60 phút sẽ tự động tắt nhờ rơ-le thời gian.

- Bước 8: Sau khi động cơ đã được chạy trong 60 phút máy sẽ dừng, sau đó tháo cốc dầu thử nghiệm và ba viên bi.

- Bước 9: Đo vết xước mòn trên ba viên bi dưới bằng thiết bị có độ chính xác cao theo trình tự sau: Xả dầu thử nghiệm, tháo ba bi trong cốc thí nghiệm và rửa sạch để tiến hành đo các thông số theo yêu cầu. Thực hiện đo đường kính vết xước trên máy hiển vi rồi tính trung bình. Lặp lại thí nghiệm theo trình tự trên.

Mẫu thí nghiệm

Để đảm bảo đủ mẫu cho các thí nghiệm đã được lên kế hoạch từ trước, các viên bi được chuẩn bị đầy đủ về số lượng, được làm sạch và kiểm tra về kích thước cũng như độ cứng bề mặt trước khi lắp đặt vào máy thí nghiệm. Sau mỗi thí nghiệm, các viên bi được phân loại để tiến hành đo đặc tính thông số cần thiết.

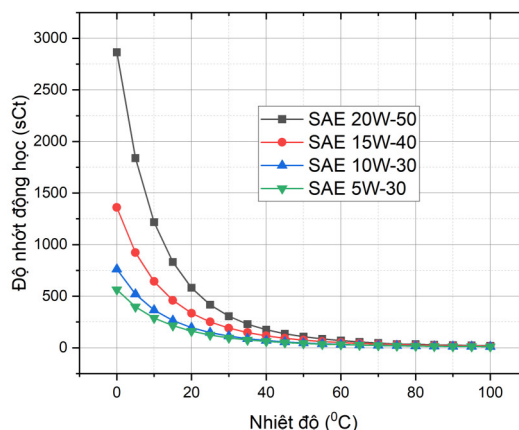
Dầu thí nghiệm

Ở nghiên cứu này, dầu công nghiệp được lựa chọn cho các thí nghiệm, có các đặc tính kỹ thuật chính được liệt kê trong bảng 1. Theo đó, để đánh giá khách quan, ta gán tên cho dầu công nghiệp thương mại này là dầu A.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chính của dầu thí nghiệm

Thông số	Phương pháp thử	Đơn vị	Dầu A
Khối lượng riêng ở 15°C	ASTM D4052	g/ml	0,852
Độ nhớt động học ở 100°C	ASTM D445	mm ² /s	11,9
Độ nhớt động học ở 40°C	ASTM D445	mm ² /s	65
Chỉ số độ nhớt	ASTM D2270	-	183
Điểm rót chảy	ASTM D97	°C	-45
Cleveland	ASTM D92	°C	234
Độ tro sun-phát	ASTM D874	%	1,2

Như chúng ta đã biết, khi thiết bị làm việc ở môi trường có nhiệt độ thấp, dầu có thể bị đông đặc dẫn tới khó khăn khi khởi động (chi tiết máy ma sát trực tiếp mà không được bôi trơn). Do đó các nhà nghiên cứu đã đưa thêm chất phụ gia đặc biệt giúp giảm sự phụ thuộc độ nhớt dầu bôi trơn vào nhiệt độ môi trường - dầu đa cấp - giúp động cơ có khả năng khởi động ở nhiệt thấp mà vẫn đảm bảo bôi trơn. Quá trình khởi động chỉ là một giai đoạn ngắn trong tổng thể thời gian làm việc của động cơ. Khi động cơ làm việc ở giai đoạn ổn định (nhiệt độ từ 40°C - 100°C) sự phụ thuộc của độ nhớt vào nhiệt độ được xem là mối quan hệ tuyến tính. Vì vậy, hoàn toàn có thể xác định mối quan hệ độ nhớt vào nhiệt độ của dầu đa cấp là mối quan hệ bậc nhất. Hình 2 mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ tới độ nhớt động học của một số loại dầu công nghiệp. Theo đó, có thể thấy các loại dầu cần phải đáp ứng khả năng ổn định độ nhớt trong vùng làm việc.



Hình 2. Độ nhớt động học của một số dầu bôi trơn theo nhiệt độ [15]

Độ nhớt là một trong những chỉ tiêu mà ảnh hưởng của nó là tương đối quan trọng đến chất lượng bôi trơn, thể hiện qua vết xước trong thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM D472. Tuy nhiên, nếu chỉ đánh giá đặc tính bôi trơn trên cơ sở chỉ tiêu về độ nhớt của dầu có thể là một sai lầm bởi nhiều nghiên cứu đã đưa ra ảnh hưởng của chất phụ gia đến đặc tính bôi trơn của dầu - Điều này thể hiện ở sự công bố các thông số dầu đưa ra bởi nhà sản xuất.

Phụ gia tro bay

Thành phần chủ yếu trong tro bay bao gồm các ô xít kim loại, như SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃..., có cấu trúc hình cầu,

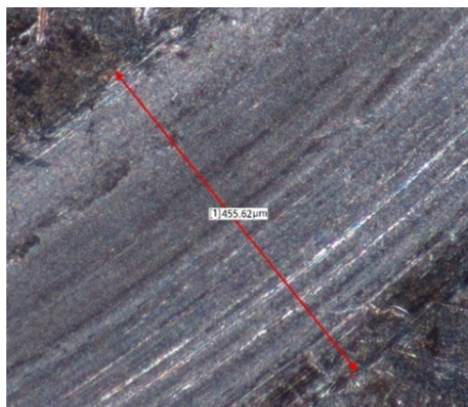
dạng hạt phù sa, kích thước cỡ um. Do vậy, sử dụng tro bay biến tính từ tro bụi của các nhà máy nhiệt điện, với dạng hình cầu có kích thước cỡ um có thể được sử dụng như một chất phụ gia với khả năng tạo vi ma sát lẫn trên vùng tiếp xúc của các bề mặt ma sát, nhằm tăng độ nhớt, tính dẫn nhiệt và tuổi thọ hỗn hợp dầu bôi trơn, giảm xả thải cặn trong các thiết bị máy móc. Thông thường, tỉ lệ phụ gia được thêm vào dầu bôi trơn khoảng từ 0,5 đến 1% theo khối lượng. Ở nghiên cứu này, tro bay được lựa chọn làm phụ gia với tỉ lệ 0,5% với dầu công nghiệp A, tạo ra hỗn hợp các phần tử oxit với dầu. Hàm lượng phù hợp của phụ gia được nghiên cứu phát triển sẽ tăng độ nhớt, tính dẫn nhiệt và tuổi thọ hỗn hợp dầu bôi trơn, giảm xả thải cặn dầu, góp phần phát triển xanh, bảo vệ môi trường trước những ảnh hưởng của công nghiệp lọc dầu và chất thải bôi trơn. Trong các thí nghiệm ở nghiên cứu này, tro bay từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải đã được sử dụng làm phụ gia, có thành phần chủ yếu như trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần chính tro bay

Thành phần	Tỉ trọng
SiO ₂	57,02%
Al ₂ O ₃	23,82%
K ₂ O	6,56%
Fe ₂ O ₃	4,69%

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi thực hiện các thí nghiệm, tiến hành đo kích thước vết xước các bi trong các thí nghiệm bằng thiết bị đo kính hiển vi. Mỗi thí nghiệm được lặp lại ba lần, do đó, các thông số viên bi trước và sau khi thí nghiệm là giá trị trung bình của các viên bi cho mỗi thí nghiệm. Các thí nghiệm được thực hiện với một loại dầu công nghiệp và hai trường hợp phụ gia tro bay 0,5% và không có phụ gia. Hình ảnh mô tả kích thước vết xước bi trên và bi dưới cho các thí nghiệm này được chỉ ra trên hình 3, 4. Theo đó, các thông số về bề rộng vết xước của các viên bi phía trên và đường kính vết xước của các viên bi phía dưới được quan sát và đo đạc nhằm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia tới khả năng chống mòn vật liệu so với trường hợp không có phụ gia. Bảng 3, 4 liệt kê các giá trị trung bình đường kính và chiều rộng vết xước các viên bi trong các thí nghiệm này.

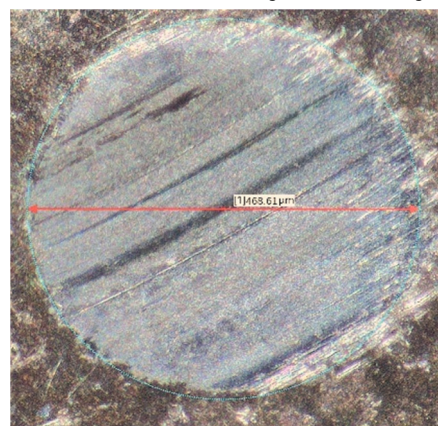


(a)

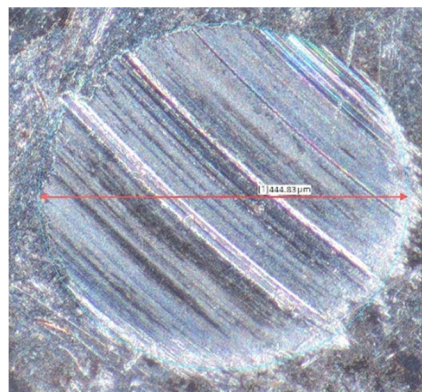


(b)

Hình 3. Vết xước viên bi trên: (a) 0% phụ gia; (b) 0,5% phụ gia



(a)



(b)

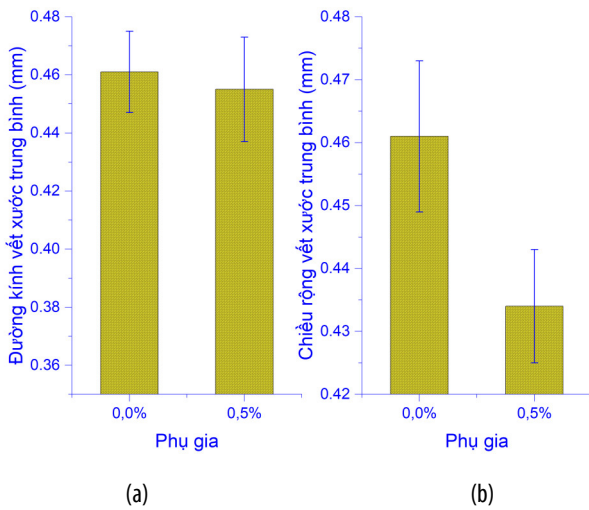
Hình 4. Vết xước viên bi dưới: (a) 0% phụ gia; (b) 0,5% phụ gia

Bảng 3. Đường kính vết xước trung bình

Phụ gia	Đường kính vết xước trung bình (mm)	Độ lệch chuẩn
0%	0,461	0,014
0,5%	0,455	0,018

Bảng 4. Chiều rộng vết xước trung bình

Phụ gia	Chiều rộng vết xước trung bình (mm)	Độ lệch chuẩn
0%	0,461	0,012
0,5%	0,434	0,009

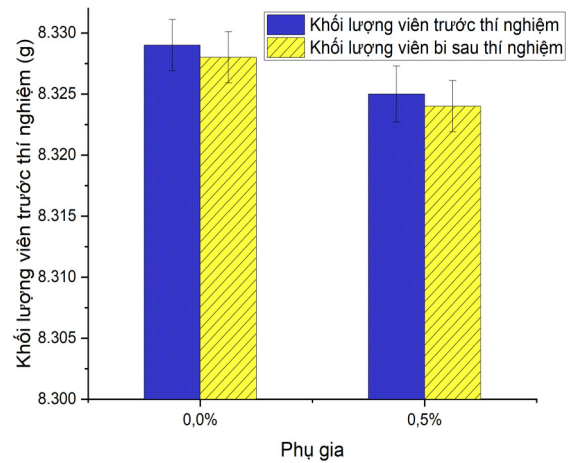


Hình 5. (a) Đường kính vết xước và (b) Chiều rộng vết xước

Để đánh giá ảnh hưởng của phụ gia hoặc dầu bôi trơn đến khả năng chống mòn bề mặt chi tiết thông qua việc xem xét các vết xước viên bi trong điều kiện thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM. Kích thước vết xước các bi dưới được xác định là đường kính trung bình và độ lệch chuẩn cũng được tính toán và liệt kê trong bảng 3. Tương tự, đối với các bi trên, bề rộng vết xước cũng được đo đạc và tính giá trị trung bình cùng độ lệch chuẩn và liệt kê trong bảng 4. Các kết quả này cho thấy rằng khi bổ sung phụ gia tro bay với tỉ lệ 0,5% có khả năng cải thiện khả năng chống mòn của dầu. Điều này thể hiện ở kích thước đường kính vết xước và chiều rộng vết xước giảm so với trường hợp bôi trơn không có phụ gia. Mặc dù các giá trị này giảm không lớn, nhưng có thể thấy phụ gia đóng vai trò giúp nâng cao tính chống mòn tốt hơn cho dầu bôi trơn. Điều này có thể do các hạt oxit kim loại có kích thước nano/micro từ phụ gia tro bay đã làm phân cách các bề mặt ma sát và biến hiện tượng ma sát trượt thành ma sát lăn trong khi làm việc, làm giảm ma sát và góp phần giảm mài mòn giữa các bề mặt. Do đó, việc lựa chọn dầu, hay tỉ lệ phụ gia là quan trọng và cần được nghiên cứu sâu hơn. Ngoài ra, việc thêm phụ gia cũng có thể làm tăng độ nhớt của dầu, ảnh hưởng đến khả năng tải của hỗn hợp dầu. Tuy nhiên, tỉ lệ phụ gia phù hợp để đảm bảo điều kiện làm việc theo các thông số thiết kế là nhiệm vụ cần được nghiên cứu kỹ hơn. Có thể thấy do sự tương tác giữa các phần tử phụ gia trong dầu và các yếu tố khác như nhiệt độ và tải trọng trong quá trình thí nghiệm đã tác động đến khả năng chống mòn khác nhau của dầu cũng như hỗn hợp dầu và phụ gia.

Bảng 5. Khối lượng trung bình viên bi trước và sau thí nghiệm

Phụ gia	Khối lượng viên trước thí nghiệm (g)	Độ lệch chuẩn	Khối lượng viên bi sau thí nghiệm (g)	Độ lệch chuẩn
0%	8,329	0,0021	8,328	0,0021
0,5%	8,325	0,0023	8,324	0,0021



Hình 6. Khối lượng các viên bi trước và sau thí nghiệm trong điều kiện có và không có phụ gia

Ngoài ra, để đánh giá đặc tính ma sát trong điều kiện bôi trơn có và không có phụ gia theo điều kiện thí nghiệm được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM 4172, khối lượng trung bình và độ lệch chuẩn các viên bi trước và sau thí nghiệm được liệt kê trong bảng 5, nhằm có cái nhìn tổng thể và trực quan hơn khả năng chống mòn của dầu bôi trơn hoặc hỗn hợp dầu bôi trơn với 0,5% phụ gia tro bay. Theo đó, có thể thấy rằng, sau khoảng thời gian làm việc, các viên bi sẽ bị mòn và thể hiện ở việc khối lượng các viên bi giảm đi. Trong cả hai trường hợp có phụ gia hoặc không có phụ gia trong dầu bôi trơn, các viên bi đều giảm khoảng 0,001g. Tuy nhiên, có thể thấy rằng, mức độ phân tán giá trị khối lượng trong các trường hợp có bổ sung phụ gia thì đã giảm từ 0,0023 xuống còn 0,0021, do đó có thể nói rằng, giá trị phép đo đạt độ tin cậy hơn. Mặt khác, phụ gia tro bay với phần lớn là các hạt oxit kim loại, đóng vai trò biến bôi trơn ma sát ướt sang ma sát ướt-lăn, do có các phần tử oxit kim loại tồn tại giữa các bề mặt ma sát.

4. KẾT LUẬN

Việc bổ sung tro bay làm chất phụ gia trong dầu bôi trơn có thể cải thiện đáng kể đặc tính chống mài mòn của dầu. Nồng độ tro bay trong hỗn hợp dầu - phụ gia cũng ảnh hưởng đến tính năng bôi trơn của dầu. Ở nghiên cứu này, tỉ lệ tro bay trong các thí nghiệm này là khoảng 0,5% tính theo khối lượng, kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, tro bay đóng vai trò làm giảm kích thước vết xước các viên bi trong điều kiện làm việc theo tiêu chuẩn ASTM. Nghiên cứu cũng cho thấy, việc bổ sung tro bay làm chất phụ gia trong dầu bôi trơn có thể là một cách hiệu quả để nâng cao tính năng của dầu về đặc tính chống mài mòn và chống ma sát mà không ảnh hưởng đến các đặc tính vật lý và hóa học của dầu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo, trong đề tài mã số B2021-BKA-13.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tuan-Anh Bui, Van-Hung Pham, Ngoc-Tam Bui, Manh-Toan Nguyen, 2020. *Effect of Al₂O₃ nanoparticle on rheological properties of oil*. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, vol. 10.
- [2]. Tuan-Anh Bui, Duc-Do Le, Van-Hung Pham, Ngoc-Tam Bui, Manh-Toan Nguyen, 2020. *A study of Al₂O₃ nanoparticle effect on lubricant to hydrodynamic journal bearing*. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, vol. 10.
- [3]. Harshkumar Patel, Subhash Shah, Ramadan Ahmed, Sezai Ucan, 2018. *Effects of nanoparticles and temperature on heavy oil viscosity*. Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 167, pp. 819-828.
- [4]. Harshkumar Patel, 2016. *Effect of nanoparticles and solvent based emulsion on heavy oil viscosity*. University of Oklahoma.
- [5]. Yousef Hamed Shokrlu, Tayfun Babadagli, 2014. *Viscosity reduction of heavy oil/bitumen using micro- and nano-metal particles during aqueous and non-aqueous thermal applications*. Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 119, pp. 210-220.
- [6]. Yudong Shen, Wenwu Lei, Wentao Tang, Tiancheng Ouyang, Lizhe Liang, Zhi Qun Tian, Pei Kang Shen, 2022. *Synergistic friction-reduction and wear-resistance mechanism of 3D graphene and SiO₂ nanoblend at harsh friction interface*. Wear, vol. 488-489, pp. 204175.
- [7]. Yashvir Singh, Erween Abd Rahim, Nishant Kumar Singh, Abhishek Sharma, Amneesh Singla, Arkom Palamanit, 2022. *Friction and wear characteristics of chemically modified mahua (madhuca indica) oil based lubricant with SiO₂ nanoparticles as additives*. Wear, vol. 508-509, pp. 204463.
- [8]. Can Wu, Shuaishuai Li, Ying Chen, Lidan Yao, Xinglin Li, Jing Ni, 2023. *Tribological properties of chemical composite and physical mixture of ZnO and SiO₂ nanoparticles as grease additives*. Applied Surface Science, vol. 612, pp. 155932.
- [9]. Yousef Hamed Shokrlu, Tayfun Babadagli, 2010. *Effects of Nano-Sized Metals on Viscosity Reduction of Heavy Oil/Bitumen During Thermal Applications*. Society of Petroleum Engineers - Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference 2010, vol. 3.
- [10]. Christian Alberto, Christian Paternina Ortiz, 2018. *Brief Introduction of effect of size of particles for Dissolution Thermodynamics on Nanoparticles and Its Effect on the Decreasing of Viscosity into Heavy Oil*. DOI:10.13140/RG.2.2.29032.52481
- [11]. Ming Chen, Chen Li, Guo-Rui Li, Yan-Ling Chen, Cheng-Gang Zhou, 2019. *In situ preparation of well-dispersed CuO nanocatalysts in heavy oil for catalytic aquathermolysis*. Petroleum Science, vol. 16, pp. 439-446.
- [12]. Nooshin Taghili, Mehrdad Manteghian, Arezou Jafari, 2020. *Novel preparation of MoO₃/γ-Al₂O₃ nanocatalyst: application in extra-heavy oil visbreaking at atmospheric pressure*. Applied Nanoscience, vol. 10, pp. 1603-1613.
- [13]. Rohan Jadhav, Jitendra Sangwai, 2020. *Interaction of Heavy Crude Oil and Nanoparticles for Heavy Oil Upgrading*. In: Ledwani, L., Sangwai, J. (eds) Nanotechnology for Energy and Environmental Engineering. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33774-2_10
- [14]. F. Fako, Harshkumar Patel, Subhash Shah, 2018. *Nanotechnology: Innovative Applications in the Oil & Gas Industry*. International Journal of Global Advanced Materials & Nanotechnology, vol. 1, pp. 16-30.
- [15]. Automotive Fluids - Lubricating Oils & Greases, Fuels, Coolants & Brake Fluids, https://www.kewengineering.co.uk/Auto_oils/oil_viscosity_explained.htm.

AUTHORS INFORMATION**Bui Tuan Anh¹, Hoang Ngoc Lam¹, Le Duc Do¹, Nguyen Truong Giang²**¹School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology²Hanoi University of Industry