

# ĐÁNH GIÁ ĐỘ MÒN THIẾT BỊ CUNG CẤP NHIÊN LIỆU KHI LÀM VIỆC VỚI DẦU MDO VÀ HỖN HỢP MDO-DẦU THỰC VẬT

## EVALUATION OF WEAR OF MECHANICAL FUEL INJECTION EQUIPMENT WHEN WORKING WITH MDO OIL AND MDO-VEGETABLE OILS

LƯU QUANG HIỆU\*, ĐẶNG THANH TÙNG, VŨ ĐỨC ANH

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: luuquanghieu@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Quy định nghiêm ngặt về phát thải  $SO_x$  từ tàu biển có hiệu lực, các loại nhiên liệu chưng cất có hàm lượng lưu huỳnh thấp được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, việc sử dụng nhiên liệu mới này khiến các động cơ gặp các vấn đề mài mòn thiết bị cung cấp nhiên liệu. Những nghiên cứu trong phòng thí nghiệm đã chỉ ra rằng hàm lượng lưu huỳnh có ảnh hưởng lớn nhất đến độ bôi trơn của nhiên liệu. Trong nghiên cứu này một mô hình thử nghiệm piston bơm cao áp được thiết kế và thử nghiệm độ bền thực hiện trong 100 giờ với MDO và MDO - hỗn hợp dầu thực vật. Kết quả thử nghiệm cho thấy, độ mòn của piston bơm cao áp tăng gấp 10 lần khi chúng làm việc với MDO chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp. Một giải pháp hiệu quả để cải thiện khả năng bôi trơn của MDO chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp là thêm dầu cọ với nồng độ 3%.

**Từ khóa:** Phát thải  $SO_x$ , mài mòn, MDO, dầu cọ.

### Abstract

Strict regulations on  $SO_x$  emissions from ships were in force, the low-sulfur marine distillate oils (LSMDO) began to be extensively applied. However use of these new fuels in existing engines leads to problems such as wear of fuel injection equipment. The laboratory analysis of tribotechnical characteristics of such fuels has shown that sulphur content make the greatest effect on their antiwear properties. In this experimental study, a test simulation model on the engine fuel pump plunger pairs was designed and the strengthens test was performed in 100 hours with MDO and MDO - vegetable oils blends. Test results shown that the wear of the high pressure pump plungers increases 10 times when they work with LSMDO. Adding the palm oil to LSMDO with the concentration of 3% is the effective way to increase the lubricating property of LSMDO.

**Keywords:**  $SO_x$  emissions, wear, MDO, palm oil.

### 1. Đặt vấn đề

Từ ngày 01/01/2020, quy định mới về giới hạn lưu huỳnh trong nhiên liệu hàng hải chính thức có hiệu lực, tất cả tàu hoạt động tại các vùng biển ngoài khu vực kiểm soát phát thải ô xít lưu huỳnh (ECA) phải sử dụng nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh bị cắt giảm từ mức 3,5% trước đây xuống 0,5%, hoặc phải trang bị hệ thống làm sạch khí xả. Các tàu hoạt động trong vùng kiểm soát phát thải tiếp tục sử dụng nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh không vượt quá 0,1%. Quy định chặt chẽ này cắt giảm 70% tổng lượng phát thải ôxít lưu huỳnh từ vận tải biển trên phạm vi toàn cầu, mở ra một kỷ nguyên mới về không khí sạch hơn ở các cảng, các khu vực ven biển và toàn thế giới.

Để đáp ứng Quy định cắt giảm phát thải  $SO_x$  phần lớn các tàu hàng phải chuyển đổi từ nhiên liệu nặng sang sử dụng nhiên liệu chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp. Đây là hỗn hợp nhiên liệu mới, được sản xuất bởi các nhà máy lọc dầu để đáp ứng giới hạn lưu huỳnh phù hợp với hướng dẫn của IMO theo tiêu chuẩn hóa quốc tế ISO 8217 và ISO/PAS 23263. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu [1, 2] cùng khuyến cáo của các hãng sản xuất động cơ lớn như MAN B&W, Wartsila[3],... cho rằng sử dụng nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh thấp có độ nhớt thấp có thể gây ra những hậu quả nghiêm trọng đối với thiết bị cung cấp nhiên liệu động cơ diesel do không đảm bảo độ bôi trơn.

Hệ thống cung cấp nhiên liệu có ảnh hưởng trực tiếp đến công suất và hiệu suất của động cơ. Trong đó tần suất hư hỏng lớn nhất thường gặp ở những chi tiết như: piston và xy lanh bơm cao áp, kim phun,... Tuổi thọ của các thiết bị này phụ thuộc chủ yếu vào điều kiện bôi trơn khi làm việc. Nghiên cứu [4] thực hiện trên máy đo độ bôi trơn chỉ ra rằng, độ bôi trơn của nhiên liệu khoáng được cải thiện đáng kể khi bổ sung dầu thực vật với hàm lượng 1-3%, tăng tỷ lệ dầu thực vật hiệu quả bôi trơn tăng không đáng kể. Dầu thực vật gần như không chứa lưu huỳnh, có hàm lượng oxy cao, điểm chớp cháy và bén cháy cao, độ bôi trơn cao và khả năng hòa trộn tương thích với dầu diesel khoáng. Sử dụng dầu thực vật với tỷ lệ nhỏ dưới 3% trong vai trò chất phụ gia bôi trơn có tiềm năng lớn áp dụng trong thực tế

giúp cải thiện độ bôi trơn của các loại nhiên liệu chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp hiện nay.

Tuy nhiên, khi đánh giá độ mòn thiết bị cung cấp nhiên liệu cần xem xét ở cả khía cạnh mài mòn và ăn mòn. Khi xảy ra ăn mòn do các phản ứng điện hóa hoặc hóa học trên bề mặt ma sát thì nó có thể làm tăng tốc độ mài mòn và ngược lại. Mức độ ăn mòn các chi tiết kim loại phụ thuộc vào khả năng oxy hóa của loại nhiên liệu thử nghiệm cùng các điều kiện môi trường như nhiệt độ và độ ẩm. Vấn đề ăn mòn của dầu thực vật cần được quan tâm do có sự hiện diện của oxy trong các nhóm chức, tính chất hút ẩm cùng sự hiện diện của các axit béo tự do và không bão hòa. Chính vì thế các loại dầu diesel sinh học có tính ăn mòn cao hơn dầu diesel khoáng nhưng lại có khả năng bôi trơn cao hơn.

Độ bôi trơn của nhiên liệu thường được đánh giá thông qua việc đo đường kính mài mòn bi cầu ma sát trong môi trường chứa nhiên liệu thử nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM D975, thời gian thực hiện thường chỉ diễn ra trong khoảng 30-75 phút nên chủ yếu chỉ đánh giá được mức độ mài mòn, tác động ăn mòn ít có ảnh hưởng. Vì vậy, cần thiết tiến hành thử nghiệm trên động cơ thực trong khoảng thời gian đủ lớn để đánh giá độ mòn một cách tổng thể của thiết bị cung cấp nhiên liệu động cơ diesel tàu thủy khi làm việc với các loại nhiên liệu khác nhau: Marine Diesel Oil (MDO) và hỗn hợp MDO - dầu thực vật.

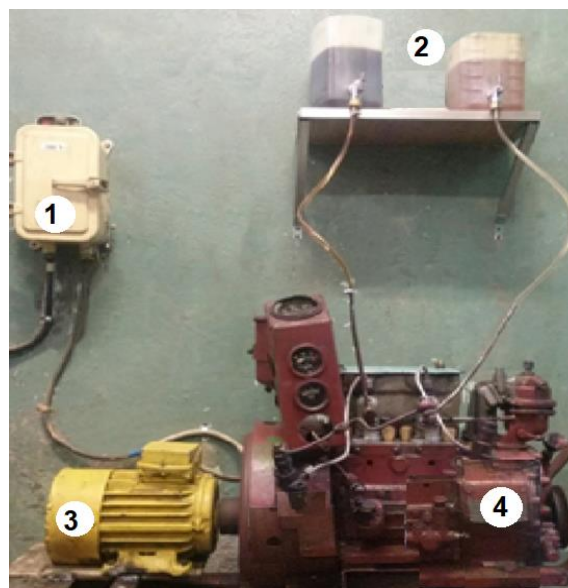
## 2. Chuẩn bị thử nghiệm

Đối tượng thử nghiệm là các nhiên MDO theo tiêu chuẩn ISO 8217-2013: mẫu 1 là MDO truyền thống có hàm lượng lưu huỳnh lưu huỳnh 0,92 %; mẫu 2 là MDO có độ nhớt thấp và hàm lượng lưu huỳnh thấp; mẫu 3 là hỗn hợp MDO và 3% dầu cọ - một loại dầu thực vật phổ biến ở Đông Nam Á. Độ bôi trơn của các mẫu nhiên liệu được xác định theo phương pháp ISO 12156-1-2012 trên máy đo cao tần HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) số hiệu D 1192, thước đo micromet điện tử. Các giá trị đặc tính thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1. Đặc tính nhiên liệu thử nghiệm**

| Đặc tính                           | Mẫu nhiên liệu |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|
|                                    | Mẫu 1          | Mẫu 2 | Mẫu 3 |
| Hàm lượng lưu huỳnh, % khối lượng. | 0,92           | 0,091 | 0,089 |
| Độ nhớt động học ở 40°C, sSt       | 5,55           | 1,67  | 1,75  |
| Độ bôi trơn, $\mu\text{m}$         | 349            | 737   | 353   |

Để hoàn thành các mục tiêu đề ra, một mô hình thử nghiệm được thiết kế trên cơ sở động cơ diesel thủy cỡ nhỏ 24H8.5/11. Động cơ diesel 24H8.5/11 được tháo ra khỏi hệ thống diesel lai máy phát 2ДГ7У2, đồng thời tháo dỡ hầu hết các bộ phận chuyên động. Phần còn lại của thiết bị bao gồm trục khuỷu và trục cam, các bộ phận của hệ thống bôi trơn và thiết bị nhiên liệu được dẫn động bởi một động cơ điện lắp đồng trục. Mô hình thí nghiệm thể hiện trên Hình 1.



**Hình 1. Sơ đồ thiết bị thử nghiệm**

1 - bảng điện; 2 - nhiên liệu; 3 - động cơ điện; 4 - động cơ diesel

Thử nghiệm tập trung vào đánh giá độ mòn của chi tiết piston bơm cao áp. Mô hình thử nghiệm được thiết kế gồm:

- Vòi phun nhiên liệu được phun trực tiếp vào thùng dầu, sau đó được tuần hoàn lại khay chứa. Trong suốt quá trình thử nghiệm đối với các loại nhiên liệu khác nhau vòi phun được điều chỉnh định lượng phun tương đương nhau.

- Động cơ điện (220-230V, 1500 vòng/phút) trang bị để truyền động trực tiếp cho trục khuỷu động cơ diesel. Khi trục khuỷu quay dẫn động cơ cấu cam nhiên liệu, chuyển động quay của trục cam chuyển thành chuyển động tịnh tiến của piston bơm cao áp. Hệ thống nhiên liệu và bôi trơn hoạt động tương tự như khi động cơ làm việc.

- Các khay chứa nhiên liệu khác nhau giúp thí nghiệm được tiến hành đồng thời các mẫu.

- Đồng hồ bấm giờ để theo dõi thời gian thử nghiệm và định kì thay dầu.

### 3. Tiến hành thử nghiệm

Trước khi tiến hành thử nghiệm, các piston bơm cao áp được tháo rời để xác định khối lượng và kiểm tra tình trạng bề mặt. Các chi tiết bơm cao áp được tháo rời, rửa sạch dầu mỡ và bụi bẩn bằng dầu diesel. Tiếp đó, chúng được làm sạch một lần nữa bằng dung môi Toluene. Các chi tiết được sấy khô ở nhiệt độ 120°C trong 30 phút, để nguội ở khoảng cách ly đến nhiệt độ phòng thì được tiến hành đo đạc cẩn thận. Sau đó bơm cao áp và vòi phun được lắp ráp lại hoàn thiện, điều chỉnh áp suất phun ở mỗi vòi phun là 200 bar.

Thử nghiệm đánh giá độ mòn được thực hiện trong 100 giờ đối với mỗi loại nhiên liệu, một số thử nghiệm tương tự trong các bài báo nguồn mở cũng được tiến hành trong khoảng thời gian 75 đến 250 giờ cho kết quả tin cậy. Nhiên liệu được đo độ nhớt thường xuyên, có sự giảm nhỏ sau 20 giờ, vì thế nhiên liệu thay mới sau mỗi 20 giờ. Hệ thống thử nghiệm làm việc với vòng quay động cơ 1500 vòng/phút. Trong quá trình thử nghiệm, nhiệt độ nhiên liệu được duy trì trong khoảng  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ . Khi thử nghiệm kết thúc các chi tiết bơm cao áp được tháo dỡ cẩn thận, làm sạch tương tự như khi chuẩn bị thí nghiệm. Độ mòn được xác định bằng cách đo sự thay đổi khối lượng trước và sau thử nghiệm. Khối lượng piston được đo trên cân điện tử Shimadzu (Nhật Bản), model AW-200 (sê-ri D-432311332) với độ chính xác đến 0,1mg.

### 4. Kết quả thử nghiệm

Piston bơm cao áp là một trong những chi tiết chịu mài mòn lớn và có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình làm việc của hệ thống cung cấp nhiên liệu. Sau thử nghiệm độ mòn của piston khi làm việc với các nhiên liệu khác nhau thể hiện trong Bảng 2.

**Bảng 2. Độ mòn piston bơm cao áp**

| Tên chỉ số                          | Mẫu nhiên liệu |     |     |
|-------------------------------------|----------------|-----|-----|
|                                     | № 1            | № 2 | № 3 |
| Khối lượng của piston bị mất đi, mg | 0,6            | 5,8 | 0,7 |

Như kết quả hiển thị trong Bảng 2, độ mòn của cặp piston sau 100 giờ làm việc với nhiên liệu truyền thống Mẫu 1 chỉ là 0,6mg. Độ mòn đáng kể nhất của cặp piston được ghi nhận khi thử nghiệm trên nhiên liệu diesel chứa hàm lượng lưu huỳnh và độ nhớt thấp. Trọng lượng của piston giảm 5,8mg, tức là gấp 10 lần đối với nhiên liệu truyền thống. Kết quả thu được một lần nữa khẳng định rằng nhiên liệu chứa hàm lượng

lưu huỳnh thấp có độ bôi trơn kém, làm việc trong thời gian dài với loại nhiên liệu này cặp piston - xy lanh bơm cao áp bị mòn nhanh chóng. Nguyên nhân của hiện tượng này là do trong quá trình loại bỏ lưu huỳnh ra khỏi nhiên liệu tại các nhà máy, làm thay đổi cả về số lượng và thành phần chất lượng của các hợp chất lưu huỳnh. Các hợp chất có hoạt tính cao nhất (sulfua) bị loại bỏ trước tiên, tiếp đến các hợp chất tương đối ổn định, còn lại chủ yếu trong nhiên liệu là thiophenes, benzo- và dibenzothiophenes không đủ hoạt tính hấp thụ hóa học để hình thành các màng bề mặt ngăn cản sự mài mòn kim loại.

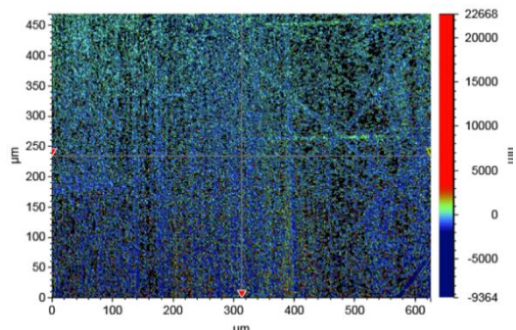
Hòa trộn thêm dầu cọ với tỷ lệ 3% về khối lượng với dầu khoáng cho kết quả độ mài mòn piston giảm tới 87,9%. Kết quả này cho thấy các chất hoạt động bề mặt hữu cơ chứa trong dầu thực vật đã giúp cải thiện rõ rệt khả năng bôi trơn của nhiên liệu lưu huỳnh thấp. Nồng độ cao của chuỗi axit béo không bão hòa được cho là nguyên nhân tăng ăn mòn các chi tiết kim loại, nhưng tác động đến hiệu quả chung giảm độ mòn piston là không đáng kể. Chính các chuỗi axit béo mạch dài phân tử phân cực, khi gặp bề mặt kim loại chúng bị hút vào bằng lực hấp phụ tĩnh điện giúp hình thành nhanh chóng trên bề mặt kim loại lớp màng bảo vệ có vai trò giảm mài mòn.

Ngoài việc đánh giá độ mòn thông qua thay đổi khối lượng piston, bề mặt piston đã được kiểm tra bằng mô-đun quang học Contour GT-K OMM. Thiết bị này cho phép đo bề mặt piston với độ phân giải cao. Độ mòn lớn của piston động cơ diesel được quan sát thấy rõ nhất ở vùng lân cận cách đỉnh khoảng 1-2mm [5]. Vì vậy, tình trạng bề mặt của các piston trong thử nghiệm được đo ở vị trí này. Kết quả đo thể hiện trên các Hình 2 tới Hình 5. Từ hình ảnh bề mặt piston cho thấy, sau thời gian làm việc với nhiên liệu chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp trên bề mặt piston xuất hiện nhiều vết xước và sâu hơn so với các loại nhiên liệu khác. Hỗn hợp nhiên liệu MDO chứa lưu huỳnh thấp và dầu thực vật có độ bôi trơn tương đương với dầu MDO truyền thống.

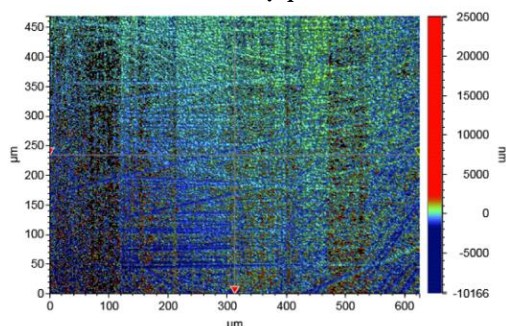
### 4. Kết luận

Các thử nghiệm độ mòn trên piston bơm cao áp cho kết quả tương đồng với phương pháp HFRR, qua đó khẳng định độ bôi trơn kém của nhiên liệu MDO có hàm lượng lưu huỳnh dưới 0,1% làm độ mài mòn các bề mặt ma sát tăng đáng kể. Sau 100 giờ làm việc khối lượng piston bị mất tăng gần 10 lần so với nhiên liệu truyền thống có hàm lượng lưu huỳnh cao.

Đánh giá một cách toàn diện cho thấy, tuổi thọ của bơm nhiên liệu bị giảm, đồng thời sẽ khiến chất lượng phun nhiên liệu kém đi do tốc độ mài mòn cao khi làm việc với MDO chứa hàm lượng lưu huỳnh thấp.

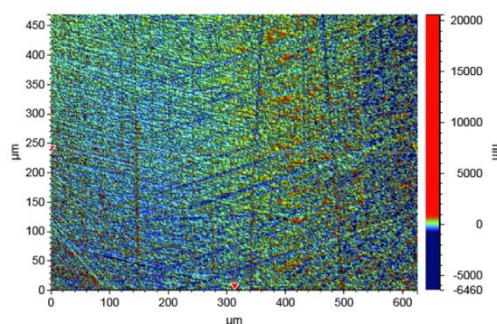


Hình 2. Bề mặt piston mới

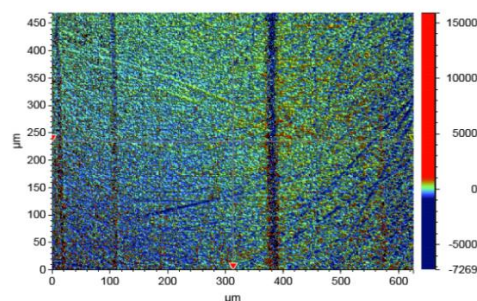


Hình 3. Bề mặt piston làm việc với mẫu 1

Bổ sung dầu cọ vào nhiên liệu khoáng giúp cải thiện độ bôi trơn của chúng. Độ mòn của piston giảm 87,9% so với khi làm việc với nhiên liệu ban đầu.



Hình 4. Bề mặt piston làm việc với mẫu 2



Hình 5. Bề mặt piston làm việc với mẫu 3

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT20-21.19.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Надежкин А.В, Хиеу Лыу Куанг. Оценка влияния физико-химических показателей судовых дистиллятных топлив на трибологические свойства, Одиннадцатая международная научно-практическая конференция «Проблемы транспорта Дальнего Востока» FEBRAT-15, ДВО ПАТ. Владивосток, С. 188-190, 2-4 октября 2015.
- [2] Ian Crutchley, Michael Green. *Lubricity characteristics of Marine Distillate fuels*. Special edition MTZ, pp.58-62, August 2012.
- [3] *Operation on low-sulfur fuel two-stroke engines*, MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Den-mark, 14 p, 2005.
- [4] А. В. Надежкин, Х. Ч. Хьеу, К. Х. Лыу. Исследование влияния добавки пальмового масла на характеристики топлива и

параметры рабочего процесса судового дизеля, Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.. № 1-2. - С. 44-48, 2016.

- [5] Леонтьев, Л.Б., А.Л. Леонтьев, Н.П. Шапкин *Разработка композиционных износостойких покрытий для пар трения «плунжер - втулка» топливных насосов высокого давления дизелей*, Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 103 с. 2012.

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| Ngày nhận bài:     | 14/4/2021 |
| Ngày nhận bản sửa: | 22/4/2021 |
| Ngày duyệt đăng:   | 28/4/2021 |