

ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ KẾT CẤU VÒI PHUN KIỂU AIR-BLAST LY TÂM ĐẾN CẤU TRÚC TIA PHUN

Phùng Văn Đượ¹, Phạm Văn Thìn², Phạm Xuân Phương^{1,*}

¹Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Khoa Hóa - Lý kỹ thuật, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

Tóm tắt

Việc hình thành cấu trúc tia phun phù hợp với từng ứng dụng và điều kiện làm việc là mục đích chính trong các nghiên cứu phát triển vòi phun và hệ thống phun chất lỏng. Kết cấu vòi phun là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành cấu trúc tia phun. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm bằng kỹ thuật chụp ảnh ngược sáng về ảnh hưởng của thông số kết cấu vòi phun kiểu air-blast ly tâm đến cấu trúc tia phun. Các thông số kết cấu được lựa chọn để khảo sát bao gồm đường kính buồng tạo xoáy chất lỏng, đường kính lỗ vòi phun và góc nghiêng cánh tạo xoáy dòng khí. Đối tượng nghiên cứu trong bài báo này là vòi phun kiểu air-blast ly tâm của máy chính trên thiết bị lặn ngầm. Cấu trúc tia phun được đặc trưng bởi các thông số chính bao gồm góc côn tia phun, chiều dài phân rã tia phun và kích thước của các giọt chất lỏng. Kết quả cho thấy, giọt chất lỏng được tạo ra trong tia phun có kích thước nhỏ hơn khi giảm D_5 hoặc tăng D_0 . Tại các vị trí cách lỗ vòi phun 45 mm, kích thước giọt chất lỏng đạt được sự ổn định và đồng đều với d_{10} và d_{32} thay đổi trong các khoảng tương ứng là từ 8,0 đến 17,7 μm và từ 12,0 đến 29,5 μm . Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học để đề xuất giải pháp thay đổi kết cấu của vòi phun nhằm nâng cao tính năng chiến kỹ thuật của máy chính trên thiết bị lặn ngầm.

Từ khóa: Vòi phun kiểu air-blast ly tâm; cấu trúc tia phun; góc côn tia phun; chiều dài phân rã tia phun; kích thước giọt chất lỏng.

1. Đặt vấn đề

Trên thực tế, các nghiên cứu và phát triển hệ thống phun nhiên liệu nói chung đều nhằm đạt được các mục tiêu chính là: (i) tạo ra ngọn lửa ổn định, (ii) đảm bảo chất lượng quá trình phun, hóa hơi, hòa trộn và cháy của nhiên liệu và (iii) tạo ra mức khí thải độc hại có thể chấp nhận được [1]. Ban đầu, hệ thống phun được thiết kế nhằm mục đích xé nhỏ tia phun, tăng tổng diện tích bề mặt chất lỏng, hòa trộn nhiên liệu với không khí để tạo hỗn hợp cháy đồng đều qua đó nâng cao hiệu suất cháy. Sau đó, dựa trên các tiêu chí cần đạt được, một số cải tiến về công nghệ phun được phát triển như: điều chỉnh chế độ phun; điều chỉnh kết cấu hoặc bố trí của vòi phun. Mỗi giải pháp đều có ưu và nhược điểm riêng, nhưng nhìn chung, chúng nhằm đạt được cấu trúc tia phun phù hợp với từng loại động cơ. Tuy nhiên, sự hình thành một cách ngẫu nhiên và tức thời của các khối chất lỏng trong vùng cận vòi phun đã gây ra

* Email: phuongpham@lqdtu.edu.vn
DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v19.n02.792

nhiều khó khăn trong việc xác định chính xác các thông số đặc trưng của cấu trúc tia phun. Đặc biệt là khi có sự tương tác của dòng khí thổi để hỗ trợ quá trình phân rã tia phun như trong vòi phun kiểu air-blast ly tâm. Các thách thức đó ảnh hưởng lớn đến việc nghiên cứu cấu trúc tia phun. Kiến thức về quá trình hình thành, phân rã tia phun của vòi phun dạng này vẫn còn nhiều khoảng trống cần được làm rõ [1].

Quá trình hình thành và phân rã tia phun bị tác động chính bởi các nhóm yếu tố như: đặc điểm kết cấu của vòi phun; thông số vận hành; thuộc tính vật lý của chất lỏng và khí [1]. Việc chịu tác động của nhiều yếu tố diễn ra trong thời gian ngắn khiến cho việc nghiên cứu quá trình hình thành và phân rã tia phun trở nên hết sức phức tạp. Vì vậy, cho đến nay chưa có một mô hình lý thuyết nào có thể mô tả đầy đủ cơ chế phân rã của một vòi phun cụ thể. Các mô hình hiện nay mới chỉ dừng lại ở việc mô tả sự phân rã của một tia [2] hoặc một tấm chất lỏng [3] phát triển từ lý thuyết mất ổn định dòng chảy tầng. Các mô hình này rõ ràng là không đủ để có thể sử dụng trong thiết kế và dự đoán hiệu quả của một vòi phun trên thực tế.

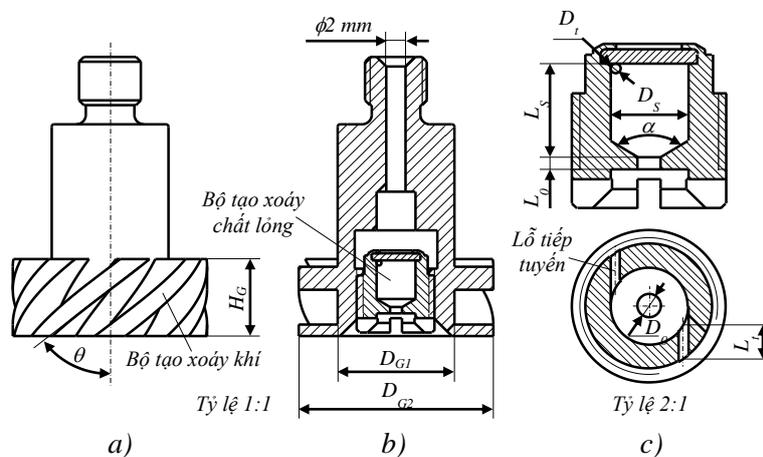
Vòi phun kiểu air-blast ly tâm là vòi phun có sử dụng dòng khí thổi để hỗ trợ cho quá trình phân rã tia phun. Đây là loại vòi phun được sử dụng rộng rãi trong buồng đốt công nghiệp và các loại động cơ nhiệt. Chúng yêu cầu áp suất của dòng chất lỏng thấp mà vẫn tạo ra tia phun với các giọt chất lỏng nhỏ. Vì sử dụng dòng khí để phân rã tia phun nên sẽ giúp nâng cao chất lượng quá trình hòa trộn giữa không khí với chất lỏng [1]. Một ưu điểm khác của vòi phun này là cung cấp nhiên liệu một cách liên tục và dễ dàng điều chỉnh để phù hợp với toàn dải làm việc của động cơ. Điều này giúp kiểm soát và phân bố nhiệt độ đồng đều tại các vị trí trong buồng đốt, nâng cao tuổi thọ cho các chi tiết tiếp xúc trực tiếp với khí cháy như thành vách hoặc cánh tuabin. Một trong những trang thiết bị điển hình sử dụng vòi phun kiểu air-blast ly tâm là máy chính trên thiết bị lặn ngầm. Mặc dù được sản xuất từ những năm 60 của thế kỷ trước nhưng hiện nay thiết bị này vẫn đang được sử dụng tại nhiều đơn vị. Để duy trì được tình trạng kỹ thuật và đưa ra các giải pháp cải tiến nhằm đáp ứng các yêu cầu chiến kỹ thuật trong tác chiến hiện đại thì cần phải thực hiện những nghiên cứu chuyên sâu về loại thiết bị này. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số kết cấu của vòi phun đến cấu trúc tia phun là nội dung rất cần thiết, phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm đưa ra các giải pháp thay đổi kết cấu, chế độ vận hành để nâng cao hiệu suất của máy chính (hiện chỉ khoảng 11% [4]), tăng công suất hoặc thời gian làm việc của máy chính (nhằm tăng tốc độ hoặc dữ trữ hành trình của thiết bị lặn ngầm). Đây cũng là xu hướng đã và đang được các nước trên thế giới áp dụng trên các đối tượng có mức công nghệ tương đương.

Trên cơ sở phân tích, lựa chọn các thông số kết cấu chính có ảnh hưởng đến sự hình thành và phát triển của tia phun, nhóm tác giả đã chế tạo các bộ vòi phun để nghiên cứu

khảo sát. Phương pháp nghiên cứu là bằng thực nghiệm. Hệ thống thử nghiệm sử dụng kỹ thuật chụp ảnh ngược sáng (shadowgraph) để ghi lại hình ảnh tại các vị trí khác nhau của tia phun. Dữ liệu được xử lý bằng chương trình xử lý ảnh xây dựng trên phần mềm Matlab. Các thông số đặc trưng của cấu trúc tia phun được xác định bao gồm góc côn tia phun, chiều dài phân rã tia phun và kích thước giọt chất lỏng trong tia phun. Ngoài ra, các hình ảnh chụp cũng cho phép chỉ ra được cơ chế phân rã điển hình của tia phun.

2. Lựa chọn thông số khảo sát

Như đã đề cập, vòi phun sử dụng trong nghiên cứu này là vòi phun kiểu air-blast ly tâm của máy chính trên thiết bị lặn ngầm. Vòi phun này gồm 2 cụm chi tiết là bộ tạo xoáy chất lỏng và bộ tạo xoáy khí. Kết cấu và kích thước cơ bản của vòi phun được thể hiện trên Hình 1. Dòng chất lỏng cấp đến vòi phun thông qua đường ống với đường kính trong 2 mm, đi vào bộ tạo xoáy chất lỏng thông qua 2 lỗ tiếp tuyến với buồng tạo xoáy trước khi phun ra khỏi lỗ vòi phun. Sau khi ra khỏi lỗ vòi phun, tia phun sẽ hình thành tấm chất lỏng hình nón rộng. Dưới tác động của dòng không khí thổi đồng trục qua bộ tạo xoáy khí, tấm chất lỏng sẽ phân rã thành các giọt có kích thước nhỏ.



Hình 1. Kết cấu và kích thước cơ bản của vòi phun kiểu air-blast ly tâm.

a) Vòi phun; b) Mặt cắt dọc vòi phun; c) Mặt cắt bộ tạo xoáy chất lỏng;

D_s - đường kính buồng tạo xoáy chất lỏng; L_s - chiều dài buồng tạo xoáy chất lỏng; α - góc hội tụ của buồng tạo xoáy chất lỏng; D_t - đường kính lỗ tiếp tuyến với buồng tạo xoáy chất lỏng; L_t - chiều dài lỗ tiếp tuyến với buồng tạo xoáy chất lỏng; D_0 - đường kính lỗ vòi phun; L_0 - chiều dài lỗ vòi phun; D_{G1} - đường kính trong của bộ tạo xoáy khí; D_{G2} - đường kính ngoài của bộ tạo xoáy khí; θ - góc nghiêng của cánh tạo xoáy khí so với phương dọc vòi phun; H_G - chiều cao của cánh tạo xoáy khí.

Trong thiết kế bộ tạo xoáy chất lỏng, vấn đề được quan tâm chính và có tác động lớn đến quá trình phun là tổn thất ma sát của dòng chất lỏng. Tổn thất do ma sát của dòng chất lỏng có hai tác động đối nghịch nhau đối với hệ số lưu lượng C_d , đây là tỉ số giữa

lưu lượng khối lượng thực tế với lưu lượng khối lượng lý thuyết của dòng chất lỏng khi chảy qua bộ tạo xoáy. Đầu tiên, tổn thất do ma sát gây ra sự tiêu hao năng lượng, làm giảm hiệu suất quá trình phun và giảm C_d . Thứ hai, do sự cản trở dòng chảy xoáy trong buồng tạo xoáy, ma sát làm giảm đường kính của lõi không khí và do đó làm tăng C_d . Mức độ ảnh hưởng của hai tác động đối nghịch này phụ thuộc chủ yếu vào các thông số kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng [1].

Trong các thông số kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng, hằng số $K = \frac{A_t}{(D_s - D_t)D_0}$ có

ảnh hưởng lớn nhất đến đặc tính của dòng chảy bên trong [5]. Trong đó, A_t là tổng diện tích của các lỗ tiếp tuyến với buồng tạo xoáy. Ngoài ra, nghiên cứu của Halder [6] cũng cho thấy, ngoài hằng số K thì giá trị của α và L_0 cũng có ảnh hưởng lớn đến các đặc tính của dòng chảy bên trong bộ tạo xoáy chất lỏng.

Độ dày tấm chất lỏng ở đầu ra của lỗ vòi phun t_0 là một thông số ban đầu quan trọng và có ảnh hưởng lớn đến quá trình phân rã tấm chất lỏng. Các nghiên cứu bằng cả lý thuyết và thực nghiệm đã chỉ ra rằng, t_0 tỉ lệ thuận với $\left(\frac{G_L \mu_L D_0}{\rho_L p_L}\right)^{0,25}$ theo các hệ số khác

nhau phụ thuộc vào kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng [7-11]. Trong đó, G_L là lưu lượng khối lượng của dòng chất lỏng (kg/s); μ_L là độ nhớt động lực học của chất lỏng (mPa.s); ρ_L là khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m³); p_L là chênh lệch áp suất của dòng chất lỏng trước và sau vòi phun (MPa).

Từ các nghiên cứu đánh giá tác động của các thông số kết cấu đến quá trình hình thành và phân rã tia phun, các nhà nghiên cứu đã đưa ra các lưu ý trong quá trình thiết kế bộ tạo xoáy chất lỏng như sau:

- Tỉ lệ L_s/D_s nên được giữ ở giá trị thấp để giảm tổn thất ma sát. Tuy nhiên, L_s cũng phải đủ lớn để các tia riêng biệt từ các lỗ tiếp tuyến kết hợp lại thành một tấm chất lỏng đồng nhất khi phun ra khỏi lỗ vòi phun. Trong hầu hết các thiết kế hiện nay, tỉ lệ L_s/D_s nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 [1, 12]. Tuy nhiên, một số nghiên cứu lại thấy rằng với các giá trị L_s/D_s lớn hơn (tối đa là 2,75) sẽ giúp nâng cao được hiệu quả quá trình phân rã tia phun [13].

- Tỉ lệ L_t/D_t không được nhỏ hơn 1,3 theo khuyến cáo của Tipler và Wilson [14]. Vì khi L_t quá nhỏ thì dòng chất lỏng khi đi vào buồng tạo xoáy sẽ bị phân tán và có thể tạo ra tấm chất lỏng không đều khi phun ra khỏi lỗ vòi phun.

- Hệ số lưu lượng C_d tăng khi D_s/D_0 tăng. Tuy nhiên, Carlisle [15] đã chỉ ra rằng D_s/D_0 nên được giữ ở giá trị nhỏ để giảm tổn thất do ma sát và đề xuất rằng D_s/D_0 không nên vượt quá 5,0. Một quan điểm tương tự được thực hiện bởi Tipler và Wilson [14],

khuyến nghị giá trị của D_S/D_0 là 2,5. Tuy nhiên, khi không có các mâu thuẫn khác, tỉ lệ D_S/D_0 là 3,3 cho độ lệch là nhỏ nhất giữa giá trị lý thuyết và giá trị đo được của C_d .

- Tổn thất ma sát cao phát sinh trong lỗ vòi phun yêu cầu độ dài của lỗ là ngắn nhất có thể. Với các vòi phun có kích thước lớn, L_0/D_0 có thể nhỏ tới 0,2. Tuy nhiên, đối với các vòi phun có kích thước nhỏ, do những khó khăn trong chế tạo để đạt được độ chính xác cần thiết nên giá trị của L_0/D_0 là khoảng 0,5 [12].

Từ phân tích ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến tâm chất lỏng sau khi được phun ra khỏi lỗ vòi phun cũng như các lưu ý đã được chỉ ra, nhóm tác giả lựa chọn các thông số kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng để khảo sát là D_S và D_0 . Các giá trị khảo sát của D_S là 3 mm, 4 mm và 5 mm. Giá trị $L_S = 5$ mm của vòi phun nguyên bản được giữ không đổi. Các giá trị khảo sát của D_0 là 1,0 mm; 1,2 mm và 1,4 mm. Giá trị $L_0 = 0,8$ mm của vòi phun nguyên bản được giữ không đổi. Vòi phun nguyên bản có $D_S = 4$ mm và $D_0 = 1,2$ mm. Vì lý do công nghệ và giới hạn về thời gian nên việc thay đổi giá trị của D_r và α là rất khó để thực hiện. Do vậy, các giá trị $D_r = 0,5$ mm và $\alpha = 120^\circ$ được giữ theo kết cấu nguyên bản của vòi phun. Giá trị của các thông số được lựa chọn cũng phải đảm bảo không làm thay đổi kích thước bên ngoài cũng như liên kết giữa bộ tạo xoáy chất lỏng với bộ tạo xoáy khí. Điều này đảm bảo cho các nghiên cứu tiếp theo liên quan đến điều chỉnh kết cấu của vòi phun mà không cần thay đổi kết cấu của các chi tiết khác.

Hệ số xoáy S là tỉ số giữa vận tốc của thành phần theo phương tiếp tuyến và vận tốc của thành phần theo phương dọc trục của dòng khí tại đầu ra của bộ tạo xoáy khí và được sử dụng để xác định cường độ xoáy của dòng khí. Với bộ tạo xoáy khí sử dụng các cánh dẫn hướng bố trí trong các ống dọc trục như đối tượng nghiên cứu của bài báo, giá trị của S được xác định theo phương trình sau [16, 17]:

$$S = \frac{2}{3} \tan \theta \left[1 - \left(\frac{D_{G1}}{D_{G2}} \right)^3 \right] / \left[1 - \left(\frac{D_{G1}}{D_{G2}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Để đảm bảo không làm thay đổi kích thước bên ngoài cũng như liên kết giữa bộ tạo xoáy khí với nắp buồng đốt, nhóm tác giả lựa chọn thông số kết cấu để khảo sát là θ và giữ nguyên các kích thước $D_{G1} = 12$ mm; $D_{G2} = 20$ mm và $H_G = 7$ mm như trên vòi phun nguyên bản. Giá trị khảo sát của θ là 30° , 40° và 50° tương ứng với S thay đổi trong khoảng từ gần 0,5 đến gần 1,0. Vòi phun nguyên bản có $\theta = 40^\circ$.

3. Xây dựng chế độ thử nghiệm

Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, việc xác định các thông số đặc trưng của cấu trúc tia phun thực hiện trên một mô hình vòi phun độc lập được tách ra khỏi nắp buồng đốt và không xét đến sự tương tác, ảnh hưởng lẫn nhau giữa các tia phun nằm cạnh

n nhau. Việc xây dựng mô hình của mô hình vòi phun này đã được nhóm tác giả thực hiện và trình bày trong công trình [18].

Số We là tỉ số giữa lực quán tính và lực căng bề mặt. Giá trị của We cho biết tại vị trí phân cách giữa hai môi chất, thành phần nào trong hai thành phần ở trên là chiếm ưu thế. Số We được xác định theo phương trình sau:

$$We = \frac{\rho_G (U_G - U_L)^2 D_L}{\sigma} \quad (2)$$

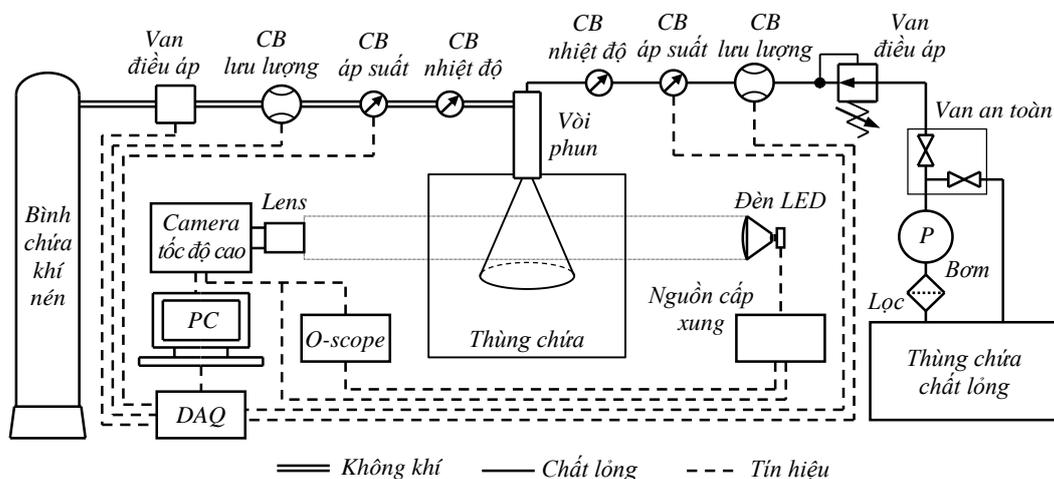
trong đó: các chỉ số L và G thể hiện các thuộc tính của chất lỏng và khí, ρ - khối lượng riêng (kg/m^3), U - vận tốc trung bình (m/s), D - kích thước cơ sở (m), σ - sức căng bề mặt của chất lỏng (N/m).

Máy chính trên thiết bị lặn ngầm sử dụng nhiên liệu là kerosene. Việc sử dụng nước trong các nghiên cứu ban đầu về quá trình hình thành và phân rã tia phun là phù hợp với thông lệ trên thế giới bởi các lý do như: Các đặc tính của nước được công bố rất chi tiết và rộng rãi; nước còn là chất lỏng rất phổ biến, rẻ và an toàn. Sự khác biệt về thuộc tính vật lý của 2 loại chất lỏng sẽ được tính đến khi sử dụng các thông số kiểm soát quá trình phân rã tia phun (Re , Oh và We) để thiết lập các chế độ thử nghiệm tương đương. Khi đó, kết quả của các thông số đánh giá cấu trúc tia phun sẽ phản ánh quy luật thay đổi là giống nhau với cả 2 loại chất lỏng [1]. Trong quá trình thử nghiệm, p_L được giữ không đổi là 0,2 MPa; lưu lượng khối lượng của dòng khí G_G được thay đổi theo G_L để giữ không đổi số We như khi lắp vòi phun đó trên máy chính. We được lựa chọn là thông số chính để kiểm soát quá trình phân rã tia phun là do VP kiểu air-blast ly tâm có áp suất phun chất lỏng là nhỏ, quá trình phân rã tia phun phụ thuộc nhiều vào tương tác đa pha giữa dòng chất lỏng với dòng khí. Dòng khí có lưu lượng, vận tốc lớn hơn rất nhiều so với dòng chất lỏng nên có ảnh hưởng quyết định đến quá trình phân rã và cấu trúc tia phun. Khi đó, vai trò của We là rất quan trọng trong phân tích quá trình phân rã của các khối chất lỏng tại các vùng khác nhau trong tia phun [1, 19]. Giả thiết rằng nhiệt độ của chất lỏng và khí là nhiệt độ ở môi trường phòng thí nghiệm, lần lượt bằng 25°C và 30°C. Chế độ thử nghiệm tương ứng với các kết cấu của vòi phun được thể hiện trong Bảng 1.

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống thử nghiệm được thể hiện trên Hình 2. Các thành phần chính của hệ thống bao gồm: Phân hệ chụp ảnh tốc độ cao; phân hệ cung cấp chất lỏng; phân hệ cung cấp khí; các giá đỡ điều chỉnh vòi phun, camera và nguồn sáng. Các cảm biến, cơ cấu chấp hành được kết nối với bộ thu thập, xử lý số liệu (DAQ) và máy tính (PC). Quá trình xây dựng và thông số kỹ thuật của hệ thống thử nghiệm được nhóm tác giả công bố trong công trình [20].

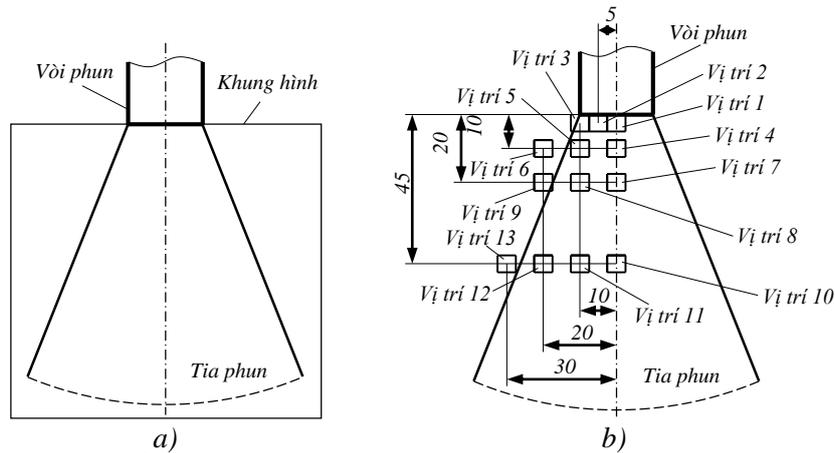
Bảng 1. Chế độ thử nghiệm tương ứng với các thông số kết cấu vòi phun được khảo sát

| Chế độ | D_s (mm) | D_0 (mm) | θ (°) | G_L (g/s) | G_G (g/s) | We | Chế độ | D_s (mm) | D_0 (mm) | θ (°) | G_L (g/s) | G_G (g/s) | We | |
|--------|------------|------------|--------------|-------------|-------------|----------|---|------------|------------|--------------|-------------|-------------|---------|--------|
| 1 | 3 | 1,0 | 30 | 3,40 | 39,40 | 1461,84 | 16 | 4 | 1,4 | 30 | 4,08 | 45,70 | 2749,87 | |
| 2 | | | 40 | | 34,76 | 1130,12 | 17 | | | 40 | | 40,31 | 2124,65 | |
| 3 | | | 50 | | 29,04 | 779,85 | 18 | | | 50 | | 33,66 | 1464,70 | |
| 4 | | 1,2 | 30 | 3,68 | 41,60 | 1952,13 | 19 | | 1,0 | 30 | 2,42 | 26,45 | 653,50 | |
| 5 | | | 40 | | 36,70 | 1509,02 | 20 | | | 40 | | 23,33 | 504,37 | |
| 6 | | | 50 | | 30,66 | 1041,16 | 21 | | | 50 | | 19,48 | 347,07 | |
| 7 | | 1,4 | 30 | 4,40 | 49,48 | 3207,58 | 22 | | 5 | 1,2 | 3,00 | 30,93 | 1072,00 | |
| 8 | | | 40 | | 43,63 | 2475,50 | 23 | | | | | 40 | 27,29 | 827,93 |
| 9 | | | 50 | | 36,42 | 1703,34 | 24 | | | | | 50 | 22,80 | 570,37 |
| 10 | 4* | 1,0 | 30 | 2,91 | 33,12 | 1030,69 | 25 | 1,4 | 3,67 | 40,98 | 2210,07 | | | |
| 11 | | | 40 | | 29,22 | 796,42 | 26 | | | 40 | 36,15 | 1708,17 | | |
| 12 | | | 50 | | 24,40 | 549,13 | 27 | | | 50 | 30,19 | 1178,27 | | |
| 13 | | 1,2* | 30 | 3,40* | 36,45 | 1495,40 | (Dấu * thể hiện thông số của vòi phun nguyên bản) | | | | | | | |
| 14 | | | 40* | | 32,16* | 1155,81* | | | | | | | | |
| 15 | | | 50 | | 26,87 | 797,28 | | | | | | | | |



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống thử nghiệm.

Camera và nguồn cấp xung được kết nối, đồng bộ tín hiệu với nhau nhằm đảm bảo cho việc ánh sáng phát ra từ đèn LED và quá trình chụp ảnh của camera được diễn ra đồng thời. Kỹ thuật được sử dụng trong quá trình đồng bộ là lấy tín hiệu đầu ra từ camera để kích hoạt nguồn cấp xung cho đèn LED. Tại các chế độ chụp, tần số phát sáng của đèn LED bằng với tốc độ chụp của camera. Việc chỉ bật đèn LED trong một khoảng thời gian rất ngắn sẽ giúp “đóng băng” được các cấu trúc có vận tốc chuyển động nhanh trong tia phun. Tùy vào từng chế độ, khung hình và thông số cần xác định mà tốc độ chụp của camera được lựa chọn cho phù hợp để thu được hình ảnh có chất lượng tốt.



Hình 3. Sơ đồ chụp góc nhìn rộng (a) và các vị trí chụp góc nhìn hẹp (b).

Sơ đồ chụp tia phun ứng với góc nhìn rộng và các vị trí chụp góc nhìn hẹp được thể hiện trên Hình 3. Khoảng cách giữa các vị trí chụp được thể hiện trên hình sử dụng đơn vị là mm. Góc nhìn rộng cho phép chụp toàn bộ tia phun để xác định các thông số như góc côn và chiều dài phân rã tia phun. Kích thước của khung hình với góc nhìn rộng là khoảng $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$. Góc nhìn hẹp tại các vị trí nhằm xác định kích thước giọt chất lỏng trong tia phun. Kích thước của khung hình với góc nhìn hẹp là khoảng $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$.

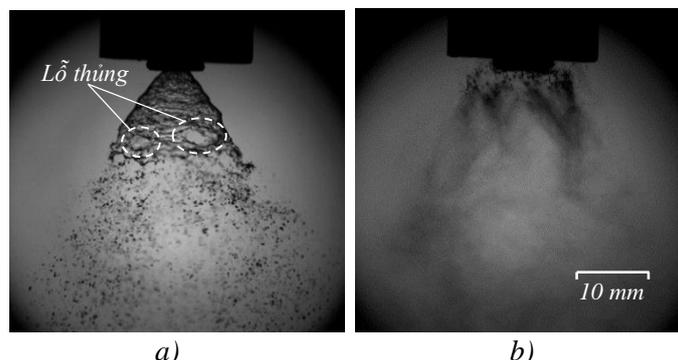
4. Kết quả và thảo luận

4.1. Cơ chế phân rã của tia phun

Hình ảnh chụp với góc nhìn rộng cho thấy, khi chưa có dòng khí, tẩm chất lỏng khi được phun ra khỏi lỗ vòi phun có dạng nón rộng và chịu ảnh hưởng đáng kể bởi kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng. Trong quá trình phát triển, xuất hiện nhiều lỗ thủng được hình thành một cách ngẫu nhiên trên vùng phân rã của tẩm chất lỏng. Các lỗ thủng có xu hướng gia tăng về kích thước và dịch chuyển về phía xa của tia phun. Mỗi lỗ thủng được bao quanh bởi một vành chất lỏng và gần như đó là đường biên của nó. Đến một trạng thái nào đó, các đường biên này bị phá vỡ để tạo thành các sợi chất lỏng nhỏ và ngắn hơn. Hình ảnh chụp tia phun với góc nhìn rộng khi bộ tạo xoáy chất lỏng có kết cấu là $D_S = 4 \text{ mm}$, $D_0 = 1,2 \text{ mm}$ và không có dòng khí được thể hiện trên Hình 4a.

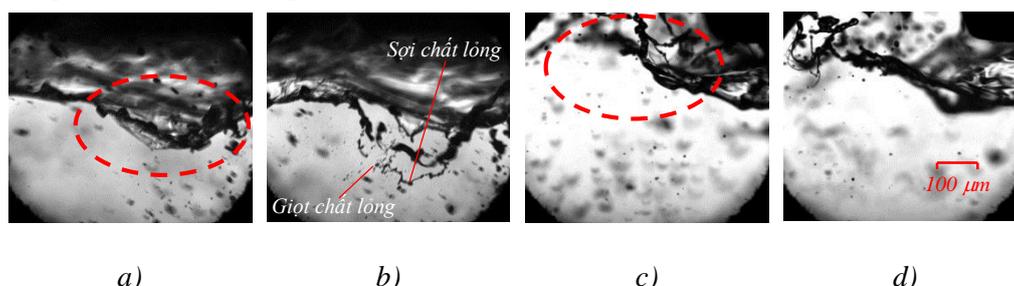
Hình 4b cho thấy dòng khí sẽ làm thay đổi rất lớn cấu trúc của tia phun so với khi chỉ có dòng chất lỏng. Chuyển động của các giọt chất lỏng chịu sự ảnh hưởng lớn bởi dòng khí. Chúng có xu hướng chuyển động theo phương dọc trục nhiều hơn và làm giảm góc côn tia phun. Tại vùng cận vòi phun, hình ảnh ghi nhận được cho thấy có sự tác động rất thú vị của dòng khí lên tẩm chất lỏng. Kết quả tương tự cũng được ghi nhận bởi Gaissinski và cộng sự [21]. Các tác giả này giải thích rằng dòng khí đi ra khỏi bộ tạo xoáy hình thành một vùng áp suất âm ở khu vực cận vòi phun và tạo ra sự chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài của tẩm chất lỏng hình nón. Kết quả là làm cho tẩm chất lỏng bị hút ra phía ngoài, dao động mạnh và bị phân rã ngay khi tiếp xúc với dòng khí. Chiều dài và thời gian phân rã sơ cấp xảy ra ngắn hơn và gần như ngay tại lỗ vòi phun. Việc xác định chiều dài phân rã

trong trường hợp này rất khó khăn và cũng không thực sự cần thiết. Đây cũng là lý do mà trong bài báo không xác định chiều dài phân rã tia phun khí có dòng khí.



Hình 4. Hình ảnh chụp tia phun với góc nhìn rộng khi $D_S = 4 \text{ mm}$; $D_0 = 1,2 \text{ mm}$; $\theta = 40^\circ$ trong điều kiện không có (a) và có (b) dòng khí.

Các hình ảnh với góc nhìn hẹp tại các vị trí cận vòi phun (vị trí 1 và 2) sẽ giúp quan sát được cơ chế phân rã của tấm chất lỏng khi có dòng khí. Ngoài các cơ chế phân rã dạng đục lỗ, dạng vành như được đưa ra trong [1], hình ảnh với góc nhìn hẹp tại vị trí 1 cho thấy, dòng khí tác động vào tấm chất lỏng tạo thành bóng khí (Hình 5a). Bóng khí này phát triển đến giới hạn và phân rã thành các khối chất lỏng có dạng giọt hoặc sợi, sau đó các sợi này tiếp tục phân rã thành các giọt có kích thước nhỏ hơn (Hình 5b).



Hình 5. Hình ảnh đặc trưng với góc nhìn hẹp tại các vị trí 1 (a, b) và 2 (c, d).

Hình ảnh với góc nhìn hẹp tại vị trí 2 (Hình 5c, 5d) cho thấy cơ chế phân rã dạng sóng tại đường biên dưới của tấm chất lỏng. Dưới tác động của dòng khí làm xuất hiện các sóng dao động trên tấm chất lỏng. Tại rìa ngoài của tấm chất lỏng hình thành vành có chiều dày lớn hơn so với tấm chất lỏng và trở nên mất ổn định hơn. Do tác động của sóng dao động sẽ phân rã vành thành các sợi và giọt chất lỏng.

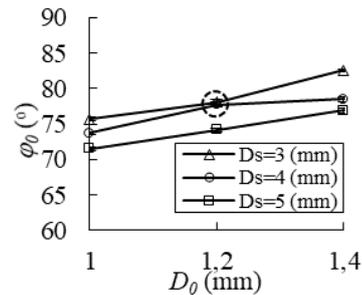
Tại các vị trí ở xa lỗ vòi phun hơn, hình ảnh với góc nhìn hẹp cho thấy cơ chế phân rã của các giọt chất lỏng trong dòng khí là giống với các mô hình đã được xây dựng bởi Guildenbecher và cộng sự [22]. Quá trình phân rã diễn ra theo các cơ chế khác nhau một cách ngẫu nhiên và phụ thuộc vào từng điều kiện cụ thể của giọt cũng như tác động của dòng khí. Quá trình này diễn ra cho đến khi lực cản khí động làm giảm vận tốc tương đối

giữa giọt chất lỏng với dòng khí xung quanh đến mức mà ngoại lực không còn đủ lớn để thắng các lực có xu hướng chống lại sự phân rã. Khi đó, các giọt chất lỏng được hình thành sẽ có kích thước ổn định.

4.2. Góc côn tia phun

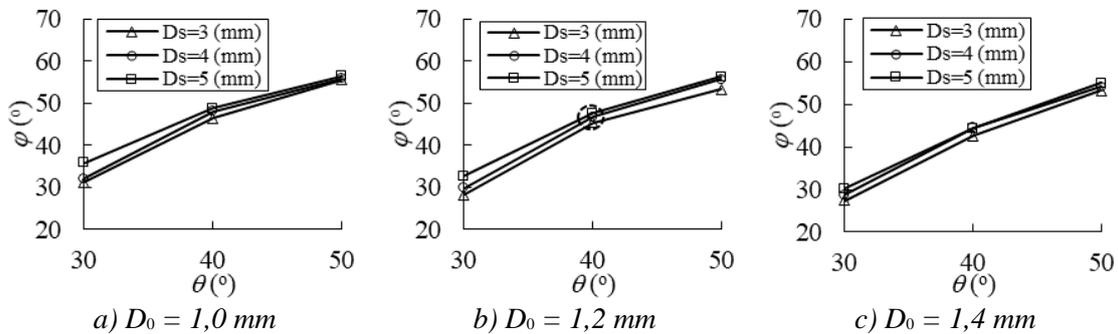
Góc côn tia phun là góc phẳng được tạo ra bởi biên dạng của tia phun. Đây là một trong những thông số quan trọng nhất, mô tả sự phân bố trong không gian của tia phun. Bằng chương trình xử lý ảnh do nhóm tác giả xây dựng [23] đã xác định được ảnh hưởng của D_0 và D_S đến góc côn tia phun khi chưa có dòng khí, φ_0 , như trình bày trên Hình 6. Điểm trong khoanh tròn thể hiện giá trị của φ_0 ứng với kết cấu nguyên bản của bộ tạo xoáy chất lỏng.

Kết quả cho thấy φ_0 giảm khi tăng D_S hoặc giảm D_0 . Xu hướng này cũng được ghi nhận trong các công trình [24-27]. Điều này được giải thích là do khi tăng D_S/D_0 sẽ làm gia tăng tổn thất ma sát giữa dòng chất lỏng với thành vách của buồng tạo xoáy. Do đó sẽ làm giảm G_L (Bảng 1) và giảm động năng của dòng chất lỏng khi được phun ra khỏi lỗ vòi phun.



Hình 6. Ảnh hưởng của D_0 đến φ_0 tại các D_S khác nhau.

Từ giá trị cường độ xám trung bình của 1000 hình ảnh với góc nhìn rộng tại mỗi bộ thông số kết cấu của vòi phun, xác định được giá trị của góc côn tia phun khi có dòng khí φ . Giá trị của φ tại các kết cấu khác nhau của vòi phun được thể hiện trên Hình 7. Kết quả cho thấy giá trị của φ chịu ảnh hưởng lớn nhất bởi θ . Khi θ tăng, thành phần vận tốc theo phương tiếp tuyến của dòng khí tăng lên, các giọt chất lỏng chịu tác động và chuyển động ra xa đường tâm tia phun hơn, dẫn tới sự gia tăng của φ .



Hình 7. Ảnh hưởng của θ đến φ tại các D_S khác nhau và $D_0 = 1,0$ mm (a); $D_0 = 1,2$ mm (b); $D_0 = 1,4$ mm (c).

Ngoài ra, khi θ được giữ không đổi, φ có xu hướng tăng nhẹ khi tăng D_S hoặc giảm D_0 . Điều này là do khi tăng D_S/D_0 sẽ làm giảm đồng thời cả G_L và G_G theo chế độ thử nghiệm đã được chỉ ra trong Bảng 1. Sự suy giảm của G_G sẽ làm giảm khả năng phân rã

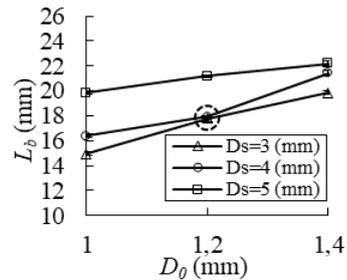
của tia phun, các giọt được tạo ra có kích thước, quán tính lớn hơn và do đó sẽ khó định hướng chúng theo chuyển động của dòng khí. Nhận định này sẽ được làm rõ hơn khi xác định kích thước của giọt chất lỏng tại các vị trí của tia phun. Sự gia tăng của φ sẽ làm tăng độ phân bố và khả năng tiếp xúc của các giọt chất lỏng với không khí xung quanh. Điều này có thể hữu ích với động cơ có buồng đốt nhỏ và vùng phân rã tia phun là ngắn.

4.3. Chiều dài phân rã tia phun

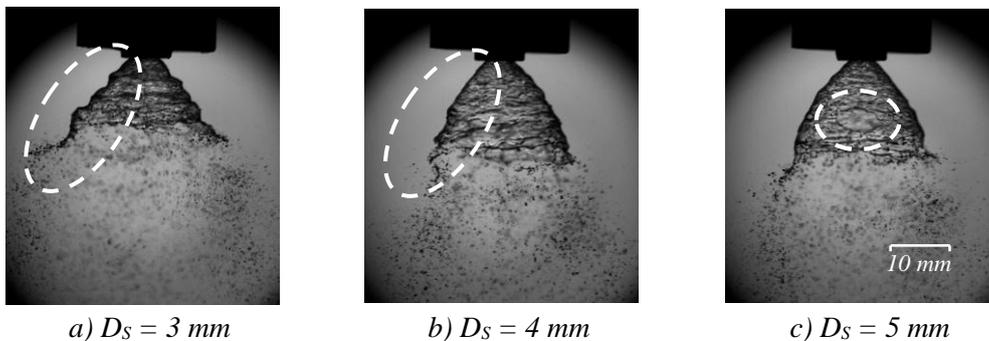
Chiều dài phân rã tia phun L_b được định nghĩa là khoảng cách tính từ vị trí đầu ra của lỗ vòi phun đến điểm bắt đầu phân rã của tấm chất lỏng. Việc tạo ra tia phun có L_b ngắn là yêu cầu quan trọng khi ứng dụng trên các động cơ nhiệt. Tuy nhiên, khi L_b là quá ngắn, tấm chất lỏng gần như bị phân rã ngay khi tiếp xúc với dòng khí nên chưa có nghiên cứu nào đưa ra phương pháp xác định chính xác thông số này với vòi phun kiểu air-blast ly tâm. Giá trị của L_b thường được xác định với tấm chất lỏng khi không có dòng khí thổi. Điều này cho phép đánh giá độ ổn định cũng như các thông số khác của tấm chất lỏng để hỗ trợ cho việc xác định các thông số của tia phun khi có tác động của dòng khí.

Giá trị của L_b được xác định khi xử lý dữ liệu thực nghiệm bằng chương trình xử lý ảnh [23]. Sự thay đổi của L_b theo các thông số kết cấu của bộ tạo xoáy chất lỏng được thể hiện trên Hình 8.

Kết quả cho thấy L_b có xu hướng tăng khi tăng D_0 . Điều này là do, tại mỗi giá trị của D_s , khi D_0 tăng sẽ làm tăng G_L và chiều dày tấm chất lỏng. Khi đó năng lượng cần thiết để phân rã tấm chất lỏng và L_b tăng. Tuy nhiên, xu hướng tăng của L_b vẫn được ghi nhận khi tăng D_s . Mặc dù việc gia tăng của D_s sẽ làm giảm G_L và chiều dày tấm chất lỏng.



Hình 8. Ảnh hưởng của D_0 đến L_b tại các D_s khác nhau.

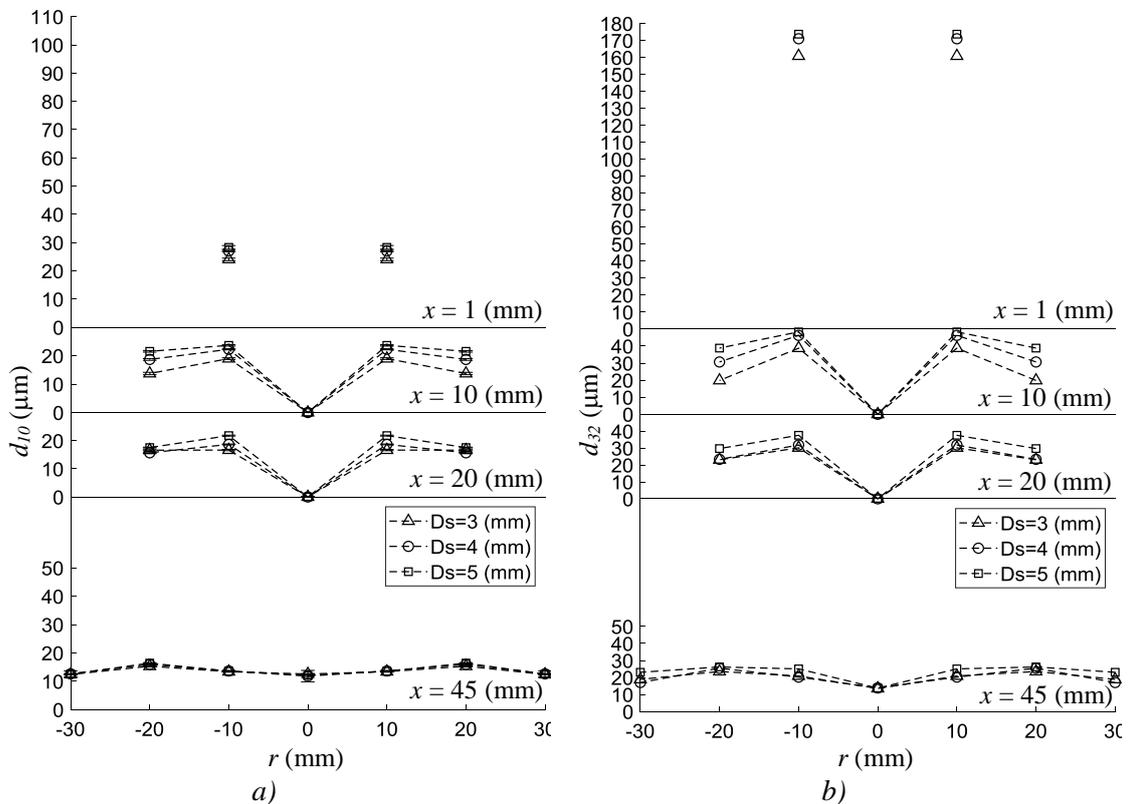


Hình 9. Hình ảnh chụp tia phun với góc nhìn rộng khi $D_0 = 1,4$ mm và không có dòng khí tại các D_s khác nhau.

Qua quan sát hình ảnh của tia phun khí tăng D_S (Hình 9) cho thấy, sóng dao động trên bề mặt tấm chất lỏng có xu hướng giảm cả về tần số và biên độ. Sự suy giảm này là do tổn hao áp suất bên trong bộ tạo xoáy chất lỏng tăng khi D_S tăng. Điều này có nghĩa là, khi tăng D_S thì tấm chất lỏng sẽ ổn định và khó bị phân rã hơn. Cơ chế phân rã tấm chất lỏng có xu hướng chuyển từ dạng sóng sang dạng vành hoặc đục lỗ.

4.4. Đường kính trung bình của giọt chất lỏng

Đường kính của các giọt chất lỏng d_P được xác định từ hình ảnh với góc nhìn hẹp tại các vị trí từ 3 đến 13 bởi chương trình xử lý ảnh do nhóm tác giả xây dựng trên phần mềm Matlab và đã được công bố trong công trình [28]. Kết quả cho thấy đồ thị phân bố d_P tại các vị trí khảo sát có dạng gần giống nhau khi thay đổi kết cấu vòi phun. Với 10.000 ảnh đưa vào phân tích cho mỗi chế độ thử nghiệm, số lượng giọt chất lỏng tại các vị trí có giá trị trong khoảng từ 40.000 đến 100.000. Kích thước mẫu này đảm bảo độ tin cậy và chính xác cho phép đo d_P như đã chỉ ra trong các công trình [1, 29-31]. Phạm vi d_P thay đổi từ 0 đến khoảng 300 μm . Trong đó, d_P có phân bố lớn nằm trong khoảng từ 0 đến 60 μm .



Hình 10. Phân bố d_{10} (a) và d_{32} (b) ở các vị trí khi $D_0 = 1,2$ mm và $\theta = 40^\circ$ tại các D_S khác nhau.

Từ dữ liệu của d_P , xác định được đường kính trung bình số học d_{10} và đường kính trung bình Sauter d_{32} tại các vị trí khi thay đổi kết cấu của vòi phun. Giá trị độ sai lệch của d_{10} được tính với độ tin cậy 95%. Trên Hình 10 thể hiện một ví dụ về đồ thị phân bố d_{10} và

d_{32} ở các vị trí khi $D_0 = 1,2$ mm và $\theta = 40^\circ$ tại các D_S khác nhau. Do tia phun là đối xứng nên d_{10} và d_{32} tại các vị trí đối diện được lấy bằng với các vị trí đã xác định.

Các kết quả thu được cho thấy, tại tất cả các vị trí, d_{10} giảm khi giảm D_S hoặc tăng D_0 . Điều này là do sự gia tăng của G_L , G_G và We khi giảm D_S/D_0 . Khi đó, sự tương tác giữa dòng khí với tấm và các giọt chất lỏng tăng lên, giúp quá trình phân rã xảy ra mạnh hơn để tạo thành các giọt có kích thước nhỏ hơn. Các kết quả cũng cho thấy sự suy giảm nhanh hơn của d_{10} khi tăng D_0 từ 1,0 lên 1,4 mm so với khi giảm D_S từ 5 xuống 3 mm. Mặc dù xu hướng giảm của G_L , G_G và We khi đó là chậm hơn. Điều này được giải thích là tại các D_S lớn hơn sẽ tạo ra tấm chất lỏng mỏng hơn, do đó các giọt chất lỏng được tạo ra cũng có xu hướng nhỏ hơn. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận với giá trị của d_{32} khi thay đổi kết cấu vòi phun. Kết quả này cho thấy rằng khi giảm D_S hoặc tăng D_0 thì tia phun được tạo ra có kích thước giọt chất lỏng nhỏ hơn.

Tại các vị trí 4 và 7, khi $\theta = 40^\circ$ và $\theta = 50^\circ$ đều không thấy hoặc thấy rất ít các giọt chất lỏng. Phát hiện này cho thấy tia phun được tạo ra trong các trường hợp này có dạng nón rộng. Tuy nhiên, khi $\theta = 30^\circ$ thì tại các vị trí 4 và 7 lại có sự xuất hiện của các giọt chất lỏng. Mặc dù d_{10} trong các trường hợp này là nhỏ (từ 12,2 đến 16,4 μm) nhưng nó cũng cho thấy rằng tia phun có dạng nón đặc. Tại vị trí 10, mặc dù cũng nằm trên đường tâm của tia phun nhưng vẫn thấy sự xuất hiện của các giọt chất lỏng trong tất cả các trường hợp. Điều này là do vị trí 10 ở khoảng cách khá xa so với lỗ vòi phun. Khi đó, tác động của dòng khí không còn đủ lớn để duy trì quỹ đạo chuyển động của các giọt theo dạng nón rộng nữa và chúng sẽ đi vào khu vực đường tâm của tia phun. Kết quả này cũng được ghi nhận bởi Kang và cộng sự [32].

Giá trị của d_{10} và d_{32} tại các vị trí 5, 8, 12 và đối xứng của chúng là lớn hơn so với các điểm còn lại có cùng khoảng cách đến đầu vòi phun. Khi càng dịch ra xa lỗ vòi phun thì d_{10} và d_{32} đều giảm. Sự suy giảm này gần như không đổi tại các vị trí cách lỗ vòi phun 45 mm. Điều này cho thấy quá trình phân rã đã kết thúc và các giọt chất lỏng đã ổn định tại vị trí này. Giá trị của d_{10} và d_{32} tại các vị trí này thay đổi trong các khoảng tương ứng là từ 8,0 đến 17,7 μm và từ 12,0 đến 29,5 μm .

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của các thông số kết cấu của vòi phun kiểu air-blast ly tâm đến cấu trúc tia phun bằng thực nghiệm. Kết quả cho thấy, cấu trúc của tia phun chịu ảnh hưởng bởi các thông số kết cấu đã được lựa chọn để khảo sát. Khi không có dòng khí thổi, φ_0 và L_b giảm khi giảm D_0 . Tuy nhiên, khi giảm D_S , L_b giảm trong khi φ_0 lại tăng.

Khi có dòng khí thổi, phân bố d_P tại các vị trí khảo sát có dạng gần giống nhau khi thay đổi kết cấu vòi phun. Giá trị của d_P thay đổi trong khoảng từ 0 đến khoảng 300 μm và phân bố lớn trong khoảng từ 0 đến 60 μm . Khi giảm D_S hoặc tăng D_0 thì tia phun được tạo ra có kích thước giọt chất lỏng nhỏ hơn.

Sự suy giảm của kích thước giọt chất lỏng có xu hướng giảm dần khi càng ra xa lỗ vòi phun. Các giọt chất lỏng đạt được sự ổn định và độ đồng đều tại các vị trí cách lỗ vòi phun 45 mm. Giá trị của d_{10} và d_{32} tại các vị trí này thay đổi trong các khoảng tương ứng là từ 8,0 đến 17,7 μm và từ 12,0 đến 29,5 μm .

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Ban Chủ nhiệm của Nhiệm vụ cấp Bộ Quốc phòng “Sửa chữa, nâng cấp Phòng thí nghiệm Động cơ” đã hỗ trợ và tạo điều kiện để thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. H. Lefebvre and V. G. McDonell, *Atomization and sprays*, Second Edition. CRC press, 2017.
- [2] N. Ashgriz, *Handbook of atomization and sprays: Theory and applications*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [3] N. Dombrowski and W. Johns, “The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets”, *Chemical Engineering Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 203-214, 1963. DOI: 10.1016/0009-2509(63)85005-8.
- [4] *Инструкция по эксплуатации и текущему ремонту боевой торпеды 53VA*.
- [5] Z. Kang, Z. Wang, Q. Li, and P. Cheng, “Review on pressure swirl injector in liquid rocket engine,” *Acta Astronautica*, Vol. 145, pp. 174-198, 2018. DOI: 10.1016/j.actaastro.2017.12.038
- [6] M. R. Halder, S. K. Dash, and S. K. Som, “Initiation of air core in a simplex nozzle and the effects of operating and geometrical parameters on its shape and size”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 26, No. 8, pp. 871-878, 2002. DOI: 10.1016/S0894-1777(02)00153-X
- [7] S. Kim, D. Kim, Y. Yoon, and T. Khil, “Effect of geometry on the liquid film thickness and formation of air core in a swirl injector”, in *43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Cincinnati, 08 July 2007 - 11 July 2007*, AIAA, 2007, pp. 54-60.
- [8] S. Kim, T. Khil, D. Kim, and Y. Yoon, “Effect of geometric parameters on the liquid film thickness and air core formation in a swirl injector”, *Measurement Science and Technology*, Vol. 20, No. 1, 2008, 015403. DOI: 10.1088/0957-0233/20/1/015403
- [9] Q. Fu, L. Yang, and Y. Qu, “Measurement of annular liquid film thickness in an open-end swirl injector”, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 15, No. 2, pp. 117-124, 2011. DOI: 10.1016/j.ast.2010.06.006
- [10] N. Rizk and A. H. Lefebvre, “Internal flow characteristics of simplex swirl atomizers”, *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 1, No. 3, pp. 193-199, 1985. DOI: 10.2514/3.22780

- [11] M. Suyari and A. H. Lefebvre, "Film thickness measurements in a simplex swirl atomizer", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 2, No. 6, pp. 528-533, 1986. DOI: 10.2514/3.22937
- [12] A. H. Lefebvre, *Gas Turbine Combustion*, Third Edition. Taylor & Francis, 2010.
- [13] M. Elkotb, N. Rafat, and M. Hanna, "The influence of swirl atomizer geometry on the atomization performance", in *Proceedings of the 1st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, 1978, pp. 109-115.
- [14] W. Tipler and A. Wilson, "Combustion in gas turbines", in *Proceedings of the Congress International des Machines a Combustion (CIMAC)*, International Council on Combustion Engines Frankfurt, Germany, 1959.
- [15] A. Radcliffe, "The performance of a type of swirl atomizer", in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1955, pp. 93-106.
- [16] Y. Hardalupas and J. Whitelaw, "Coaxial airblast atomizers with swirling air stream", in *Recent advances in spray combustion: Spray combustion measurements and model simulation*, 1996, pp. 201-232.
- [17] T. F. Wall, "Combustion of Coal as Pulverized Flue through Swirl Burners", *Principles of combustion engineering for boilers*, 1987.
- [18] P. V. Đuọc, P. V. Thìn và P. X. Phương, "Xây dựng mô hình tương đương của vòi phun nhiên liệu kiểu air-blast ly tâm sử dụng trên động cơ hơi nước-khí cháy", *Tap chí Cơ khí Việt Nam*, Số 296, 2022.
- [19] A. Frohn and N. Roth, *Dynamics of droplets*. Springer Science & Business Media, 2000.
- [20] P. V. Đuọc, P. V. T. Nam, P. V. Thìn và P. X. Phương, "Xây dựng hệ thống thử nghiệm kiểu shadowgraph phục vụ nghiên cứu quá trình hình thành và phân rã tia phun nhiên liệu", *Tap chí Khoa học và Kỹ thuật*, Vol. 17, No. 04, tr. 21-31, 2022. DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v17.n04.401
- [21] I. Gaissinski, Y. Levy, D. Kutikov, V. Sherbaum, and V. Rovenski, "Operation study of miniature air-blast atomizer under very low liquid pressures", *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, Vol. 36, No. 4, pp. 367-389, 2019. DOI: 10.1515/tjj-2016-0073
- [22] D. R. Guildenbecher, C. López-Rivera, and P. E. Sojka, "Secondary atomization," *Experiments in Fluids*, Vol. 46, No. 3, pp. 371-402, 2009. DOI: 10.1007/s00348-008-0593-2
- [23] D. V. Phung, T. V. Pham, and P. X. Pham, "A Novel Experiment Approach for Measurement Breakup Length, Cone Angle, Sheet Velocity, and Film Thickness in Swirl Air-Blast Atomizers", *SAE International Journal of Engines*, Vol. 17(03-17-01-0006), 2023. DOI: 10.4271/03-17-01-0006
- [24] J. Liu, X. Q. Zhang, Q. L. Li, and Z. G. Wang, "Effect of geometric parameters on the spray cone angle in the pressure swirl injector", *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 227, No. 2, pp. 342-353, 2013. DOI: 10.1177/0954410011432233
- [25] J. Liu, "Experimental and numerical simulation of the breakup process of swirling conical liquid sheet", Doctoral thesis, National University of Defense Technology, 2012.
- [26] J. Xue, M. A. Jog, S. M. Jeng, E. Steinhthorsson, and M. A. Benjamin, "Effect of geometric parameters on simplex atomizer performance", *AIAA Journal*, Vol. 42, No. 12, pp. 2408-2415, 2004. DOI: 10.2514/1.2983

- [27] H. D. S. Couto, P. T. Lacava, D. Bastos-Netto, and A. P. Pimenta, "Experimental evaluation of a low pressure-swirl atomizer applied engineering design procedure", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 25, No. 2, pp. 358-364, 2009. DOI: 10.2514/1.37018
- [28] P. V. Đuọc, P. V. Thìn và P. X. Phương, "Xác định phân bố kích thước của các giọt chất lỏng của vòi phun kiểu air-blast ly tâm bằng thực nghiệm," *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, Số 10/2023, tr. 490-498, 2023.
- [29] I. Bowen and G. Davies, *Report ICT 28*. Shell Research Ltd., 1951.
- [30] A. J. Yule and J. J. Dunkley, *Atomization of melts: For powder production and spray deposition*. Clarendon Press, 1994.
- [31] R. M. Wagner and J. A. Drallmeier, "An approach for determining confidence intervals for common spray statistics", *Atomization and Sprays*, Vol. 11, No. 3, pp. 255-268, 2001. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v11.i3.30
- [32] Z. Kang, Q. Li, J. Zhang, and P. Cheng, "Effects of gas liquid ratio on the atomization characteristics of gas-liquid swirl coaxial injectors", *Acta Astronautica*, Vol. 146, pp. 24-32, 2018. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.02.026

THE EFFECT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF A CENTRIFUGAL AIR-BLAST ATOMIZER ON THE SPRAY STRUCTURE

Abstract: *The formation of liquid spray structures utilized for specific applications under typical operating conditions is the primary objective in the atomizer development and liquid supply systems. The nozzle structure is one of the most crucial factors directly affecting the formation of the spray structure. This article experimentally examine the influence of the structural parameters of a centrifugal air-blast atomizer on its spray structure. The structural parameters selected for investigation include the diameter of the liquid swirl chamber, the nozzle orifice diameter, and the inclination angle of the air swirl blades. The subject of this study is the nozzle of the main engine mounted on underwater vehicles. The jet structure is characterized by key parameters including the jet cone angle, the jet breakup length, and the size of the liquid droplets within the jet. The findings demonstrated that when D_s decreased or D_0 increased, the droplet size was smaller. With d_{10} and d_{32} changing between 8.0 and 17.7 μm and 12.0 to 29.5 μm , respectively, the droplet size is stable and uniform at positions 45 mm from the nozzle hole. The research results may serve as a scientific basis for proposing structural modifications to enhance the jet breakup process, thereby improving the main engine's performance.*

Keywords: Air-blast atomizer; spray structure; spray cone angle; breakup length; droplet diameter.

Nhận bài: 21/05/2024; Hoàn thiện sau phản biện: 24/06/2024; Duyệt đăng: 13/08/2024

