

Chương 7

CÁC BIỆN PHÁP KỸ THUẬT LÀM GIẢM MỨC ĐỘ GÂY Ô NHIỄM CỦA ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

Trong chương này, chúng ta sẽ nghiên cứu những biện pháp làm giảm mức độ phát sinh ô nhiễm ngay trong quá trình cháy của động cơ đốt trong cũng như các giải pháp kỹ thuật xử lý ô nhiễm trên đường xả bằng bộ xúc tác hay lọc.

7.1. Giảm mức độ phát sinh ô nhiễm ngay từ nguồn

Trong những thập niên tới, mối quan tâm hàng đầu của việc thiết kế động cơ là giảm mức độ phát sinh ô nhiễm ngay từ nguồn, nghĩa là trước khi ra khỏi soupape xả. Vì vậy, nhà thiết kế động cơ không chỉ chú trọng đơn thuần về công suất hay tính kinh tế của động cơ mà phải cân nhắc giữa các chỉ tiêu đó và mức độ phát sinh ô nhiễm.

7.1.1. Động cơ đánh lửa cưỡng bức

Đối với động cơ đánh lửa cưỡng bức, ba chất ô nhiễm chính cần quan tâm là NO_x , HC và CO. Ảnh hưởng tổng quát của các yếu tố kết cấu và vận hành động cơ đến sự hình thành các chất ô nhiễm này đã được phân tích ở chương 6.

Ở động cơ thể hệ mới làm việc với hỗn hợp nghèo, người ta không chế thêm vận động rối của hỗn hợp nhiên liệu-không khí trong quá trình cháy để làm giảm nồng độ các chất ô nhiễm, đặc biệt là HC. Sự tăng cường chuyển động rối sẽ làm tăng tốc độ lan truyền màng lửa và hạn chế việc xuất hiện những vùng 'chết' (gần thành buồng cháy). Gia tăng vận động rối có thể thực hiện bằng cách:

- Gia tăng vận động xoáy lốc của hỗn hợp trên đường ống nạp.
- Sử dụng hai soupape nạp khi động cơ làm việc ở chế độ toàn tải và một soupape khi làm việc ở tải cục bộ
- Tạo ra một tia khí tốc độ cao phun vào đường nạp phụ có kích thước nhỏ hơn đường ống nạp chính.

Việc lựa chọn phương pháp phun nhiên liệu riêng rẽ cho từng cylindre hay phun tập trung ở cổ góp đường nạp phụ thuộc nhiều yếu tố (khả năng điều chỉnh, tính năng kinh tế-kỹ thuật, giá thành...). Phương pháp phun nhiên liệu cũng có ảnh hưởng đến sự hình thành các chất ô nhiễm. Thật vậy, phương pháp phun tập trung có ưu điểm là thời gian dành cho việc bốc hơi nhiên liệu tương đối dài do đó hạn chế được hiện tượng ngưng tụ

nhiên liệu trên đường ống nạp, còn phương án phun riêng rẽ cho phép tránh được sự không đồng đều về thành phần hỗn hợp giữa các cylindre.

Việc điều chỉnh góc độ phối khí cũng là một biện pháp làm hài hòa giữa tính năng của động cơ và mức độ phát ô nhiễm HC và NO_x. Gia tăng góc độ trùng điệp sẽ làm tăng lượng khí xả hồi lưu do đó làm giảm NO_x. Sự thay đổi quy luật phối khí cũng gây ảnh hưởng đến sự phát sinh HC. Những động cơ mới ngày nay có khuynh hướng dùng nhiều soupape với trục cam có thể điều chỉnh được góc độ phối khí. Giải pháp này cho phép giảm nồng độ HC và NO_x từ 20 đến 25% so với động cơ kiểu cũ có cùng các tính năng kinh tế-kĩ thuật.

Cuối cùng, đối với động cơ làm việc với hỗn hợp nghèo, việc làm giảm nồng độ NO_x trong khí xả có thể được thực hiện riêng rẽ hay đồng thời hai giải pháp sau đây:

- Tổ chức quá trình trình cháy với độ đậm đặc rất thấp ($f = 0,60-0,70$).

- Hồi lưu một bộ phận khí xả (EGR: Exhaust Gas Recirculation)

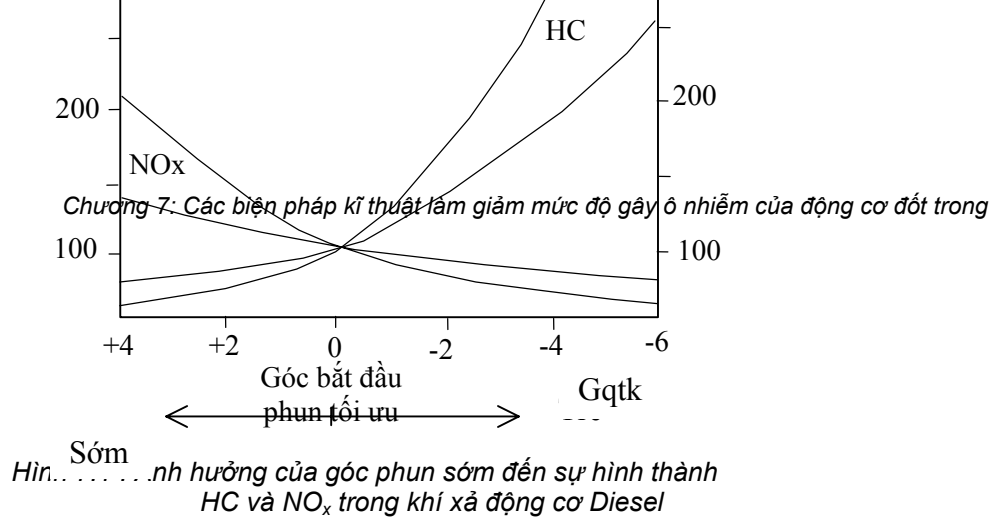
Ngày nay, hệ thống hồi lưu khí xả được dùng phổ biến trên tất cả loại động cơ đánh lửa cưỡng bức cổ điển hay động cơ thể hệ mới làm việc với hỗn hợp nghèo. Nó cho phép làm biến hỗn hợp ở một số chế độ công tác của động cơ nhằm làm giảm nhiệt độ cháy và do đó làm giảm được nồng độ NO_x.

Về mặt kết cấu nói chung, hệ thống hồi lưu khí xả gồm một van hồi lưu, một hệ thống điều khiển điện trở lực khí nén và một bộ vi xử lý chuyên dụng. Bộ vi xử lý này nhận tín hiệu từ các cảm biến về nhiệt độ nước làm mát, nhiệt độ khí nạp, tốc độ động cơ, lượng nhiên liệu cung cấp... Sau khi xử lý thông tin nhờ các quan hệ lưu trữ sẵn trong bộ nhớ, bộ vi xử lý phát tín hiệu để điều khiển hệ thống điện trở lực khí nén đóng mở van hồi lưu để cho quay ngược một lượng khí xả thích hợp vào đường nạp.

Hệ thống hồi lưu khí xả phải được điều chỉnh theo tốc độ và tải của động cơ để tránh xảy ra hiện tượng cháy không bình thường làm gia tăng HC trong khí xả. Trong quá trình làm việc, van điều khiển khí xả hồi lưu có thể bị kẹt do sự ngưng tụ của sản phẩm cháy nên cần phải pha chất phụ gia tẩy rửa vào xăng.

7.1.2. Động cơ Diesel Đối với động cơ Diesel các giải pháp kĩ thuật tối ưu làm giảm mức độ phát sinh ô nhiễm ngay trong buồng cháy cần phải được cân nhắc giữa nồng độ của các chất HC, NO_x và bồ hóng trong khí xả.

Như chúng ta đã phân tích ở chương 6, việc thay đổi góc phun sớm có ảnh hưởng trái ngược nhau đến nồng độ HC và NO_x (hình 7.1).

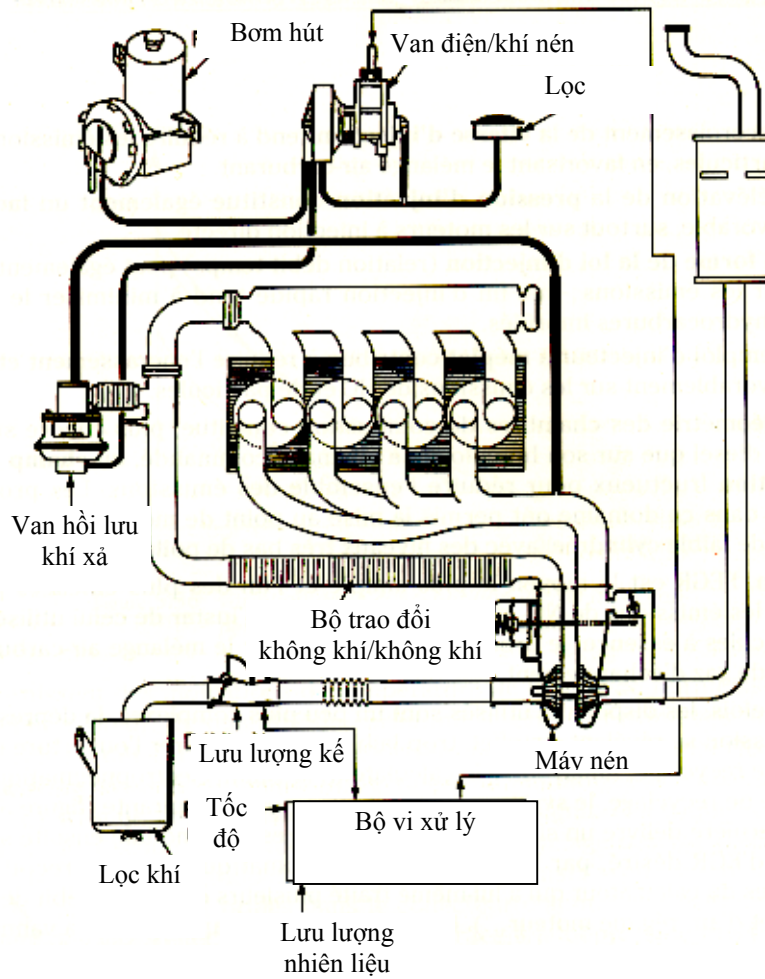


Các nhà chế tạo động cơ Diesel đã đề ra nhiều biện pháp khác nhau về kĩ thuật phun và tổ chức quá trình cháy nhằm giới hạn nồng độ hai chất ô nhiễm này. Các biện pháp chính là:

- Tăng tốc độ phun để làm giảm nồng độ bồ hóng do tăng tốc độ hòa trộn nhiên liệu-không khí.
- Tăng áp suất phun, đặc biệt là đối với động cơ phun trực tiếp.
- Điều chỉnh dạng quy luật phun (quan hệ lưu lượng-thời gian) theo khuynh hướng kết thúc nhanh quá trình phun để làm giảm HC.

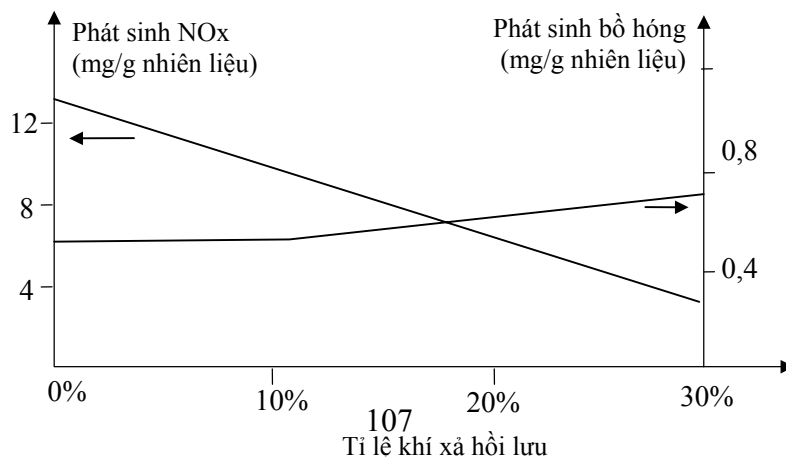
Đối với động cơ Diesel, dạng hình học của buồng cháy ảnh hưởng đến mức độ phát sinh ô nhiễm quan trọng hơn là đối với động cơ xăng. Cũng như động cơ xăng, hồi lưu khí xả là một trong những biện pháp hiệu quả nhất để giảm mức độ phát sinh NO_x trong động cơ Diesel. Tuy nhiên, về mặt kết cấu, hệ thống hồi lưu khí xả trên động cơ Diesel phức tạp hơn vì độ chân không trên đường nạp quá bé không đủ sức mở van hồi lưu. Vì vậy, ngoài bộ vi xử lý chuyên dụng, van điện từ trợ lực khí nén và van hồi lưu, hệ thống còn có một bơm tạo chân không (hình 7.2). Mặt khác, người ta cũng sử dụng thêm các phương pháp phụ sau đây để tăng độ chân không để hút khí xả vào đường nạp:

- Tiết lưu trên đường nạp để tạo ra độ chân không cần thiết
- Sử dụng một bơm đặc biệt để hút khí xả
- Trích khí cháy hồi lưu ở trước turbine và sau khi đã qua lọc



Hình 7.2: Sơ đồ nguyên lý của hệ thống hồi lưu khí xả động cơ Diesel

Hiện nay, tỉ lệ khí xả hồi lưu của động cơ Diesel trên ô tô du lịch còn thấp. Trong tương lai, chắc chắn tỉ lệ này phải tăng lên để thỏa mãn luật môi trường ngày càng trở nên khắt khe hơn. Tuy nhiên, khí xả hồi lưu có thể làm tăng một ít nồng độ bồ hóng (hình 7.3) và đó là điều cần phải xem xét. Cũng như đối với động cơ đánh lửa cưỡng bức, khí xả hồi lưu là nguồn gây bẩn đường nạp và buồng cháy. Vì vậy, việc sử dụng rộng rãi hệ thống hồi lưu khí xả trên động cơ Diesel cần phải đi song song với việc phát triển dầu Diesel có chứa chất tẩy.



Hình 7.3: Ảnh hưởng của tỉ lệ khí xả hồi lưu đến mức độ phát sinh NO_x và hạt rắn

Cuối cùng, trong tương lai, việc hoàn thiện bộ điều chỉnh điện tử tổ hợp, tác động cùng lúc đến nhiều thông số: góc phun sớm, lượng nhiên liệu chu trình, lượng khí xả hồi lưu... lắp trên xe du lịch cũng như xe vận tải sẽ góp phần đáng kể vào việc làm giảm mức độ phát ô nhiễm ngay từ trong quá trình cháy.

7.2. Xử lí khí xả bằng bộ xúc tác

Việc xử lí khí xả động cơ đốt trong bằng bộ xúc tác đã được nghiên cứu và phát triển ở Mỹ cũng như ở Châu Âu từ những năm 1960. Đầu tiên, người ta sử dụng các bộ xúc tác oxy hóa trên những động cơ hoạt động với hỗn hợp giàu. Sau đó, hệ thống xúc tác lưỡng tính đã được phát triển để xử lí khí xả. Hệ thống này bao gồm bộ xúc tác khử, bộ cung cấp không khí và bộ xúc tác oxy hóa. Bộ xúc tác 'ba chức năng' đầu tiên được đưa vào sử dụng từ năm 1975 trên động cơ đánh lửa cưỡng bức làm việc với hệ số dư lượng không khí λ xấp xỉ 1 và trở thành bộ xúc tác được ứng dụng rộng rãi nhất hiện nay. Từ năm 1990, các bộ xúc tác mới được áp dụng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức làm việc với hỗn hợp nghèo, động cơ Diesel và động cơ 2 kì.

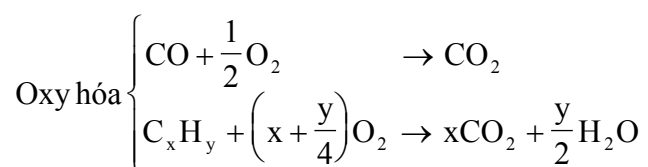
Trong khi chờ đợi những giải pháp kĩ thuật lí tưởng nhằm hạn chế triệt để các chất ô nhiễm từ trong quá trình cháy thì việc xử lí khí xả bằng xúc tác là biện pháp hữu hiệu nhất để giảm mức độ phát sinh ô nhiễm của ô tô. Người ta ước tính đến năm 2000-2005 sẽ có hơn 80% ô tô lưu hành được trang bị bộ xúc tác.

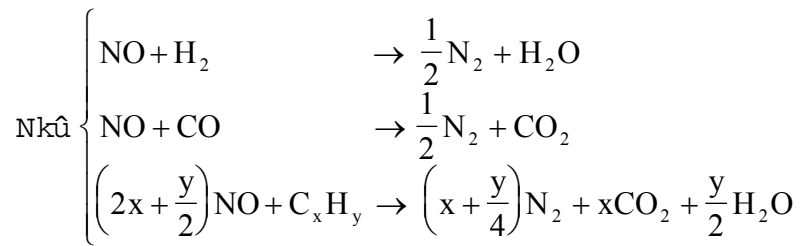
7.2.1. Bộ xúc tác ba chức năng

Bộ xúc tác 'ba chức năng' (three-way) là bộ xúc tác cho phép xử lí đồng thời CO , HC và NO_x bởi các phản ứng oxy hóa-khử (hai chất đầu tiên bị oxy hóa còn chất thứ ba bị khử).

7.2.1.1. Nguyên tắc chung và cấu tạo của bộ xúc tác

Các phản ứng chính diễn ra trong bộ xúc tác gồm:

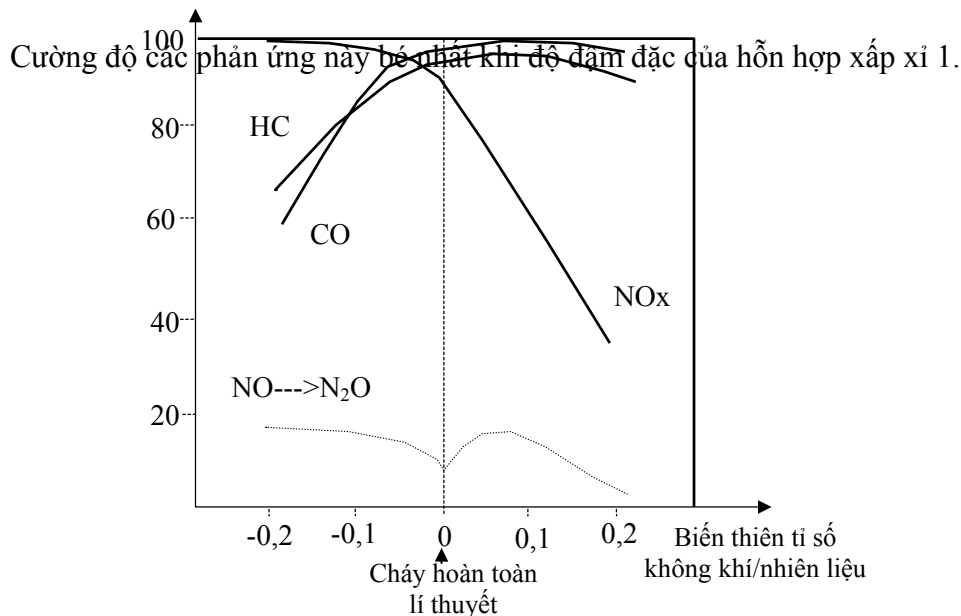
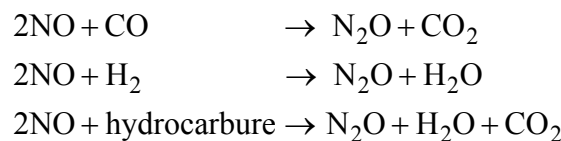




Hai phản ứng oxy hóa diễn ra khi độ đậm đặc f nhỏ hơn hay bằng 1 (hỗn hợp nghèo). Trong khi đó, ba phản ứng phân hủy NO diễn ra thuận lợi trong hỗn hợp giàu. Trong các phản ứng khử, người ta chỉ quan tâm đến NO vì nó là thành phần chủ yếu trong NO_x .

Trong cùng điều kiện về nhiệt độ, việc oxy hóa CO, HC và khử NO_x (nghĩa là 5 phản ứng kể trên phải diễn ra cùng lúc với tốc độ đủ lớn), chỉ có thể diễn ra một cách đồng thời khi hệ số dư lượng không khí của hỗn hợp nạp vào động cơ xấp xỉ 1. Đó là lí do giải thích tại sao tất cả ô tô có bộ xúc tác ba chức năng phải làm việc với tỉ lệ hỗn hợp cháy hoàn toàn lí thuyết và tỉ lệ này được điều chỉnh nhờ cảm biến lambda. Tỉ lệ biến đổi các chất ô nhiễm qua bộ xúc tác rất nhạy cảm đối với sự thay đổi tỉ lệ hỗn hợp (hình 7.4).

Mặt khác, việc duy trì thành phần hỗn hợp có $f=1$ ngoài việc tăng tỉ lệ biến đổi các chất ô nhiễm nó còn hạn chế phản ứng 'nhiều' tạo N_2O (protoxyde nitơ):



Hình 7.4: Biến thiên hiệu quả ống xả xúc tác 3 chức năng theo độ lệch của tỉ số không khí/nhiên liệu so với giá trị cháy hoàn toàn lí thuyết

Hệ thống xúc tác bao gồm *gộp đỡ* (support) và *lớp kim loại hoạt tính*. Ngày nay gộp đỡ bằng gốm hay kim loại liền một khối, gọi là monolithe, được dùng rộng rãi nhất. Gộp đỡ monolithe là những ống trụ tiết diện tròn hay ovale bên trong được chia nhỏ bởi những vách ngăn song song với trục. Mặt cắt ngang của bộ phận công tác vì vậy có dạng tổ ong với tiết diện tam giác hay vuông. Đối với động cơ có công suất khoảng 100kW, tiết diện tổng cộng cần thiết của các phân tử công tác khoảng 130cm² và thể tích tổng cộng của monolithe khoảng 2-3 lít (0,02-0,03 dm³/kW).

Vật liệu gốm dùng phổ biến là cordiérite: 2MgO,2Al₂O₃,5SiO₂. Vật liệu này có ưu điểm là nhiệt độ nóng chảy cao (1400°C) do đó nó có thể chịu đựng được nhiệt độ khí xả và nhiệt độ xúc tác (đôi lúc lên đến 1100°C).

Gộp đỡ monolithe kim loại ngày nay có nhiều ưu thế hơn. Nó được chế tạo bằng thép lá không rỉ có bề dày rất bé. Ưu điểm của kim loại là dẫn nhiệt tốt cho phép giảm được thời gian khởi động hệ thống xúc tác.

Lớp hoạt tính là nơi diễn ra các phản ứng xúc tác được chế tạo bằng những kim loại quý mạ thành lớp rất mỏng trên vật liệu nền (wash-coat). Vật liệu nền rất cần thiết vì gộp đỡ (kim loại hay gốm) có diện tích bề mặt riêng thấp. Vật liệu nền chủ yếu là một lớp nhôm gamma, bề dày khoảng 20-50 micron được tráng trên bề mặt của rãnh gộp. Sự hiện diện của nó cho phép làm tăng bề mặt riêng của gộp do đó thuận lợi cho hoạt tính xúc tác của kim loại quý. Ngoài nhôm ra, vật liệu nền còn chứa những thành phần ổn định cũng như những kim loại khởi động cho hoạt tính xúc tác.

Có 3 loại kim loại quý thường được dùng để tráng trên bề mặt của vật liệu nền: Platine, Palladium, Rhodium. Hai chất đầu tiên (Pt, Pd) dùng cho các phản ứng xúc tác oxy hóa, trong khi đó Rh cần thiết cho phản ứng xúc tác khử NO_x thành N₂. Thành phần Pt/Pd được lựa chọn dựa trên một số yêu cầu về tính năng của bộ xúc tác: hiệu quả xúc tác ở nhiệt độ thấp, độ bền, tuổi thọ... Khối lượng kim loại quý dùng cho mỗi bộ xúc tác rất thấp, khoảng từ 1 đến 2 gam cho mỗi ô tô.

Ngoài ra, bộ xúc tác cũng chứa những chất khác như kền, cérium, lanthane, baryum, zirconium, sắt, silicium... với hàm lượng bé. Những chất này tăng cường thêm hoạt tính xúc tác, tính ổn định và chống sự lão hóa của kim loại quý.

7.2.1.2. Khởi động bộ xúc tác

Bộ xúc tác ba chức năng chỉ phát huy tác dụng khi nhiệt độ làm việc lớn hơn 250°C. Khi vượt qua ngưỡng nhiệt độ này, tỉ số biến đổi những chất ô nhiễm của bộ xúc tác tăng rất nhanh, đạt tỉ lệ lớn hơn 90%. Do đó, trên ô tô bộ xúc tác chỉ tác động sau một khoảng thời gian khởi động nhất định để nhiệt độ của bộ xúc tác đạt được giá trị ngưỡng này. Trong khoảng thời gian đó, các chất ô nhiễm trong khí xả hầu như không được xử lí. Thực nghiệm cho thấy bộ xúc tác đạt được nhiệt độ ngưỡng sau khi ô tô chạy được từ 1 đến 3 km trong thành phố.

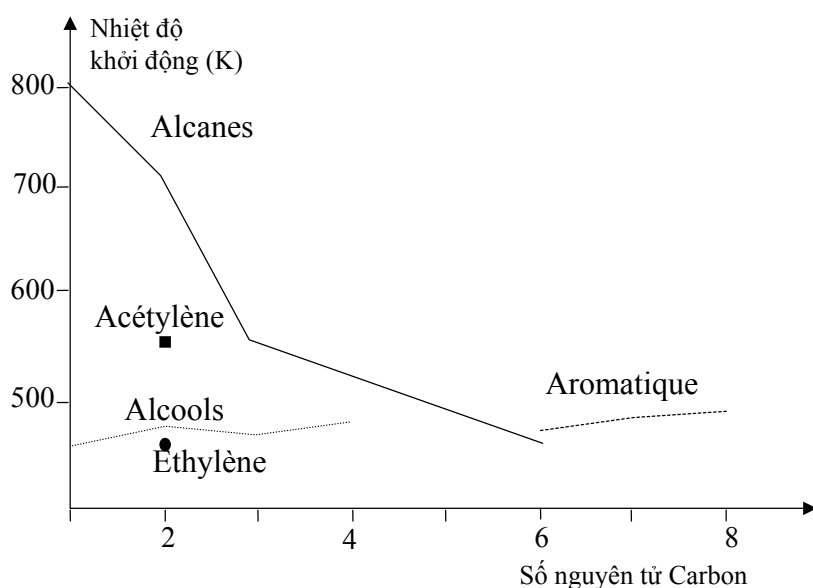
Nhiệt độ khởi động bộ xúc tác được định nghĩa là nhiệt độ mà ở đó tỉ lệ biến đổi các chất ô nhiễm đạt 50%.

Hình 7.5 cho thấy nhiệt độ khởi động của bộ xúc tác có thể thay đổi theo thành phần hóa học của hỗn hợp cần xử lí. Nói chung alkane chuỗi ngắn, đặc biệt là methane là những hydrocarbure khó oxy hóa nhất; những hydrocarbure thơm, alcène, có thể oxy hóa ở nhiệt độ tương đối thấp. Vì vậy, trên động cơ, nhiệt độ khởi động bộ xúc tác có thể chênh lệch từ 10 đến 20 độ tùy theo thành phần nhiên liệu sử dụng.

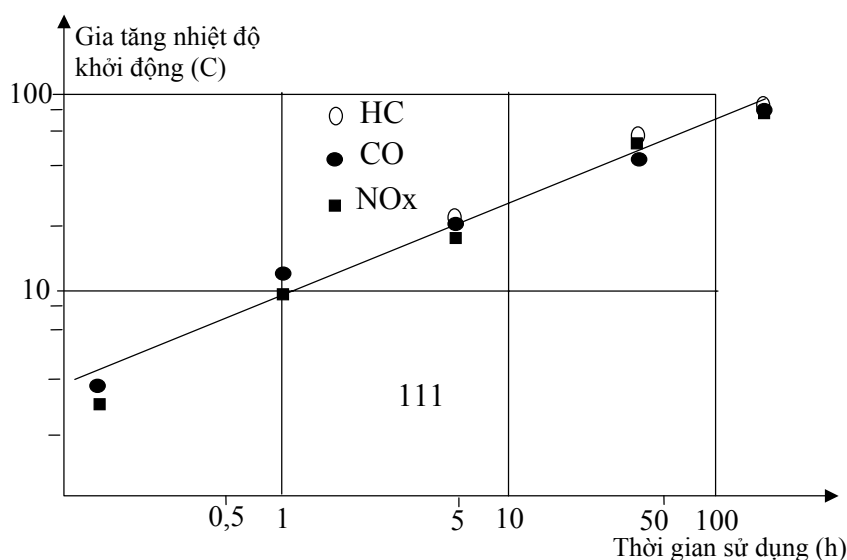
Một biện pháp dùng để giảm thời gian khởi động là sấy bộ xúc tác bằng điện. Biện pháp này tốn kém, công suất cần thiết của thiết bị sấy tương đối cao (khoảng 5,5kW để đạt được nhiệt độ sấy từ 300 đến 350°C trong 15s).

7.2.1.3. Sự lão hóa bộ xúc tác

Tính hiệu quả của bộ xúc tác giảm dần theo thời gian sử dụng (hình 7.6). Nguyên nhân gây lão hóa này là do tác động đồng thời của các tác nhân hóa, lí, nhiệt và cơ học, trong đó tác nhân hóa học do nhiên liệu trực tiếp hay gián tiếp gây ra là quan trọng nhất.



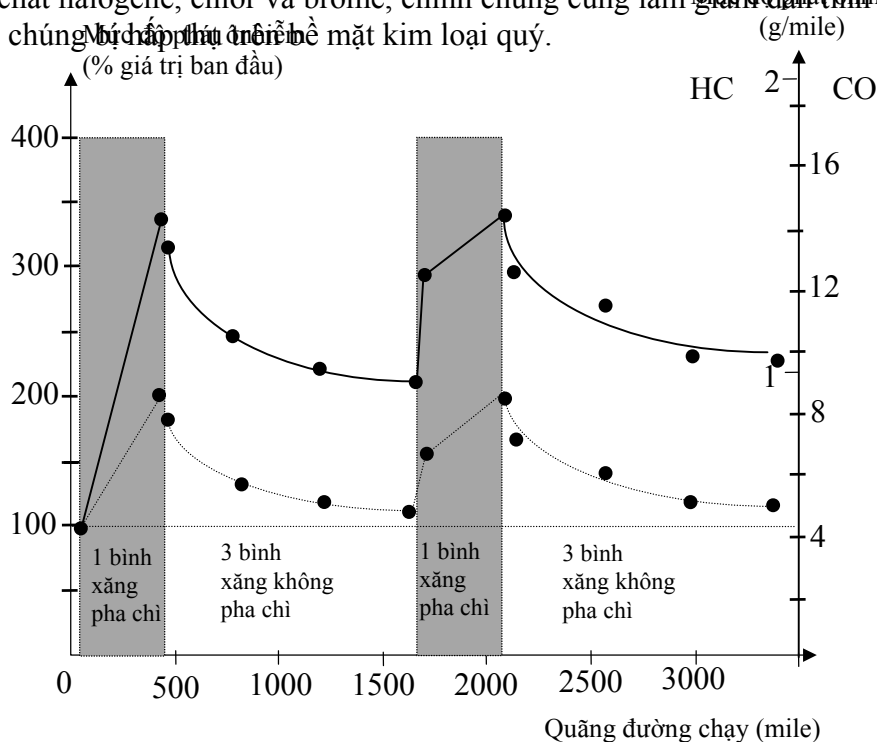
Hình 7.5: Nhiệt độ khởi động đối với các hợp chất hữu cơ khác nhau



Hình 7.6: Gia tăng nhiệt độ khởi động của bộ xúc tác theo thời gian sử dụng ô tô

A. Tác động của chì

Tác hại của chì đến bộ xúc tác có thể do nhiều hợp chất hóa học của nó hình thành trong quá trình cháy gây ra (các oxyde, halogénure, sulfate). Tác hại của chì là phủ lên mặt chất xúc tác một lớp kim loại tro ở nhiệt độ cao và chèn kín các lỗ xốp ở nhiệt độ thấp. Những chất halogène, chlor và brome, chính chúng cũng làm giảm hoạt tính của bộ xúc tác do chúng bị hấp thụ trên bề mặt kim loại quý.



Hình 7.6: Ảnh hưởng của chì đến bộ xúc tác 3 chức năng

Vì vậy, phải tránh việc sử dụng xăng pha chì đối với động cơ có ống xả xúc tác. Tuy nhiên, xăng pha chì không hủy hoàn toàn hoạt tính xúc tác. Tính xúc tác có thể được phục hồi lại một phần khi sử dụng xăng không pha chì (hình 7.6)

B. Tác động của phosphore

Sự hiện diện của phosphore trong nhiên liệu gây ảnh hưởng rất nghiêm trọng đến bộ xúc tác. Phosphore một mặt gây ra sự sai lệch tín hiệu của cảm biến lambda và mặt khác, làm giảm hiệu quả của bộ xúc tác, nhất là đối với việc oxy hóa CO.

Trong thực tế, nhiên liệu thông thường có hàm lượng phosphore nhỏ hơn 0,02ppm. Mặt khác, phosphore trong khí xả cũng có thể bắt nguồn từ chất chống mòn pha trong dầu bôi trơn (dialkyldithiophosphate kẽm). Tuy nhiên, hàm lượng đó không đủ gây ra những tác hại đáng kể đối với bộ xúc tác.

C. Tác động của lưu huỳnh

Lưu huỳnh hiện diện trong xăng có tác hại làm trơ hóa dần bộ xúc tác ba chức năng, đặc biệt là trong điều kiện hỗn hợp tương đối giàu. Tuy nhiên sự trơ hóa do lưu huỳnh gây ra có thể phục hồi khi sử dụng xăng có thành phần lưu huỳnh rất thấp.

Lưu huỳnh trong xăng còn có thể gây ra một hiện tượng bất lợi khác: phát sinh những bong khí H_2S trong một số điều kiện làm việc, chẳng hạn khi khởi động ở trạng thái nguội hay khi chạy không tải sau giai đoạn giảm tốc. Thật vậy, khi động cơ làm việc với hỗn hợp tương đối nghèo, lưu huỳnh được lưu trữ dưới dạng sulfate, chủ yếu là sulfate cerium. Hợp chất này sau đó biến thành H_2S khi thành phần nhiên liệu-không khí tức thời chuyển sang giàu. Để chống lại hiện tượng này, người ta pha vào kim loại xúc tác một hàm lượng kền rất bé. Giải pháp này được áp dụng ở Mỹ nhưng không được áp dụng ở Châu Âu do độc tính của kền.

D. Lớp bám carbon

Khi ô tô có bộ xúc tác ba chức năng được sử dụng thường xuyên trên những quãng đường ngắn, sự lập lại thường xuyên quá trình khởi động, quá trình đòi hỏi hỗn hợp giàu, có thể gây ra một lớp than đáng kể bám trên ống xả xúc tác. Khi đó cần một nhiệt độ cao thì bộ xúc tác mới khởi động được. Tuy nhiên tác động của lớp than đến bộ xúc tác có thể khử đi khi đốt cháy nó bằng nhiệt độ cao. Bộ xúc tác trở lại tính năng ban đầu sau khi hết lớp than.

7.2.2. Bộ xúc tác oxy hóa dùng cho động cơ Diesel

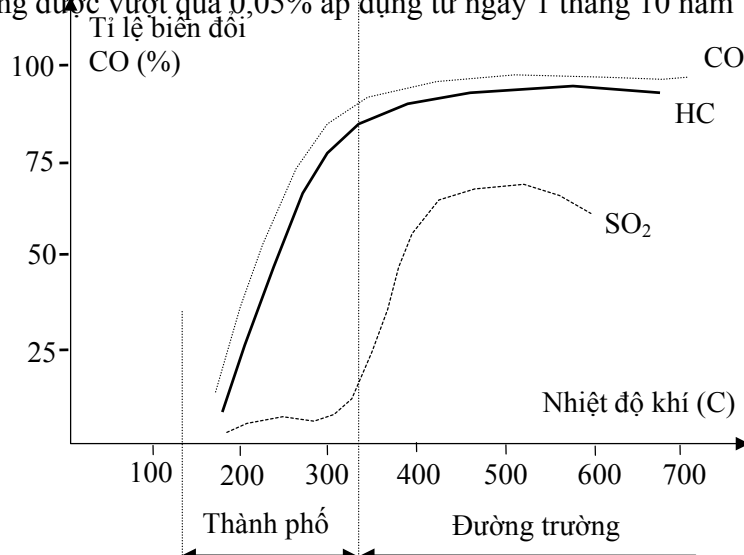
Bộ xúc tác oxy hóa Diesel hiện nay chưa được phổ biến rộng rãi như bộ xúc tác ba chức năng của động cơ xăng vì mức độ phát sinh ô nhiễm của động cơ Diesel về CO và HC còn nằm trong giới hạn cho phép, chưa cần thiết phải sử dụng thiết bị xử lý trên đường xả. Mặt khác, bộ xúc tác oxy hóa không có tác dụng đối với NO_x và chỉ có tác dụng rất giới hạn đối với bồ hóng.

7.2.2.1. Đặc điểm của bộ xúc tác và điều kiện sử dụng:

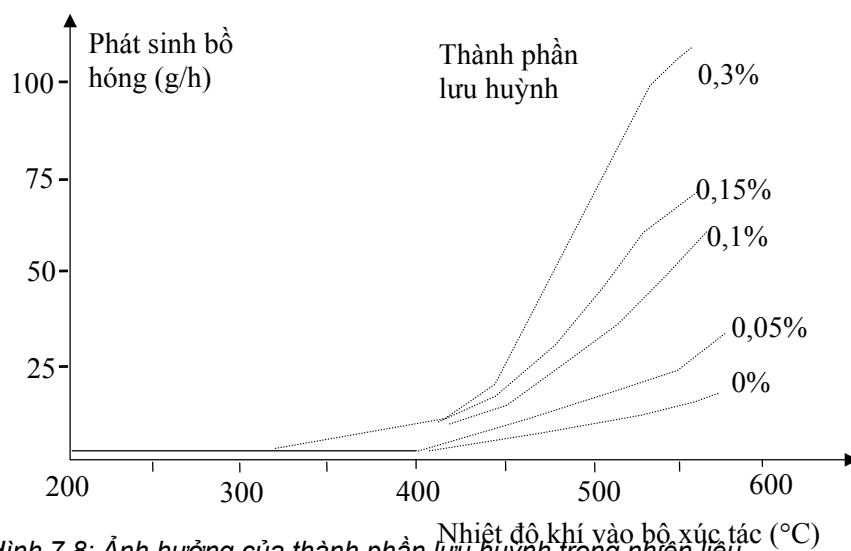
Khí xả của động cơ Diesel có chứa bồ hóng và một lượng bé CO, HC do hệ số dư lượng không khí lớn. Trên nguyên tắc, sự xúc tác oxy hóa diễn ra thuận lợi. Khó khăn duy nhất liên quan đến nhiệt độ môi trường phản ứng thấp. Hình 7.7 cho thấy nhiệt độ môi trường cần phải đạt đến $200^{\circ}C$ thì bộ xúc tác mới bắt đầu khởi động.

Vào khoảng $300^{\circ}C$, bộ xúc tác bắt đầu oxy hóa đồng thời SO_2 thành SO_3 . Các chất này do lưu huỳnh trong nhiên liệu tạo ra. Đây là một hiện tượng rất xấu vì nó làm gia tăng

mức độ phát sinh hạt rắn (hình 7.8). Mặt khác, sau khi hình thành, SO_3 có thể biến thành acid sulfuric ngưng nước và chất này bị giữ lại một phần trên lọc làm ảnh hưởng rất đáng kể đến tuổi thọ của lọc. Vì vậy, việc sử dụng bộ xúc tác oxy hóa trên động cơ Diesel cần phải đi kèm với việc sử dụng nhiên liệu có thành phần lưu huỳnh rất thấp. Trên cơ sở điều kiện kĩ thuật này, Liên Hiệp Châu Âu đã đề ra tiêu chuẩn giới hạn lưu huỳnh trong nhiên liệu Diesel không được vượt quá 0,05% áp dụng từ ngày 1 tháng 10 năm 1996.



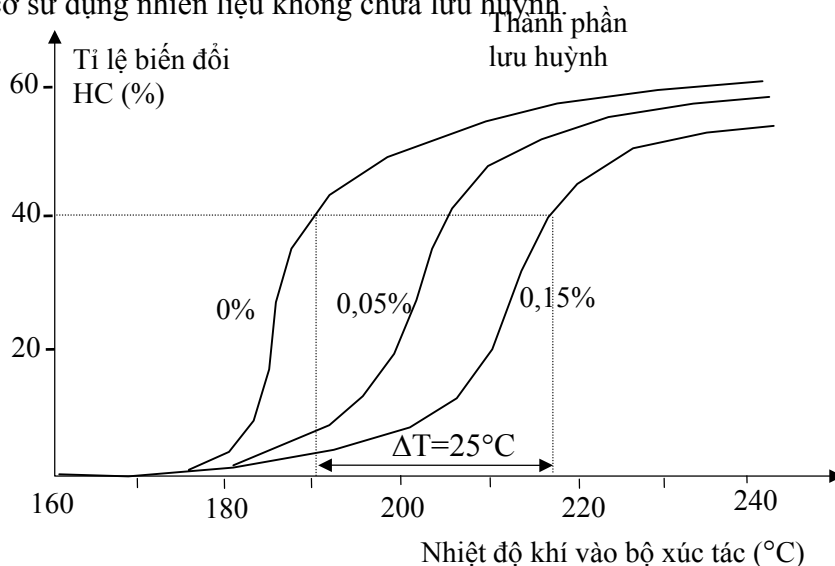
Hình 7.7: Biến thiên của tỉ lệ oxy hóa theo nhiệt độ khí xả



Hình 7.8: Ảnh hưởng của thành phần lưu huỳnh trong nhiên liệu đến sự phát sinh hạt rắn theo nhiệt độ khí vào ống xả

Về mặt kết cấu, kim loại quý dùng cho bộ xúc tác oxy hóa Diesel chủ yếu là Platine và Palladium hoặc hợp kim của hai chất này, trong đó Palladium được ưa chuộng hơn vì nó khó oxy hóa SO_2 thành SO_3 .

Sự hiện diện của lưu huỳnh trong dầu Diesel, ngay cả khi hàm lượng rất bé, cũng gây ảnh hưởng đáng kể đến hoạt tính của bộ xúc tác, đặc biệt là nó làm tăng nhiệt độ khởi động của bộ xúc tác (hình 7.9). Tuy nhiên bộ xúc tác có thể phục hồi được đặc tính ban đầu khi động cơ sử dụng nhiên liệu không chứa lưu huỳnh.



Hình 7.9: Ảnh hưởng của thành phần lưu huỳnh trong nhiên liệu đến nhiệt độ khởi động của bộ xúc tác

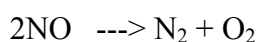
7.2.2.2. Hiệu quả của bộ xúc tác oxy hóa Diesel

Như trên đã nêu, việc sử dụng bộ xúc tác oxy hóa phải kèm theo việc sử dụng nhiên liệu Diesel không chứa lưu huỳnh. Thử nghiệm động cơ ô tô nhẹ theo chu trình ECE+EUDC cho thấy bộ xúc tác oxy hóa trên động cơ Diesel có thể làm giảm trung bình 35% đối với CO, 30% đối với HC, 25% đối với hạt rắn hòa tan (SOF).

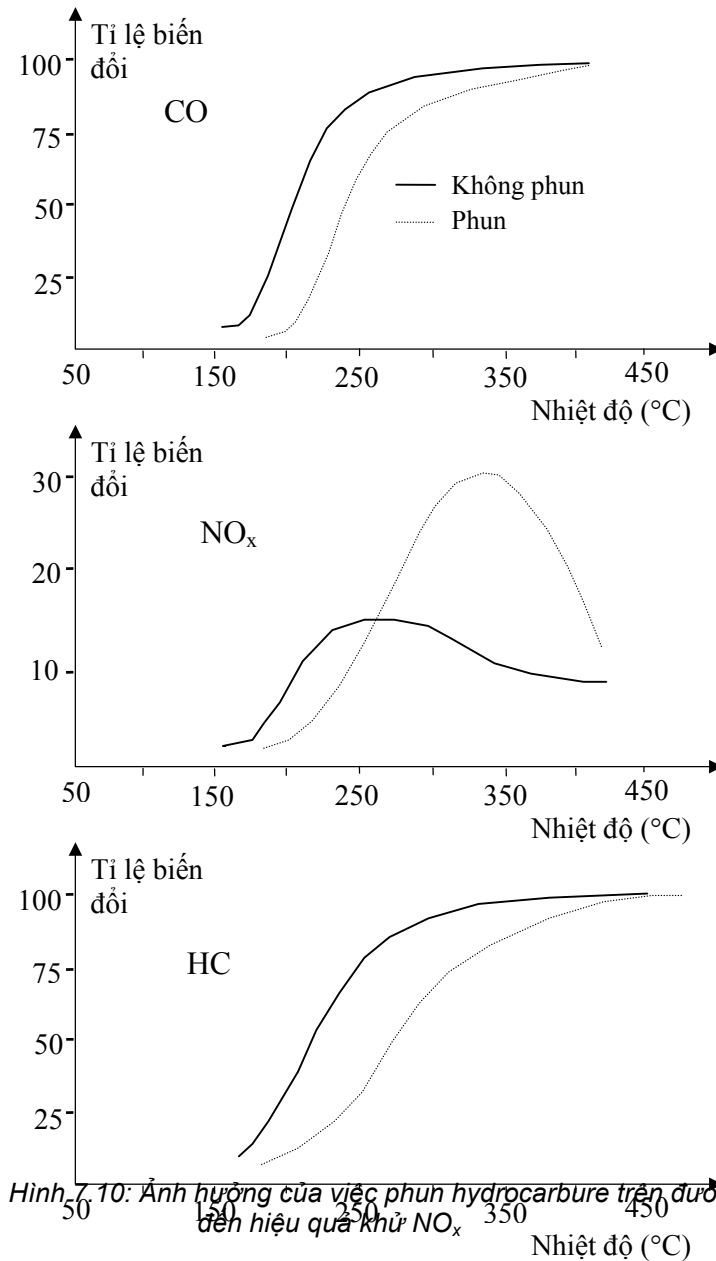
7.2.3. Khử oxyde nitơ trong môi trường có sự hiện diện của oxy

Kĩ thuật này thường được gọi là 'khử NO_x' được dùng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức làm việc với hỗn hợp nghèo và trên động cơ Diesel. Nó là đối tượng nghiên cứu của rất nhiều công trình nhưng cho tới nay kĩ thuật đó vẫn chưa được triển khai trong công nghiệp. 'Khử NO_x' là vấn đề mấu chốt trong xử lí khí xả trên đường thải, vì ngày nay ngoài hệ thống hồi lưu khí xả khá dễ làm giảm NO_x ngay trong quá trình cháy (nhưng gây ra những nhược điểm về tính kinh tế-kĩ thuật của động cơ), chưa có một giải pháp kĩ thuật nào nào khả dĩ khử được NO_x đối với hai loại động cơ vừa nêu, mà chính hai loại động cơ đó lại là những động cơ có rất nhiều ưu thế về tính năng kinh tế-kĩ thuật.

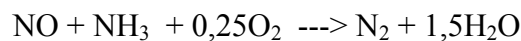
Bộ xúc tác khử NO_x chủ yếu là giảm oxyde nitric NO, chất chiếm đại bộ phận trong NO_x. Sự phân giải NO được viết như sau:



Về phương diện nhiệt động học, phản ứng trên hoàn toàn có thể xảy ra nhưng với tốc độ phản ứng rất thấp.

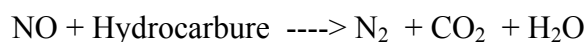


Một phương án khác, đã được áp dụng trên động cơ tàu thủy cỡ lớn là thêm chất phụ gia ammoniac hay uré ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) trong khí xả và xử lí toàn bộ hợp chất nhận được trên bộ xúc tác nền oxyde titan phủ lớp oxyde vanadium, chất có khả năng hấp thụ mạnh những chất khử. Khi đó, phản ứng xúc tác tổng quát được viết như sau:



Phản ứng trên cho phép loại trừ được 70-80% NO chứa trong khí xả. Tuy nhiên, kĩ thuật này hiện nay chưa được áp dụng trên động cơ ô tô (thời gian tiếp xúc cần thiết lớn, độc tính của ammoniac...)

Các nghiên cứu mới đây được tiến hành theo hướng khử NO bằng hydrocarbure đã có mặt hay được cung cấp thêm vào trong khí xả. Phản ứng khử được viết như sau:



Phản ứng trên thực tế xảy ra với tỉ lệ biến đổi từ 40-80% nhờ bộ xúc tác đồng phủ trên nền zeolithe hay platine phủ trên nền zeolithe. Tuy nhiên, điều kiện trong khí xả động cơ còn khác biệt nhiều so với điều kiện thí nghiệm tối ưu đối với phản ứng trên vì:

- Nhiệt độ khí xả quá thấp (150-250°C so với điều kiện thí nghiệm 400-500°C).
- Nồng độ hydrocarbure không đủ (thấp hơn điều kiện thí nghiệm từ 20-40 lần).

Tuy điều kiện thực tế còn khác biệt nhiều so với điều kiện thí nghiệm nhưng phương pháp khử NO_x bằng hydrocarbure có rất nhiều hứa hẹn. Hình 7.10 giới thiệu một vài kết quả được công bố trong những năm gần đây.

Ngoài những khó khăn vừa nêu, trước khi đưa bộ xúc tác khử NO_x bằng hydrocarbure vào ứng dụng trong công nghiệp, người ta cũng cần phải giải quyết một số vấn đề kĩ thuật khác chẳng hạn như không chế phản ứng tạo N₂O và kéo dài tính ổn định của bộ xúc tác theo thời gian. Trong thực tế, bộ xúc tác khử NO_x ở động cơ Diesel không cần phải đạt tính năng cao như bộ xúc tác ba chức năng. Tỉ số biến đổi NO_x chừng 30-40% là có thể chấp nhận được. Cũng giống như các bộ xúc tác khác, việc sử dụng bộ xúc tác khử NO_x trên đường xả động cơ Diesel cần phải đi kèm với việc sử dụng nhiên liệu không chứa lưu huỳnh.

7.3. Lọc hạt rắn

Nhờ những thành tựu trong nghiên cứu hoàn thiện việc tổ chức quá trình cháy trong động cơ Diesel mà trong hai mươi năm qua, mức độ phát sinh hạt rắn của động cơ Diesel đã giảm đi rất nhiều. Mức độ phát sinh bồ hóng của động cơ Diesel lắp trên ô tô du lịch ở Châu Âu đã giảm từ 0,50 g/km xuống 0,08g/km, thỏa mãn tiêu chuẩn ô nhiễm năm 1996 của EU. Với tốc độ tiến bộ như hiện nay trong nghiên cứu quá trình cháy và nâng cao tính chất nhiên liệu, trong những năm tới đây, các thế hệ động cơ Diesel mới có thể thỏa mãn được tiêu chuẩn Euro 2000 (khoảng 0,05 g/km).

Nghiên cứu hoàn thiện quá trình cháy có thể làm giảm nồng độ bồ hóng trong điều kiện cháy bình thường. Tránh tập trung nhiên liệu ở những vùng có nhiệt độ cao là điều kiện tiên quyết để hạn chế mức độ phát sinh bồ hóng. Tuy nhiên, trên các phương tiện vận tải động cơ thường xuyên tăng giảm tải trong khi vận hành và đó là nguyên nhân cơ bản phát sinh bồ hóng trong động cơ Diesel hiện đại.

Cải tiến hình dạng buồng cháy, thay đổi thành phần nhiên liệu, pha các chất phụ gia... có ít nhiều tác dụng làm giảm nồng độ bồ hóng trong khí xả. Giảm công suất động cơ cũng là cách giảm nồng độ bồ hóng nhưng công suất động cơ Diesel càng lớn thì hiệu quả kinh tế càng cao. Các nhà khoa học đã và đang ra sức tìm kiếm các giải pháp hoàn thiện quá trình cháy trong động cơ Diesel để giảm nồng độ bồ hóng trong khí xả đến mức thấp nhất.

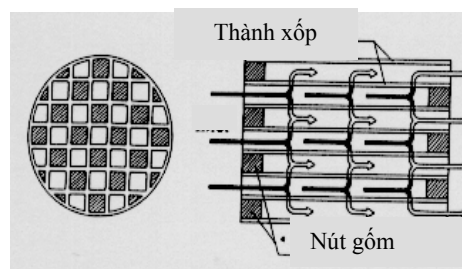
Tuy nhiên cho dù nồng độ bồ hóng trong khí xả Diesel giảm đi nhiều, nó vẫn luôn là mối quan tâm của các nhà khoa học vì bồ hóng rất dễ đi sâu vào phổi, bị giữ lại ở phế nang gây nhiều tác hại đối với cơ quan hô hấp. Người ta thấy rằng trong số những hạt bụi có mặt trong khí quyển thì những hạt có kích thước tương ứng với hạt bồ hóng bị giữ lại trong phổi dễ dàng nhất và tồn tại ở đó trong thời gian dài nhất.

Chính vì lẽ đó, việc lọc bồ hóng trên đường xả của động cơ Diesel rất được quan tâm trong những năm gần đây cho dù kĩ thuật này còn phức tạp và tốn kém.

Bồ hóng trong khí xả có kích thước rất bé. Đa số hạt bồ hóng (hơn 90% số hạt) có đường kính trung bình khoảng $1\mu\text{m}$. Lọc hạt cỡ này rất khó vì nó sẽ gây tổn thất lớn trên đường thải. Hạt bồ hóng xốp, có khối lượng riêng trung bình khoảng $0,07\text{g/cm}^3$ nên lọc bị tắt rất nhanh. Làm sạch thường xuyên bồ hóng bám trên lõi lọc là điều kiện cần thiết để đảm bảo lọc hoạt động bình thường. Lọc bồ hóng tập trung giải quyết hai vấn đề cơ bản đó là lựa chọn kĩ thuật lọc và phương pháp tái sinh lọc.

7.3.1. Kĩ thuật lọc bồ hóng

Có nhiều phương án lọc bồ hóng khác nhau nhưng nhìn chung chúng dựa trên cùng nguyên tắc là bẫy hạt bồ hóng.

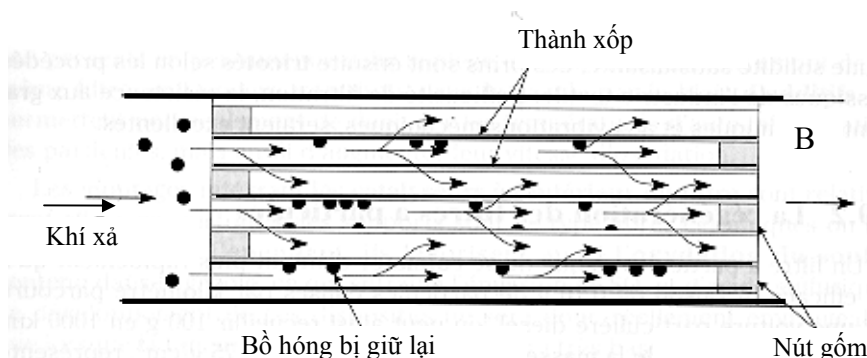
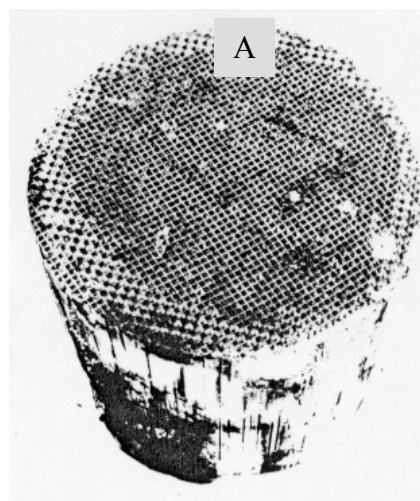


Hình 7.11 : Lõi lọc

1. Kĩ thuật lọc

Hai mươi năm qua, nhiều công trình nghiên cứu về lọc bồ hóng đã được tiến hành nhưng chưa có một loại lọc nào được ứng dụng rộng rãi. Giá thành lọc vẫn còn cao, hệ thống lọc còn phức tạp và tuổi thọ của lọc thấp. Lọc chế tạo bằng vật liệu gốm đã được áp dụng từ năm 1981. Hiệu quả lọc của chúng rất cao (có thể đạt 90%), nhưng sự phát triển loại lọc này còn bị hạn chế do chưa tìm ra được một hệ thống tái sinh tin cậy với giá thành hạ. Thành lọc có bề dày $0,3\text{mm}$, vật liệu có độ xốp $40\div 50\%$ với đường kính lỗ xốp trung bình $14\mu\text{m}$. Lõi lọc được chế tạo thành dạng tổ ong và được làm kín ở một đầu xen kẽ nhau (hình 7.11). Khí xả vào đầu hở của lọc, khi qua các lỗ xốp của thành bồ hóng bị giữ lại. Trong lõi lọc hiện đại, dây điện trở được bố trí trong thành gốm để đốt bồ hóng trong quá trình tái sinh. Lọc bằng vật liệu gốm thường hay bị nứt hỏng do ứng suất nhiệt khi tái sinh và xung lực của dòng khí thải.

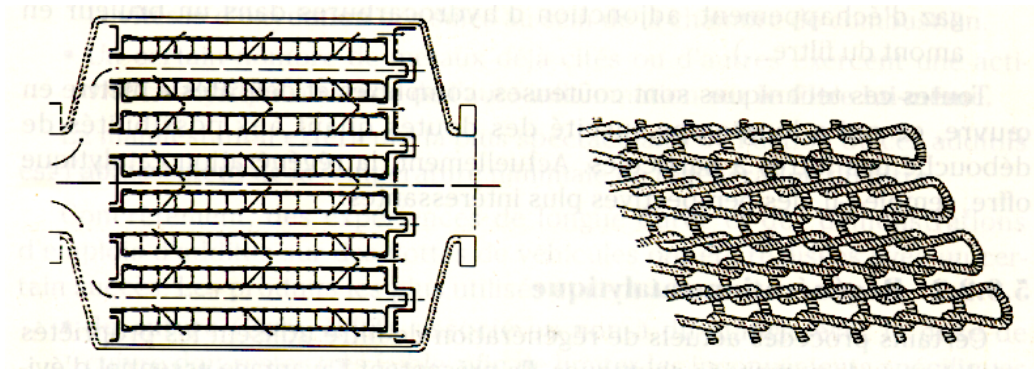
Lọc gốm monolithe là dạng lọc được nghiên cứu và thử nghiệm nhiều nhất kể từ khi đề ra giải pháp lọc bồ hóng. Lọc được cải tạo từ gộp của bộ xúc tác ba chức năng bằng cách làm kín xen kẽ đầu các rãnh thông sao cho khí thải buộc phải qua lớp xốp của thành gốm ngăn cách hai rãnh thông liên nhau (hình 7.12). Phương pháp lọc này gọi là phương pháp 'thổi qua tường' (wall flow). Hiệu quả của lọc rất cao (lớn hơn 90%) nhưng trở lực trên đường xả lớn và gradient nhiệt độ trong lõi lọc cao khi tái sinh lọc. Vật liệu gốm thường được sử dụng là cordiérite ($2\text{MgO}, 2\text{Al}_2\text{O}_3, 5\text{SiO}_2$) hoặc carbure silic (SiC).



Hình 7.12: Lõi lọc gốm

Lọc sợi gốm được chế tạo từ sợi silic hay hỗn hợp oxyde nhôm và silic, được cuộn thành lớp dày khoảng 10-12mm quanh những ống bằng kim loại có đường kính 40mm. Khí xả đi chuyển từ bên trong ống ra ngoài. Lớp sợi này tạo thành lưới lọc với đường kính trung bình của lỗ khoảng 10 micron. Dạng lọc này có ưu điểm là ít chịu ảnh hưởng của ứng suất nhiệt và cơ khí, hiệu quả lọc vừa phải (75-80%).

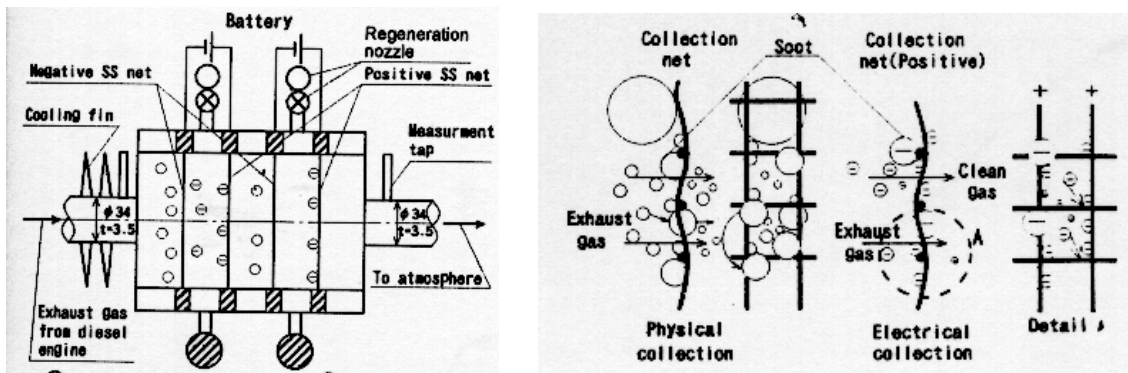
Lọc lưới sợi gốm vừa mới được phát triển trong những năm gần đây nhưng có rất nhiều hứa hẹn. Những sợi gốm có đường kính chừng 10 micron được đan lại thành tấm (hình 7.13) mà dạng lỗ trống được tối ưu hóa để đảm bảo hiệu quả lọc cao nhất và độ cứng vững chấp nhận được. Các tấm này được dệt theo phương pháp cổ điển của công nghệ dệt. Hiệu quả lọc, độ chịu đựng gradient nhiệt và rung động cơ học của lõi lọc này rất tốt.



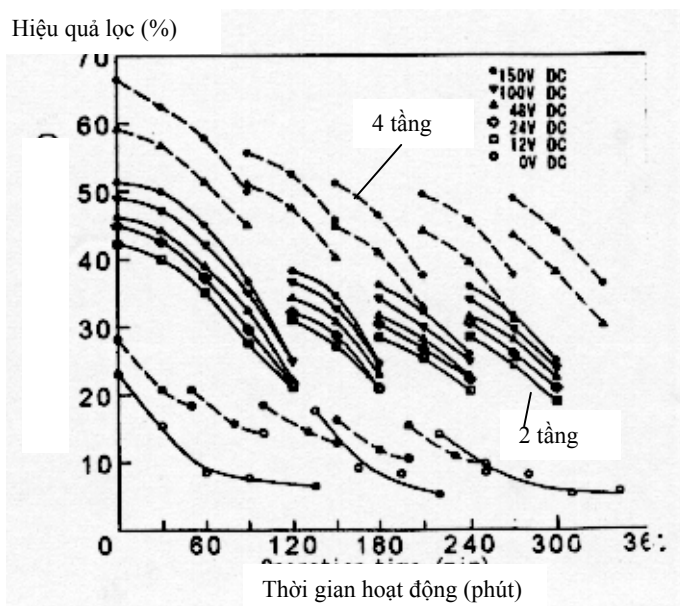
Hình 7.13: Lõi lọc bằng lưới sợi gốm

Lọc bằng sợi thép mạ nhôm có quy trình chế tạo đơn giản hơn. Nó có ưu điểm chịu được sự thay đổi nhiệt độ, rung động và xung lực của khí xả. Thể tích của lõi lọc và kích thước của sợi lọc được xác định theo lưu lượng khí xả và tổn thất áp suất cho phép. Sợi thép sau khi mạ nhôm có bề dày 0,2mm là tối ưu nhất (hình 7.14).

Lõi lọc bằng kim loại xốp được áp dụng trong những năm gần đây. Kim loại xốp có tên gọi là Celmet, đó là hợp kim Ni-Cr-Al, có thể chịu đựng được nhiệt độ 700°C trong 300 giờ. Tổn thất áp suất chỉ bằng khoảng 1/10 so với lọc bằng vật liệu gốm thông thường. Lọc Celmet có đường kính lỗ xốp trung bình khoảng 500 μm (hình 7.15). Kích thước lỗ có thể điều chỉnh bằng cách gây biến dạng lõi lọc hay ghép chồng lên nhau nhiều tấm lọc đồng trục. Thường lõi lọc gồm hai lưới lọc hình trụ được bố trí đồng trục và giữa hai lõi lọc này người ta bố trí một điện trở để tái sinh lọc. Khí xả vào không gian giữa hai lưới và thoát qua các lỗ xốp của chúng. Bỏ hống bám trên thành lọc được đốt định kì bằng bức xạ của điện trở. Do không gian giữa hai lưới lọc nhỏ nên công suất điện tiêu tốn cho điện trở đốt cũng giảm.



Hình 7.16a: Lọc tĩnh điện



Hình 7.16b: Ảnh hưởng của điện áp đến hiệu quả lọc tĩnh điện

7.3.2 Tái sinh lọc

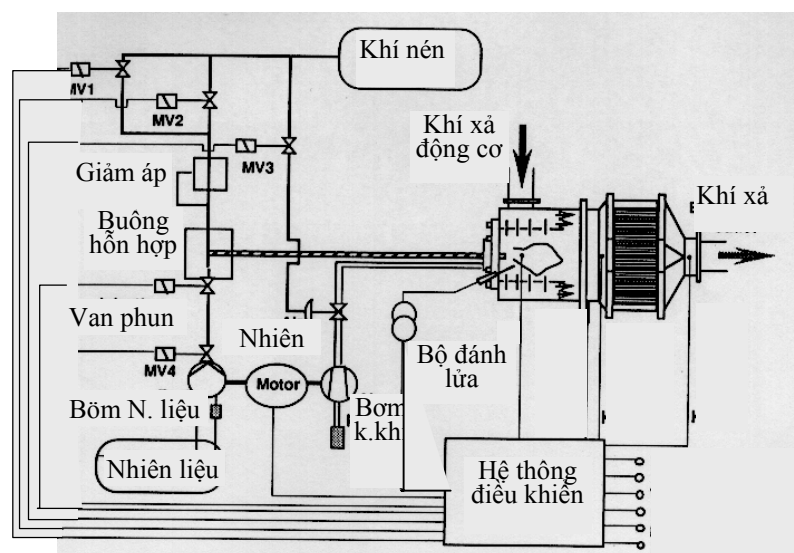
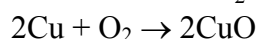
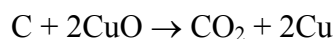
Như trên đã phân tích, trong quá trình sử dụng, lọc bị tắc rất nhanh nên phải tái sinh lọc để tránh tổn thất áp suất trên đường xả. Khi hiệu quả lọc càng cao thì lọc càng nhanh bị tắc. Lượng bồ hóng phát sinh trung bình đối với ô tô Diesel du lịch là 0,10g/km, do đó lọc phải giữ lại 100g bồ hóng trên quãng đường 1000km. Với khối lượng riêng bồ hóng ước chừng 0,075g/cm³, thì lượng bồ hóng vừa nêu chiếm một thể tích 1,3 lít. Đối với ô tô hạng nặng (xe tải, bus) thì khối lượng và thể tích bồ hóng phát sinh trên cùng quãng đường sẽ gấp 10 lần so với ô tô du lịch! Sự tích tụ bồ hóng trên lõi lọc gây trở lực trên đường xả và do đó làm giảm tính năng của động cơ (khi tổn thất áp suất bắt đầu vượt 100-150 mbar).

Các giải pháp thông thường là đốt, rung, rửa hay dùng dòng khí thổi ngược. Đốt bồ hóng là phương pháp được áp dụng rộng rãi nhất. Thực nghiệm cho thấy sự oxy hoá bồ hóng

bắt đầu với tốc độ thấp ở 300°C và gia tốc ở 400°C trong không khí hay dòng khí có chứa 10% oxy. Bề hóng bám trên lọc có thể bị đốt cháy hoàn toàn ở nhiệt độ 540°C với điều kiện có đủ oxy. Nhiệt độ tái sinh càng cao, thời gian đốt hoàn toàn bề hóng càng giảm. Nhiệt độ cao của khí xả có thể tạo ra nhờ thay đổi chế độ làm việc của động cơ, tiết lưu trên đường nạp hay thêm những thiết bị phụ như bộ sấy điện trở, vòi đốt, đuốc xúc tác.... Phương pháp gia nhiệt khí thải bằng điện trở không mấy triển vọng vì đòi hỏi công suất điện lớn. Dùng vòi đốt bằng nhiên liệu Diesel trong đường xả hay đuốc xúc tác để gia nhiệt đường như có nhiều triển vọng nhất.

Hình 7.17 giới thiệu bộ đốt bề hóng để tái sinh lọc. Hệ thống này làm việc một cách tự động. Trờ lực trên đường xả được đo liên tục và ghi vào bộ nhớ ECU. Khi $p \geq p_{\max}$, ECU khởi động vòi đốt. Nhiên liệu được phun bằng khí nén. Ngọn lửa được khơi mào bằng tia lửa điện xuất hiện giữa hai điện cực của bộ đánh lửa. ECU cắt nhiên liệu qua vòi đốt để kết thúc quá trình tái sinh khi áp suất trên đường xả nhỏ hơn một giá trị định trước.

Nguyên lí của đuốc xúc tác là phun nhiên liệu hydrocarbure (lỏng hay khí) vào bộ xúc tác đặt trong đường xả. Sự toả nhiệt do oxy hóa lượng nhiên liệu này làm tăng nhiệt độ khí để oxy hóa bề hóng. Hệ thống tái sinh kiểu đuốc xúc tác chỉ gồm một bộ tạo xúc tác đơn giản do đó giá thành hạ. Các nghiên cứu gần đây cho thấy một số oxyde kim loại có khả năng làm giảm nhiệt độ xúc tác bề hóng xuống xấp xỉ nhiệt độ khí xả khi động cơ làm việc bình thường (350°C). Sự Oxy hoá graphite trên oxyde đồng chẳng hạn được biểu diễn bởi hai phản ứng sau:

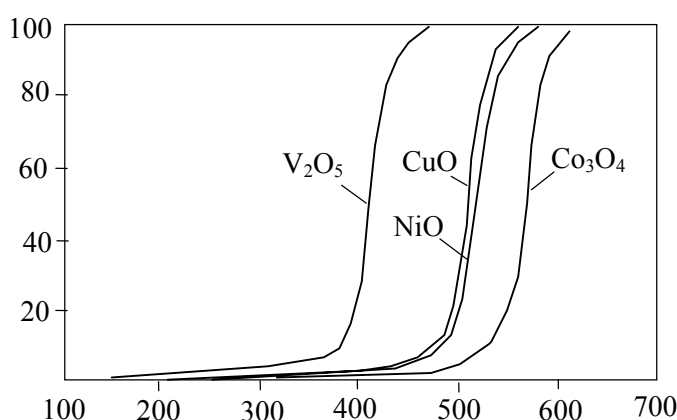


Hình 7.17: Tái sinh lọc bằng đốt bề hóng

Ngoài ra, các chất hoạt tính xúc tác khác như Oxide Vanadium V_2O_5 , Oxyde Cobal Co_3O_4 / CoO , Oxyde Cerium CeO_2 , Oxy kẽm ZnO , Oxyde Nikel NiO ... cũng có thể được dùng để chế tạo bộ xúc tác bề hóng. Hình 7.18 giới thiệu hiệu quả xúc tác của các

chất khác nhau đối với bồ hóng. Khi động cơ Diesel làm việc với tải trung bình, nhiệt độ khí xả có thể đạt đến giới hạn cần thiết cho quá trình xúc tác. Trong trường hợp động cơ làm việc ở chế độ tải thấp, cần gia nhiệt thêm cho khí thải nhưng năng lượng bổ sung thấp hơn nhiều so với các bộ tái sinh lọc khác. Bộ xúc tác còn có tác dụng đốt những hydrocarbure nặng mà những chất này có thể thoát ra ngoài nếu chỉ dùng lọc bồ hóng thông thường.

Dựa vào tính chất xúc tác của một số hợp chất hóa học người ta cũng có thể đốt cháy lớp bồ hóng bám trên lõi lọc để tái sinh lọc. Chất xúc tác có thể được tráng trên thành lõi lọc hay phun ngay trước lọc. Nó cũng có thể được pha vào dầu Diesel dưới dạng các chất phụ gia. Những chất này không những cho phép làm giảm nhiệt độ tự cháy của bồ hóng mà còn làm tăng tốc độ oxy hóa.

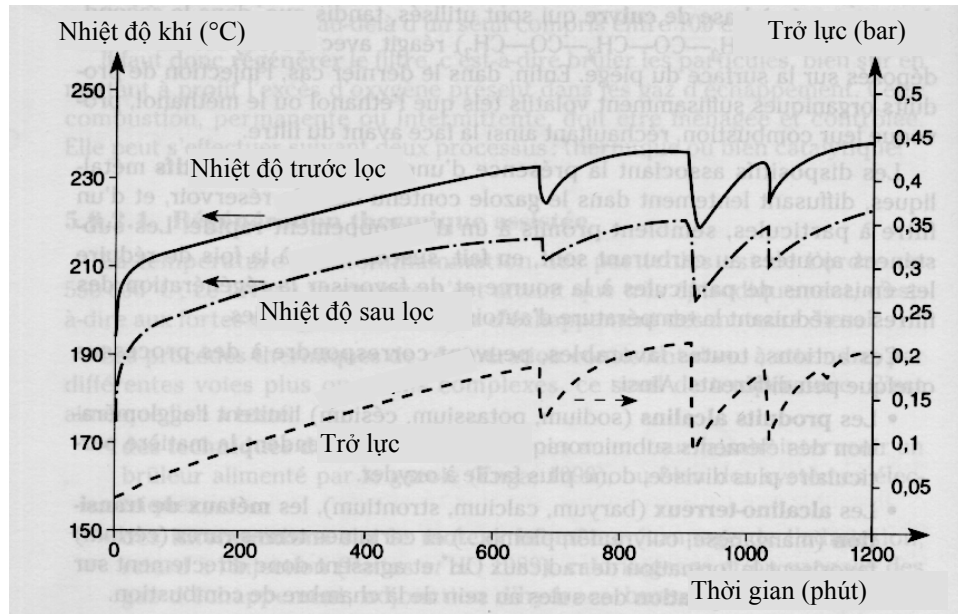


Hình 7.18: Hiệu quả xúc tác bồ hóng

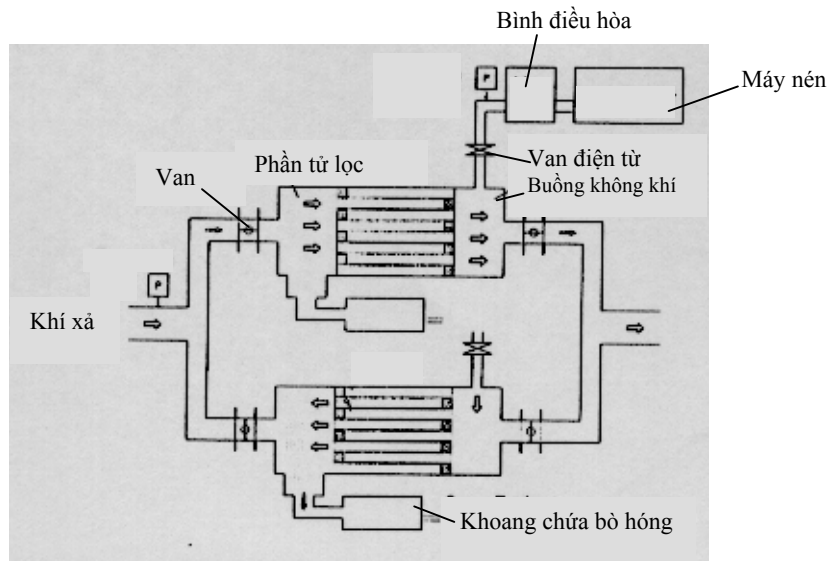
Việc lắp đặt bộ xúc tác ngay trong lọc là tương đối hiệu quả nhất, nhất là trường hợp mà gộp lọc làm bằng sợi gốm hay sợi kim loại. Tuy nhiên, trong trường hợp đó nó cũng oxy hóa lưu huỳnh chứa trong nhiên liệu dẫn đến sự phát sinh SO₃ và acide sulfuric làm giảm tuổi thọ của lọc. Vì vậy, bộ xúc tác này chỉ có lợi khi dầu Diesel chứa hàm lượng lưu huỳnh rất thấp.

Một kĩ thuật tái sinh khác là phun hóa chất ngay trước lọc khi tiến hành quá trình tái sinh. Phần lớn các hóa chất này đều có hoạt tính xúc tác riêng, chúng kích hoạt những chất xúc tác đã chứa trong lọc hay làm gia tăng nhiệt độ tạo điều kiện thuận lợi cho bộ xúc tác hoạt động.

Việc pha chất phụ gia vào dầu Diesel vừa có thể làm giảm bồ hóng ngay tại nguồn vừa tạo điều kiện thuận lợi để thực hiện quá trình tái sinh lọc bằng cách giảm nhiệt độ cháy của bồ hóng. Pha chất phụ gia vào nhiên liệu cho phép tái sinh lọc một cách liên tục, không cần tác động gì đến động cơ hoặc đến lọc. Hình 7.19 giới thiệu dao động của trở lực đường thải và nhiệt độ giữa đầu vào và đầu ra của lọc bồ hóng trong trường hợp dầu Diesel có pha chất phụ gia.



Hình 7.19: Sử dụng chất phụ gia và tái sinh lọc bồ hóng



Hình 7.20: Tái sinh lọc bằng cách phun ngược không khí

Tái sinh lọc bằng phun ngược không khí cũng được các nhà chế tạo ô tô quan tâm. Trong trường hợp đó, lọc gồm 2 lõi được bố trí song song. Xung khí nén được thổi ngược và thay phiên nhau qua các lõi lọc để làm sạch lớp bồ hóng bám trên thành xốp. Bồ hóng tách ra khỏi lọc được chứa trong khoang bồ hóng và được đốt bằng điện trở. Hệ thống thổi khí ngược gồm 1 van điện từ, vòi phun khí, bình chứa khí và máy nén khí. Áp suất khí nén cần thiết khoảng 0,8MPa. Hệ thống làm việc một cách tự động (hình 7.20) nhờ hệ thống

điều khiển van điện từ và các van tiết lưu trước và sau lọc. Quá trình tái sinh lọc có thể thực hiện thường xuyên hay định kì.

7.3.3 Viễn ảnh tương lai

Lọc bồ hóng đã và đang được tiếp tục nghiên cứu nhằm làm giảm mức độ gây ô nhiễm của khí xả động cơ Diesel. Tuy nhiên kỹ thuật này có được áp dụng một cách rộng rãi trong tương lai hay không còn phụ thuộc vào những tiến bộ liên quan đến sự phát triển của lõi lọc, sự bố trí hệ thống lọc trên ô tô và sự phát triển của các chất phụ gia. Điểm cuối cùng này dường như quan trọng nhất. Trong bất kì trường hợp nào, việc sử dụng chất phụ gia trong nhiên liệu phải thỏa mãn tiêu chuẩn an toàn đối với sức khỏe con người.
