

Nghiên cứu tổng quan về sự hình thành cặn lắng trong buồng cháy động cơ diesel

Overview of Research Activities on Deposit Formation in Diesel Engine Combustion Chamber

Hồ Thanh Tùng¹, Phạm Văn Việt², Hoàng Anh Tuấn², Lê Anh Tuấn^{1*}

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

²Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh - Số 2 Võ Oanh, Phường 25, Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đến Tòa soạn: 24-02-2020; chấp nhận đăng: 25-9-2020

Tóm tắt

Bài báo trình bày tổng quan về sự hình thành cặn lắng trong buồng cháy động cơ diesel thông qua việc làm rõ các cơ chế hình thành và loại bỏ cặn lắng, các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành cặn lắng do các cơ chế kết đông, bám dính, hấp thụ và phản ứng hóa học; loại bỏ cặn lắng do các cơ chế vật lý, cơ học và hóa học. Bài báo cũng phân tích đánh giá trực quan cặn lắng trong buồng cháy của động cơ diesel qua một số nghiên cứu tiêu biểu nhằm xác thực các cơ chế hình thành và loại bỏ cặn lắng. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa trong việc định hướng các giải pháp nhằm giảm thiểu cặn lắng, góp phần phát huy tính năng và tăng tuổi thọ động cơ.

Từ khóa: cặn lắng, cơ chế hình thành cặn lắng, buồng cháy, động cơ diesel.

Abstract

The paper presents an overview of the deposit formation in diesel engine combustion chamber by clarifying the physical and chemical mechanisms of the deposit formation and the deposit removal, the factors affecting deposit formation by condensation, sticking, adsorption, chemical reaction mechanisms, and the factors influencing deposit removal by physical, mechanical and chemical mechanisms. The paper also analyses and evaluates deposit parameters and images obtained from a number of typical case studies to verify the deposit formation and removal mechanisms. Research findings are significant to suggest measures to minimize deposits in the diesel engine combustion chamber, contributing to enhancing the engine performance and engine durability.

Keywords: deposit, deposit formation, combustion chamber, diesel engine

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, rất nhiều cải tiến trong thiết kế động cơ diesel đã được tiến hành để cải thiện hiệu suất, tính năng, phát thải và độ bền động cơ. Tuy nhiên có một thực tế vẫn không thay đổi, đó là sự tồn tại cặn lắng bên trong buồng cháy động cơ. Cặn lắng trên động cơ gây ra những ảnh hưởng xấu đến động cơ như giảm công suất, tăng mài mòn các chi tiết [1], ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt của xy-lanh làm tăng nhiệt độ trong buồng cháy lên quá cao dẫn đến hiện tượng kích nổ trong động cơ [2]. Sự hình thành cặn lắng còn dẫn đến làm tắc vòi phun ảnh hưởng đến quá trình phun và hòa trộn nhiên liệu [3], [4], bên cạnh đó cặn lắng tác động xấu đến đặc tính phát thải của động cơ như làm gia tăng phát thải NO_x khi lớp cặn bám trên bề mặt vách buồng cháy gia tăng [5]-[7]. Thực tế, cơ chế hình thành và phát triển cặn lắng trong buồng cháy động cơ là rất phức tạp bởi đó là một chuỗi các cơ chế hóa học của các chất và các cơ chế vật lý về

hiệt động xảy đồng thời và đan xen trong buồng cháy động cơ. Các nghiên cứu gần đây về cặn lắng đều khẳng định, có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành cặn lắng như điều kiện vận hành và kết cấu động cơ, tính chất và thành phần của nhiên liệu, dầu bôi trơn và các chất phụ gia. Do đó, nghiên cứu về cơ chế hình thành và phát triển của cặn lắng nhằm hiểu rõ về bản chất của cặn lắng trong động cơ là vô cùng quan trọng trong việc cải thiện tính năng làm việc và kiểm soát phát thải trên động cơ trước khi đưa ra các giải pháp phù hợp [8]. Bài báo này tập trung vào việc nghiên cứu tổng quan về cơ chế cơ bản của sự hình thành cặn lắng cũng như đánh giá được mức độ và cách thức ảnh hưởng của từng yếu tố đến sự hình thành và phát triển cặn lắng trong buồng cháy động cơ diesel.

2. Giả thuyết về cơ chế hình thành cặn lắng

Theo như các nghiên cứu trước đây, cơ chế của sự hình thành cặn lắng được phân loại thành cơ chế vật lý và cơ chế hóa học. Tuy nhiên, giải thích theo cơ chế

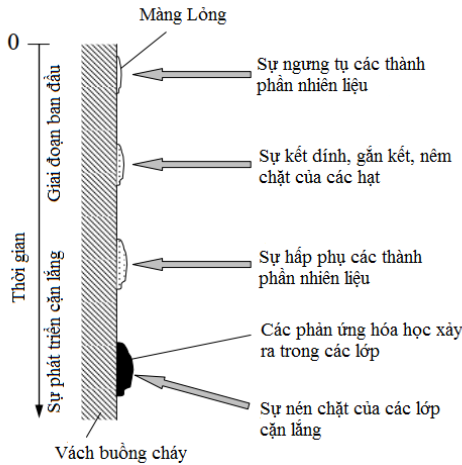
*Địa chỉ liên hệ: (+84) 904702438

Email: tuan.leanh@hust.edu.vn

hóa học là tương đối khó khăn vì phải xem xét rất nhiều phản ứng liên quan.

2.1. Cơ chế vật lý

Lepperhoff và cộng sự [8] đã đề xuất các quá trình tạo cặn lắng trong buồng cháy động cơ bao gồm quá trình hình thành và loại bỏ như được minh họa trong Hình 1 và Hình 2.



Hình 1. Quá trình hình thành cặn lắng [8]

2.1.1. Quá trình hình thành

Cơ chế hình thành cặn lắng được mô tả như một hàm của thời gian và chịu ảnh hưởng từ những điều kiện vật lý tại vị trí hình thành cặn lắng như nhiệt độ của vách buồng cháy và dòng khí, các điều kiện dòng chảy của dòng khí, gradient mật độ và nhiệt độ của dòng khí ở gần vách. Mỗi tham số vật lý đều tác động một cách độc lập với nhau. Các thành phần lắng cặn có thể được chia thành hai nhóm khác nhau: 1) Khí và chất lỏng có khối lượng phân tử lớn tồn tại bên trong dòng chảy khí thể và 2) Các hạt bị phân lập không chảy theo hướng dòng chảy khí thể.

Sự hình thành màng lông

Trong giai đoạn ban đầu, sự hình thành cặn lắng bắt đầu với cơ chế ngưng tụ các thành phần khí có khối lượng phân tử lớn và quá trình tương tác của nhiên liệu với bề mặt vách buồng cháy. Các phản ứng và quá trình bay hơi các thành phần chất lỏng đã dẫn đến hình thành cặn lắng. Quá trình này chủ yếu bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của vách và nhiệt độ của khí ở gần vách. Gradient nhiệt độ gần vách được làm mát gây ra sự khuếch tán nhiệt các thành phần khí có khối lượng phân tử lớn. Hiệu ứng này làm tăng mật độ dòng khí chủ yếu là các hydrocarbon có nhiệt độ sôi cao, sau đó ngưng tụ và bám dính trên bề mặt vách buồng cháy có nhiệt độ thấp. Chúng chính là những tiền tố của sự hình thành cặn lắng.

Sự kết dính, sự gắn kết và sự nôm chặt của các hạt

Sự hướng nhiệt (*thermophoresis*) là sự di chuyển của các hạt khi tồn tại một mức chênh lệch năng lượng của các phân tử khí ở hai phía đối diện của hạt, dẫn đến tăng tần số va chạm giữa hạt và các phân tử khí ở vùng nhiệt độ cao, làm cho các hạt có xu hướng dịch chuyển về phía mức năng lượng thấp hơn [9]. Lực gây ra sự di chuyển này được gọi là lực hướng nhiệt (*thermophoretic force*).

Trong buồng cháy động cơ, tồn tại một gradient nhiệt độ gần vách được làm mát, làm xuất hiện một lực hướng nhiệt di chuyển các hạt tới gần vách. Gradient nhiệt độ càng lớn thì sự hướng nhiệt càng mạnh. Ảnh hưởng này làm cho mật độ các hạt tăng lên ở gần vách được làm mát. Các hạt tại đây sẽ kết dính, hợp nhất và nôm chặt lại với nhau. Tác động kết dính được gây ra bởi lực liên kết giữa vách buồng cháy với các hạt. Sự hợp nhất là sự kết dính các hạt trên bề mặt màng lông nhiên liệu. Sự nôm chặt gây ra bởi sự hướng nhiệt. Ở một vách khô, không dính, không tồn tại hạt carbon nào có thể bám lên được. Để hình thành nên cặn lắng, cần phải tồn tại một môi trường liên kết giữa bề mặt vách và các hạt, môi trường liên kết đó ở đây chính là lớp màng lông tồn tại trên bề mặt vách. Trong lớp màng rất mỏng này, các hạt bị mắc kẹt tại đó, lớp cặn lắng liên tục tăng lên do sự kết dính và hợp nhất các hạt được bổ sung thêm. Dưới tác động của sự hướng nhiệt, các lớp được nén chặt lại với nhau. Với việc chiều dày lớp cặn lắng tăng lên thì hiệu ứng cách nhiệt diễn ra, điều này làm tăng nhiệt độ bề mặt cặn lắng, cùng với sự liên kết lỏng lẻo giữa các lớp làm hạn chế sự gia tăng lớp cặn lắng sau đó.

Sự hấp phụ các thành phần phân khí

Độ xốp của cặn lắng đóng vai trò quan trọng trong quá trình hấp phụ khí vào bên trong cặn lắng. Các thành phần khí được khuếch tán qua lớp xốp, được hấp phụ và ngưng tụ ở các lớp có nhiệt độ thấp, điều này làm cho mật độ cặn lắng ở các lớp này tăng lên và được hỗ trợ bởi các xung động của dòng khí.

Phản ứng hóa học của hydrocarbon

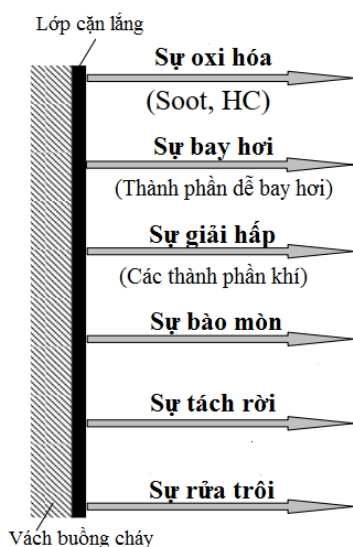
Khi cặn lắng được kết dính vào vách buồng cháy, các phản ứng hóa học (nhiệt phân, tách nước, trùng hợp...) có thể xảy ra. Chúng gây ra bởi ảnh hưởng của nhiệt độ cao và thời gian tồn tại các hạt muội than được kéo dài trong buồng cháy. Nếu nhiệt độ của vách tương đối thấp, nhiên liệu có thể bay hơi bằng cách hấp thụ nhiệt từ khí xung quanh có nhiệt độ cao, và phần cặn lắng còn lại có tính chất tương tự như một lớp sơn mài.

2.1.2. Quá trình loại bỏ

Quá trình loại bỏ các cặn lắng thông qua các cơ chế vật lý, cơ học và hóa học.

Cơ chế vật lý là sự bay hơi và giải hấp của các thành phần dễ bay hơi và khí cũng như sự rửa trôi cơ học. Sự bay hơi và giải hấp được khởi đầu bởi sự gia tăng của nhiệt độ. Ví dụ, điều này có thể xảy ra tại bề mặt cặn lắng bởi chính tác động cách nhiệt của nó. Những chất lỏng như nước hoặc nhiên liệu có thể rửa trôi những cặn lắng bị hòa tan.

Cơ chế cơ học là sự mài mòn của toàn bộ lớp cặn lắng hoặc một phần của chúng và loại bỏ lớp cặn lắng xốp. Mài mòn diễn ra khi mà lực khí động vượt quá lực liên kết giữa các lớp. Tác động tách rời được bắt đầu bởi sự thay đổi nhiệt độ dẫn đến sự giãn nở của vách và lớp cặn lắng. Những giãn nở này không đồng đều do độ dẫn hồi khác nhau giữa các lớp, dẫn đến hình thành ứng suất cắt làm kích hoạt cơ chế tách rời.



Hình 2. Quá trình loại bỏ cặn lắng [8]

Cơ chế hóa học là sự rửa trôi các phần cặn lắng hòa tan và cặn lắng carbon và hydrocarbon bị oxy hóa. Các chất hòa tan có thể ảnh hưởng đến việc loại bỏ cặn lắng và ngăn chặn các thành phần lắng cặn gắn kết với nhau. Nước ngưng tụ bên trong buồng cháy có thể hoạt động như một tác nhân rửa trôi những cặn lắng vô cơ. Quá trình oxy hoá các cặn lắng carbon và/hoặc hydrocarbon, không khí giàu oxy, một mức nhiệt độ và thời gian thích hợp là các yếu tố cần thiết cho quá trình loại bỏ cặn lắng theo cơ chế hóa học. Sự oxy hóa bắt đầu ở nhiệt độ trên 200°C cho hydrocarbon và trên 500°C đối với carbon. Nhiệt độ cao này có thể do nhiệt độ khí thể cao hay nhiệt độ vách buồng cháy chứa cặn lắng cao gây ra.

2.2. Cơ chế hóa học

Theo Nagao và cộng sự [10], sự hình thành cặn lắng liên quan đến sự phân hủy nhiệt của các hydrocarbon và quá trình trung gian của chúng để tạo thành các tiền chất, ở một nhiệt độ xác định chúng bị oxy hóa và trùng hợp hình thành các chất giống như

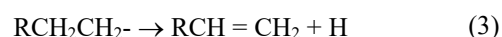
son mài. Các chất này tác động làm các hạt bám dính lên bề mặt. Hơn nữa khả năng bám dính của chúng dường như cũng giảm tương ứng với sự gia tăng nhiệt độ bề mặt vách do quá trình cracking nhiệt tác động làm giảm các chất kết dính, phản ứng bị ảnh hưởng mạnh bởi sự thay đổi nhiệt độ.

Ban đầu, với sự hoạt hóa nhiệt của chuỗi phân tử hydrocarbon, các liên kết hóa học C – C hoặc C – H có thể bị bẻ gãy. Bởi vì năng lượng trong liên kết C – C nhỏ hơn so với trong liên kết C – H nên sự phân giải nhiệt của phân tử bắt đầu từ sự bẻ gãy liên kết C – C, do đó tạo thành các gốc hydrocarbon. Với các gốc đó, các phản ứng khác nhau sẽ xảy ra như:

Phản ứng tách hydro:



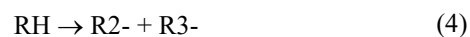
Phản ứng cracking nhiệt:



Sự tương tác của các gốc: $R_1- + R_2- \rightarrow$ Các chất ổn định.

Các phản ứng dây chuyền của các gốc, ví dụ như:

Phản ứng kích hoạt:



Phản ứng lan truyền:



Phản ứng phá vỡ: $R_1- + R_3- \rightarrow$ Sản phẩm

Mặc dù có rất nhiều các sản phẩm phản ứng được tạo ra tùy thuộc vào các điều kiện khác nhau, trong đó chắc chắn etylen hoặc olefin được tạo ra như các sản phẩm trung gian. Vì olefin là các hợp chất không no, chúng có xu hướng tham gia phản ứng trùng hợp để tạo thành cặn bị oxy hóa hoặc gôm. Khi vẫn duy trì một nhiệt độ cao, do phản ứng tách hydro hoặc cracking nhiệt, liên kết đôi thay đổi thành liên kết ba và bẻ gãy phân tử để tạo thành những chuỗi phân tử ngắn hơn. Các phản ứng này cuối cùng tạo ra các hạt carbon ở dạng nguyên chất. Ở nhiệt độ vách thấp hơn (từ 200 – 550°C), các sản phẩm giống như son mài tạo điều kiện thuận lợi cho các hạt carbon tự do và cặn của các sản phẩm cháy bám dính lên đó. Nhiệt độ vách cao hơn (trên 550°C), càng thúc đẩy mạnh hơn các phản ứng phân hủy của các olefin và các polyme của nó, và cuối cùng làm mất khả năng bám dính của các hạt lên vách. Ở nhiệt độ vách rất thấp (nhỏ hơn 200°C), thì ngược lại, các cặn lắng được tạo ra ở mức độ yếu có lẽ

bởi vì sự hình thành các lớp sơn mài đã ức chế và làm chậm các phản ứng trung gian.

3. Các nhân tố ảnh hưởng đến sự hình thành cặn lắng

3.1. Điều kiện vận hành và các thông số của động cơ

Theo Jonker và cộng sự [7] kết cấu động cơ, dầu bôi trơn và nhiên liệu sử dụng đều là những nhân tố quan trọng khi xét đến sự hình thành cặn lắng. Các yếu tố vận hành cũng ảnh hưởng tới sự hình thành cặn lắng, những yếu tố này chủ yếu là thông số vận hành động cơ và thời gian vận hành. Theo Kim và cộng sự [11], tăng tải và tăng công suất của động cơ diesel có một sự gia tăng đáng kể nhiệt độ bề mặt xy-lanh, sự gia tăng này được chứng minh là có lợi cho sự gia tăng cặn lắng trong động cơ.

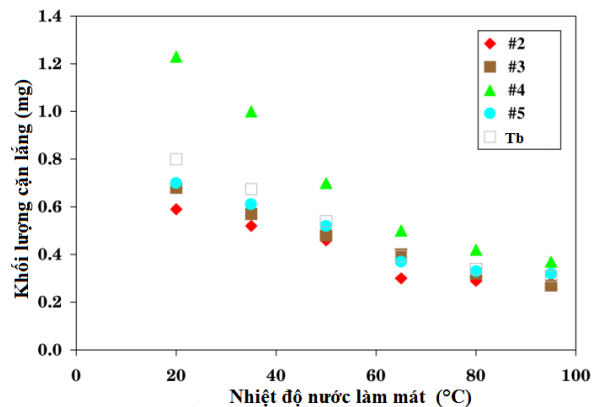
Vấn đề hình thành cặn lắng mới trên những động cơ mới và hiện đang lưu hành là kết quả của sự thay đổi điều kiện vận hành do thay đổi trong thiết kế động cơ và quá trình đốt cháy. Cặn lắng chủ yếu được hình thành trong những điều kiện vận hành lâu dài, hơn nữa có thể xảy ra trong những điều kiện đặc biệt, ví dụ: vòi phun có thể bị tắc nghẽn khi động cơ phun trực tiếp (DI) làm việc trong điều kiện ở một mức tải nhỏ trong một thời gian dài [8]. Sự giảm kích thước các khe hở và những điều kiện khắc nghiệt trong vận hành động cơ như nhiệt độ và áp suất trong buồng cháy, nhiệt độ dầu bôi trơn, nhiệt độ ống lót xy-lanh có thể đẩy nhanh quá trình hình thành cặn lắng trong buồng cháy [12].

Nhiệt độ bề mặt vách buồng cháy có khả năng ảnh hưởng đến sự hình thành cặn lắng. Nhiệt độ bề mặt vách thay đổi sẽ làm thay đổi gradient nhiệt độ giữa vách với khí trong xy-lanh làm thay đổi mật độ các hạt gần bề mặt vách [8], ngoài ra cũng phải kể đến cả sự ngưng tụ của nhiên liệu lỏng khi nhiệt độ bề mặt vách giảm xuống thấp. Nghiên cứu của Kim [11] chỉ ra rằng sự hình thành cặn lắng trở nên đáng kể khi nhiệt độ bề mặt vách ở ngưỡng 260°C. Một cách đơn giản để thay đổi nhiệt độ bề mặt vách buồng cháy là thay đổi nhiệt độ nước làm mát. Cheng [13] đã làm thí nghiệm đo khối lượng của 4 mẫu cặn lắng lấy được bằng các đầu thăm dò được lắp đặt tại các vị trí khác nhau giữa xy-lanh và nắp xy-lanh khi thay đổi nhiệt độ nước làm mát từ 20°C đến 95°C. Kết quả được chỉ ra trên Hình 3 đã cho thấy lượng cặn lắng giảm khi nhiệt độ nước làm mát tăng lên ở tất cả các mẫu và xu hướng có thể thấy rõ hơn với khối lượng cặn lắng trung bình là trung bình tất cả các mẫu.

Trong động cơ diesel phun trực tiếp (DI), thời điểm phun được xem là một thông số rất quan trọng, theo đó sự hình thành cặn lắng đáng kể khi thời điểm phun bị làm trễ và kết hợp với sự gia tăng nhiệt độ nước làm mát [7]. Sự ảnh hưởng của thời điểm phun trễ tới quá trình lắng cặn có thể được hiểu như là sự hòa trộn hỗn hợp nhiên liệu và không khí trở nên kém hơn cộng

thêm cháy trễ kéo dài dẫn đến gia tăng cặn lắng trên bề mặt vách xy-lanh [7].

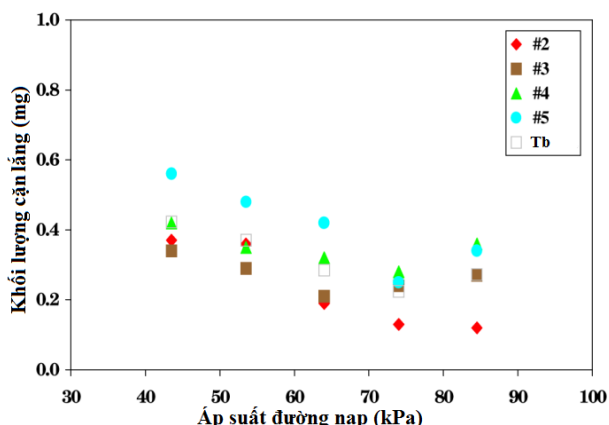
Tỷ lệ hòa trộn không khí và nhiên liệu (A/F) của hỗn hợp môi chất cũng là một yếu tố quan trọng dẫn đến sự hình thành cặn lắng. Theo Ye và cộng sự [14] lượng cặn lắng trở nên nhỏ nhất khi tỷ lệ A/F của hỗn hợp ở mức hòa trộn tỷ lượng (*stoichiometric*). Thí nghiệm được thực hiện trên một động cơ làm việc ở tốc độ cao trong vùng tải lớn đã cho thấy rằng lượng cặn lắng giảm đi khi tỷ lệ A/F chuyển từ hỗn hợp giàu nhiên liệu sang mức hòa trộn tỷ lượng, mặt khác lượng cặn lắng tăng lên khi tỷ lệ A/F dịch chuyển về phía hỗn hợp nghèo nhiên liệu. Điều này được giải thích rằng, việc đốt cháy hỗn hợp môi chất giàu nhiên liệu làm tăng tốc độ lan truyền và nhiệt độ của ngọn lửa, mặt khác vì thiếu lượng oxy cần thiết, dẫn đến quá trình đốt cháy xảy ra không hoàn toàn, do đó làm kết thúc các sản phẩm chưa cháy và tích lũy trên vách xy-lanh, dẫn tới gia tăng sự hình thành cặn lắng. Khi tỷ lệ A/F ở mức hòa trộn tỷ lượng, quá trình cháy được cải thiện do đủ lượng oxy cần thiết nên carbon chuyển đổi thành CO₂, lượng cặn lắng thu được là nhỏ nhất. Còn khi tỷ lệ A/F dịch chuyển về hỗn hợp nghèo nhiên liệu, do nhiệt độ và áp suất không đủ cao để quá trình cháy xảy ra hoàn toàn, dẫn đến lượng cặn lắng tăng lên.



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ nước làm mát đến sự hình thành cặn lắng [13]

Những dòng chảy rối loạn của các dòng khí bên trong buồng cháy sẽ làm cho các hạt di chuyển với tốc độ cao hơn, giảm thời gian tương tác với lực hướng nhiệt và làm giảm mật độ hạt ở gần vách xy-lanh. Ngoài ra dòng chảy với độ rối lớn sẽ thúc đẩy sự bay hơi và dễ dàng bóc đi lớp màng lỏng nhiên liệu trên vách [8]. Thay đổi động lực học dòng chảy dòng khí nạp khi cặn lắng bám trên thành xu-páp nạp còn gây ra ảnh hưởng đến quá trình hòa trộn nhiên liệu làm tăng lượng nhiên liệu không cháy và tăng lượng cặn lắng trong buồng cháy động cơ [15]. Việc thay đổi áp suất đường nạp, làm thay đổi tốc độ dòng chảy của khí nạp, lượng nhiên liệu do đó cũng phải thay đổi theo nếu muốn duy trì quá trình đốt cháy hoàn toàn. Tăng áp

suất đường nạp làm giảm sự hình thành cặn lắng, tuy nhiên khi áp suất tăng đủ cao thì lượng cặn lắng lại tăng lên [13] và điều này được minh họa thông qua Hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của áp suất đường nạp đến sự hình thành cặn lắng [13]

3.2. Nhiên liệu sử dụng

Guralp và cộng sự [2] đã chỉ ra rằng sự hình thành cặn lắng trong buồng cháy được gây ra bởi sự ngưng tụ của nhiên liệu trên bề mặt kim loại. Các nguồn nhiên liệu ngưng tụ có thể là nhiên liệu chưa cháy hết còn sót lại từ quá trình cháy không hoàn toàn, và nhiên liệu tích tụ từ sự va đập của chùm tia nhiên liệu được phun trực tiếp vào trong buồng cháy. Theo Konno và cộng sự [16] các yếu tố ảnh hưởng lớn đến sự hình thành lắng cặn là đặc tính chung cất, xu hướng hình thành hạt và giá trị của độ nhớt. Trong đó đặc tính chung cất của nhiên liệu là yếu tố nổi trội tác động đến sự hình thành lắng cặn.

Hàm lượng hydrocarbon thơm trong nhiên liệu đóng vai trò quan trọng trong sự hình thành cặn lắng, một phần vì có nhiệt độ sôi cao nên dễ ngưng tụ trên bề mặt vách, hơn nữa hydrocarbon thơm còn khó bị phản ứng oxy hóa là tác nhân làm cho nhiên liệu cháy không hoàn toàn, đóng góp cho sự hình thành tiền chất cặn lắng [13]. Kim và cộng sự [17] cũng đã cho thấy ảnh hưởng của các liên kết chưa bão hòa trong cấu trúc phân tử của nhiên liệu tới sự hình thành cặn lắng, thông qua hàm lượng olefin trong nhiên liệu.

Nghiên cứu của Cloud và cộng sự [18] chứng minh rằng nhiên liệu chứa hàm lượng lưu huỳnh cao gây nên sự kết dính trên hai xéc-măng khí đầu tiên và cặn lắng trên bề mặt xéc-măng và rãnh xéc-măng. Kreuz [19] cho rằng sự gia tăng cặn lắng trên đỉnh piston bằng cách tăng hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu, trừ khi nhiệt độ đỉnh piston tăng lên quá cao, lúc đó, ảnh hưởng của nhiệt độ sẽ chiếm ưu thế hơn. Theo Mcgeehan và cộng sự [20] khi hàm lượng lưu huỳnh tăng lên từ 0 – 1% thì cặn lắng được tìm thấy trên đỉnh piston và rãnh xéc-măng thứ nhất là không

đáng kể, trong khi được ghi nhận là nhiều hơn tại vùng có nhiệt độ thấp hơn ở rãnh xéc-măng thứ 2 và thứ 3.

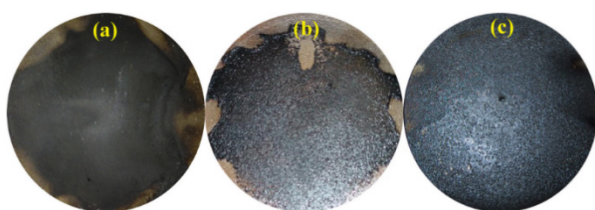
Chì và kẽm là hai nguyên tố dễ bị hấp thụ vào nhiên liệu nhất, các nguyên tố khác gần như không được phát hiện [21]. Leedham và cộng sự [22] đã xem xét cặn lắng phía trên vòi phun, cho thấy với nhiên liệu diesel cơ sở thì sự tạo thành cặn lắng là rất thấp, tuy nhiên khi pha thêm một lượng muối kẽm vào nhiên liệu, sự hiện diện của kẽm làm tăng lên một cách đáng kể về diện tích, khối lượng và bề dày lớp cặn lắng bên ngoài vòi phun.

Ullmann và cộng sự [23] đã khảo sát sự tương tác của các chất phụ gia với nhau ảnh hưởng đến sự hình thành cặn lắng và đã xác nhận rằng điều này rất khó xảy ra khi các chất phụ gia đứng một mình. Tuy nhiên, khi kết hợp các chất phụ gia với nhau, cụ thể ở đây là kết hợp một phụ gia tẩy rửa polyisobutylene succinimide (PIBSI) với các a-xít béo có thể tạo ra các cặn lắng polyme giống như gôm và vấn đề càng trở nên trầm trọng hơn khi bổ sung thêm một lượng a-xít formic vào nhiên liệu. Mặt khác sự kết hợp giữa PIBSI và phụ gia bôi trơn trung tính có chứa các gốc este lại không thấy sự xuất hiện cặn lắng.

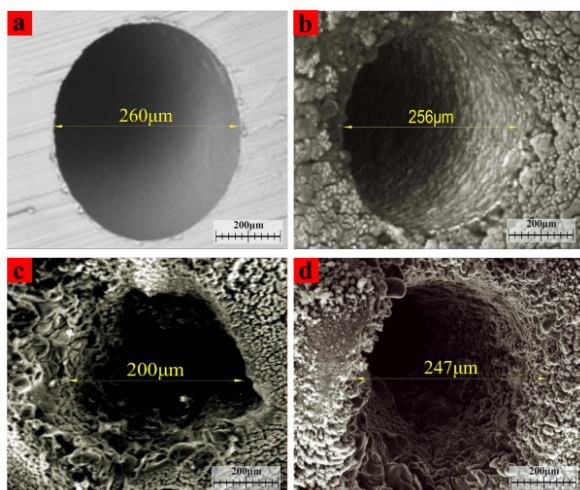
Diesel sinh học chứa hàm lượng lưu huỳnh cực nhỏ và không chứa hydrocarbon thơm, nên rất thân thiện với môi trường. Sử dụng diesel sinh học không thấy có sự khác biệt đáng kể về nhiệt trị và chỉ số xetan so với diesel khoáng. Tuy nhiên diesel sinh học được cấu thành từ những phân tử triglycerid có khối lượng phân tử lớn, mạch carbon dài và chứa liên kết đôi C = C dẫn đến có mật độ và độ nhớt cao, sức căng bề mặt lớn hơn so với diesel khoáng [24]. Nghiên cứu chỉ ra rằng đặc tính lý hóa của diesel sinh học khiến cho quá trình bay hơi và nguyên tử hóa kém, làm chậm sự phân hủy nhiệt dẫn đến hình thành nên các cặn carbon cứng và bám chặt không thể loại bỏ được bằng áp suất phun nhiên liệu [25]. Việc gia nhiệt cho diesel sinh học trước khi sử dụng với mục đích là để làm giảm các đặc tính vật lý không tốt như tỷ trọng, độ nhớt, sức căng bề mặt. Lúc đó tính chất vật lý của nhiên liệu sẽ tương đương như diesel khoáng và giúp làm giảm nhược điểm của diesel sinh học. Hoang và cộng sự [26] đã nghiên cứu tác động của 3 mẫu nhiên liệu, diesel khoáng (DF), hỗn hợp chứa 30% dầu Jatropha (SJO30) và hỗn hợp 90% dầu Jatropha được gia nhiệt trước (PSJO90) được sử dụng trên động cơ sau 300 giờ hoạt động. Sự tích lũy cặn lắng trên đỉnh piston được quan sát trên Hình 5 cho thấy sự hình thành cặn lắng từ DF (Hình 5.a) là thấp nhất và từ SJO30 (Hình 5.c) là cao nhất.

Nhóm tác giả cũng đã phân tích hình ảnh bên trong lỗ phun bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) đối với các mẫu nhiên liệu (Hình 6) và đã nhận thấy so với lỗ phun lúc đầu sau 1h thử nghiệm (Hình 6.a), đường kính lỗ phun sử dụng PSJO90 (Hình 6.d) giảm 13µm

trong khi đối với SJO30 (hình 6.c) giảm 60µm và còn quan sát thấy cả biến dạng lỗ phun, thậm chí làm tắc lỗ phun. Điều này ảnh hưởng đến đặc tính của tia phun nhiên liệu.



Hình 5. Tích lũy cặn lắng trên đỉnh piston [21]



Hình 6. Hình ảnh SEM của cặn lắng trên các lỗ phun [21]

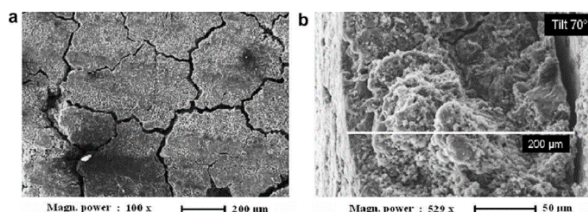
Sự giảm hình thành cặn lắng của PSJO90 có thể là do quá trình hâm nóng trước làm thay đổi các đặc tính vật lý tương tự như DF, mặc dù khối lượng phân tử, nhiệt trị và số xetan vẫn giống SJO30. Hơn nữa cặn lắng được quan sát trên Hình 6.c và 6.d cho thấy được cấu tạo từ các hạt thô và không đồng nhất.

3.3. Dầu bôi trơn

Sự giảm độ nhớt của dầu bôi trơn có thể được xem như sự thúc đẩy mất kiểm soát dầu và thúc đẩy sự tương tác lớn hơn giữa các sản phẩm trong các-te và trong buồng cháy, sự kết hợp nhiên liệu chưa cháy và dầu bôi trơn đã gây ra sự oxy hóa và ngưng tụ để tạo ra cặn lắng có dạng véc-ni và bùn [7].

Diaby và cộng sự [12] đã tìm thấy ảnh hưởng của sự biến chất dầu bôi trơn trong sự hình thành cặn lắng trên rãnh xéc-măng đầu tiên của một động cơ 4 xy-lanh được sử dụng để nghiên cứu. Kết quả được phản ánh thông qua hình ảnh SEM trên hình 7 cho thấy cặn lắng có cấu trúc véc-ni với các vết rạn nứt, chủ yếu do sự biến chất của dầu bôi trơn. Các cặn lắng được cho là nhờn và khô dựa trên hàm lượng chất hữu cơ dễ bay hơi của chúng.

Bằng cách phân tích các tính chất hóa học của cặn lắng kết luận được đưa ra là chúng chủ yếu là carbon và kết quả tạo thành chủ yếu từ dầu bôi trơn. Đồng thời chứa một lượng đáng chú ý các nguyên tố kim loại, thành phần các nguyên tố Al, Fe, Cu là do sự mài mòn của động cơ, hệ quả từ sự biến chất của dầu bôi trơn, trong khi các thành phần Zn, P, S, Mg, Ca, Si, có thể là do các chất phụ gia được pha vào dầu bôi trơn.



Hình 7. Hình ảnh SEM của cặn lắng trên rãnh xéc-măng khí thứ nhất [6]

4. Kết luận

Bài báo đã làm nổi bật được các cơ chế hình thành cặn lắng trong buồng cháy động cơ diesel cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến cách thức hình thành tiền chất cặn và sự phát triển của lớp cặn trên bề mặt vách buồng cháy khi phân tích các kết quả nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước về vấn đề này. Thông qua các phân tích về cơ chế hình thành và ảnh hưởng của các yếu tố tác động đến sự tích lũy cặn lắng, ta có thể đưa ra một số giải pháp nhằm hạn chế sự hình thành cặn lắng.

Các nghiên cứu đã cho thấy tầm quan trọng của các thành phần nhiên liệu trong sự hình thành cặn lắng. Để kiểm soát vấn đề này, nhiên liệu cần phải có sự giới hạn nhất định các thành phần hydrocarbon thơm cũng như hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu. Phụ gia trong nhiên liệu là cần thiết để nâng cao chất lượng của nhiên liệu và đảm bảo phù hợp với mục đích sử dụng. Sự kết hợp phụ gia không đúng cách có thể khiến cho cặn lắng càng trở nên trầm trọng hơn. Lợi ích từ các chất phụ gia đem lại có thể được duy trì nếu các kết hợp chính xác được sử dụng, nhất là khi ngày càng có nhiều thay đổi mới trên động cơ và tiêu chuẩn về khí thải.

Các nhiên liệu thay thế mới là rất cần thiết trong bối cảnh thiếu hụt nhiên liệu và đáp ứng tiêu chuẩn khí thải ngày càng khắt khe. Với diesel sinh học việc hâm nóng nhiên liệu trước khi sử dụng đã cho thấy nhiều khả năng hơn. Nhưng cũng cần phải nghiên cứu thêm để khai thác hết tiềm năng của loại nhiên liệu này.

Cặn lắng được hình thành một phần cũng do sự biến tính dầu bôi trơn gây ra. Việc nâng cao chất lượng dầu bôi trơn, kết hợp sử dụng phụ gia phù hợp sẽ giúp giảm thiểu sự hình thành cặn lắng.

Tài liệu tham khảo

- [1] X. Zhang, G. Peng, G. Du, X. Sun, G. Jiang, X. Zeng, P. Sun, B. Deng, H. Xie, Z. Wu, T. Xiao. Investigating the microstructures of piston carbon deposits in a large-scale marine diesel engine using synchrotron X-ray microtomography. *Fuel*, vol. 142, (2015), 173 – 179.
- [2] O. Guralp, M. Hoffman, D. Assanis, Z. Filipi, T.W. Kuo, P. Najt, R. Rask. Characterizing the Effect of Combustion Chamber Deposits on a Gasoline HCCI Engine. SAE Paper, No.2006-01-3277, (2006).
- [3] M. Kinoshita, A. Saito, S. Matsushita, H. Shibata, Y. Niwa. Study of deposit formation mechanism on gasoline injection nozzle. *JSAE Review*, vol 19, (1998), 351-371.
- [4] A.B. Hopwood, S. Chynoweth, G.T. Kalghatgi. A technique to measure thermo diffusivity and thickness of combustion chamber deposit in situ. SAE Paper, No. 982590 (1998).
- [5] S.L. Bower Jr, T.A. Litzinger, V. Frottier. The effects of fuel composition and engine deposits on emissions from sparking niton engine. SAE Paper. No. 932707 (1993).
- [6] W.M. Studzinski, P.M. Liiva, P.J. Choate, W.P. Acker, M. Smooke, K. Brezinsky, T. Litzinger, S. Bower. A computational and experimental study of combustion chamber deposit effects on Nox emission. SAE Paper. No. 982325 (1993).
- [7] R.K. Jonkers, M.F. Bardon, D.P. Gardiner. Techniques for predicting combustion chamber deposits in a direct injection diesel engine. SAE paper, No.2002-01-2673, (2002).
- [8] G. Lepperhoff, M. Houben. Mechanisms of deposit formation in internal combustion engines and heat exchangers. SAE Paper, No.931032 (1993).
- [9] D.B. Kittelson, J. Ambs, H. Hadjkacem. Particulate Emissions from Diesel Engines: Influence of In-Cylinder Surface. SAE Paper. No.900645 (1990).
- [10] F. Nagao, M. Ikegami, A. Tokunaga. Temperature Dependence of Carbon Deposits in Diesel Combustion Chamber. *The Japan Society of Mechanical Engineers*, vol. 9, No. 35, (1966), 573-579.
- [11] J. Kim, B. Min, D. Lee, D. Oh, J. Choi. The Characteristics of Carbon Deposit Formation in Piston Top Ring Groove of Gasoline and Diesel Engines, SAE Paper, #980526, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, (1998).
- [12] M. Diaby, M. Sablier, A. Le Negrateb, M. El Fassib, J. Bocquet. Understanding carbonaceous deposit formation resulting from engine oil degradation. *Carbon*, vol. 47, (2009), 355-366.
- [13] S.S. Cheng. The Impacts of Engine Operating Conditions and Fuel Compositions on the Formation of Combustion Chamber Deposits. SAE paper, No.2000-01-2025, (2000).
- [14] Z. Ye, Q. Meng, H.P. Mohamadiah, J. T. Wang, L. Chen, L. Zhu. Investigation of Deposits Formation Mechanisms for Engine In-cylinder Combustion and Exhaust System Using Quantitative Analysis and Sustainability Study. *Int J Thermophys*, vol. 28, (2007) 1056-1066.
- [15] B. Bitting. Intake valve deposit-Fuel detergentcy requirements revisited. SAE Paper, No. 872117, (1987).
- [16] M. Konno, T. Abe, T. Okamoto, Y. Aoyagi, H. Ishii, D. Kawano. Study on carbon-deposit formation characteristics and formation factors of a small diesel engine fueled with rapeseed methyl ester. *Review of Automotive Engineering*, vol. 29, (2008) 315-319.
- [17] C. Kim, S.S. Cheng, S. A. Majorski. Engine Combustion Chamber Deposits: Fuel Effects and Mechanisms of Formation. SAE Paper, No.912379, (1991).
- [18] G.H. Cloud, A.J. Blackwood. The Influence of Diesel Fuel on Engine Deposits and Wear, SAE Journal (Transactions), Vol. 51, No. 11, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, (1943).
- [19] K.L. Kreuz. Diesel Engine Chemistry as Applied to Lubricant Problem Lubrication, Vol. 56, (1970), 77-88.
- [20] J.A. McGeehan, B.J. Fontana, J.D. Kramer. The Effects of Piston Temperature and Fuel Sulfur on Diesel Engine Piston Deposits. SAE Paper #821216, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, (1982).
- [21] M. Fukui, T. Sato, N. Fujita, M. Kitano. Examination of lubricant oil components affecting the formation of combustion chamber deposit in a two strokes engine. *JSAE Review*, vol. 22, no. 3, (2001), 281-285.
- [22] A. Leedham, R. Caprotti, O. Graupner, T. Klaua. Impact of Fuel Additives on Diesel Injector Deposits. SAE Paper, No.2004-01-2935, (2004).
- [23] J. Ullmann, M. Geduldig, H. Stutzenberger, R. Caprotti, G. Balfour. Investigation into the Formation and Prevention of Internal Diesel Injector Deposits. SAE Paper, No.2008-01-0926, (2008).
- [24] A.M. Liaquat, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, M.A. Fazal, A.F. Khan, H. Fayaz, M. Varman. Impact of palm biodiesel blend on injector deposit formation. *Appl Energy*, vol. 111, (2013), 882–93.
- [25] A.T. Hoang, V.V. Pham. A review on fuels used for marine diesel engines. *J Mech Eng Res Dev*, vol. 41, no. 4 (2018), 22–32.
- [26] A.T. Hoang, A.T. Le, V.V. Pham. A core correlation of spray characteristics, deposit formation, and combustion of a high-speed diesel engine fueled with *Jatropha* oil and diesel fuel. *Fuel*, vol. 244, (2019), 159-175.