

QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH CẶN, MUỘI, AXIT, KEO NHỰA TRONG BUỒNG ĐỐT CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL CÓ GUỐC TRƯỢT VÀ VAI TRÒ CỦA CÁC CHẤT PHỤ GIA TRONG DẦU BÔI TRƠN SƠ MI XY LẠNH ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY
FORMING SLUDGE, SOOT, ACID AND RESIN INCROSSHEAD DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER AND HOW THE ADDITIVE IN CYLINDER LUBRICANT WORKS

TS. NGUYỄN ĐẠI AN
KS. HOÀNG QUANG ANH
Khoa Máy tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Bài báo mô tả các cơ chế của quá trình cháy trong động cơ cùng với sự hình thành cặn, muội, axit và keo nhựa trong buồng đốt của động cơ diesel có guốc trượt. Bài báo cũng cho thấy tác dụng của các chất phụ gia mà các hãng sản xuất dầu bôi trơn sơ mi xy lạnh động cơ diesel thường thêm vào sản phẩm của họ để giảm thiểu các tác hại từ các chất hình thành do quá trình cháy sinh ra.

Abstract

This article describes combustion mechanism in the crosshead diesel engine combustion chamber together with the formation of sludge, soot, acid and resin. This article also shows function of additives which is usually added by lubricating oil makers into their products to reduce evil reaction from the above combustion products as much as possible.

1. Đặt vấn đề

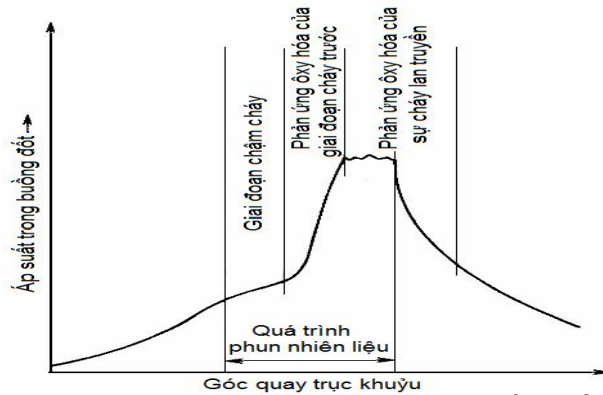
Song song với sự phát triển đa dạng của động cơ diesel, dầu bôi trơn động cơ cũng không ngừng được cải tiến về chất lượng và chủng loại để đáp ứng những yêu cầu ngày càng cao của các loại động cơ diesel hiện đại. Dầu xy lanh ngày nay không chỉ đơn thuần bôi trơn bề mặt ma sát mà còn tạo ra cơ sở nghiên cứu và làm rõ bản chất quá trình cháy trong động cơ cùng với sự hình thành cặn, muội, axit và keo nhựa trong buồng đốt của động cơ diesel có guốc trượt để từ đó mà các nhà sản xuất dầu bôi trơn sơ mi xy lạnh xem xét, lựa chọn các chất phụ gia phù hợp để cho vào dầu xy lanh.

2. Nội dung

2.1. Cơ chế của sự cháy trong động cơ

Không khí được nén tới 30–50kg/cm² trong xy lanh động cơ rồi được hâm sấy tới xấp xỉ 600°C. Nhiên liệu được nén bằng bơm cao áp tới áp suất 200–1000kg/cm² rồi được phun vào xy lanh động cơ ở cuối quá trình nén. Quá trình cháy qua các nghiên cứu trước đây về động cơ diesel cho thấy rằng quá trình cháy trong động cơ được phân thành 3 giai đoạn: giai đoạn oxy hóa cháy sớm (giai đoạn chậm cháy), giai đoạn cháy nhanh (giai đoạn cháy trước), và giai đoạn cháy lan truyền. [1], [2], [3]

Từ đó ta thấy quá trình cháy luôn bị trì hoãn một chút, chậm cháy, sau đó mới cháy ổn định để cung cấp nguồn nhiệt năng trong xy lanh động cơ. Sự cháy chậm này có thể được phân thành sự chậm về vật lý và sự chậm về hóa học. Sự chậm về vật lý là thời gian chậm trễ bởi hâm sấy, bay hơi của nhiên liệu. Sự chậm hóa học là thời gian chậm trễ bởi cơ chế hóa học gồm quá trình oxy hóa và sự phân hủy của nhiên liệu. Thời gian của hiện tượng này được tính bằng miligiây.



Hình 1. Các giai đoạn phản ứng hóa học trong buồng đốt động cơ.

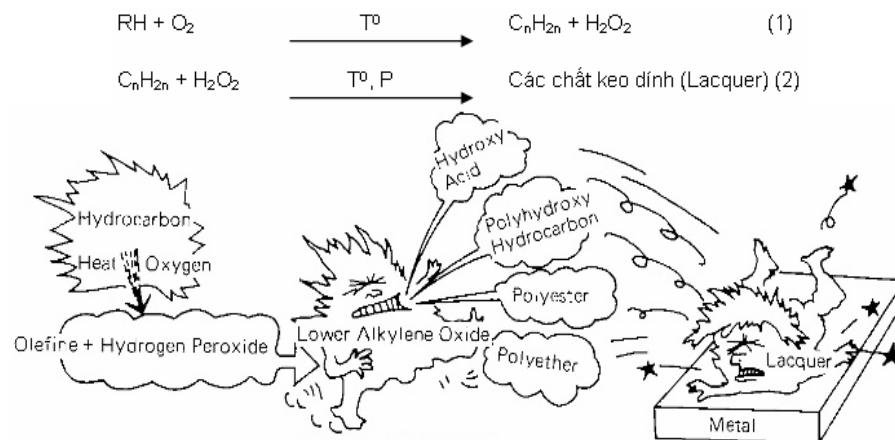
2.2. Phản ứng của giai đoạn cháy sớm

Thí nghiệm do công ty dầu nhờn Nhật Bản (Nippon Oil Company) thực hiện với buồng đốt áp suất cao giống như của động cơ diesel, hỗn hợp khí chưa cháy được nén lại và hâm nóng bằng dẫn nhiệt để đạt áp suất, nhiệt độ cao rồi tạo nên quá trình cháy tự động. Trước khi quá trình cháy xảy ra, ta quan sát thấy ngọn lửa xanh nhạt ở phía trước ngọn lửa nóng. Đây được gọi là quá trình cháy trước (hay cháy sớm). Quá trình cháy diễn biến tiếp từ ngọn lửa xanh tối (ngọn lửa lạnh) → ngọn lửa màu xanh → ngọn lửa xanh sáng, với độ mạnh theo thứ tự này, và cuối cùng quá trình cháy sản sinh ra ngọn lửa nóng [3]. Hiện tượng của sự cháy sớm này là cần thiết thực hiện trong động cơ diesel, bởi nó bắt đầu cho quá trình cháy xảy ra.

Trong động cơ diesel, nhiên liệu được phun vào không khí nén khoảng 600°C, nhưng nhiệt độ do ngọn lửa xanh nhạt của giai đoạn cháy sớm tạo ra nhỏ hơn 600°C, ở thời điểm đó, nhiệt độ chỉ thấp cỡ 200~350°C. Đây là trạng thái không cháy nhưng gọi là “ngọn lửa lạnh”, và chuyển đổi từ ngọn lửa lạnh sang ngọn lửa nóng một cách rất nhanh, giai đoạn này còn gọi là “phản ứng oxy hóa ngọn lửa lạnh”[3].

2.3. Sản phẩm từ phản ứng oxy hóa của giai đoạn cháy sớm

Sự cháy và phát quang của ngọn lửa ở trên sẽ được giải thích một cách ngắn gọn như sau: Nhiên liệu được oxy hóa sơ bộ trong quá trình chậm trễ hóa học của sự cháy, sản phẩm của phản ứng oxy hóa sơ bộ lần lượt được chuyển đổi thành andêhit, xê tôn, và axit hữu cơ. Trong quá trình oxy hóa, trạng thái kích thích được tạo nên và năng lượng bức xạ từ sự kết thúc trạng thái kích thích là sự phát quang. Quá trình hình thành cặn trong tác động từ sự oxy hóa do cháy sớm như sau [3]:

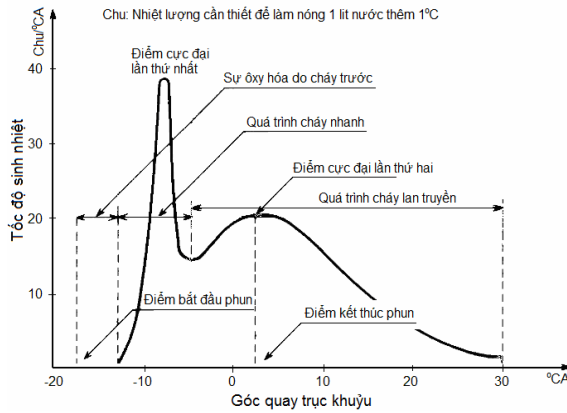


Hình 2. Sản phẩm của phản ứng oxy hóa ở giai đoạn cháy trước.

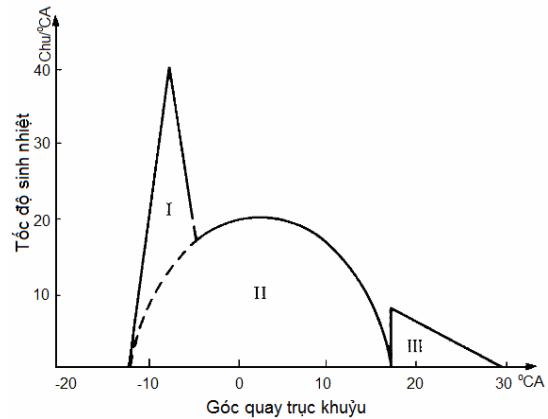
Các chất keo dính kể trên bao gồm: Hydroxy Axit, Polyhydroxy Hydrocarbon, Polyeste và Polyete. Chất keo (lacquer) nhanh chóng được hình thành dưới tác dụng của nhiệt độ và áp suất

như điều kiện của các phản ứng trùng hợp sau đó bám dính vào muội hoặc cặn xung quanh piston để rồi sẵn sàng gây ra các sự cố cho động cơ.

2.4. Sản phẩm từ phản ứng cháy nhanh



Hình 3. Đồ thị về tốc độ sinh nhiệt điển hình.



Hình 4. Mô hình hóa tốc độ sinh nhiệt.

Ở quá trình tiếp theo, phản ứng cháy nhanh, hỗn hợp dễ cháy hình thành trong buồng đốt từ không khí và một lượng nhỏ hơi nhiên liệu cháy nổ rất nhanh kết thúc giai đoạn phản ứng oxy hóa của sự cháy nhanh (nổ nhiệt). Vì tốc độ sinh nhiệt từ sự oxy hóa lớn hơn tốc độ phát quang trong sự nổ nhiệt, nhiệt độ tăng thêm sau khi cháy tới 4 đến 5 lần so với nhiệt độ ngọn lửa lạnh. Quá trình oxy hóa nhiệt độ cao kết thúc để kết thúc sự cháy do đó các sản phẩm của sự phản ứng là CO₂, hơi nước, SO₂, các oxit nitơ và các sản phẩm hidrocarbon trung gian hình thành trong phản ứng oxy hóa do cháy sớm đã được giảm rõ rệt trong quá trình này [3].

Biểu diễn về tốc độ sinh nhiệt được thấy ở hình 3 có thể được mô hình hóa bằng 3 mẫu ở hình 4.

Trong vùng I, tác động chính là pha khí, sự cháy nhanh và dễ dàng được dập tắt nếu nhiên liệu không được tiếp tục phun vào. Trong động cơ diesel, nhiên liệu đang nhiên vẫn được tiếp tục phun đúng vào vùng lửa cháy và điều này đã điều khiển sự cháy (vùng II) để sản sinh công suất chính cho động cơ diesel.

2.5. Phản ứng cháy lan truyền và sự hình thành muội

Vùng II trong hình 4 là phản ứng cháy ngọn lửa phát quang, khi nhiên liệu được phun vào vùng ngọn lửa, nó sẽ cháy trên sự tiếp xúc với không khí. Buồng cháy ở trong điều kiện nhiệt độ, áp suất cao và đã có ngọn lửa do đó sự chậm cháy không đáng kể nhưng vẫn có sự oxy hóa sơ bộ. Phản ứng chính gần như là sự cháy của thể khí để kết thúc sự cháy ở trạng thái ban đầu của vùng II. Tuy nhiên các hạt dầu đang tạm thời tăng lên do sương nhiên liệu vẫn tiếp tục được phun vào nên nhiệt độ buồng đốt lại tăng lên, không khí trở nên không đủ vì thế các hạt dầu đang phân hủy dưới tác dụng của nhiệt độ cao tạo nên sự hình thành của muội. Vùng III tương ứng với giai đoạn cháy sau, oxy đã được tiêu thụ trong buồng đốt đến mức nồng độ giảm đáng kể làm quá trình cháy dài thêm và tăng sự hình thành của muội. Muội lại liên quan đến sự tạo thành varnish và sludge. Trong giai đoạn cháy lan truyền, sự cháy không hoàn toàn là đặc điểm chung mặc dù hầu hết nhiên liệu được cháy hết. Muội hình thành từ buồng đốt có thể phân thành 2 loại:

+ Muội hình thành từ pha khí hoặc hình thành qua sự nhiệt phân khí cháy, muội này chứa ít cacbon.

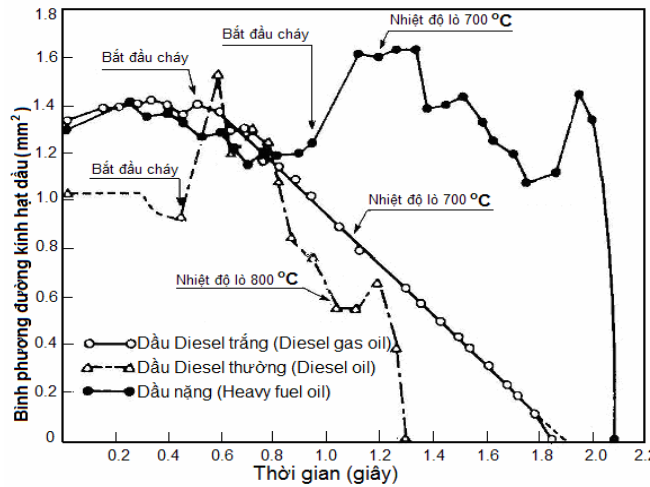
+ Muội chứa nhiều cacbon, muội có tinh thể lớn và lại chia thành 2 nhóm là: Cenosphere và Cokes. Cenosphere có đường kính hạt lớn, xốp, tạo nên từ sự phân tách cuối cùng của sự cháy nhiên liệu và dễ dàng cạo đi. Cokes có đường kính hạt từ 0.1 ~ 1.0 μm, muội này khó bị đánh tan [3].

Loại cặn (deposit)	Các thành phần kết hợp
Cácbon ở rãnh xéc măng	Muội (soot) là chủ yếu + Nhựa dính (resin)
Keo dính trên piston (lacquer)	Nhựa dính (resin) là chủ yếu + Muội (soot)
Sludge	Muội (soot) là chủ yếu + Nhiều dầu + Các oxit + Nước

Bảng 1. Thành phần của các loại cặn hình thành trong động cơ Diesel.

2.6 Hiệu quả của thành phần nhiên liệu với sự cháy

Thí nghiệm đốt cháy các giọt nhiên liệu của 3 loại nhiên liệu khác nhau trong lò điện lần lượt được thực hiện bởi công ty dầu Nhật Bản (Nippon oil company). Kết quả thí nghiệm được mô tả ở hình 5, qua đó rõ ràng có thể thấy mọi loại nhiên liệu đều có quá trình chậm cháy.



Hình 5. Kết quả thí nghiệm với giọt dầu cháy của 3 loại nhiên liệu.

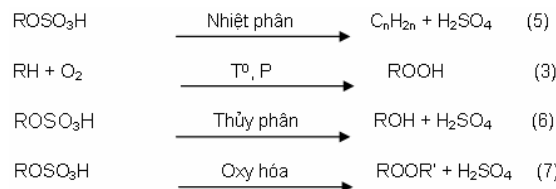
Ta có thể giải thích các kết quả thí nghiệm như sau:

- Giọt dầu Diesel trắng lặp lại sự giãn nở và co lại trước khi cháy. Sau đó, sự bay hơi và giãn nở xảy ra cùng lúc nhưng kích cỡ hạt nhiên liệu giảm tuyến tính với thời gian cho đến khi cháy hết.

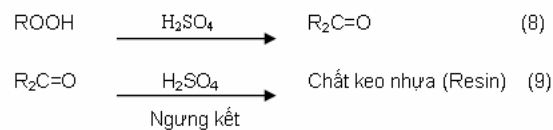
- Giọt dầu nặng (heavy fuel oil) mất hầu hết các thành phần dễ bay hơi trước khi cháy nên kích thước hạt nhiên liệu giảm xuống, đến khi cháy chỉ bao gồm chủ yếu các thành phần nhớt. Kích cỡ các hạt dao động do tạo bọt, gãy vỡ vì sự bay hơi từ bên trong, phát sinh hơi qua sự nhiệt phân rồi cuối cùng mới cháy và cháy hết.

2.7. Các sản phẩm cháy khác

Đầu tiên cần đề cập đến là sự tạo thành axit Sulphuric (H_2SO_4). Theo nguyên lý của Creuz, các hợp chất Peoxit hình thành trong buồng đốt phản ứng trở lại với SO_2 ở nhiệt độ thấp tạo nên các muối Ankin Sulphat rồi mới tạo nên axit Sulphuric bằng các quá trình: nhiệt phân, thủy phân và oxy hóa. Nhiệt độ thấp tương ứng với giai đoạn II trên hình 4 và của quá trình giãn nở trong xy lanh [3].



Axit Sulphuric (H_2SO_4) được hình thành như vậy trong buồng đốt không chỉ ăn mòn trực tiếp vật liệu động cơ mà còn tạo nên các tác nhân hữu cơ mạnh mẽ. Chúng làm hỏng dầu nhờn trong các rãnh xéc măng để tạo thành cặn. Cũng theo nguyên lý của Creuz, axit Sulphuric tác dụng với các hợp chất Peoxit của các Hydrocacbon (nhiên liệu và dầu nhờn) tạo nên hợp chất Cacbonyl rồi cuối cùng tạo ra chất keo nhựa (Resin) [3]:



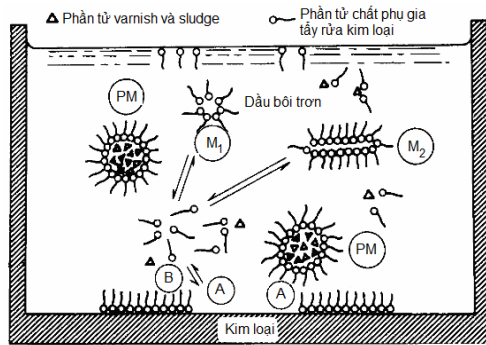
2.8. Các chất phụ gia tẩy rửa, chống tạo bọt và hòa tan có trong dầu bôi trơn

a) Chất phụ gia hòa tan

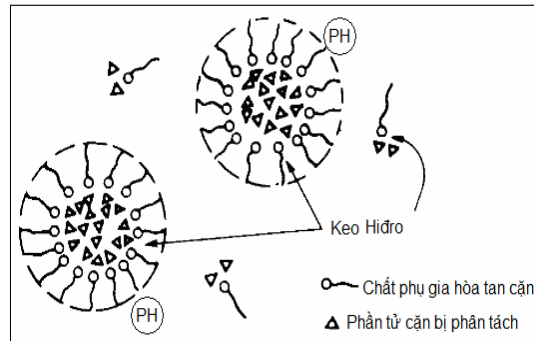
Hai trong số những đặc tính quan trọng nhất của dầu nhờn bôi trơn là năng lực để giữ cho các bộ phận của động cơ không bị bám varnish cũng như cặn bẩn và năng lực để trung hòa axit sinh ra từ sản phẩm cháy. Các chức năng này được hình thành từ các chất tẩy rửa và hòa tan được thêm vào dầu bôi trơn. Khi sự tập trung của chất đã hòa tan vào dầu bôi trơn đến một mức xác định, các phân tử chất hòa tan sẽ liên kết lại và hình thành micelles. Trong hình 6, A đặc trưng cho cực của các phân tử chất hòa tan đã bám trên bề mặt kim loại, B đặc trưng cho cực của các phân tử chất hòa tan ngay trước khi hình thành micelles còn M₁ và M₂ đặc trưng cho micelles. A, B, M₁ và M₂ sẽ tan ra trong dầu sạch [3].

Khí rò lọt từ buồng cháy động cơ có chứa các hạt trọng lượng nhỏ không ổn định, các hạt này sẽ dần dần hình thành nên varnish và sludge. Khi các phân tử đó theo dầu hệ thống tuần hoàn lại các-te động cơ, các phân tử của chất phụ gia tẩy rửa bề mặt kim loại (metallic detergent) sẽ bám lên chúng tạo nên các nốt micelles đặc trưng bằng ký hiệu PM trong hình 6. Sau đó, các chất phụ gia này sẽ tách các hạt varnish và sludge thành các thành phần nhỏ nhất có thể. Chức năng này gọi là chức năng hòa tan của dầu bôi trơn đặc biệt là chức năng của dầu bôi trơn hệ thống trong động cơ diesel, dầu bôi trơn sơ mi xy lanh cũng có loại chất phụ gia này để bảo vệ bề mặt kim loại buồng đốt của động cơ.

Ngoài ra các loại keo nhựa và tro muối hình thành trong buồng cháy của động cơ cũng lẫn vào dầu hệ thống và vì thế chất phụ gia khuếch tán tro muối (ashless dispersant) cũng được cho vào dầu nhờn hệ thống và dầu bôi trơn sơ mi xy lanh. Khả năng hòa tan keo nhựa và tro muối là riêng có của loại chất phụ gia này và mạnh gấp hàng chục lần so với chất phụ gia tẩy rửa kim loại. Khi xuất hiện varnish và sludge trong dầu nhờn, các chất này sẽ bao bọc quanh các hạt varnish và sludge dưới dạng keo Hidro được biểu diễn bởi các ký hiệu PH trên hình 7. Sau đó là quá trình hòa tan các hạt varnish và sludge rồi phân tán chúng ra, tạo ra các lớp màng ngăn cách sự keo tụ trở lại của chúng.



Hình 6. Sự hòa tan varnish và sludge của chất phụ gia tẩy rửa kim loại.



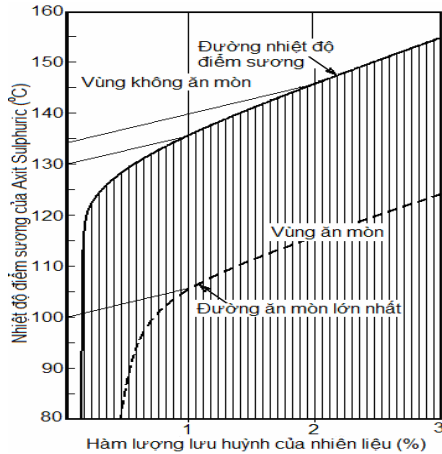
Hình 7. Sự hòa tan của chất phụ gia hòa tan keo nhựa và tro muối.

b) Chất phụ gia trung hòa axit của sản phẩm cháy

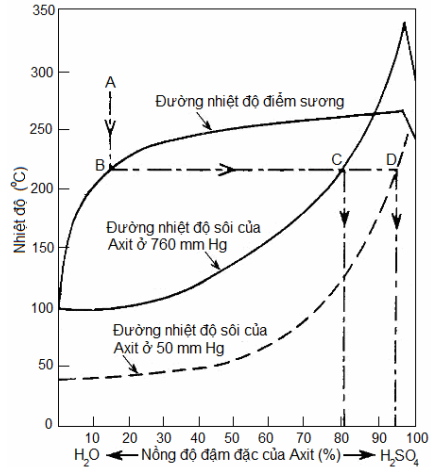
Chất phụ gia tẩy rửa bề mặt kim loại có trong dầu bôi trơn đương nhiên có khả năng trung hòa axit tuy nhiên khả năng trung hòa lại phải được ước tính riêng cho chất phụ gia với vai trò trung hòa axit để đảm bảo chức năng làm sạch và hòa tan tro muối của dầu bôi trơn, đặc biệt là dầu bôi trơn sơ mi xy lanh. Còn chất phụ gia hòa tan keo nhựa và tro thì không có khả năng trung hòa.

Như đã trình bày ở trên, hợp chất của lưu huỳnh hình thành một cách tự nhiên ở dạng SO₂ và SO₃ khi nhiên liệu cháy trong xy lanh động cơ. Sự hình thành SO₃ không xảy ra ở nhiệt độ trên 1000°C tuy nhiên hành trình giãn nở trong xy lanh động cơ làm nhiệt độ giảm, cho phép gần như 100% SO₂ chuyển đổi thành SO₃ rồi được chuyển tiếp thành hơi axit Sulphuric (H₂SO₄) nhờ kết hợp với hơi nước, sản phẩm của quá trình cháy. Vì thế hơi axit nếu được để ngưng tụ sẽ ăn mòn trực tiếp các bề mặt kim loại của buồng đốt và toàn ống xả cũng như các thiết bị trao đổi nhiệt tiết kiệm mà ta lắp đặt trên ống xả. Nhiệt độ mà tại đó hơi axit bắt đầu ngưng tụ gọi là nhiệt độ điểm sương của axit Sulphuric.

Mối quan hệ giữa nhiệt độ điểm sương của axit Sulphuric ở áp suất xy lanh bằng 30 kgf/cm² với hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu được biểu diễn trên hình 8.[3]



Hình 8. Mối quan hệ giữa nhiệt độ điểm sương của lưu huỳnh với hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu nặng (áp suất trong xy lanh là 30 kg/cm²).



Hình 9. Mối tương quan giữa nhiệt độ điểm sương và nhiệt độ sôi của axit Sulphuric (H₂SO₄).

Từ đó ta thấy nhiệt độ điểm sương của axit Sulphuric là 130°C khi hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu là 1%. Nếu hàm lượng lưu huỳnh tăng 1% trong khoảng từ 1 ~ 5% thì nhiệt độ điểm sương tăng 4°C. Các động cơ cỡ lớn thấp tốc có hành trình siêu dài hiện nay do có áp suất cháy cực đại thường trên 100 kgf/cm² sẽ có nhiệt độ điểm sương cao hơn tương ứng.

Nhiệt độ điểm sương còn được xác định bằng sự tập trung của SO₃ trong khí xả. Chẳng hạn lượng SO₃ chiếm 0.0025 % thể tích khí xả sẽ dẫn tới nhiệt độ điểm sương khoảng 132°C trong khi lượng SO₃ chiếm 0.0085 % thể tích khí xả sẽ dẫn tới nhiệt độ điểm sương khoảng 171°C [3].

Nếu nhiệt độ trong xy lanh động cơ giảm xuống nhỏ hơn nhiệt độ điểm sương sẽ gây ra ăn mòn nghiêm trọng. Đặc biệt sự hình thành axit Sulphuric đạt đến mức tối đa ở khoảng thấp hơn nhiệt độ điểm sương 30°C như biểu diễn bởi đường ăn mòn lớn nhất trên hình 8 [3].

Cấu cặn đọng lại trong rãnh xéc măng được tạo nên cơ bản từ muối. Chất tẩy rửa có thể hòa tan các hạt muối tới một đường kính khoảng 0.1 μm và các chất khuếch tán thì có hiệu quả tới khoảng 1.5 μm. Với các viên muối lớn hơn và tốc độ trung hòa thấp nên thông thường chỉ trung hòa phần bên ngoài của chúng và một phần nhỏ axit còn lại trong các viên muối lớn là không tránh khỏi. Gói phụ gia cho dầu máy có thể được cân bằng để đáp ứng các yêu cầu của các ứng dụng riêng. Trình tự quan hệ về chức năng quan trọng với mỗi loại dầu được cho trong bảng 2.1 [3]

Loại động cơ	Bộ phận được bôi trơn	Các yêu cầu hiệu suất bôi trơn
Có guốc trượt	Xy lanh	Trung hòa > khuếch tán > hòa tan
	Hệ thống	Hòa tan ≥ khuếch tán ≥ trung hòa
Không guốc trượt	Bôi trơn chung cho hệ thống và các xy lanh	Trung hòa > khuếch tán ≥ hòa tan

Bảng 2.1. Thứ tự yêu cầu đối với dầu bôi trơn động cơ.

c) Chất phụ gia chống tạo bọt

Đối với dầu nhờn bôi trơn động cơ, việc tạo bọt là điều tối kỵ. Tuy thế do hàng loạt các loại chất phụ gia được thêm vào để tạo nên các tính năng tốt của dầu bôi trơn động cơ và chúng chính lại trở thành các tác nhân tạo bọt thường trực. Hiện nay các hãng sản xuất dầu bôi trơn sử dụng dầu silicon như là một chất phụ gia khử bọt để phá hủy các cấu trúc bọt bền vững. Các bong bóng đơn lẻ được tạo ra đều rất dễ vỡ nhưng khi các bong bóng gặp nhau và hình thành các cấu trúc bền vững hơn. Các cấu trúc 3 bong bóng khí liên kết với nhau rất bền vững nên có thể tồn tại lâu

dài trong dầu nhờn bôi trơn để rồi gây nên các sự cố cho động cơ và vì thế chất phụ gia khử bọt được thêm vào hầu hết các sản phẩm bôi trơn [3].

3. Kết luận

Từ trước tới nay, các công trình nghiên cứu thường chưa đề cập nhiều tới dầu bôi trơn động cơ đặc biệt là dầu bôi trơn sơ mi xy lanh động cơ diesel. Tuy nhiên trong thực tế khai thác dầu bôi trơn ảnh hưởng không nhỏ tới tính kinh tế, độ an toàn và tin cậy của toàn bộ hệ động lực tàu thủy. Dầu vậy thì các hãng sản xuất dầu bôi trơn động cơ vẫn dựa trên các nghiên cứu của riêng họ cũng như các yêu cầu phản hồi từ các nhà sản xuất động cơ và thực tế khai thác để không ngừng cải tiến về chất lượng dầu bôi trơn. Việc nghiên cứu phát triển dầu bôi trơn sơ mi xy lanh nói riêng được bắt đầu từ việc làm rõ quá trình cháy trong buồng đốt động cơ diesel cũng như các sản phẩm cháy đã được sinh ra, sau đó mới tới việc tìm và điều chế các chất phụ gia thích hợp.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Trung Cương, Vũ Hải Phong, Nguyễn Văn Tuấn, Trịnh Đình Bích, Trần Hữu Nghị , *Động cơ diesel tàu thủy*, Đại học Hàng hải, Hải Phòng, 1997
- [2] Lê Viêt Lượng , *Lý thuyết động cơ diesel*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2000.
- [3] Nippon oil company, "Marine lube and maintenance", *Marine lube technote*, part 1, Tokyo, Japan - 2003.

Người phản biện: TS. Phạm Hữu Tân
