



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0028814

(51)⁷ F23R 3/50; B05B 1/02

(13) B

(21) 1-2018-04119

(22) 18/09/2018

(45) 25/07/2021 400

(43) 26/08/2019 377A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)

Số 1, đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Quang Hải (VN); Đinh Tiến Dũng (VN); Đặng Tiểu Bình (VN); Bùi Xuân Long (VN); Vũ Xuân Hùng (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACI CO., LTD)

(54) PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BUỒNG ĐỐT VÀ HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU CHO ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC MỘT LUỒNG

(57) Phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng được đề xuất bao gồm các bước: bước 1: xác định yêu cầu đầu vào của thiết kế tổng thể động cơ phản lực một luồng; bước 2: xây dựng các tham số kỹ thuật của buồng đốt ở mức chi tiết; bước 3: dựng 3D buồng đốt và các cơ cấu tương ứng; bước 4: tính toán và phân tích khí động, nhiệt động của động cơ trong quá trình cháy ở điều kiện cho trước (điểm thiết kế).



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế này đề cập đến phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng. Sáng chế đề xuất thuộc lĩnh vực phần mềm thiết kế, và buồng đốt, hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng. Không nằm ngoài phạm vi sáng chế này, phương pháp thiết kế có thể ứng dụng trong lĩnh vực chế tạo cơ khí ngành hàng không.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Động cơ phản lực nói chung và hệ thống buồng đốt nói riêng là sản phẩm làm việc trong điều kiện đặc thù với nhiệt độ và áp suất cao, đòi hỏi công nghệ thiết kế và chế tạo đặc biệt. Thiết kế động cơ phản lực đồng nghĩa với việc phải thiết kế được hệ thống buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu.

Hiện nay, không có quy luật hoặc phương pháp tổng thể nào để chế tạo buồng đốt loại này, mà chủ yếu được thiết kế và tối ưu trực tiếp bởi các công ty chế tạo thông qua kinh nghiệm thực tiễn (dựa trên các sản phẩm đã chế tạo trước đó), công thức thực nghiệm đến từ các thử nghiệm cháy nhiều loại của buồng đốt trong xưởng thử nghiệm. Các thử nghiệm như vậy đòi hỏi nguồn lực và cơ sở hạ tầng phức tạp (cần cung cấp một lưu lượng lớn khí nén ở áp suất và nhiệt độ cao, khả năng kiểm soát an toàn, thiết bị đo tin cậy).

Thêm vào đó, động cơ phản lực cũng như buồng đốt của động cơ, là những công nghệ lõi mà sản phẩm cuối được sử dụng chủ yếu trong lĩnh vực quân sự hoặc công nghệ hàng không cao cấp. Vì vậy, các thông tin về phương pháp thiết kế hoặc tính toán là rất hạn chế hoặc chỉ ở mức độ dữ liệu khoa học dùng cho tra cứu, hoặc học thuật, nghiên cứu. Các giải pháp kỹ thuật được giới thiệu và lựa chọn bởi các hãng sản xuất động cơ chủ yếu là dạng thông tin tóm tắt hoặc các kết quả nghiên

cứu cụ thể sau khi đã xong thiết kế, mà không lý giải và dẫn giải các lựa chọn này ở góc độ bản chất vật lý ở các bước đầu tiên ở việc lên ý tưởng và thực hiện tính toán, thiết kế, nên không thể áp dụng máy móc cho các thiết kế của dạng động cơ tương tự.

Ngày nay, có sẵn khá nhiều phần mềm tính toán, đánh giá hay mô hình hóa cho phép một người tạo ra được những biểu diễn ba chiều cho các đối tượng và các hệ thống khác nhau trên màn hình máy tính. Các đối tượng này hay các phần của chúng có thể dễ dàng thay đổi bằng cách sử dụng phần mềm này và các tính năng mới có thể được bổ sung thêm. Tuy nhiên, đối với những đối tượng nghiên cứu mang tính chất đặc thù và phức tạp về cấu tạo như buồng đốt, hệ thống phun nhiên liệu, việc nghiên cứu, thử nghiệm, thiết lập mô hình đòi hỏi công suất xử lý lớn. Qua thông tin tìm hiểu, hiện tại chưa có tổ chức/cá nhân nào sử dụng phần mềm để thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng.

Do đó, nhóm tác giả sáng chế đã đề xuất một phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng bằng phần mềm bằng việc cung cấp một phương pháp đánh giá, lựa chọn cấu hình, tham số và tính toán sơ bộ để lý giải và định hướng cho việc thiết kế buồng đốt, giảm thiểu tối đa các vòng lặp thiết kế hoặc số lần thử nghiệm cần thiết trước khi hoàn chỉnh thiết kế.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Hệ thống buồng đốt bao gồm lõi buồng tạo cháy, cơ cấu tạo khí xoáy để tạo dòng khí xoáy đánh toi và trộn lẫn nhiên liệu và cơ cấu tạo sương nhiên liệu phun trực tiếp vào buồng đốt để hỗ trợ và tối ưu quá trình cháy.

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu buồng đốt động cơ phản lực một luồng. Theo đó, sáng chế này đề cập đến một phương pháp phân tích và định hướng, lựa chọn tham số và thiết kế buồng đốt dành cho động cơ phản lực một luồng hàng không loại bé (lực

đẩy dưới 500 kg lực). Cụ thể, sáng chế này cung cấp một cách đánh giá, lựa chọn cấu hình, tham số và phương pháp tính toán sơ bộ để lý giải và định hướng cho việc thiết kế buồng đốt, giảm thiểu tối đa các vòng lặp thiết kế hoặc số lần thử nghiệm cần thiết trước khi hoàn chỉnh thiết kế.

Để thực hiện được mục đích trên, tác giả đưa ra phương pháp phân tích, tính toán để lựa chọn hoặc xây dựng cấu hình buồng đốt, hệ thống vòi phun nhiên liệu dành cho động cơ phản lực 1 luồng. Các bước thiết kế chính được liệt kê ra như sau: bước 1: xác định yêu cầu đầu vào của thiết kế tổng thể động cơ phản lực một luồng; bước 2: xây dựng các tham số kỹ thuật của buồng đốt ở mức chi tiết; bước 3: dựng 3D buồng đốt và các cơ cấu tương ứng; bước 4: tính toán và phân tích khí động, nhiệt động của động cơ trong quá trình cháy ở điều kiện cho trước (điểm thiết kế).

Phương pháp được thực hiện thông qua việc sử dụng các công thức thực nghiệm hoặc giải tích phù hợp được lập trình sẵn trong công cụ tính toán như phần mềm mô hình hóa (MATLAB) hoặc phần mềm hỗ trợ trong lập và giải phương trình toán học (MATHCAD) bởi nhóm sáng chế.

Trong quy trình này, toàn bộ quá trình tính toán được thực hiện trên hệ thống máy tính sử dụng kết quả tính toán ngay sau khi quá trình tính toán hoàn thành.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: hình vẽ sơ đồ và quy trình thiết kế buồng đốt;

Hình 2: hình chiếu buồng đốt các dạng ống, dạng ống-vành khăn và dạng vành khăn;

Hình 3: hình ảnh buồng đốt dạng ống và dạng vành khăn;

Hình 4: hình chiếu thể hiện cơ cấu của cụm khí xoáy;

Hình 5: hình chiếu thể hiện cụm khí xoáy loại dòng thẳng;

Hình 6: hình chiếu thể hiện cụm khí xoáy loại dòng ly tâm;

Hình 7: hình chiếu thể hiện tham số L (tải) của buồng đốt;

Hình 8: hình vẽ thể hiện phân bố khí qua các lỗ trên buồng đốt;

Hình 9: hình vẽ thể hiện phân bố nhiệt độ qua buồng đốt ở chế độ làm việc.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần sau đây mô tả rõ ràng và đầy đủ phương pháp thiết kế cho buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu dựa vào các hình vẽ kèm theo. Phần mô tả sau đây của phương án chỉ là ví dụ mà không phải là tất cả phương án có thể của sáng chế. Các sửa đổi và biến thể khác nhau của sáng chế mà không có bất kỳ nỗ lực sáng tạo nào của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sẽ nằm trong phạm vi bảo hộ của sáng chế.

Trước hết, cần hiểu rằng, đối tượng thiết kế là hệ thống buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu, trong đó hệ thống phun nhiên liệu theo phương án thiết kế được đề cập bao gồm cụm khí xoáy và vòi phun. Cụ thể

Tham chiếu hình 2, buồng đốt dành cho động cơ phản lực một luồng có nhiều loại khác nhau, trong đó có ba loại chính với thiết diện đặc thù là loại ống riêng biệt, loại ống-vành khăn và loại vành khăn.

- Loại ống riêng biệt hoặc loại ống-vành khăn bao gồm nhiều ống riêng biệt được kết nối với nhau bởi các đường ống. Ưu điểm của loại này là dễ kiểm soát quá trình cháy qua các ống riêng biệt, kết cấu chắc chắn, nhưng nhược điểm là thể tích giới hạn cho mỗi ống dẫn đến chiều dài tăng, và cần các đường kết nối để thông giữa các ống đồng thời cần một thiết kế phức tạp cho đường dẫn khí từ máy nén.
- Dạng ống vành khăn bao gồm 2 mặt ống của buồng đốt được kết nối vòng xung quanh biên dạng tròn của động cơ. Ưu điểm của loại này là tối ưu thể tích cháy, giảm tổn thất áp suất so với loại bên trên, có hiệu

suất khí động học cao thích hợp cho các động cơ phản lực có tỷ lệ nén của máy nén thấp.

Theo những đặc điểm đã nêu trên, có thể tiến hành lựa chọn loại buồng đốt phù hợp với mục đích đề ra. Quá trình phun nhiên liệu lỏng dưới dạng sương (atomization) và hóa hơi (evaporation) là cần thiết và bắt buộc trong hoạt động của buồng đốt động cơ tuabin khí. Quá trình này được thực hiện bởi 1 hệ thống tạo sương (atomizer) để tạo ra các hạt nhỏ nhiên liệu và 1 hệ thống khí xoáy (air swirler) để trộn và tạo vùng tuần hoàn (recirculation) của vùng cháy chính (primary zone) trong buồng đốt.

Sáng chế sau đây đề cập cụ thể đến buồng đốt loại vành khăn và phương pháp thiết kế dạng buồng đốt này, các bộ phận phun nhiên liệu tương ứng được lựa chọn để duy trì hoạt động ổn định cũng như tăng hiệu năng của buồng đốt.

Lựa chọn loại cụm khí xoáy phù hợp với buồng đốt, Đối với cụm xoáy khí, có thể chia làm hai loại: cụm khí xoáy có cánh dọc trục và cụm khí xoáy có cánh hướng trục, được thể hiện như tham chiếu tại hình 4.

- Cụm khí xoáy cánh dọc trục: gồm các lá cánh có mặt cắt thẳng ở góc nhìn trực diện, và phần thân của lá được nghiêng 1 góc θ so với dọc trục, được thể hiện như trong tham chiếu tại hình 5.
- Cụm khí xoáy cánh hướng trục: gồm các lá cánh có mặt cắt nghiêng 1 góc θ_v ở góc nhìn trực diện so với dọc trục, được thể hiện như trong tham chiếu tại Hình 6.

Sáng chế sau đây sẽ mô tả chi tiết về phương án thiết kế cụm khí xoáy dòng thẳng.

Đối với vòi phun nhiên liệu, có 2 loại vòi phun nhiên liệu chính dùng để tạo sương nhiên liệu khi được phun vào buồng đốt, với các đặc tính về áp suất, lưu lượng, kích thước hạt được thiết kế và kiểm soát theo yêu cầu của sự cháy trong

buồng đốt.

- Loại vòi phun dùng nhiên liệu áp suất cao (pressure-swirl atomizer): nhiên liệu dưới tác dụng của áp suất cao, khi qua hệ thống vòi phun sẽ giảm áp suất và được phun tơi ra thành các hạt nhiên liệu nhỏ, bắn ra buồng đốt với 1 góc hình học được kiểm soát. Ưu điểm của loại vòi phun này là tạo ra độ tin cậy cơ khí cao và khả năng giữ cháy tại tỷ lệ trộn thấp.
- Loại vòi phun dùng khí áp suất cao (air blast atomizer): ưu điểm của loại vòi phun này là đặc điểm dòng nhiên liệu gắn với đặc điểm dòng khí, nên nhiệt độ đầu ra sẽ không ảnh hưởng nhiều bởi lưu lượng nhiên liệu. Nhược điểm là dải hoạt động ổn định hẹp và sự phun sương không hiệu quả ở chế độ khởi động.

Theo đó, phương pháp thiết kế được đề xuất sau đây đề cập đến một cách tổng quát quy trình thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu dựa trên ví dụ minh họa quy trình thiết kế buồng đốt dạng vành khăn, cụm khí xoáy dòng thẳng.

Phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu một luồng được mô tả dưới đây dựa trên các hình 2c, hình 5, hình 7 đến hình 9.

Phương pháp thiết kế đề xuất theo một quy trình rõ ràng, sử dụng các công thức thực nghiệm hoặc giải tích phù hợp, được lập trình sẵn trong công cụ tính toán như phần mềm mô hình hóa (MATLAB) hoặc phần mềm hỗ trợ trong lập và giải phương trình toán học (MATHCAD) bởi nhóm sáng chế.

Tham chiếu hình 1, theo một phương án của sáng chế, phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu được thực hiện tuần tự như sau:

Bước 1: xác định yêu cầu đầu vào của thiết kế.

Các yêu cầu đầu vào của thiết kế bao gồm các tham số chính như tỷ lệ nén, lưu lượng khí, nhiệt độ đầu ra của buồng đốt, giới hạn về kích thước. Đây là các

thông tin được xây dựng và xác định trong quá trình thiết kế sơ bộ tổng thể của động cơ, quyết định đặc tính cơ bản của động cơ như lực đẩy, hiệu suất tiêu hao nhiên liệu, kích thước tổng thể, khối lượng của động cơ – là những yêu cầu đặt ra cho sản phẩm (thường là yêu cầu kỹ thuật từ khách hàng). Từ những yêu cầu đầu vào đó, sáng chế cung cấp cách lựa chọn loại buồng đốt phù hợp và tin cậy để phát triển, cũng như xây dựng quy trình thiết kế chi tiết cho buồng đốt và các hệ thống liên quan.

Quá trình tính toán các tham số này được thực hiện hoàn toàn tự động ngay sau khi nhận được dữ liệu đầu vào nêu trên. Quá trình này được thực hiện bằng chương trình tính toán (mô đun, phần mềm) được cài đặt trong hệ thống máy tính. Các tham số liên quan đến tỷ lệ nén, lưu lượng khí, nhiệt độ đầu vào và đầu ra của buồng đốt đến từ thiết kế tổng thể chu trình nhiệt động (thermocycle) của động cơ.

Bước 2: xây dựng các tham số kỹ thuật của buồng đốt ở mức chi tiết.

Tại bước này, lần lượt tiến hành xây dựng các tham số về kích thước liên quan đến buồng đốt bao gồm vỏ ngoài buồng đốt (phần bao bên ngoài, ngăn cách giữa buồng đốt và môi trường bên ngoài) và lõi buồng đốt (phần hòa trộn giữa khí và nhiên liệu và xảy ra phản ứng cháy), không gian giữa lõi buồng đốt và vỏ buồng đốt là kênh để đường khí áp suất cao đi đến từ máy nén vào lõi buồng đốt thông qua cụm khí xoáy và các lỗ phân phối trên lõi xây dựng phối trí chi tiết của buồng đốt và cụm khí xoáy, vòi phun nhiên liệu phù hợp với yêu cầu đưa ra. Cụ thể như sau:

Xây dựng các tham số về kích thước buồng đốt (dựa trên giới hạn bởi kích thước tổng thể, vị trí và kích thước của máy nén và tua bin, lưu lượng khí đầu vào), từ đó xây dựng chi tiết các kích thước thành phần của buồng đốt như chiều dài, diện tích mặt cắt của vành khăn, ... Cụ thể như sau:

Thể tích của lõi buồng đốt được xác định thông qua công thức thực nghiệm

liên quan đến khả năng chịu tải của buồng đốt như sau:

$$L\left[\frac{\frac{kg}{s}}{bar^{1.8} \times m^3}\right] = \frac{m_a}{P^{1.8} \times V \times 10^{0.00145 \times (T-400)}}$$

Trong đó L là khả năng chịu tải, m_a là lưu lượng khí đến từ máy nén, p là áp suất khí sau máy nén, V là thể tích buồng đốt, T là nhiệt độ sau máy nén.

Tham số L càng nhỏ, thì hiệu suất cháy càng lớn, và ngược lại. Tham số L lớn cũng dẫn đến khả năng chịu tải lớn của máy nén. Tham chiếu hình 7, cho thấy tham số này cần ở dưới 50 để có hiệu suất cháy trên 95%.

Sau khi xác định được thể tích lõi buồng đốt, có thể định lượng các kích thước cụ thể buồng đốt (chiều dài buồng đốt, chiều cao buồng đốt, ...). Cụ thể:

Đường kính trong của vỏ buồng đốt được xác định theo đường kính trục của động cơ (trục nối máy nén và tuabin), đường kính trong của buồng đốt cần lớn hơn đường kính trục và giới hạn bởi một giá trị để đảm bảo đặc tính hoạt động của dòng khí ở vùng này. Nếu đường kính quá lớn (tức là thiết diện vùng khí đi qua ở mặt trong buồng đốt quá lớn thì vận tốc khí đi vào các lỗ cháy và lỗ làm mát sẽ không đảm bảo).

Sau khi xác định đường kính trong, đường kính ngoài của buồng đốt được tính toán dựa trên giá trị tham chiếu của thiết diện dòng khí đi ra từ máy nén (thiết diện này được xác định dựa trên lưu lượng khí từ máy nén, và vận tốc thiết kế đi vào buồng đốt, thông thường là khoảng Mach 0.25 đến 0.30).

Chiều cao của lõi buồng đốt bị giới hạn bởi các đường kính trong và ngoài của vỏ buồng đốt và được xác định dựa trên phân tích khí động của dòng khí đi vào buồng đốt, đảm bảo sự phân bố vận tốc theo thiết kế, thông thường khoảng Mach 0.1-0.2. Chiều cao của lõi buồng đốt đối thông thường trên 40cm đảm bảo đủ không gian cho khí và nhiên liệu trộn lẫn trong quá trình cháy.

Chiều dài lõi buồng đốt sau đó được tính toán qua công thức giải tích từ thể

tích đã định trước. Do buồng đốt thông thường được cấu thành từ 3 phần là: vùng cháy chính (primary zone), vùng cháy phụ (secondary zone) và vùng hòa trộn (dilution zone), mỗi vùng này có chiều dài tương ứng được xác định để đảm bảo sự cháy là tối ưu nhất. Thông thường, chiều dài này là khoảng 1 lần chiều cao cho vùng chính đảm bảo nhiệt độ cháy là cao nhất ở biên cháy, khoảng 1,5 lần cho vùng cháy phụ và vùng hòa trộn đảm bảo nhiên liệu còn lại được cháy hoàn toàn, và nhiệt độ của hỗn hợp sau khi cháy được làm mát bởi khí làm mát để đảm bảo nhiệt độ thiết kế vào tuabin

Ngoài ra, các kích thước của buồng đốt cũng tính đến các yếu tố tương đồng với các yếu tố khác như cấu trúc tổng thể của động cơ (phối trí kết cấu, số ổ bi, cấu trúc của trục động cơ, ...). Xét về yêu cầu cháy trong động cơ, buồng đốt càng dài càng tốt (vì dòng khí ra có nhiều không gian để hòa trộn và thiết lập trạng thái, sẽ có nhiệt độ và đặc tính khí động đều nhất, là điều kiện hoạt động tốt cho tuốc bin). Tuy nhiên, xét về khía cạnh phối trí và cấu trúc động cơ, 1 buồng đốt dài sẽ dẫn tới độ cứng tương đối của cả hệ thống giảm, gây ra vấn đề về dao động và hoạt động ở chế độ vòng quay lớn. Ngoài ra, buồng đốt dài cũng sẽ kéo theo kích thước và khối lượng tổng thể của động cơ lớn hơn. Do đó, kích thước buồng đốt là 1 sự thỏa thuận hợp lý (compromise) giữa các yếu tố trên

Xây dựng phối trí chi tiết của buồng đốt bao gồm phần đốt chính (primary zone), phần đốt phụ (secondary zone) và phần hòa trộn (dilution zone), cũng như các lỗ cung cấp khí cho mỗi vùng, ước lượng và phối trí chi tiết cho các lỗ làm mát sát thành phía bên trong của vỏ buồng đốt (film cooling).

Kích thước của mỗi thành phần buồng đốt (phần cháy chính, phần cháy phụ, phần hòa trộn) được xây dựng dựa trên quy luật và công thức thực nghiệm dựa trên tỷ lệ của kích thước này so với chiều cao buồng đốt được trình bày như trên.

Cấu hình buồng đốt được xây dựng chủ yếu dựa trên các quy luật được rút ra từ những loại động cơ tương tự đã đi vào hoạt động mà các lựa chọn đều tương đối

hội tụ về 1 xu hướng nhất định, rồi sau đó sẽ được kiểm nghiệm qua mô phỏng 3D, cũng như thử nghiệm thực tế.

Phân bố khí đi vào tại mỗi vị trí của buồng đốt được thiết kế theo quy luật thực nghiệm, là các quy luật phân bố, phân phối vị trí, kích thước của các cơ cấu cụ thể trên buồng đốt đã được kiểm nghiệm nhiều lần thông qua thử nghiệm trên các loại động cơ tương tự. Cụ thể có thể lựa chọn tỷ lệ phân bố khí thích hợp tại mỗi vị trí của buồng đốt.

Tham chiếu hình 8 dành cho xu hướng chung của động cơ phản lực 1 luồng loại bé, sự phân bố khí, đối với động cơ phản lực một luồng phân phối này có thể được lựa chọn như sau: 20% khí đi vào vùng cháy chính, 40% khí đi vào vùng cháy phụ và vùng hòa tan, còn lại là khí đi qua cụm khí xoáy và khí được sử dụng để làm mát thành buồng đốt.

Các lỗ khí đi vào buồng đốt được thiết kế theo quy luật thực nghiệm, và sự phân bố dòng khí đi vào buồng đốt từ dòng khí nén được ước lượng thông qua công thức thực nghiệm tương ứng với cấu hình thiết kế thông qua các tham số không thứ nguyên như trị số mức độ chịu nén của dòng chất khí chuyển động (trị số Mach), thiết diện, cấu hình của lỗ,

$$\dot{m}_h = C_D A_{h,geom} [2 \rho_3 (P_1 - p_j)]^{0.5}$$

Trong đó C_D là hệ số tổn thất (discharge coefficient), A là diện tích của lỗ mà dòng khí đi qua, ρ là khối lượng riêng của khí, P_1 và P_j là áp suất trước và sau lỗ.

Công thức thực nghiệm là các công thức toán học được xây dựng và kiểm chứng thông qua thử nghiệm tại cấu hình chính xác như cấu hình đang nghiên cứu, các công thức này, khi đưa vào quy trình thiết kế, được sử dụng bởi các công cụ tính toán như phần mềm mô hình hóa (MATLAB) hoặc phần mềm hỗ trợ trong lập và giải phương trình toán học (MATHCAD)...

Tính toán sơ bộ các đặc tính và tham số hình học của cụm khí xoáy như số lượng lá (được lựa chọn chủ yếu dựa trên khả năng gia công chế tạo, thông thường là 6 hoặc 8 lá dành cho cụm khí xoáy loại bé), kích thước của cụm khí xoáy (được xác định thông qua diện tích A_{sw}), góc quay của lá, độ giảm áp suất khí trước và sau cụm khí xoáy. Đối với cụm xoáy khí dòng thẳng, với lưu lượng khí qua cụm khí xoáy được định lượng theo công thức như sau:

$$\dot{m}_{sw} = \left\{ \frac{2\rho_3 \Delta P_{sw}}{K_{sw} [(\sec \theta / A_{sw})^2 - 1 / A_L^2]} \right\}^{0.5}$$

Trong đó ΔP là độ giảm áp suất tổng qua cụm khí xoáy, thông thường bằng độ giảm áp suất qua các lỗ khí (khoảng 1-2%).

A_{sw} là diện tích mặt của cụm khí xoáy cho khí đi qua, có thể được xác định

$$A_{sw} = (\pi / 4) (D_{sw}^2 - D_{hub}^2) - 0.5 n_v t_v (D_{sw} - D_{hub})$$

bởi công thức:

θ là góc nghiêng của cánh trên cụm, thông thường được lựa chọn trong khoảng từ 30-60 độ để đảm bảo góc khí phun vào buồng đốt, tạo ra vùng khí tuần hoàn theo yêu cầu.

Các tham số này được lựa chọn dựa theo các quy luật thực nghiệm được giới thiệu hoặc tổng kết trong các tài liệu chuyên ngành cụ thể.

Kích thước của vùng tuần hoàn khí đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì vùng cháy chính của buồng cháy, kích thước này có thể được tăng lên bằng một trong các cách sau đây:

- Tăng góc mở của van (góc mà khí được đưa vào buồng đốt)
- Tăng số lượng lá cánh trên cụm khí xoáy
- Giảm tỷ lệ lá cánh (chiều dài / chiều cao của cánh)

Có thể thay đổi dạng của góc nghiêng của loại cánh dọc trục (góc thay đổi

theo 1 đường cong mà góc tại đầu cánh là 0, tại cuối cánh là θ thay vì 1 góc θ không đổi).

Tính toán sơ bộ các đặc tính và tham số hình học của vòi phun như kích thước lỗ phun, góc phun, độ giảm áp trong vòi phun, ...

Kích thước, tham số hoặc đặc tính của vòi phun nhiên liệu (atomizer) được xác định dựa trên yêu cầu cụ thể của buồng đốt và của hệ thống nhiên liệu trên động cơ (áp suất trong buồng đốt, áp suất nhiên liệu sau khi được phân bố đến trước buồng đốt, lưu lượng nhiên liệu cần thiết để hoạt động – các tham số này có được từ yêu cầu thiết kế của buồng đốt) hoặc các tham số phục vụ hoạt động cháy tương ứng (kích thước hạt, góc phun nhiên liệu) được xác định thông qua các quy luật thực nghiệm cụ thể của cấu hình tương ứng. Thông thường kích thước hạt càng mịn càng tốt, tạo ra nhiên liệu dưới dạng sương dễ hòa trộn và cháy cùng với khí, kích thước này thông thường dưới 100 micromet để có được chất lượng sương tốt. Góc phun nhiên liệu được lựa chọn để phù hợp với vùng cháy chính (primary zone) trong thiết kế, thông thường góc này nằm trong khoảng 70-100 độ để tối ưu vùng cháy.

Ngoài tính năng cung cấp nhiên liệu theo yêu cầu cụ thể như trên, việc thiết kế được xây dựng để đảm bảo yêu cầu trong quá trình thiết kế và hoạt động như sau:

- Khả năng cung cấp sự sương hóa nhiên liệu trong 1 dải làm việc rộng của lưu lượng nhiên liệu
- Khả năng thích ứng nhanh khi thay đổi lưu lượng
- Sự linh hoạt trong thiết kế (kích thước có thể được thay đổi theo yêu cầu cụ thể)
- Phân bố nhiên liệu đều theo chiều ly tâm và trong không gian 360 độ.

Quá trình tính toán các tham số này được thực hiện hoàn toàn tự động ngay sau khi nhận được dữ liệu đầu vào nêu trên. Quá trình này được thực hiện bằng chương trình tính toán (mô đun, phần mềm) được cài đặt trong hệ thống máy tính.

Bước 3: dựng 3D buồng đốt và các cơ cấu tương ứng.

Việc dựng hình dạng 3D buồng đốt và các cơ cấu tương ứng (cụm khí xoáy và vòi phun) được thực hiện tại phần mềm thiết kế 3D chuyên dụng như CATIA, được tích hợp từ trước trong hệ thống máy tính. Việc dựng mô hình 3D sử dụng thông số đầu vào là các kích thước hình học được tính toán hoặc xây dựng ở các bước trên, cùng với các tham số khác như số lỗ khí (lỗ phun khí chính, lỗ phun lỗ phụ, lỗ làm mát cùng với đường kính tương ứng). Việc dựng mô hình 3D này cũng bao gồm cả quá trình dựng cụm khí xoáy và vòi phun nhiên liệu với các tham số hình học được xây dựng trong các bước trên.

Trong quá trình dựng có tính đến phương pháp gia công chế tạo buồng đốt (phương pháp gia công kim loại dạng tấm, sử dụng kỹ thuật uốn và hàn laser cho việc gia công hoàn thiện. Các đặc trưng của việc gia công và chế tạo, tích hợp sẽ được thể hiện trong quá trình xây dựng và thiết kế chi tiết 3D thông qua các bước khai báo và dựng hình đặc biệt (thứ tự và cách sắp xếp các chi tiết trên tấm kim loại cũng được tính đến trong quá trình dựng 3D, để đảm bảo tấm kim loại sau khi uốn thành hình trụ vẫn thỏa mãn yêu cầu thiết kế).

Số lượng và kích thước các lỗ trên bề mặt lõi buồng đốt (lỗ cháy chính, lỗ cháy phụ, lỗ hòa trộn và lỗ làm mát) sẽ được kiểm soát ở dạng tham số trong phần mềm dựng 3D để giúp cho quá trình thay đổi và tối ưu thiết kế được diễn ra thuận lợi và có kiểm soát. Quá trình tối ưu này được thực hiện theo vòng lặp thiết kế (mỗi bộ tham số của các lỗ sẽ tương ứng với 1 cấu hình và mô hình 3D, với 1 kết quả mô phỏng cụ thể, tùy theo sự phân tích kết quả mô phỏng này mà quyết định sự thay đổi của bộ tham số).

Bước 4: tính toán và phân tích khí động, nhiệt động của động cơ trong quá trình cháy ở điều kiện cho trước (điểm thiết kế).

Tại bước này, tiến hành tính toán và phân tích khí động, nhiệt động của động cơ trong quá trình cháy ở điều kiện cho trước.

Việc tính toán này đã được thực hiện sơ bộ ở bước 2 thông qua các công thức thực nhiệm bằng cách sử dụng công cụ mô hình hóa toán học (MATLAB hoặc MATHCAD), và sẽ được tính toán chi tiết ở bước này thông qua công cụ mô phỏng số 3D phù hợp.

Việc phân tích phân bố lưu lượng khí qua mỗi vị trí trên buồng đốt (các vùng cháy và làm mát), phân tích dòng xung quanh các cơ cấu trên hệ thống buồng đốt, đảm bảo dòng khí xoáy và tuần hoàn ở vùng cháy chính, dòng khí đi vào các lỗ khí đủ mạnh và sâu để cung cấp khí cháy, dòng khí đi vào các lỗ làm mát cần được phân bố dọc theo thành buồng đốt để đóng vai trò làm mát hiệu quả. Phân tích và đảm bảo nhiệt độ trong và sau buồng đốt và sự phân bố trong không gian giống như định hướng thiết kế.

Thiết kế chi tiết ở bước này được tính toán và kiểm tra chủ yếu bằng phương pháp mô phỏng 3D dùng công cụ để mô phỏng cơ khí chất lỏng, khí động học và nhiệt động học trong các bài toán dòng chảy (CFD) để đánh giá các đặc tính khí động và nhiệt động của buồng đốt) thông qua việc đánh giá các kết quả và tham số sau:

- Lưu lượng khí đi qua mỗi vùng (vùng cháy chính, vùng cháy phụ, vùng làm mát, ...), kiểm tra và đánh giá bằng cách so sánh với tham số thiết kế ở phần trên. Lưu lượng này được phân bố theo nhu cầu phản ứng cháy (dựa trên nhiệt độ cháy thiết kế của từng vùng) và làm mát tại các vùng khác nhau trong lõi của buồng đốt (để đảm bảo nhiệt độ đầu vào tuabin cũng như khả năng chịu nhiệt của vỏ buồng đốt). Giá

trị cụ thể của lưu lượng khí qua mỗi lỗ có thể được tính toán bằng phương pháp giải tích sử dụng phần mềm MATLAB. Đối với buồng đốt dành cho động cơ phản lực 1 luồng, quy luật chung của sự phân bố này là: khoảng 10% đi qua cụm khí xoáy, khoảng 20% đi vào vùng cháy chính, 45% đi vào vùng cháy phụ và vùng làm mát, còn lại 25% dành cho việc làm mát thành buồng đốt (film cooling).

- Phân bố áp suất tổng của mỗi vùng, từ sau máy nén cho đến cuối buồng đốt, kiểm tra và đánh giá bằng cách so sánh với tham số thiết kế trước đó, đảm bảo nằm trong dải tính toán thiết kế ($\pm 5\%$). Qua đó đánh giá độ tổn thất qua từng vùng, cũng như hiệu suất cháy.
- Phân bố nhiệt độ của mỗi vùng, từ sau máy nén đến cuối buồng đốt, kiểm tra và đánh giá giá trị nhiệt độ này so với tham số thiết kế, đảm bảo nằm trong dải tính toán thiết kế ($\pm 5\%$). Thông thường nhiệt độ cao nhất sẽ nằm ở cuối vùng cháy chính (khoảng 2300K), và nhiệt độ đầu ra của buồng đốt sẽ tuân thủ thiết kế dự kiến (khoảng 1100-1200K). Các kết quả này sẽ được thể hiện một cách tương đối trong mô hình CFD.
- Phân bố dòng lạnh (khí từ máy nén) và nóng (dòng khí trộn lẫn nhiên liệu bên trong buồng đốt), đảm bảo tính tối ưu khí động của dòng cháy. Dòng lạnh có thể được mô hình hóa bằng mô hình khí động trong CFD, cung cấp kết quả tương đối về phân phối khí đi qua các lỗ trên buồng đốt. Dòng nóng phức tạp hơn vì đòi hỏi mô hình hóa cho dòng nhiều pha (khí / lỏng), cũng như mô hình cháy phù hợp dành cho Kerosene – đây đều là những lĩnh vực mới và vẫn đang trong quá trình hoàn thiện, trên thế giới chưa có mô hình thật sự tin cậy.

Tham chiếu Hình 9, kết quả tính toán CFD bằng phần mềm thiết kế mô phỏng kỹ thuật (ANSYS) bằng cách biểu hiện véc tơ vận tốc dòng chảy của khí và

nhiên liệu trong quá trình cháy, qua đó có thể đánh giá cụ thể phân bố dòng (lưu lượng khí qua mỗi lỗ ở phần cháy chính, phần cháy phụ và phần làm mát) cũng như đặc tính dòng (ở Hình 9 là biểu hiện trường vận tốc).

Quá trình tính toán các tham số này được thực hiện hoàn toàn tự động ngay sau khi nhận được dữ liệu đầu vào nêu trên. Quá trình này được thực hiện bằng chương trình tính toán (mô đun, phần mềm) được cài đặt trong hệ thống máy tính.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp thiết kế buồng đốt và hệ thống phun nhiên liệu cho động cơ phản lực một luồng bao gồm các bước sau:

bước 1: xác định yêu cầu và đặc tính kỹ thuật của động cơ phản lực một luồng để xây dựng chỉ tiêu và các ràng buộc về thiết kế đối với buồng đốt;

bước 2: xây dựng các tham số kỹ thuật của buồng đốt ở mức chi tiết; bước này được thực hiện dựa trên các ràng buộc thiết kế (lưu lượng khí từ máy nén, kích thước tổng thể của động cơ, nhiệt độ đầu vào tuabin) và đặc tính phun nhiên liệu, trộn khí-nhiên liệu hỗn hợp và đặc tính cháy của buồng đốt; trong đó các tham số kỹ thuật được xây dựng trong bước này bao gồm:

thể tích lõi buồng đốt được xác định thông qua khả năng chịu tải của buồng đốt và được ràng buộc bởi công thức,

$$L\left[\frac{\frac{kg}{s}}{bar^{1.8} \times m^3}\right] = \frac{m_a}{P^{1.8} \times V \times 10^{0.00145 \times (T-400)}}$$

đường kính trong của vỏ buồng đốt được xác định theo đường kính trục của động cơ (trục nối máy nén và tuabin), bị giới hạn bởi đường kính trục và một giá trị cận trên để đảm bảo đặc tính vận tốc khí đi vào các lỗ cháy và lỗ làm mát được đảm bảo);

đường kính ngoài của vỏ buồng đốt được tính toán dựa trên giá trị tham chiếu của thiết diện dòng khí đi ra từ máy nén (thiết diện này được xác định dựa trên lưu lượng khí từ máy nén, và vận tốc thiết kế đi vào buồng đốt, thông thường là khoảng mach 0.25 đến 0.30 dành cho buồng đốt loại vành khăn) ;

chiều cao của lõi buồng đốt bị giới hạn bởi các đường kính trong và ngoài của vỏ buồng đốt và được xác định dựa trên kết quả phân tích khí động của dòng khí đi vào buồng đốt, đảm bảo sự phân bố vận tốc theo thiết kế, đồng thời đảm bảo đủ không gian cho khí và nhiên liệu trộn lẫn trong quá trình cháy;

chiều dài lõi buồng đốt sau đó được tính toán qua công thức giải tích từ thể tích đã định trước; chiều dài này sẽ bao gồm chiều dài vùng cháy chính, chiều dài vùng cháy phụ và chiều dài vùng hòa trộn đảm bảo nhiên liệu còn lại được cháy hoàn toàn, và nhiệt độ của hỗn hợp sau khi cháy được làm mát bởi khí làm mát để đảm bảo nhiệt độ thiết kế vào tuabin;

các lỗ khí đi vào buồng đốt được thiết kế để có sự phân bố tối ưu của dòng khí đi vào buồng đốt từ dòng khí từ máy nén, lưu lượng đi qua mỗi lỗ được ước lượng thông qua công thức giải tích tương ứng với cấu hình thiết kế:

$$\dot{m}_h = C_D A_{h,geom} [2 \rho_3 (P_1 - p_j)]^{0.5}$$

trong đó C_D là hệ số tổn thất (discharge coefficient), A là diện tích của lỗ mà dòng khí đi qua, ρ là khối lượng riêng của khí, P_1 và P_j là áp suất trước và sau lỗ;

lựa chọn loại cụm khí xoáy phù hợp với buồng đốt và tính toán sơ bộ các đặc tính và tham số hình học của cụm khí xoáy như số lượng lá (khoảng sáu hoặc tám lá dành cho cụm khí xoáy loại bé), kích thước của cụm khí xoáy, góc quay của lá, độ giảm áp suất dòng khí trước và sau cụm khí xoáy, lưu lượng khí đi qua cụm khí xoáy dòng thẳng được định lượng bởi công thức giải tích:

$$\dot{m}_{sw} = \left\{ \frac{2 \rho_3 \Delta P_{sw}}{K_{sw} [(\sec \theta / A_{sw})^2 - 1 / A_L^2]} \right\}^{0.5}$$

trong đó ΔP là độ giảm áp suất tổng qua cụm khí xoáy, A_{sw} là diện tích mặt của cụm khí xoáy cho khí đi qua, A_L là diện tích mặt thiết diện của của phần còn lại của buồng đốt mà dòng khí đi qua, θ là góc nghiêng của cánh trên cụm; lựa chọn

loại vòi phun nhiên liệu phù hợp với buồng đốt, và tính toán sơ bộ các đặc tính và tham số hình học của vòi phun như kích thước lỗ phun, góc phun, độ giảm áp trong vòi phun; thông thường kích thước hạt càng mịn càng tốt, tạo ra nhiên liệu dưới dạng sương dễ hòa trộn và cháy cùng với khí, kích thước này thông thường dưới 100 micromet và càng bé càng tốt để có được chất lượng sương tốt; góc phun nhiên liệu được lựa chọn để phù hợp với vùng cháy chính trong thiết kế, thông thường góc này nằm trong khoảng 70-100 độ để tối ưu vùng cháy (góc bé quá sẽ yêu cầu vùng cháy chính dài ra, góc lớn quá sẽ không có tỷ lệ trộn khí và nhiên liệu tối ưu);

bước 3: dựng 3D buồng đốt và các cơ cấu tương ứng; bước này được thực hiện dựa trên tham số thiết kế có tính đến các đặc thù gia công kim loại tấm dành riêng cho buồng đốt; tại bước này, các cơ cấu tương ứng được thực hiện tại phần mềm dựng hình 3D với các đặc trưng riêng của buồng đốt như kim loại dạng tấm (metal sheet) và phương pháp gia công đặc thù (uốn, cắt laser, hàn laser và đục tạo lỗ trên bề mặt); các đặc trưng của việc gia công và chế tạo, tích hợp sẽ được thể hiện trong quá trình xây dựng và thiết kế chi tiết 3D thông qua các bước khai báo và dựng hình đặc biệt; thứ tự và cách sắp xếp các chi tiết trên tấm kim loại cũng được tính đến trong quá trình dựng 3D, để đảm bảo tấm kim loại sau khi uốn thành hình trụ vẫn thỏa mãn yêu cầu thiết kế;

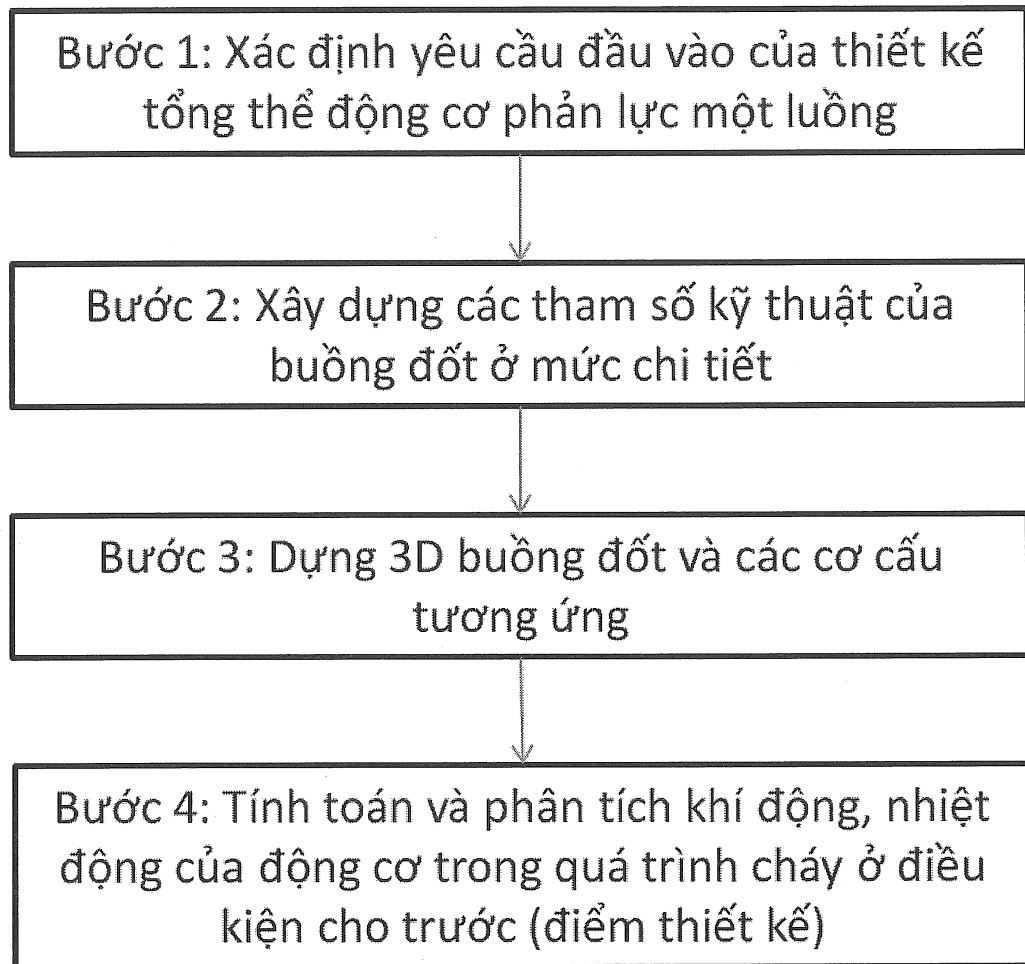
số lượng và kích thước các lỗ trên bề mặt lõi buồng đốt (lỗ cháy chính, lỗ cháy phụ, lỗ hòa trộn và lỗ làm mát) sẽ được kiểm soát ở dạng tham số để giúp cho quá trình thay đổi và tối ưu thiết kế được diễn ra thuận lợi và có kiểm soát;

bước 4: tính toán và phân tích khí động, nhiệt động của động cơ trong quá trình cháy ở điều kiện cho trước (điểm thiết kế); bước này có chức năng để đánh giá và tối ưu thiết kế;

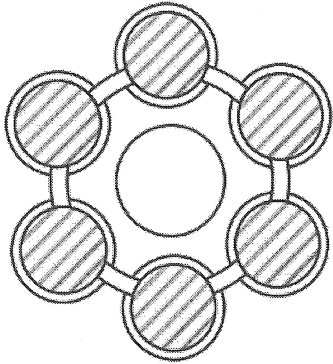
cụ thể, cần tiến hành tính toán các thông số khí động, nhiệt động thông qua công cụ mô phỏng số 3D bằng cách biểu hiện véc tơ vận tốc dòng chảy của khí và

nhiên liệu trong quá trình cháy, phân tích phân bố lưu lượng khí qua mỗi vị trí trên buồng đốt (các vùng cháy và làm mát), phân tích dòng xung quanh các cơ cấu trên hệ thống buồng đốt, đảm bảo dòng khí xoáy và tuần hoàn ở vùng cháy chính, dòng khí đi vào các lỗ khí đủ mạnh và sâu để cung cấp khí cháy, dòng khí đi vào các lỗ làm mát cần được phân bố dọc theo thành buồng đốt để đóng vai trò làm mát hiệu quả, phân tích và đảm bảo nhiệt độ trong và sau buồng đốt và sự phân bố trong không gian giống như định hướng thiết kế.

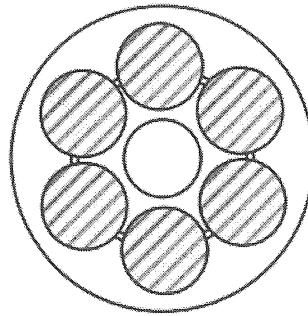
Hình vẽ



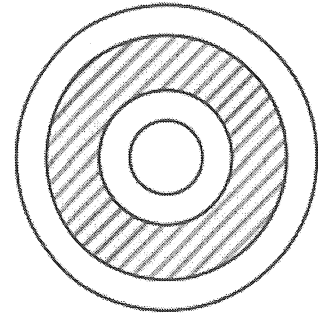
Hình 1



Buồng đốt
dạng ống

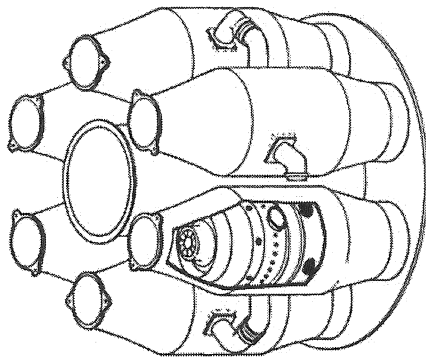


Buồng đốt dạng
ống-vành khăn

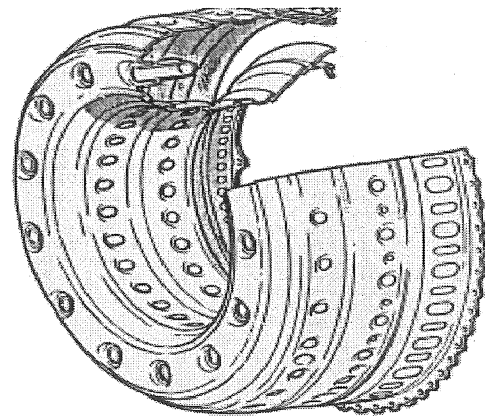


Buồng đốt dạng
vành khăn

Hình 2

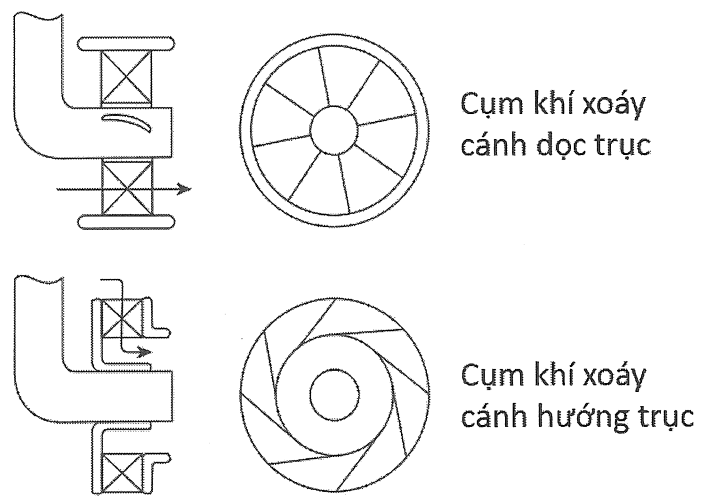


Buồng đốt
dạng ống

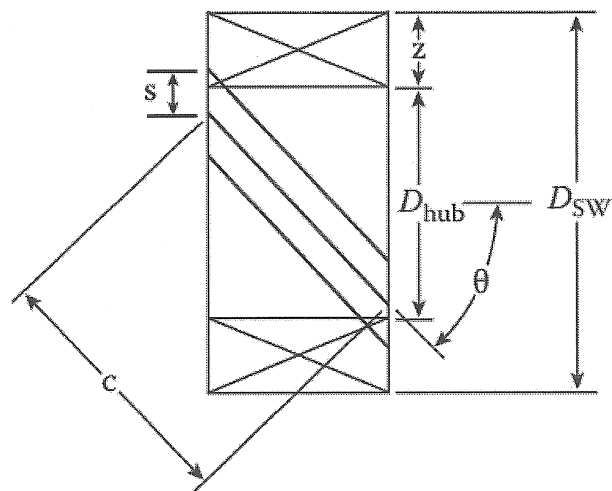


Buồng đốt dạng
vành khăn

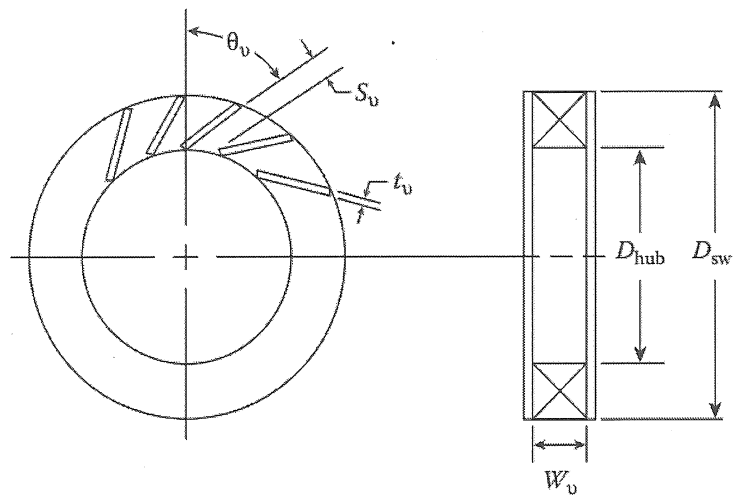
Hình 3



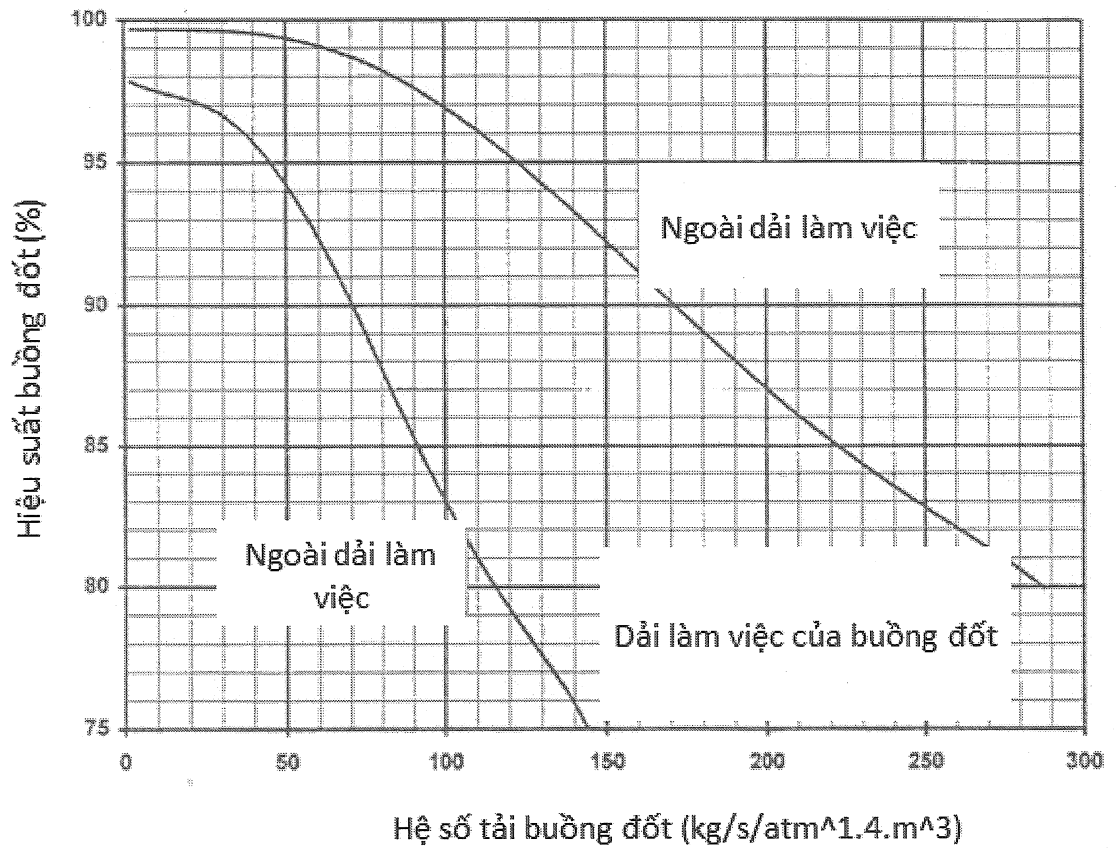
Hình 4



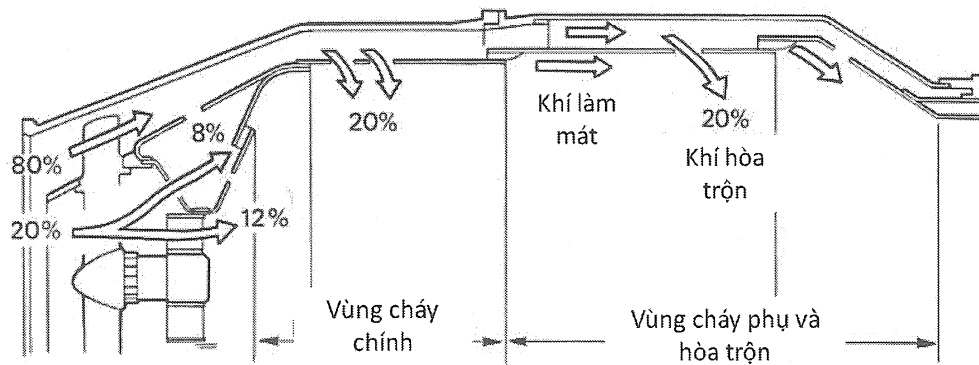
Hình 5



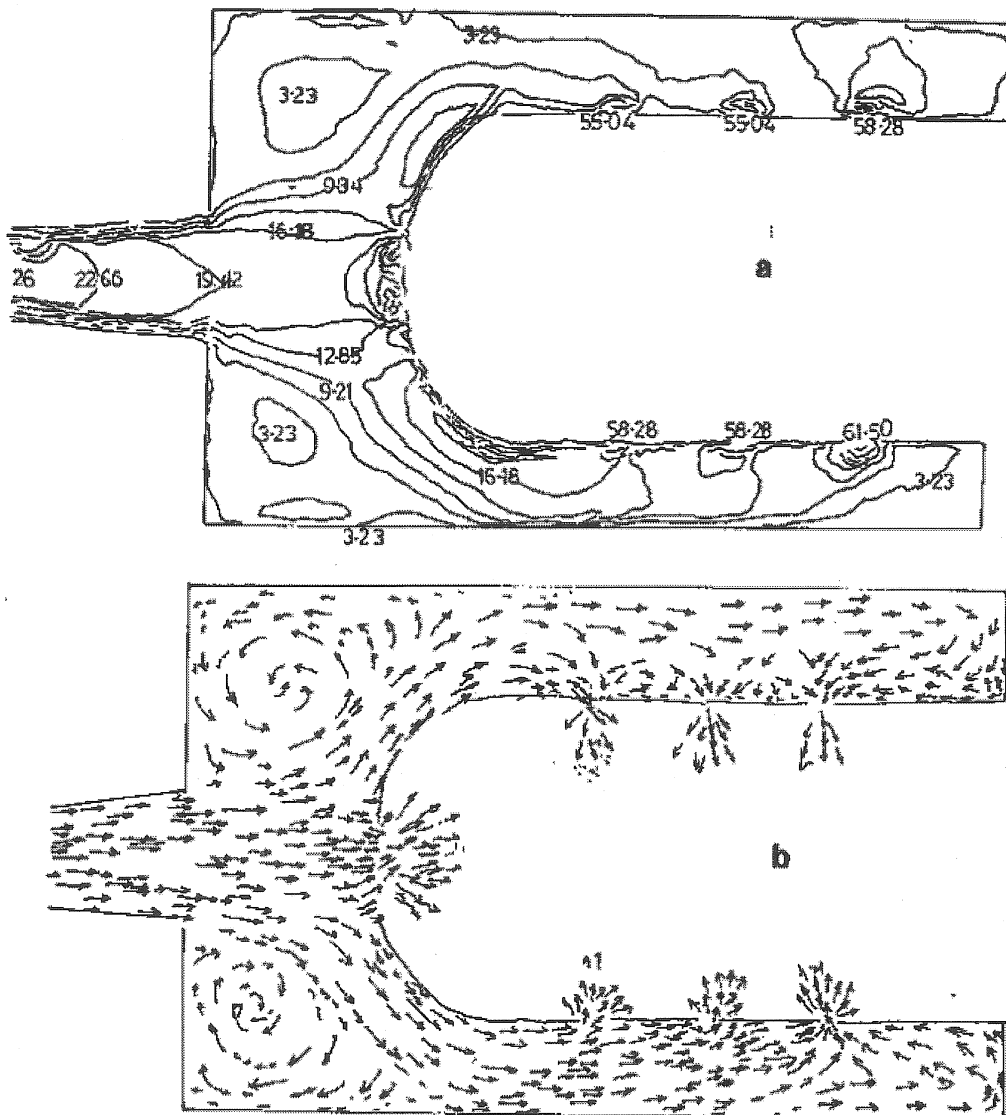
Hình 6



Hình 7



Hình 8



Hình 9