

Kết quả trên đã được kiểm tra lại bằng tính toán thủ công. Tuy nhiên, vấn đề chính không phải chỉ là kết quả tính toán chính xác mà là hiệu quả tính toán nói chung, đặc biệt là việc tra bảng tự động trong quá trình tính toán đã giúp việc tính toán trở nên dễ dàng, thuận tiện và tiết kiệm thời gian.

4. Kết luận

Bài báo đã giải quyết được những vấn đề sau:

1. Đưa ra phương pháp tính toán xác định công suất mất mát do ma sát và lượng dầu bôi trơn tiêu thụ trong ổ trượt đỡ thủy động.

2. Tự động hóa việc tính toán trên bằng Chương trình, xây dựng theo ngôn ngữ lập trình Delphi. Chương trình cho phép tính toán và tra các bảng số liệu trong quá trình tính toán một

cách tự động, giúp việc tính toán nhanh chóng thuận tiện, thay thế cho phương pháp tính toán thủ công truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Phương Lan, Hoàng Đức Hải (2002), *Giáo trình lý thuyết và bài tập Borland Delphi*, Nhà xuất bản Lao động - Xã hội, Hà Nội.
- [2]. Иванов М. Н., Финогенов В А (2008), *Детали машин*, Изд. "Высшая школа", Москва.
- [3]. Ничипорчик С. Н., Детали машин в примерах и задачах, Высшэйшая школа, Минск, 1981.
- [4]. Ряховский О. А., Детали машин, МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, 2007.

Ngày nhận bài: 26/2/2016

Ngày phản biện: 14/3/2016

Ngày chỉnh sửa: 15/3/2016

Ngày duyệt đăng: 17/3/2016

QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ SƠ CẤP CỦA CHÙM TIA PHUN NHIÊN LIỆU TRONG ĐỘNG CƠ DIESEL THE PRIMARY REGIME OF FUEL SPAY IN DIESEL ENGINE

LƯƠNG CÔNG NHỚ, HOÀNG ANH TUẤN, NGUYỄN LAN HƯƠNG

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Tóm tắt

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về quá trình phân rã sơ cấp của chùm tia phun nhiên liệu trong động cơ diesel. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để xây dựng sự ảnh hưởng các tính chất của nhiên liệu đến quá trình phân rã sơ cấp và tìm ra những biện pháp khắc phục nhược điểm của các loại nhiên liệu có độ nhớt, sức căng bề mặt và tỷ trọng quá cao hay quá thấp nhằm sử dụng làm nhiên liệu thay thế nhiên liệu diesel truyền thống cho động cơ diesel.

Abstract

The paper presents the results in studying the primary regime of fuel spray in diesel engines. The research results is the base to contribute the influence of the characteristics of fuel to the primary regime of fuel spray and find out the methods in order to overcome the disadvantages of the fuel with much hight or low viscosity, surface tension and density in order to use these fuels as the alternative fuels in diesel engines.

Keywords: physical characteristics, primary regime, diesel engine.

1. Đặt vấn đề

Khi chùm tia nhiên liệu được phun vào buồng cháy, hạt nhiên liệu chịu tác dụng đồng thời của nội lực gồm lực liên kết giữa các phân tử, lực

căng mặt ngoài và ngoại lực gồm lực kích động ban đầu khi lưu động qua lỗ phun và lực cản khí động học của khí nén trong buồng cháy. Lực liên kết giữa các phân tử và lực căng mặt ngoài phụ

thuộc nhiều vào cấu trúc phân tử, độ nhớt và sức căng bề mặt, nó có xu hướng giữ cho chùm tia phun nhiên liệu được liên tục, không bị xé nhỏ, trong khi đó lực kích động ban đầu và lực cản khí động của không khí nén trong buồng cháy lại có xu hướng xé chùm tia nhiên liệu thành những hạt nhỏ. Ngoài ra, khi nhiên liệu lưu động qua lỗ phun sẽ xảy ra hiện tượng bị nhiễu loạn do tốc độ lưu động tương đối lớn, mức độ nhiễu loạn của dòng nhiên liệu phụ thuộc vào tính chất vật lý của nó, kết cấu của vòi phun và tốc độ chuyển động của dòng nhiên liệu qua lỗ phun [3]. Dưới tác động của nội lực cũng như ngoại lực, dẫn đến sự phân rã chùm tia nhiên liệu thành những hạt có kích thước, hình dáng và nồng độ khác nhau. Những hạt có kích thước nhỏ là do giá trị của nội lực nhỏ hơn nhiều so với sự tác động của ngoại lực.

Quá trình phân rã chùm tia phun nhiên liệu được tạo thành ngay sau khi nhiên liệu được phun vào trong xilanh của động cơ. Sự phân rã chùm tia phun nhiên liệu diễn ra nhanh hay chậm phụ thuộc vào các yếu tố như: vận tốc phun, áp suất và nhiệt độ của buồng cháy, tính chất vật lý của nhiên liệu. Quá trình phân rã là tiền đề quan trọng tạo nên sự phá vỡ chùm tia phun nhiên liệu thành các hạt nhỏ, nó bao gồm quá trình phân rã sơ cấp và phân rã thứ cấp, trong đó quá trình phân rã sơ cấp đóng vai trò chủ yếu.

2. Quá trình phân rã sơ cấp

Quá trình phân rã sơ cấp là một trong hai quá trình phân rã có tính chất quyết định đến khả năng phun sương, phân tán và bay hơi của hạt nhiên liệu do đó nó ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành và chất lượng hỗn hợp trong động cơ diesel [2]. Nếu như cấu trúc phân tử của nhiên liệu ảnh hưởng đến trị số cetan, khả năng bay hơi... thì tính chất vật lý của nó lại ảnh hưởng đến cơ chế phân rã và vì vậy nó ảnh hưởng đến khả năng bị phá vỡ của chùm tia phun nhiên liệu. Bên cạnh đó, quá trình phân rã sơ cấp cung cấp các điều kiện ban đầu cho sự hình thành hỗn hợp trong động cơ diesel, tức là quá trình chuyển đổi từ dòng chảy liên tục trong lỗ vòi phun thành quá trình phun thành chùm tia vào không khí trong xi lanh và quá trình xé nhỏ, phân tán chùm tia phun thành các hạt nhỏ.

Tùy thuộc vào điều kiện và yếu tố vật lý, quá trình phân rã có thể xảy ra rất khác nhau do vậy

việc phân loại các quá trình hay cơ chế phân rã chùm tia phun nhiên liệu có thể dựa trên những tiêu chuẩn khác nhau. Tuy nhiên, quá trình phân rã sơ cấp được xác định dựa trên ba hệ số không thứ nguyên quan trọng nhất liên quan đến cơ chế phân rã và phá vỡ chùm tia phun nhiên liệu. Các hệ số không thứ nguyên Reynolds (Re), Ohnesorge (Z) và Weber (We) (bảng 1) phụ thuộc chủ yếu vào tính chất vật lý của nhiên liệu ngoài ra nó còn phụ thuộc vào kích thước lỗ phun và vận tốc phun nhiên liệu [2].

Quá trình phân rã sơ cấp chùm tia phun nhiên liệu được chia bốn cơ chế: cơ chế nhiễu loạn Rayleigh, cơ chế nhiễu loạn sơ cấp, cơ chế nhiễu loạn thứ cấp và cơ chế phun sương. Sự xảy ra cơ chế phân rã nào còn phụ thuộc vào mối quan hệ giữa các hệ số không thứ nguyên We , Re và Z (hình 1) [2].

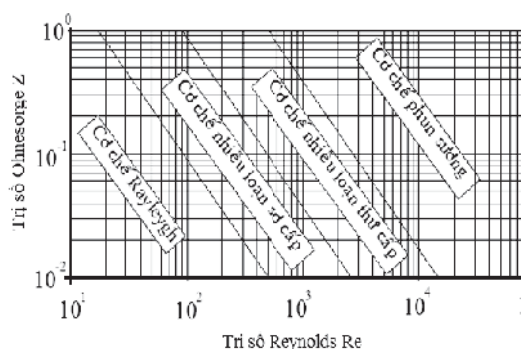
Cơ chế nhiễu loạn Rayleigh xảy ra do sự gia tăng mức độ dao động của khối lượng chùm tia nhiên liệu qua trục đối xứng của tia phun, đó là do lực quán tính và sức căng bề mặt của chùm tia nhiên liệu, các hạt bị phân rã có kích thước lớn hơn đường kính lỗ phun. Cơ chế nhiễu loạn sơ cấp được xảy ra khi lực khí động được gia tăng đến một giá trị giới hạn, cùng với đó là vận tốc phun tương đối giữa nhiên liệu và không khí trong xilanh tăng, vì vậy lực khí động do không khí bị xáo trộn đã gây ra quá trình phá vỡ chùm tia phun, các hạt bị phân rã yong cơ chế này có đường kính xấp xỉ nhau. Khi xảy ra cơ chế nhiễu loạn thứ cấp, các dòng chảy bên trong các lỗ phun là dòng chảy rối, sự phá vỡ tia phun lúc này xảy ra là do sự gia tăng dao động song trên bề mặt của tia phun và quá trình phân rã được khuếch đại bởi lực khí động, kết quả của cơ chế này là đường kính giọt nhiên liệu nhỏ hơn đường kính lỗ phun. Đối với cơ chế phun sương, xảy ra sự hình thành tia phun hình nón mà đỉnh của tia phun hình nón phun nằm trong các lỗ phun, sự phân tán xảy ra ngay sau khi tia phun ra khỏi miệng phun (hình 2).

Trong bốn cơ chế phân rã trên, cơ chế phân rã sơ cấp dưới dạng phun sương là cơ chế có yếu tố quyết định đến khả năng bay hơi, phân tán và quá trình hình thành hỗn hợp của nhiên liệu và không khí trong xi lanh của động cơ đặc biệt là nhiên liệu có độ nhớt và sức căng bề mặt lớn. Tuy nhiên, cơ chế phun sương xảy ra dựa

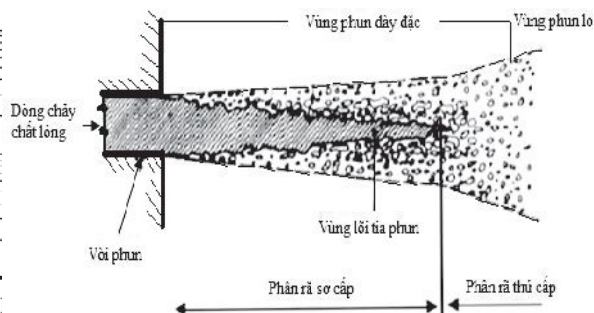
trên hai sự phân rã chính: phân rã nhiễu loạn và phân rã do xâm thực, cả hai sự phân rã này bao gồm nhiễu loạn khí động và nhiễu loạn phân rã xảy ra đồng thời và không thể tách biệt.

Bảng 1. Các hệ số không thứ nguyên

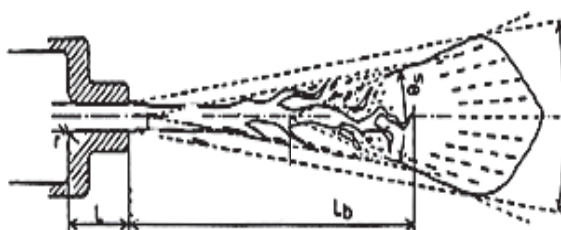
TT	Hệ số	Ký hiệu	Công thức	Ý nghĩa
1	Weber	We	$\frac{\rho_l u^2 D}{\sigma_l}$	Đặc trưng cho tỉ lệ của lực quán tính và lực căng bề mặt
2	Reynolds	Re	$\frac{uD}{\mu_l}$	Đặc trưng cho tỉ lệ lực quán tính và lực nhớt động học
3	Ohnesorge	Z	$\mu_l \sqrt{\frac{\rho_l}{\sigma_l D}}$	Đặc trưng cho tỉ lệ của lực nhớt động học và lực căng bề mặt



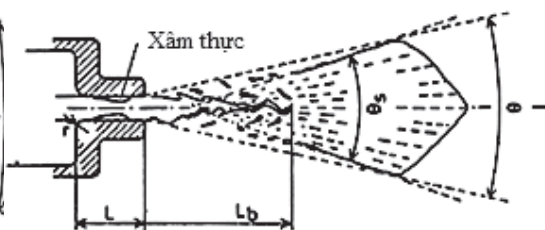
Hình 1. Đồ thị $Z = f(Re)$ [3]



Hình 2. Mô hình phân rã của nhiên liệu lỏng khi qua lỗ vòi phun [5]



Hình 3. Mô hình phân rã do nhiễu loạn [2]



Hình 4. Mô hình phân rã do xâm thực [1]

Phân rã do nhiễu loạn khí động (hình 3) xảy ra khi vận tốc tương đối giữa chùm tia phun và không khí trong xi lanh là rất cao, do vậy nó làm phát sinh lực cắt khí động tại bề mặt giao giới giữa hai pha khí và lỏng [6]. Tuy nhiên, lực khí động dù lớn cũng chỉ có thể ảnh hưởng đến lớp biên ngoài cùng của chùm tia phun nhiên liệu mà không tác động vào lõi của chùm tia nên không tác động nhiều đến cơ chế phân tán chùm tia phun nhiên liệu, vì vậy phân rã do nhiễu loạn khí động chỉ có tầm quan trọng thứ hai. Cơ chế nhiễu loạn phân rã xảy ra khi vận tốc xuyên tâm trong lõi chùm tia phun đủ lớn, lực tác động sinh ra do vận động rối của bản thân chùm tia phun thắng lực căng bề mặt, do đó tách các giọt nhiên liệu ra khỏi chùm tia phun. Chính vì vậy, cơ chế

nhiễu loạn phân rã là cơ chế phân rã quan trọng nhất của tia phun dưới áp lực cao.

Quá trình phân rã do xâm thực thủy động (hình 4) xảy ra do áp suất của dòng nhiên liệu giảm đến giá trị nhỏ hơn áp suất hơi, sự ảnh hưởng của biên dạng dòng chảy dẫn đến sự hình thành các bong bóng và lỗ hổng trong lòng thể tích nhiên liệu. Cường độ và cấu trúc không gian của vùng nhiên liệu bị xâm thực phụ thuộc vào thông số hình học của vòi phun và áp suất phun [1]. Khi xảy ra hiện tượng xâm thực, bọt bong bóng sẽ xuất hiện bên trong các lỗ vòi phun do đó làm tăng mức độ nhiễu loạn của chùm tia phun và vì thế cũng làm tăng cường độ phân rã. Như vậy, tính toán quá trình phân rã sơ cấp của chùm tia phun nhiên liệu sẽ xác định được điều

kiện để xảy ra phân rã, một số thông số hình học của chùm tia phun nhiên liệu như chiều dài chùm tia, đường kính hạt nhiên liệu hay góc phun hình nón và thời gian xảy ra quá trình phân rã.

3. Tính toán quá trình phân rã sơ cấp

3.1. Tính toán sự phân rã sơ cấp do nhiễu loạn

Để tính toán sự phân rã sơ cấp của chùm tia phun nhiên liệu xảy ra do nhiễu loạn cần giả định rằng: các lực nhiễu loạn xuất phát từ bên trong vòi phun và tạo ra các phân rã nhiễu loạn trên bề mặt, chúng phát triển theo cấp số nhân do tác động của lực khí động và hình thành nên giọt mới. Động năng nhiễu loạn của chùm tia được xác định thông qua các phương trình bảo toàn khối lượng, phương trình lực quán tính và phương trình cân bằng năng lượng. Mô hình phun sương do cơ chế nhiễu loạn được giả định với các giọt nhiên liệu hình cầu có đường kính xấp xỉ đường kính lỗ phun D . Sóng xuất hiện ban đầu trên bề mặt chùm tia phun được phát triển do ảnh hưởng của sự gia tăng vận tốc tương đối giữa không khí nén và giọt nhiên liệu. Sự phân rã này tạo ra quá trình phun sương của chùm tia phun nhiên liệu và nó được đặc trưng bởi chiều dài L_A (mm) và thời gian τ_A (s) theo phương trình [2]: $L_A = C_1 L_t = C_2 L_w$ (1)

Trong đó: L_w là bước sóng của sự nhiễu loạn bề mặt; τ_A tỉ lệ tuyến tính với thời gian nhiễu loạn τ_t và thời gian phát triển sóng τ_w theo phương trình $\tau_A = C_3 \tau_t + C_4 \tau_w = \tau_{t\text{phát}} + \tau_{\text{phát triển phân rã}}$ (2)

Mặt khác, thời gian phát triển sóng τ_w được tính [2]:

$$\frac{1}{\tau_w} = \left(\frac{\rho_l \rho_g}{(\rho_l + \rho_g)^2} \left(\frac{U_{ph}}{L_w} \right)^2 - \frac{\sigma}{(\rho_l + \rho_g) L_w} \right) \quad (3)$$

Chiều dài và thời gian nhiễu loạn được tính:

$$L_t = C_\mu \frac{\sqrt{k^3}}{\varepsilon} \quad \text{và} \quad \tau_t = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (4)$$

Tốc độ phân rã sơ cấp giọt nhiên liệu tạo thành các giọt dạng thứ cấp, nó tỷ lệ thuận với chiều dài màn sương và thời gian theo phương trình [2]:

$$\frac{d}{dt} (d_g(t)) = k_1 \frac{L_A(t)}{\tau_A(t)} \quad (5)$$

Giả sử quá trình phân rã nhiễu loạn là đẳng hướng và sự khuếch tán hạt nhiên liệu là không đáng kể [2]:

$$\frac{dk(t)}{dt} = -\varepsilon(t) \quad \text{và} \quad \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = -C_\varepsilon \frac{\varepsilon(t)^2}{k(t)}$$

$$k(t) = \left(\frac{k_o^{C_z}}{\varepsilon_o t (C_z - 1) + k_o} \right)^{\frac{1}{C_z - 1}} \quad \text{và}$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_o \left(\frac{dk(t)}{k_o} \right)^{C_z} \quad (6)$$

Từ các phương trình (6) và với động năng nhiễu loạn ban đầu k_o và năng lượng tiêu hao ban đầu ε_o , tìm được chiều dài nhiễu loạn $L_t(t) = L_{t0} \left(1 + \frac{0,0828t}{\tau_{t0}} \right)^{0,457}$ và thời gian nhiễu loạn $\tau_t(t) = \tau_{t0} + 0,0828t$ của chùm tia.

Trong các biểu thức trên: k là động năng nhiễu loạn (J) và ε là năng lượng tiêu hao trung bình (J); C_1 là hằng số chiều dài nhiễu loạn; C_2 là hằng số bước sóng nhiễu loạn; C_3 là hằng số thời gian nhiễu loạn; C_4 là hằng số thời gian phát triển sóng; C_μ là hằng số ảnh hưởng của động năng nhiễu loạn và năng lượng tiêu hao trung bình; C_ε là hằng số năng lượng; ρ_g và ρ_l là tỷ trọng của không khí trong xi lanh tại thời điểm phun và của nhiên liệu; C là Hằng số Brennen E.C.

3.2. Tính toán sự phân rã sơ cấp do xâm thực

Để tính toán quá trình phân rã sơ cấp của chùm tia phun nhiên liệu bị xâm thực trong động cơ cần xét đến các hiệu ứng khí động và sử dụng mô hình của Huh K.Y., Gosman [1], lưu lượng của dòng nhiên liệu trong lỗ vòi phun được liên hệ với thông số đầu vào như diện tích mặt cắt ngang lỗ vòi phun A_{hd} , vận tốc phun U . Giả thuyết các bong bóng khí tạo ra do cơ chế xâm thực được đẩy lên trên bề mặt và nổ vỡ. Lực tác động phía trên bề mặt chùm tia phun cũng chính là lực phân rã tại thời điểm nổ vỡ bong bóng khí xâm thực với bán kính R_b và được tính [2]:

$$F_t = C.CN.m_s \cdot \frac{L_A}{\tau_A^2} \quad (7)$$

Kích thước lớn nhất của các hạt sương mới tạo ra được tính theo phương trình cân bằng $F_t = F_{bm}$ giữa lực phân rã F_t và lực căng bề mặt $F_{bm} = 2\pi r\sigma$.

Khi đó, góc phun được tính:

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{L_A}{U \cdot \tau_A} \quad (8)$$

Trong đó: m_s (kg) và σ (N/m) là khối lượng và sức căng bề mặt của giọt nhiên liệu; CN (J) và r (m) là chỉ số động năng và bán kính bóng xâm thực; g (m/s²) là gia tốc trọng trường;

3.3. Tính toán sự phân rã sơ cấp do xâm thực và nhiễu loạn

Giả định chùm tia phun gồm các giọt nhiên liệu hình trụ có đường kính D và khối lượng m . Các giọt này tương đương với một giọt nhiên liệu hình cầu có đường kính D_1 . Mỗi giọt hình trụ đều chứa bọt khí xâm thực và sự nổ vỡ bọt khí xâm thực này xảy ra bên ngoài miệng lỗ phun với năng lượng E_{nl} dẫn đến sự gia tăng động năng nhiễu loạn k . Vận tốc nhiễu loạn bên trong chùm tia nhiên liệu tại thời điểm phun nhiên liệu vào xi lanh của động cơ được xác định thông qua động năng nhiễu loạn k và động năng rối k_d của chùm tia phun [2]:

$$U_{nl} = \sqrt{\frac{2 \cdot (k + k_d)}{3}} \quad (9)$$

Bên cạnh đó, do ảnh hưởng của tốc độ nhiễu loạn bên trong hình trụ nên đã tạo ra một lực biến dạng $F_{bd} = \pi \left(\frac{2}{3}\right) D^2 \cdot 0,5 \rho_l U_{nl}^2$ và lực khí động F_{kd} . Như vậy, giọt nhiên liệu sẽ nổ vỡ nếu tổng của F_{bd} và lực khí động F_{kd} thắng lực căng bề mặt F_{bm} [2].

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày khái quát các cơ chế có thể xảy ra trong quá trình phân rã sơ cấp, tùy thuộc vào mối liên hệ giữa các thông số mà cơ chế phân rã nào có thể xảy ra. Thông thường, khi một chùm tia nhiên liệu được phun sương thì sẽ xảy ra đồng thời cả hai cơ chế xâm thực và nhiễu loạn. Điều đó có nghĩa là, để một chùm tia nhiên liệu được phun sương hoàn toàn thì vận tốc phun phải đủ lớn, độ nhớt đủ nhỏ (gây ra lực nhiễu loạn lớn); tỷ trọng, sức căng bề mặt đủ nhỏ (để lực căng bề mặt nhỏ và khả năng bay hơi nhanh). Ngoài ra, lý thuyết tính toán quá trình phân rã sơ cấp cũng cho biết một số thông số hình học của chùm tia phun nhiên liệu trong động cơ diesel. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ nghiên cứu ảnh hưởng tính chất vật lý của nhiên liệu đến cơ chế phân rã sơ cấp nói riêng và cơ chế phân rã nói chung nhằm tìm ra các biện pháp khắc phục một số nhược điểm của các loại nhiên liệu có độ nhớt, sức căng bề mặt và tỷ trọng quá cao hay quá thấp nhằm sử dụng làm nhiên liệu cho động cơ diesel.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arcoumanis C, et., al: *Cavitation in Real-Size Multi-Hole Diesel Injector Nozzles*, SAE paper 2000.
- [2]. C. Aalburg, et., al: *Primary breakup of turbulent round liquid jets in uniform crossflows*, 2007.
- [3]. Carten Baumgarten: *Mixture formation in internal combustion engines*, Germany, 2006.
- [4]. Tuan Hoang Anh, Nho Luong Cong, Tuan Le Anh: *Effects of the Heating Temperature of Pure Coconut Oil on Breakup Mechanism of Fuel Sprays*, Ho Chi Minh city, Vietnam, 10/2015.
- [5]. Reitz RD, Diwakar R: *Structure of High-Pressure Fuel Sprays*, SAE paper, 1987.

Ngày nhận bài: 29/2/2016
 Ngày phản biện: 10/3/2016
 Ngày chỉnh sửa: 15/3/2016
 Ngày duyệt đăng: 17/3/2016