

Chương 10

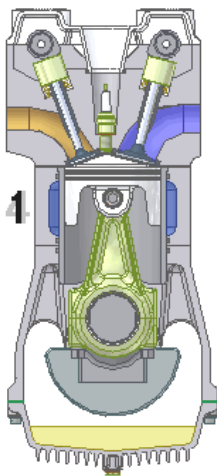
CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG VÀ ĐỘNG CƠ TUA BIN KHÍ

Chu trình động cơ đốt trong và động cơ tua bin khí là các chu trình của chất công tác nhận nhiệt để sinh công. Đó là chu trình thuận chiều, trên đồ thị $p-v$ và $T-s$ chiều của chu trình cùng chiều quay của kim đồng hồ.

A. CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

10.1 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG CẤP NHIỆT ĐẲNG TÍCH

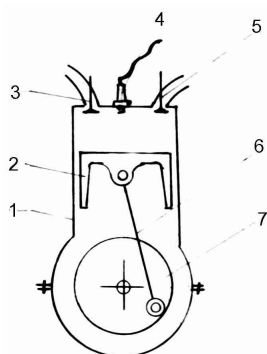
1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc



Nhiên liệu dùng cho động cơ là xăng. Xăng được hoà trộn với không khí dưới dạng sương mù ở bộ chế hoà khí để cấp cho động cơ làm việc.

Các quá trình làm việc của động cơ tiến hành như sau:

- Piston di chuyển từ điểm chết trên (ĐCT) xuống điểm chết dưới (DCD), van nạp 3 mở, hỗn hợp được nạp vào động cơ theo quá trình đẳng áp a1.
- Piston từ ĐCD di chuyển lên ĐCT, hai van đóng, hỗn hợp được nén tới áp suất và nhiệt độ cao theo quá trình đoạn nhiệt 12.
- Piston tại ĐCT, bugi 4 bật tia lửa điện làm hỗn hợp bốc cháy tạo thành quá trình cấp nhiệt đẳng tích 23.
- Khí cháy giãn nở đẩy piston từ ĐCT xuống ĐCD sinh công theo quá trình đoạn nhiệt 34.
- Piston tới ĐCD, van thải 5 mở, khí cháy thoát ra ngoài theo quá trình đẳng tích 41.
- Piston từ ĐCD lên ĐCT, van thải 5 tiếp tục mở, khí cháy bị đẩy ra ngoài theo quá trình 1a.



Hình 10.1 Sơ đồ động cơ

- 1- xy lanh
- 2- piston
- 3- van nạp
- 4- van thải
- 5- bu gi
- 6- tay biên
- 7- bánh đà trục khuỷu

Hình 10.2. Nguyên lý làm việc

- a-1 nạp hỗn hợp vào xy lanh
- 1-2 nén đoạn nhiệt hỗn hợp
- 2-3 cháy đẳng tích
- 3-4 giãn nở đoạn nhiệt khí cháy sinh công
- 4-1 thải nhiệt đẳng tích
- 1-a đẩy khí cháy ra khỏi xy lanh
- a-1 và 1-a ngược nhau nên được loại khỏi chu trình

Do quá trình nạp hỗn hợp vào xy lanh và đẩy khí cháy ra ngoài là đẳng áp ngược chiều nhau nên được loại ra khỏi chu trình. Bởi vậy chu trình của động cơ là 12341.
Mặc dù động cơ làm việc với hỗn hợp không khí và xăng trong quá trình nén, và khí chsya trong quá trình cháy và giãn nở nhưng chất công tác vẫn coi là không khí.

2 Tính hiệu suất nhiệt

$$\eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$$

Trong đó $q_1 = q_{2-3} = c_v(T_3 - T_2)$
 $|q_2| = q_{4-1} = c_v(T_4 - T_1)$

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Các thông số đặc trưng : tỷ số nén $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad \varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$, tỷ số tăng áp: $\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad \lambda = \frac{p_3}{p_2}$

- Xét quá trình 1-2 (đoạn nhiệt) : $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$, vậy: $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$
 $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

- Xét quá trình 2-3 (đẳng tích) : $\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda \quad \frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda$, vậy: $T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$
 $T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$

- Xét quá trình 3-4 (đoạn nhiệt) :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}, \text{ vậy :}$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda \quad T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda$$

Từ đó có :

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

(10.1)

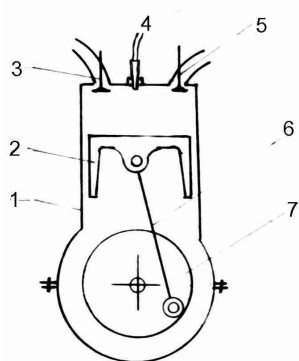
Nhận xét : Hiệu suất nhiệt tăng khi tăng tỷ số nén ε . Nhưng khi tăng ε quá cao, hỗn hợp bị nén tới áp suất nhiệt độ cao quá có thể tự cháy gây va đập có hại cho động cơ nên ε không thể lớn quá 10.

10.2 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG CẤP NHIỆT ĐẲNG ÁP

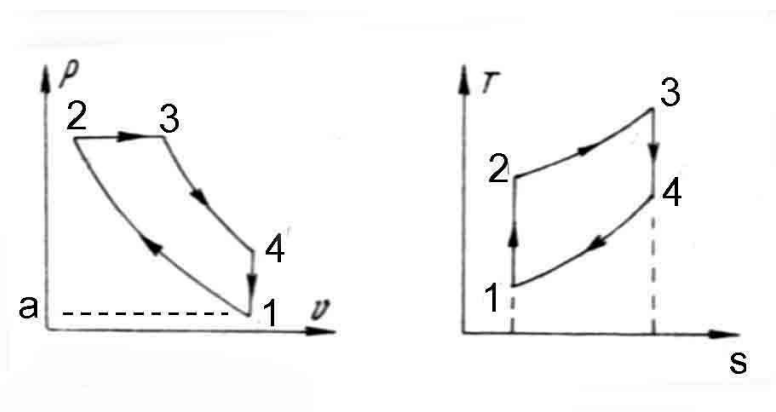
1 Sơ đồ và nguyên lý làm việc

Nhiên liệu dùng cho động cơ là dầu diesel. Dầu diesel được nén trong bơm cao áp lên áp suất rất cao tới 140 at để phun vào động cơ. Các quá trình hoạt động của động cơ tiến hành như sau:

- Piston di chuyển từ ĐCT xuống ĐCD, van nạp 3 mở, không khí được nạp vào động cơ theo quá trình đẳng áp a1.
- Piston từ ĐCD di chuyển lên ĐCT, hai van đóng, hỗn hợp không khí được nén tới áp suất và nhiệt độ khá cao theo quá trình đoạn nhiệt 12.
- Piston tại ĐCT, nhiên liệu được bơm cao áp nén, qua vòi phun 4, nhiên liệu phun ở dạng sương vào không khí nén có nhiệt độ cao trong xy lanh tự bốc cháy. Quá trình cháy kéo dài trong thời gian phun nhiên liệu, khí cháy hình thành giãn nở đẩy piston di chuyển làm quá trình trở thành cấp nhiệt đẳng áp 23.
- Khí cháy giãn nở đẩy piston từ ĐCT xuống ĐCD sinh công theo quá trình đoạn nhiệt 34.
- Piston tới ĐCD, van thải 5 mở, khí cháy thoát ra ngoài theo quá trình đẳng tích 41.
- Piston từ ĐCD lên ĐCT, van thải 5 tiếp tục mở, khí cháy bị đẩy ra ngoài theo quá trình 1a.



Hình 10.3 Sơ đồ động cơ



Hình 10.4. Nguyên lý làm việc

- 1-xy lanh
- 2- pít tông
- 3- van nạp
- 4- van thải
- 5- vòi phun nhiên liệu
- 6- tay biên
- 7- bánh đà trục khuỷu

- a-1 nạp không khí vào xy lanh
- 1-2 nén đoạn nhiệt không khí
- 2-3 cháy đẳng áp
- 3-4 giãn nở đoạn nhiệt khí cháy sinh công
- 4-1 thải nhiệt đẳng tích
- 1-a đẩy khí cháy ra khỏi xy lanh
- a-1 và 1-a ngược nhau nên được loại khỏi chu trình

Tương tự như chu trình cấp nhiệt đẳng tích, quá trình nạp không khí và thải khí cháy được loại khỏi chu trình nên chu trình của động cơ là 12341, và chất công tác vẫn coi là không khí.

2 Tính hiệu suất nhiệt

$$\eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$$

Trong đó $q_1 = q_{2-3} = c_p (T_3 - T_2)$
 $q_2 = q_{4-1} = c_v (T_4 - T_1)$

Các thông số đặc trưng : tỷ số nén $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$, tỷ số giãn nở sớm: $\rho = \frac{v_3}{v_2}$ $\rho = \frac{v_3}{v_2}$

- Xét quá trình 1-2 (đoạn nhiệt) : $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$, vậy : $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$
 $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

- Xét quá trình 2-3 (đẳng áp) : $\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_2}{v_3} = \rho$ $\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_2}{v_3} = \rho$, vậy:
 $T_3 = T_2 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho$ $T_3 = T_2 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho$

- Xét quá trình 3-4 (đoạn nhiệt) :

$$\frac{T_4}{T_3} \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} \frac{T_4}{T_3} \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} , \text{ vậy :}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho \varepsilon^{k-1} \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho^k T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho \varepsilon^{k-1} \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho^k$$

Thay vào η sẽ được :

$$\eta = 1 - \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho-1) \varepsilon^{k-1}} \eta = 1 - \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho-1) \varepsilon^{k-1}}$$

(10.2)

Nhận xét : Hiệu suất nhiệt tăng khi tăng tỷ số nén, không khí có thể nén tới áp suất cao hơn động cơ đẳng tích , ε lên tới 14-15. Nhưng cũng do hành trình pít tông lớn nên tốc độ động cơ không thể đạt cao bằng động cơ đẳng tích.

10.3 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG CẤP NHIỆT HỖN HỢP

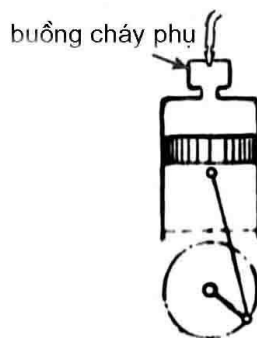
1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc

Nhiên liệu cấp cho động cơ hoạt động là dầu điêzen, khi phun vào không nén có nhiệt độ cao sẽ tự cháy. Các quá trình làm việc của động cơ cấp nhiệt hỗn hợp tương tự như động cơ cấp nhiệt đẳng áp, chỉ khác ở quá trình cấp nhiệt hỗn hợp.

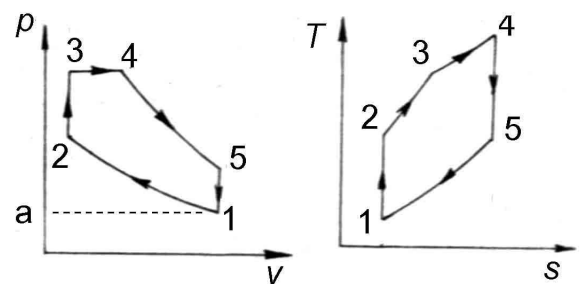
Buồng cháy phụ là một không gian nhỏ:

- Buồng cháy phụ nằm trên đỉnh xy lanh gọi là buồng cháy phụ trực tiếp

- Buồng cháy phụ nằm ở đỉnh pít tông gọi là buồng cháy phụ gián tiếp.



Hình 10.5
Sơ đồ động cơ



Hình 10.6. Nguyên lý làm việc

Quá trình cháy gồm 2 giai đoạn :

- Cháy tức thời trong buồng cháy phụ tạo thành cháy đẳng tích
- Cháy trong buồng cháy chính đồng thời giãn nở tạo thành quá trình cháy đẳng áp.

Các quá trình làm việc của động cơ gồm :

a-1 nạp không khí vào xy lanh
 1-2 nén đoạn nhiệt không khí
 2-3 cháy đẳng tích
 3-4 cháy đẳng áp

4-5 dẫn nở đoạn nhiệt khí cháy sinh công
 5-1 thải nhiệt đẳng tích
 1-a đẩy khí cháy ra khỏi xy lanh
 a-1 và 1-a ngược nhau nên được loại khỏi chu trình

2. Tính hiệu suất nhiệt

$$\eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$$

Trong đó $q_1 = q_{23} + q_{34} = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)$
 $q_2 = q_{51} = c_v(T_5 - T_1)$

$$\eta = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)} \quad \eta = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)}$$

Các thông số đặc trưng :

$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$, gọi là tỷ số nén; $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$ $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$, gọi là tỷ số tăng áp; $\rho = \frac{v_4}{v_3}$ $\rho = \frac{v_4}{v_3}$, gọi là tỷ số giãn nở sớm

- Xét quá trình 1-2 (đoạn nhiệt) : $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$, vậy: $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$
 $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

- Xét quá trình 2-3 (đẳng tích) : $\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda$ $\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda$, vậy: $T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$
 $T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$

- Xét quá trình 3-4 (đẳng áp) : $\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho$ $\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho$, vậy:
 $T_4 = T_3 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho \lambda$ $T_4 = T_3 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho \lambda$

- Xét quá trình 4-5 (đoạn nhiệt) :

$\frac{T_5}{T_4} \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3 \rho}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1}$ $\frac{T_5}{T_4} \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3 \rho}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1}$, vậy:
 $T_5 = T_4 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho \varepsilon^{k-1} \lambda \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho^k \lambda$ $T_5 = T_4 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho \varepsilon^{k-1} \lambda \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{k-1} = T_1 \rho^k \lambda$

Thay vào η được :

$$\eta = 1 - \frac{\lambda \rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)]} \quad \eta = 1 - \frac{\lambda \rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k \lambda (\rho - 1)]}$$

(10.3)

Nhận xét : Có thể suy ra hiệu suất nhiệt của động cơ cấp nhiệt đẳng tích và động cơ cấp nhiệt đẳng áp từ động cơ cấp nhiệt hỗn hợp:

khi $\rho = 1$, hiệu suất nhiệt chu trình hỗn hợp trở thành chu trình đẳng tích:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

khi $\lambda = 1$, hiệu suất nhiệt chu trình hỗn hợp trở thành chu trình đẳng áp:

$$\eta = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)\varepsilon^{k-1}} \quad \eta = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)\varepsilon^{k-1}}$$

10.4 SO SÁNH HIỆU SUẤT NHIỆT CỦA 3 LOẠI CHU TRÌNH

1. Khi cùng tỷ số nén ε và q_1

Khi có cùng tỷ số nén ε , các chu trình sẽ có cùng điểm 1, 2.

Do có cùng q_1 nên chu trình cấp nhiệt đẳng tích có quá trình 2-3 cao nhất nên diện tích có bề ngang hẹp nhất, tức q_2 nhỏ nhất.

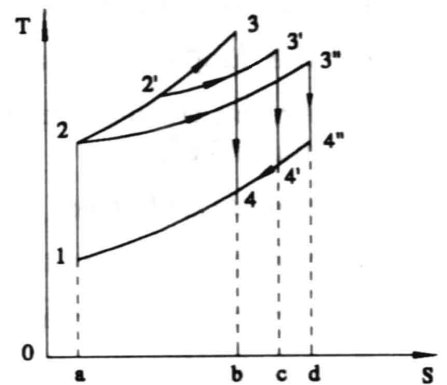
Chu trình cấp nhiệt đẳng áp có quá trình 2-3' thấp nhất nên diện tích có bề ngang rộng nhất, diện tích hẹp ngang nhất, tức q_{2P} của chu trình cấp nhiệt đẳng áp lớn nhất.

Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp có đặc tính trung gian của hai chu trình trên.

Vậy: $q_{2V} < q_{2hh} < q_{2P}$, mà $q_{1V} = q_{1hh} = q_{1P}$

$$\text{Từ: } \eta = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

rút ra: $\eta_V > \eta_{hh} > \eta_P$



Hình 10.7. So sánh hiệu suất nhiệt khi có cùng tỷ số nén ε và q_1

2 Khi cùng q_2 và $T_{\max}$ $p_{\max}$

Khi có cùng q_2 các chu trình sẽ có cùng diện tích dưới đường 4-1.

Do cùng T_3 , p_3 nên chu trình cấp nhiệt đẳng tích có quá trình cấp nhiệt 2-3 thấp nhất ứng với diện tích nhỏ nhất, hay q_1 nhỏ nhất.

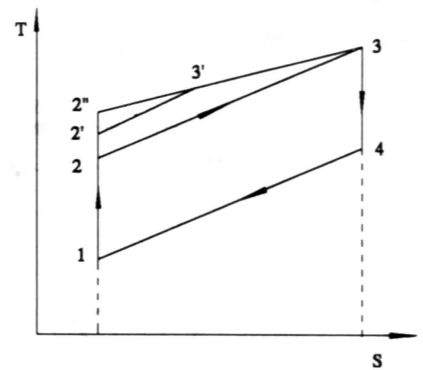
Chu trình cấp nhiệt đẳng áp có quá trình cấp nhiệt 2'-3' cao nhất, diện tích lớn nhất tức q_1 lớn nhất.

Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp có đặc tính trung gian của hai chu trình trên.

Vậy: $q_{1V} < q_{1hh} < q_{1P}$, mà $q_{2P} = q_{2hh} = q_{2V}$.

$$\text{Từ: } \eta = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

rút ra: $\eta_P > \eta_{hh} > \eta_V$



Hình 10.8. So sánh hiệu suất nhiệt khi có cùng T_3 , p_3 và q_2

B. CHU TRÌNH TUA BIN KHÍ VÀ ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC

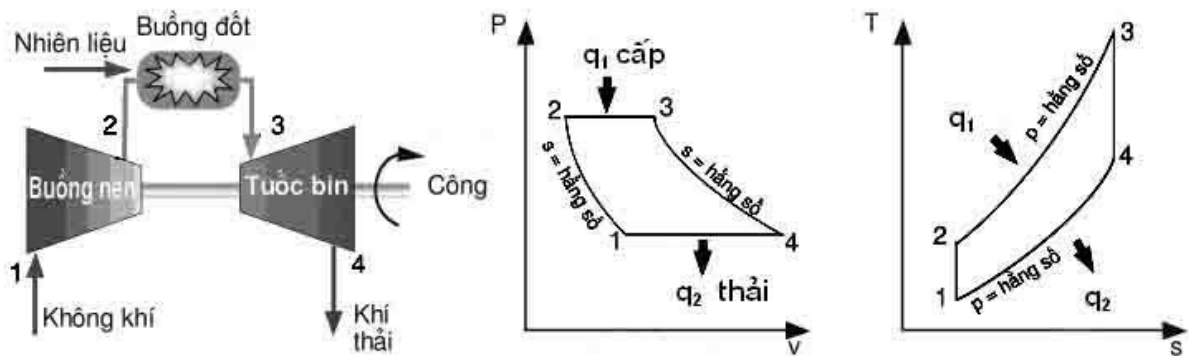
Động cơ tuabin khí là loại động cơ nhiệt dạng rotor, chất công tác là không khí do kỹ sư người Mỹ George Brayton (1830-1892) phát minh năm 1872. Động cơ gồm ba bộ phận chính là máy nén tuabin ; buồng đốt đẳng áp loại hở; và động cơ tuabin khí. Máy nén có trục liên với trục động cơ tua bin để khi tua bin quay làm quay máy nén.

So với động cơ Diesel là động cơ piston rất thông dụng thì động cơ tua bin khí có một số yếu điểm: yêu cầu công nghệ chế tạo rất cao nên rất đắt, chỉ một vài nước có công nghệ tiên tiến mới chế tạo được động cơ này; có hiệu suất nhiệt thấp, bằng khoảng 2/3 so hiệu suất động cơ Diesel, nên tính kinh tế kém hơn, hiệu suất giảm sút nhanh khi chạy ở chế độ thấp tải.

Nhưng ưu điểm nổi bật của động cơ tua bin khí là cho công suất cực mạnh với một khối lượng động cơ nhỏ và kích thước gọn: chỉ số công suất riêng (mã lực/kg) của loại động cơ này lớn gấp hàng chục lần động cơ diesel. Do vậy loại động cơ này có vị trí áp đảo trong ngành hàng không nên được lắp cho hầu hết các loại máy bay và trực thăng.

10.5 CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ TUABIN KHÍ CẤP NHIỆT ĐẲNG ÁP

1 Sơ đồ và nguyên lý làm việc



Hình 10.9. Sơ đồ và nguyên lý làm việc của động cơ tuabin khí.

- 1-2: Nén đoạn nhiệt tại máy nén ($s = \text{const}$);
- 2-3: Cháy đẳng áp tại buồng đốt
- 3-4: Giãn nở sinh công đoạn nhiệt tại tuốc bin ($s = \text{const}$)
- 4-1: Thải nhiệt đẳng áp ra bên ngoài

Máy nén khí quay làm không khí hút vào máy nén và được nén lên áp suất và nhiệt độ cao theo quá trình đoạn nhiệt 12, rồi được đẩy vào buồng đốt. Tại buồng đốt, nhiên liệu là dầu được phun vào gặp không khí nén có nhiệt độ cao sẽ bốc cháy, nhiệt độ khí cháy tăng cao đồng thời giãn nở nên áp suất cháy không đổi theo quá trình đẳng áp 23. Ra khỏi buồng đốt nhiệt độ khí cháy có vận tốc rất cao được phun vào dây cánh tuabin làm quay tuabin và giãn

nở theo quá trình đoạn nhiệt 34 sinh công. Tua bin quay, một phần mô men của trục cấp cho máy nén và một phần còn lại sẽ cấp cho bộ phận nhận công bên ngoài. Ra khỏi tua bin, khí cháy được thải ra ngoài theo quá trình thải đẳng áp 41.

Trong quá trình thải, áp suất khí cháy bằng bên ngoài, nhưng nhiệt độ và tốc độ còn khá lớn, nên vẫn còn năng lượng. Dòng khí thải tiếp tục sinh công có ích tùy thuộc theo thiết kế của từng dạng động cơ: phụt thẳng ra ngoài tạo ra phản lực nếu là động cơ phản lực của máy bay; hoặc làm quay động cơ tuốc bin tự do khác để sinh công hữu ích.

2 Hiệu suất nhiệt

Các thông số đặc trưng của chu trình:

Tỷ số tăng áp : $\beta = \frac{p_2}{p_1} \beta = \frac{p_2}{p_1}$; Hệ số giãn nở sớm : $\rho = \frac{v_3}{v_2} \rho = \frac{v_3}{v_2}$

Hiệu suất nhiệt : $\eta = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \eta = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$

Trong đó:

q_1 là lượng nhiệt cấp vào trong quá trình cháy đẳng áp 23: $q_1 = c_p(T_3 - T_2)$
 $q_1 = c_p(T_3 - T_2)$

$|q_2|$ là lượng nhiệt thải ra trong quá trình cháy đẳng áp 41: $|q_2| = c_p(T_4 - T_1)$
 $|q_2| = c_p(T_4 - T_1)$

từ đó

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

(10.4)

- Xác định T_2 : Quá trình đoạn nhiệt 12 có: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}}$, vậy:
 $T_2 = T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}} T_2 = T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}}$

Xác định T_3 : Quá trình đẳng áp 23 có: $\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho$, vậy:
 $T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho$

Xác định T_4 : Quá trình đoạn nhiệt 34 có:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{1}{\beta}\right)^{\frac{k-1}{k}} \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{1}{\beta}\right)^{\frac{k-1}{k}}, \text{ vậy:}$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \cdot \rho T_4 = \frac{T_3}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \cdot \rho$$

Thay vào (10.4) có:

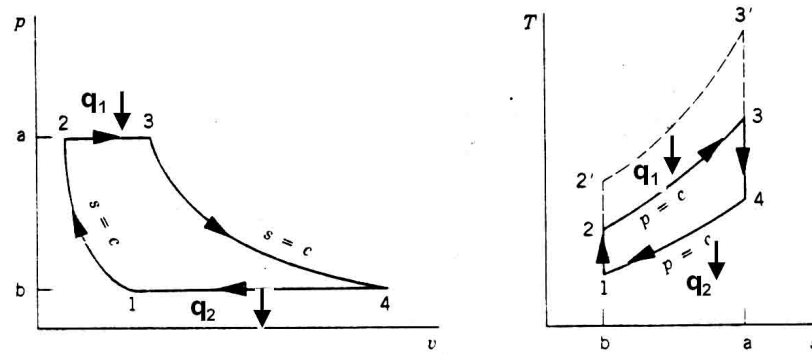
$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{c_p T_1 (\rho - 1)}{c_p T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} (\rho - 1)} \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{c_p T_1 (\rho - 1)}{c_p T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} (\rho - 1)}$$

Vậy:

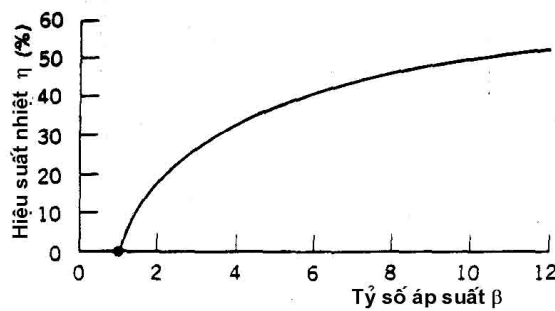
$$\eta = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad \eta = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}$$

(10.5)

Như vậy hiệu suất nhiệt của động cơ tuốc bin khí sẽ tăng khi tăng hệ số tăng áp β .



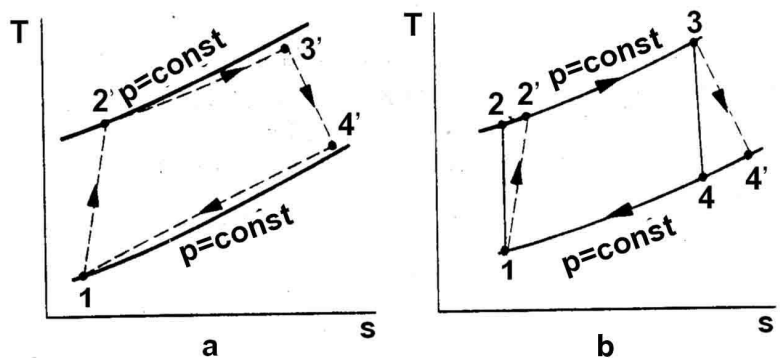
Hình 10.10. Khi tăng tỷ số tăng áp, q_1 sẽ tăng theo đường $2'3'$.



Hình 10.11. Hiệu suất nhiệt phụ thuộc vào tỷ số tăng áp β .

3. Các tổn thất và chu trình thực của động cơ tua bin khí

Trong thực tế quá trình nén khí trong máy nén và quá trình giãn nở trong các dãy cánh của động cơ tua bin có tổn thất áp suất làm entropi trong các quá trình nén và giãn nở tăng lên. Bởi vậy điểm 2' cuối quá trình nén và điểm 4' cuối quá trình giãn nở dịch sang bên phải. Mặt khác trong quá trình cháy và thải có tổn thất áp suất nên quá trình cháy thực tế $2'3'$ có áp suất thấp hơn lý thuyết, quá trình thải thực tế $4'1$ có áp suất lớn hơn lý thuyết để thải ra bên ngoài. Bởi vậy chu trình thực tế là $12'3'4'1$, như hình 10.11a. Tuy nhiên chênh lệch áp suất trong quá trình cháy và thải không đáng kể nên thường được bỏ qua. Bởi vậy chu trình được coi như trên hình 10.11b.



Hình 10.12. Tồn thất và chu trình thực

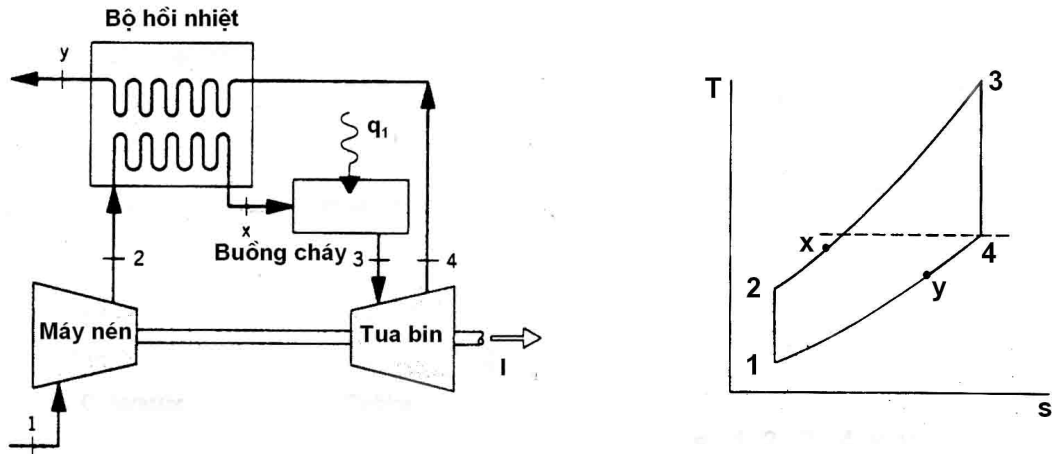
5. Các đặc điểm của động cơ tua bin khí

- Động cơ tua bin là loại động cơ rotor, trong đó các bộ phận công tác chính là máy nén và tuabin khí chỉ có chuyển động quay một chiều, nên đạt được tốc độ cao công suất lớn, khác với động cơ piston có bộ phận công tác chính là piston của xi lanh chuyển động tịnh tiến, không thể đạt tốc độ cao được.
- Động cơ tua bin là loại động cơ hở : không gian làm việc của động cơ là không gian mở, không khí từ lối vào của máy nén qua buồng đốt và ra khỏi tuốc bin đều chuyển động qua các không gian hở không bị đóng kín. Bởi vậy quá trình cháy trong buồng đốt là quá trình cháy đẳng áp, áp suất trong buồng đốt không cao hơn áp suất ra khỏi máy nén, khí cháy có nhiệt độ cao đảm bảo không thổi ngược lại máy nén.
- Các quá trình xảy ra liên tục. Chu trình nhiệt động của động cơ tuốc bin khí là chu trình Brayton. Về cơ bản, giống với chu trình động cơ piston cấp nhiệt đẳng áp. Nhưng ở động cơ piston tất cả các quá trình diễn ra lần lượt, kế tiếp trong xi lanh động cơ một cách gián đoạn. Còn tại động cơ tuốc bin khí các quá trình này diễn ra liên tục và đồng thời tại các bộ phận khác nhau nên là yếu tố quyết định tính công suất cao của động cơ.

10.6 CHU TRÌNH TUA BIN KHÍ CÓ HỒI NHIỆT

Do khí cháy thải ra khỏi tua bin còn nhiệt độ khá lớn, nên mang năng lượng lớn. Để tận dụng năng lượng này, có thể đưa về bộ hồi nhiệt để cấp nhiệt cho không khí sau khi nén từ máy nén ra. Đó chính là nguyên tắc của chu trình tua bin khí có hồi nhiệt.

1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc



Hình 10.13. Sơ đồ và nguyên lý làm việc của chu trình tua bin khí có hồi nhiệt.

Khí cháy ra khỏi tua bin có nhiệt độ cao được đưa về bộ hồi nhiệt để truyền nhiệt cho không khí nén từ máy nén ra. Bộ hồi nhiệt là thiết bị trao đổi nhiệt kiểu bề mặt, dòng khí cháy và không khí nén chuyển động ngược chiều nhau và truyền nhiệt cho nhau qua bề mặt truyền nhiệt. Nhiệt độ khí cháy giảm từ T_4 xuống T_Y , nhiệt độ không khí nén tăng lên từ T_2 đến T_X . Trong chu trình lý tưởng, quá trình truyền nhiệt được coi là thuận nghịch, nghĩa là:

$$T_X \cong T_4, \text{ và } T_Y \cong T_2$$

2. Hiệu suất nhiệt của chu trình

Hiệu suất nhiệt tính theo :

$$\eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad \eta = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$$

Trong đó:

q_1 là lượng nhiệt cấp vào do nhiên liệu cháy trong quá trình đẳng áp X3: $q_1 = c_p(T_3 - T_X)$
 $q_1 = c_p(T_3 - T_X)$

q_2 là lượng nhiệt mất đi do thải ra môi trường trong quá trình đẳng áp 4Y: $|q_2| = c_p(T_Y - T_1)$
 $|q_2| = c_p(T_Y - T_1)$

mà $T_Y = T_2$; $T_X = T_4$, nên $q_1 = c_p(T_3 - T_4)$; $|q_2| = c_p(T_2 - T_1)$
 $|q_2| = c_p(T_2 - T_1)$

$$\eta = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_4}{T_3} \right)} \quad \eta = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_4}{T_3} \right)}$$

Từ đó có:

12 là đoạn nhiệt nên: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$; 34 là đoạn nhiệt nên: $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}$
 $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}$;

$$\eta = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{T_3 \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \eta = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{T_3 \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

dẫn tới:

Vậy:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_3} \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \eta = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

(10.6)

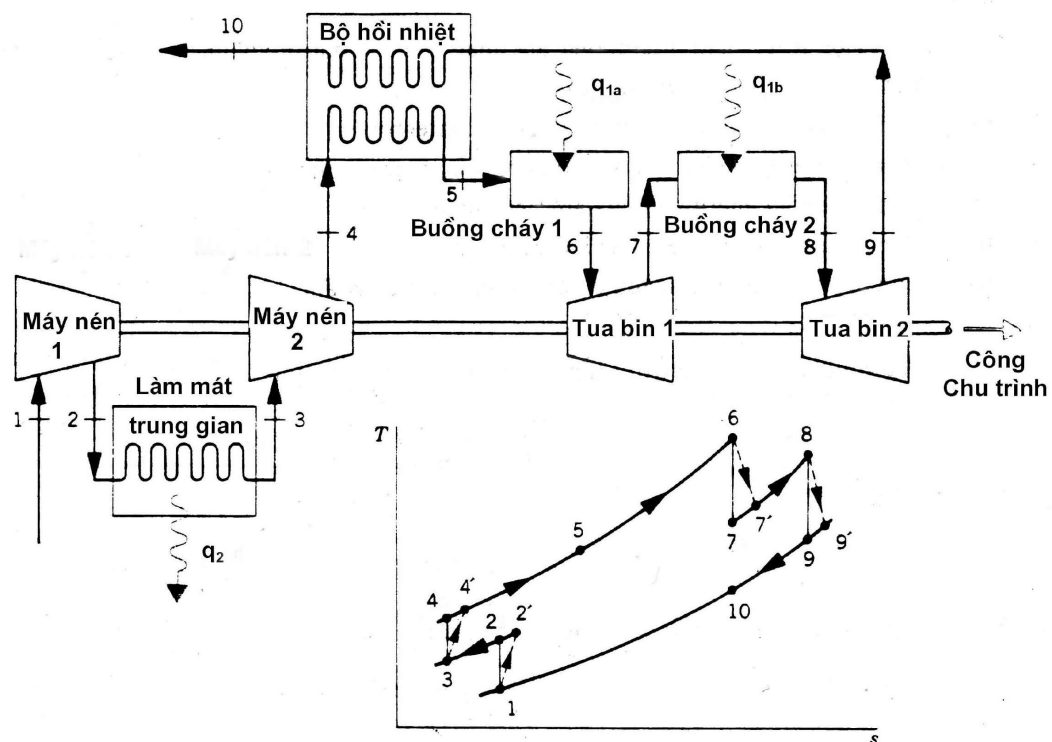
Thấy rằng hiệu suất nhiệt của chu trình hồi nhiệt lý tưởng phụ thuộc vào tỷ số tăng áp khi nén và cả tỷ số giữa nhiệt độ cực tiểu và cực đại của chu trình.

10.7. CHU TRÌNH TUA BIN KHÍ CÓ HỒI NHIỆT VÀ LÀM MÁT TRUNG GIAN

1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc

Chu trình lý tưởng bao gồm các quá trình sau:

- 12 - Quá trình nén không khí đoạn nhiệt trong máy nén 1
- 23 - Làm mát đẳng áp không khí nén trong bộ làm mát trung gian
- 34 - Quá trình nén không khí đoạn nhiệt trong máy nén 2
- 45 - Khí nén nhận nhiệt từ khí cháy trong quá trình đẳng áp tại bộ hồi nhiệt
- 56 - Nhiên liệu cháy, cấp nhiệt đẳng áp tại buồng cháy 1
- 67- Giãn nở đoạn nhiệt sinh công của khí cháy trong tua bin 1
- 78 - Nhiên liệu cháy, cấp nhiệt đẳng áp tại buồng cháy 2
- 89 - Giãn nở đoạn nhiệt sinh công của khí cháy trong tua bin 2
- 9.10- Khí cháy truyền nhiệt cho không khí nén trong bộ hồi nhiệt theo quá trình đẳng áp
- 10.1 - Thải đẳng áp khí cháy ra môi trường bên ngoài



Hình 10.14

- Nhờ có quá trình làm mát đẳng áp không khí nén tại bộ làm mát trung gian mà nhiệt độ không khí nén sau khi nén giảm đi, bởi vậy có thể nén tiếp lên áp suất cao ở máy nén 2 mà nhiệt độ không khí nén không quá cao.
- Nhờ giãn nở sinh công ở tua bin 1 mà nhiệt độ không khí giảm, nên có thể nhận nhiệt tiếp ở buồng cháy 2 để tăng nhiệt độ rồi sau đó giãn nở sinh công trong tua bin 2.
- Nhờ quá trình hồi nhiệt, không khí nén nhận nhiệt từ khí cháy, nên đã tiết kiệm được nhiên liệu

Chu trình thực tế:

Trong thực tế, do có các tổn thất: tổn thất áp suất trong quá trình nén và giãn nở bởi vậy làm các quá trình nén và giãn nở trở thành không thuận nghịch làm entropi tăng nên điểm cuối các quá trình này dịch sang phải: đó là các điểm 2', 4', 7' và 9'. Khi đó công nén trong các máy nén tăng lên, công sinh ra do giãn nở khí cháy trong các tua bin giảm đi, dẫn tới hiệu suất của chu trình giảm.

10.8. CHU TRÌNH GHÉP TUA BIN KHÍ - HƠI.

Do khí cháy sau giãn nở ở tua bin ra còn nhiệt độ khá cao, năng lượng lớn nên có thể sử dụng để gia nhiệt cho nước tạo thành hơi nước quá nhiệt, đó là nguyên tắc hoạt động của chu trình ghép tua bin khí - hơi.

Chu trình ghép tua bin khí - hơi gồm hai chu trình:

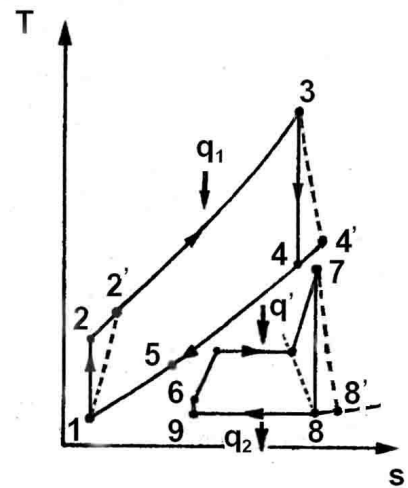
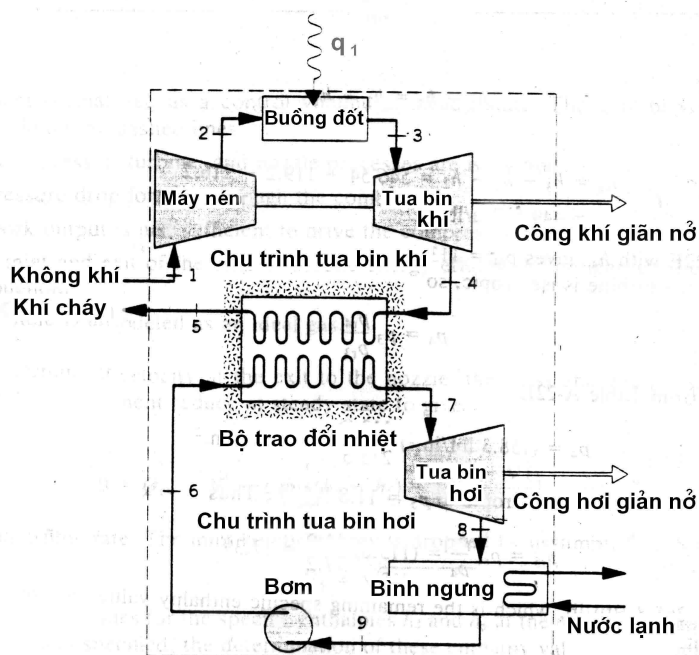
- Chu trình tua bin khí 123451
- Chu trình động lực hơi nước 67896.

Các quá trình của Chu trình tua bin khí gồm:

- 12: Nén không khí đoạn nhiệt trong máy nén khí
- 23: Cháy nhiên liệu, cấp nhiệt đẳng áp q_1 trong buồng đốt
- 34: Giãn nở đoạn nhiệt sinh công trong tua bin khí.
- 45: Khí cháy thải nhiệt q' đẳng áp của cho hơi nước trong bộ hồi nhiệt.
- 51: Thải nhiệt của khí cháy ra môi trường

Các quá trình của Chu trình động lực hơi nước gồm:

- 96: Bơm nước đoạn nhiệt vào bộ hồi nhiệt
- 67: Nước nhận nhiệt từ khí cháy trong bộ hồi nhiệt trở thành hơi quá nhiệt
- 78: Hơi quá nhiệt giãn nở đoạn nhiệt sinh công trong tua bin hơi
- 89: Ngưng hơi bão hoà khô thành nước trong bình ngưng.



Hình 10.15

Hình 10.15

Trong thực tế do có tổn thất không thuận nghịch nên cuối quá trình nén và giãn nở của chất công tác, entropy tăng lên nên các điểm cuối các quá trình này dịch sang bên phải: điểm 2', 4' và 8'. Bởi vậy làm tăng tiêu hao công nén và giảm công sinh ra, hiệu suất thực tế nhỏ hơn lý thuyết.

Chu trình ghép tua bin khí - hơi được thực hiện trong các nhà máy điện để sản xuất điện năng. Chu trình ghép có hiệu suất nhiệt cao hơn mỗi chu trình đơn lẻ vì tận dụng được nhiệt thừa của chu trình tua bin hơi và tiết kiệm được nhiệt cấp vào của chu trình động lực hơi nước.

10.9. CẤU TẠO THỰC TẾ MỘT SỐ BỘ PHẬN CỦA ĐỘNG CƠ TUABIN KHÍ

1. Máy nén khí

Máy nén khí của động cơ tuabin khí là loại máy nén roto. Do tỷ số áp suất của máy nén khí quyết định hiệu suất nhiệt của động cơ nên các động cơ tuabin khí hiện đại đòi hỏi tỷ số nén phải khoảng 10-20.

Các loại máy nén gồm: máy nén ly tâm, máy nén dọc trục và máy nén ly tâm dọc trục. Các loại máy nén đều hoạt động theo nguyên tắc chung là khi hàng cánh động trên đĩa công tác quay, cấp tốc độ và động năng cho dòng khí. Sau đó dòng khí được đẩy qua các rãnh của dãy cánh tĩnh có thiết diện tăng dần tạo thành ống khuếch tán, giảm tốc - tăng áp rồi lại đẩy tới hàng cánh động tiếp theo...



Hình 10.16.

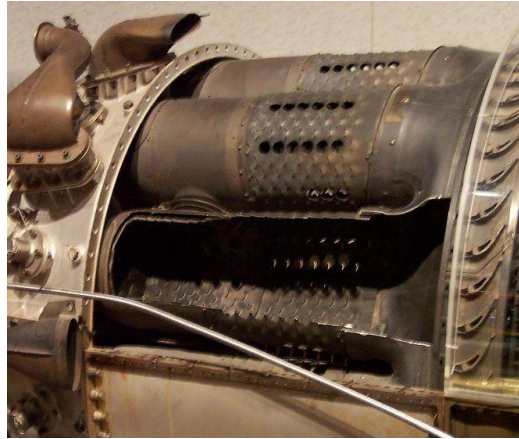
Tại các máy nén ly tâm, dãy cánh động được gắn trên đĩa công tác kéo dài từ giữa đến mép đĩa. Khi đĩa quay, dưới tác dụng của lực ly tâm dòng khí chuyển động ra phía mép đĩa có bán kính lớn làm tốc độ tăng và động năng lớn. Loại máy nén này có hiệu suất cao và nhiều ưu điểm khác. Nhưng khi cần động cơ có công suất lớn thì bán kính đĩa gắn cánh động cũng phải có kích thước lớn nên không thích hợp cho máy bay, chỉ để lắp đặt cho các động cơ cố định loại lớn hoặc lắp hạn chế cho một số loại trực thăng.

Các tầng rotor của máy nén khí dọc trục (các tầng cánh quạt quay), ở đây phần Stator bị dỡ ra nên không nhìn thấy các cánh dẫn hướng trung gian giữa các tầng là các cánh cố định gắn vào stator

Loại máy nén khí thông dụng nhất trong các động cơ tuabin khí hàng không là loại máy nén dọc trục (tiếng Anh: axial-flow compressor) về mặt khối lượng, hiệu suất loại dọc trục đều kém hơn máy nén khí ly tâm nhưng có hình dạng thon dài hình xì gà rất thích hợp cho động cơ máy bay. Trong loại máy nén này không khí bị các đĩa cánh quạt gia tăng vận tốc tuyệt đối và luồng không khí chảy dọc trục trong các rãnh khí giữa các cánh quạt. Các rãnh khí này có hình dạng thiết diện khuếch tán (diffuser) và làm giảm vận tốc tương đối của không khí đồng thời làm tăng áp suất. Vì hiệu suất nén của loại cánh quạt dọc trục không cao nên máy nén phải có nhiều tầng cánh quạt: không khí bị nén tại một tầng được dẫn hướng và nén tiếp trong tầng kế tiếp. Động cơ tua bin khí hiện đại thường có từ 10-20 tầng nén khí, giữa các tầng cánh quạt nén là các tầng cánh dẫn hướng trung gian được gắn cố định vào stator.

Máy nén ly tâm dọc trục: kết hợp tính chất của hai loại máy nén cơ bản trên.

2. Buồng đốt



Hình 10.17

Các ống lửa của buồng đốt

Buồng đốt của động cơ tuốc bin khí là loại ống lửa hờ thường là khoảng 7-10 ống được bố trí thành vòng tròn xung quanh trục động cơ phía sau khối nén và phía trước tuốc bin. Mỗi ống lửa có một vòi phun nhiên liệu đặt ở mặt phía trước.

Ống lửa thường là các đốt thép hình côn (giống như các đốt con nhộng) được đặt so le gối đầu và được hàn với nhau, tại các đường hàn đó có rất nhiều các lỗ nhỏ (đường kính lỗ 0,5-1mm): không khí của dòng thứ cấp chảy từ bên ngoài chảy qua các lỗ này sẽ tạo thành các lớp khí làm mát sát mặt ống lửa bên trong để bảo vệ ống lửa. Ngoài ra trên các đốt của ống lửa còn có các lỗ to để dòng không khí thứ cấp từ bên ngoài đi vào để làm chất giãn nở sinh công và để làm nguội dòng lửa nóng trước khi đi vào tuốc bin.

Không khí từ máy nén gặp các ống lửa sẽ bị chia thành hai dòng khí dòng khí sơ cấp – để đốt cháy nhiên liệu dòng khí này khoảng 30% khối lượng khí và dòng khí thứ cấp khoảng 70% để làm mát bảo vệ ống lửa và làm chất giãn nở sinh công và để hòa vào dòng lửa phụt để làm giảm nhiệt độ dòng lửa phụt khi đi vào tuốc bin.

Dòng khí sơ cấp đi thẳng vào ống lửa qua các khe xoáy tại mặt trước ống lửa sẽ tạo thành dòng xoáy trộn với sương nhiên liệu được phun ra từ vòi phun nhiên liệu và được đốt mỗi bằng bugi (nến điện) lúc khởi động sau đó quá trình cháy là liên tục không cần nến điện nữa.

Dòng khí thứ cấp chảy bao bọc bên ngoài ống lửa, một phần dòng khí này đi vào các lỗ nhỏ trên mỗi hàn tiếp giáp các đốt ống để đi vào bên trong ống lửa tạo thành lớp khí làm mát trên mặt trong của ống lửa để bảo vệ ống lửa. Phần còn lại đi vào các lỗ lớn trên các đốt ống để hòa vào dòng lửa phụt phần khí này để làm chất giãn nở sinh công và để giảm bớt nhiệt độ của dòng lửa phụt trước khi đi vào tuốc bin. Tại trung tâm dòng lửa phụt nhiệt độ khoảng 1500-1600°C nhưng khi đi vào tuốc bin nhiệt độ chỉ còn khoảng từ 800-1000°C

Mặt sau của ống lửa để hở hướng thẳng vuông góc vào đĩa cánh tuốc bin. Cơ cấu buồng đốt hờ cho phép quá trình cháy, gia nhiệt trong buồng đốt là quá trình đẳng áp: không khí tăng nhiệt độ lên rất cao, sinh thể tích rất lớn, sinh vận tốc phụt rất cao nhưng áp suất tại điểm vào và ra khỏi buồng đốt là như nhau (điểm 2 và điểm 3 trên đồ thị P-v của chu trình Brayton) quá trình cháy đẳng áp cho phép luồng khí nóng trong buồng đốt chỉ phụt mạnh về phía tuốc bin mà không bị thổi ngược về phía khối nén khí.

3. Các tầng cánh tuốc bin

Tuabin là khối sinh công có ích hoạt động theo nguyên tắc biến nội năng và động năng của dòng khí nóng áp suất và vận tốc cao thành cơ năng có ích dưới dạng mô men quay cánh tuốc bin: tại cánh tuốc bin dòng khí nóng giãn nở sinh công. Các cánh tuabin khác với cánh máy nén ở hình dạng thiết diện rãnh khí tại tuabin là thiết diện nhỏ dần : vận tốc tương đối trong rãnh khí tăng lên làm giảm áp suất, nhiệt độ không khí.



Hình 10.18

Để làm mát cho cánh tuốc bin cánh tuabin sẽ được làm rỗng và bên trong được dẫn khí làm mát. Cánh tuabin là bộ phận chịu ứng suất cao nhất và là bộ phận nhiều rủi ro nhất: vừa chịu nhiệt độ rất cao vừa quay với vận tốc rất lớn nên công nghệ chế tạo tuốc bin là tổng hợp của các thành tựu của nhiều ngành khoa học như luyện kim, vật liệu, chế tạo máy...

Tuabin được nối với máy nén khí để quay máy nén khí và còn được nối với các phụ tải khác. Trong các động cơ máy bay thường chỉ có các tua bin nối với máy nén khí mà không có tuabin tự do (không nối với máy nén), còn tại các động cơ với những công năng khác thường bố trí tua bin tự do để nâng cao hiệu suất động cơ nâng cao tính năng vận hành của động cơ.

4. Hệ thống thấp áp - cao áp

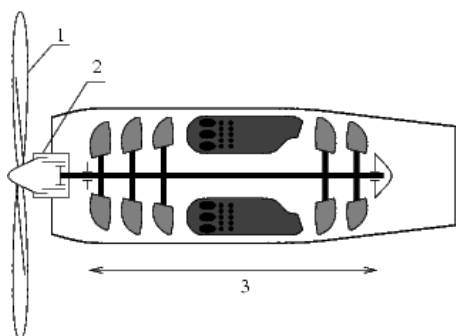
Về mặt hiệu suất sẽ là tốt nhất nếu mỗi tầng máy nén – tuabin quay theo các vận tốc quay khác nhau (tầng nén phía ngoài quay chậm hơn, tầng phía trong quay nhanh hơn) nhưng như vậy sẽ rất phức tạp về chế tạo do đó để đảm bảo hợp lý về chế tạo và hiệu suất người ta chia máy nén thành hai khối: máy nén thấp áp (các tầng phía trước) và máy nén cao áp (các tầng phía sau). Tuốc bin cũng được chia thành hai khối: tuabin cao áp (các tầng phía trước) và tuabin thấp áp (các tầng phía sau) tuabin thấp áp lái máy nén thấp áp, tuabin cao áp lái máy nén cao áp. Như vậy hai khối máy nén – tuabin này quay theo các vận tốc góc khác nhau, chúng là hai hệ trục đồng trục: trục cao áp bên ngoài và trục thấp áp bên trong.

10.9. ĐỘNG CƠ TUABIN TRONG HÀNG KHÔNG

Động cơ tua bin khí là động cơ có số lượng nhiều nhất và là động cơ chính của ngành hàng không cho máy bay, ngoài ra nó còn được lắp cho các mục đích khác như cho các trạm phát điện giờ cao điểm hoặc cho tàu biển cao tốc, tàu hỏa, thậm chí một số loại xe tăng.

Động cơ tua bin khí cho ngành hàng không vì tính năng khối lượng – kích thước có tầm quan trọng rất lớn nên đa số là loại động cơ có máy nén dọc trục và có hai khối cao áp, thấp áp. Đối với động cơ phản lực thì động cơ có thêm các bộ phận cực kỳ quan trọng là ống phun và buồng đốt tăng lực.

1. Động cơ tuabin cánh quạt



Hình 10.19

Sơ đồ động cơ tuốc bin cánh quạt:

- 1: Cánh quạt đẩy chính;
- 2: Hộp số giảm tốc;
- 3: động cơ tuốc bin khí

Đây là loại động cơ tua bin khí để kéo cánh quạt tạo lực đẩy cho máy bay (Turbo Propeller). Động cơ loại này có hiệu suất cao nhất nên tính kinh tế cao nhất trong các loại động cơ tuốc bin của hàng không, nhưng vì đặc điểm lực đẩy cánh quạt nên loại động cơ này cho vận tốc thấp nhất do đó loại này chuyên để lắp cho các máy bay vận tải khô, cần tính kinh tế cao nhưng không cần vận tốc lớn, điển hình như loại máy bay vận tải Lockheed C-130 Hercules của Mỹ.

Cánh quạt được nối vào trục máy nén khí áp thấp qua hộp số giảm tốc. Đặc điểm của loại động cơ này là tuốc bin của động cơ vừa kéo máy nén vừa kéo tải chính là cánh quạt nên phải thiết kế tua bin sao cho sử dụng được hết năng lượng của dòng khí nóng sau buồng đốt. Với loại động cơ này, dòng khí sau khi ra khỏi tuốc bin có vận tốc còn rất thấp, nhiệt độ, áp suất gần cân bằng với môi trường.

Vì cánh quạt nối thẳng với máy nén khí nên khi thay đổi tốc độ sẽ ảnh hưởng nhiều đến chế độ làm việc của máy nén và toàn bộ động cơ nên tính linh hoạt của loại động cơ này không tốt (hiệu suất giảm khi giảm công suất, tốc độ).

Loại này cũng dễ trang bị cho trực thăng mô men quay được truyền qua hộp số và chuyển hướng để quay cánh quạt nâng nằm ngang (Turbo Shaft).

2. Động cơ tuabin phản lực

Động cơ tuốc bin phản lực (turbo-Jet) là động cơ tuốc bin khí dùng động năng của dòng khí nóng phụt thẳng về phía sau tạo phản lực đẩy máy bay về phía trước. Đây là loại động cơ dễ trang bị cho máy bay phản lực nhất là các máy bay chiến đấu siêu âm. Loại động cơ này cho vận tốc cao nhất trong các loại động cơ tuốc bin của hàng không nhưng tính kinh tế thấp nhất. Tuốc bin của loại động cơ này chỉ khai thác một phần năng lượng dòng khí nóng sau buồng đốt chỉ đủ để lái máy nén khí còn phần năng lượng còn lại dùng để phụt thẳng vào môi trường tạo phản lực (chính vì vậy hiệu suất của loại động cơ này thấp)

Hình 10.20

Sơ đồ động cơ tuabin phản lực:

- 1: Cửa thu khí
- 2: Máy nén
- 3: buồng đốt
- 4: Tuốc bin
- 5: ống phun

Các loại động cơ phản lực phải có thêm một thiết bị là ống phun lắp phía sau tuốc bin để tăng tốc độ dòng khí. Nếu là động cơ cho máy bay dưới tốc độ âm thanh thì ống phun có dạng nhỏ dần (converge) còn đối với máy bay siêu âm thì áp dụng ống phun dạng siêu âm - Lavan (nhỏ dần – lớn dần).

3. Động cơ tuabin phản lực có buồng đốt tăng lực

Là một loại của động cơ tuốc bin phản lực dùng cho các máy bay chiến đấu cao tốc nhất là các máy bay tiêm kích cần phát triển tốc độ chiến đấu nhất thời thật cao. Về cấu tạo động cơ này rất giống các động cơ tua bin phản lực thông thường nhưng có thêm buồng đốt thứ cấp phía sau tua bin và phía trước ống phun. Buồng đốt này còn gọi là buồng đốt tăng lực tại buồng đốt này có các vòi phun nhiên liệu khi cần tăng tốc phun thêm nhiên liệu vào buồng tăng lực để đốt thêm tạo thêm lực đẩy phản lực. Khi tăng lực hiệu suất rất thấp và tốn rất nhiều nhiên liệu nên máy bay chỉ tăng lực trong thời gian ngắn như khi công kích, bỏ chạy hoặc cơ động tránh tên lửa.

4. Động cơ tua bin hai đường viền khí

Sơ đồ động cơ tua bin phản lực hai đường viền khí:

Hình 10.21

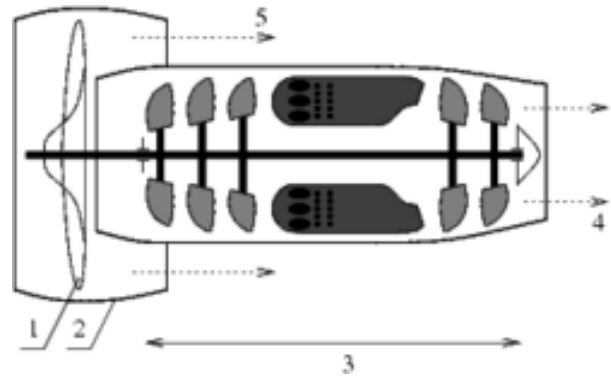
1: Cánh quạt ngoài; 2: động cơ tuốc bin khí;
3: dòng khí đi bên trong động cơ; 4: dòng khí đi bên ngoài động cơ

Có tài liệu tiếng Anh gọi loại này là turbofan. Đây là loại động cơ mà các cánh quạt tầng ngoài cùng của máy nén áp thấp có cấu tạo và kích thước đặc biệt làm không khí làm hai dòng: một dòng đi qua động cơ (dòng số 3 trên hình vẽ) và một dòng đi vòng qua động cơ tạo lực đẩy trực tiếp (dòng số 4) và hai dòng này hòa vào nhau tại phễu phụt vì vậy động cơ được gọi là động cơ hai viền khí (Two-contour turbojet). Đây là phương án trung gian giữa động cơ tua bin cánh quạt và động cơ tua bin phản lực. Đối với loại động cơ này có một chỉ số rất quan trọng đó là hệ số hai đường viền khí (Bypass ratio) m là tỷ lệ lưu lượng thể tích của dòng khí chảy bên ngoài so với dòng khí chảy bên trong động cơ, (đối với động tuốc bin phản lực thuần túy $m = 0$) chỉ số càng lớn thì động cơ có hiệu suất càng tốt và càng giống động cơ tuốc bin cánh quạt và vận tốc càng thấp, hệ số này lớn hơn 2 thì không thể tăng đến vận tốc siêu âm. Các động cơ siêu âm có hệ số m thấp hơn hoặc bằng 2.

5. Động cơ phản lực cánh quạt

Động cơ tuốc bin phản lực cánh quạt:

- 1: cánh quạt ngoài;
- 2: capote (vỏ) ngoài;
- 3: động cơ tuốc bin khí;
- 4: luồng khí phản lực qua bên trong động cơ;
- 5: luồng khí tạo lực đẩy từ cánh quạt không qua lõi động cơ



Hình 10.22

Có tài liệu tiếng Anh gọi loại động cơ này là động cơ turbofan nhưng có tài liệu lại gọi turbofan là động cơ hai viên khí nói chung.

Động cơ tua bin phản lực cánh quạt là một phiên bản nhánh của động cơ hai đường viên khí trong đó cánh quạt ngoài nằm hẫ ra ngoài được bao bằng vỏ capote ngoài, vỏ này ngăn nên hai dòng khí bên ngoài và bên trong động cơ không hòa vào nhau. Nhìn bên ngoài rất dễ nhận ra loại động cơ này vì vỏ capote ngoài này ngăn tạo thành 2 lớp vỏ giắt cấp.

Đây là động cơ có hệ số m cao thường từ 6-10 và nghiêng về tính chất động cơ cánh quạt. Loại động cơ này thường ở các máy bay hành khách và vận tải dân dụng cần tốc độ và tính kinh tế hợp lý. Các máy bay hành khách dân dụng nổi tiếng Boeing và Airbus trang bị các động cơ này.

10.10. ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC TRỰC LƯU (RAMJET)

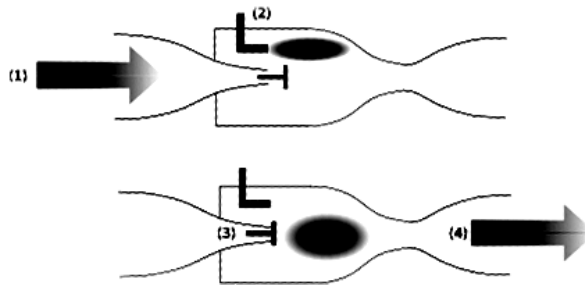
Năm 1908 ý tưởng đầu tiên về động cơ phản lực trực lưu của kỹ sư Pháp René Lorin đã được cấp bằng sáng chế. Năm 1933 động cơ ramjet GIRD-08 được Yuri Pobedonostsev chế tạo và thử nghiệm. Sau đó các công trình cải tiến của René Leduc ở Pháp và William Avery ở Mỹ đã được công bố. Năm 1949, mẫu động cơ phản lực đầu tiên 010 của Leduc đã được lắp vào máy bay thực hiện các chuyến bay.

Động cơ phản lực trực lưu còn gọi là động cơ ống phun, hay ống phun lửa bay là một dạng động cơ phản lực không có bộ phận chuyển động.

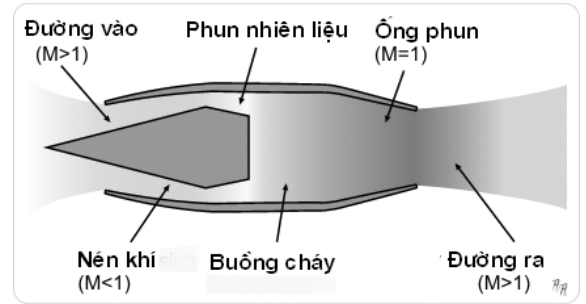
1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc

Động cơ ramjet có cấu trúc gần như một đường ống. Hoạt động của ramjet tuân theo nguyên tắc sau: Khi một vật chuyển động trong không khí sẽ tạo ra vùng áp suất cao ở phía trước và vùng áp suất thấp ở phía sau. Nếu lợi dụng được vùng áp suất cao ở phía trước để nén và hướng dòng không khí đi vào một đường ống, rồi cấp nhiệt cho nó bằng cách đốt cháy nhiên liệu thì sau đó khí giãn nở đi qua ống phun có thể tăng tốc độ tới tốc độ siêu âm. Sự tăng tốc này sẽ tạo ra phản lực, đẩy cho ramjet về di chuyển về phía trước, hình 4.10.

Sơ đồ các bộ phận của động cơ máy bay phản lực trực lưu thể hiện trên hình 4.11.

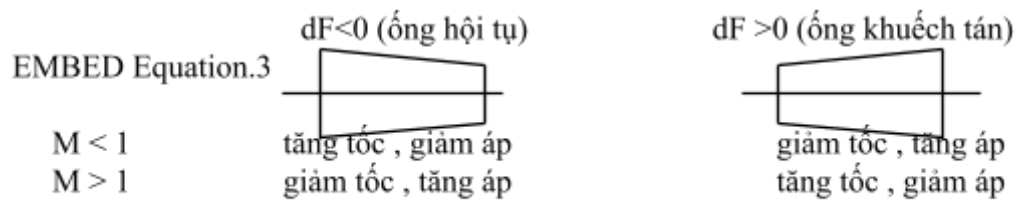


Hình 10.23. Nguyên tắc nén dòng khí khi động cơ chuyển động về phía trước

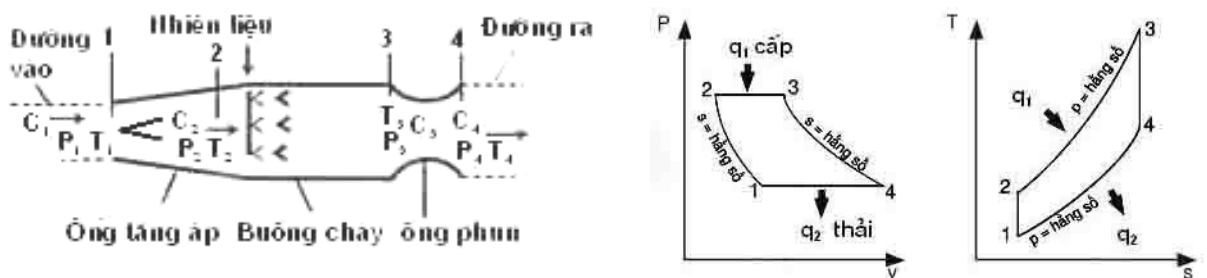


Hình 10.24. Sơ đồ động cơ

Không khí tại cửa vào có tốc độ siêu âm $M > 1$, tới đường vào của ống hội tụ, theo quy luật thay đổi tốc độ dòng khí trên ống có thiết diện thay đổi, dòng khí sẽ tăng áp, giảm tốc độ tới dưới âm $M < 1$ vào buồng cháy.



Hình 10.25. Quy luật thay đổi tốc độ dòng khí



Hình 10.26. Sơ đồ và nguyên lý làm việc của động cơ

Các quá trình làm việc của động cơ phản lực gồm:

- 1-2: Nén đoạn nhiệt trong ống tăng áp, số Mach giảm : $M_2 < 1$
- 2-3: Cháy đẳng áp
- 3-4: Giãn nở đoạn nhiệt đẳng entropy qua ống phun, $M=1$
- 4-1: Thải đẳng áp, khí cháy phun trên phần ống khuếch tán $M \gg 1$

2. Hiệu suất nhiệt

Các quá trình xảy ra tương tự như chu trình tua bin khí cấp nhiệt đẳng áp ở phần trước, nên hiệu suất nhiệt của chu trình :

$$\eta \eta = 1 - \frac{T_{\text{khí-quyển}}}{T_{\text{sau-nén}}} 1 - \frac{T_{\text{khí-quyển}}}{T_{\text{sau-nén}}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (4.10)$$

T_1 là nhiệt độ không khí trước đường vào động cơ. T_2 nhiệt độ không khí sau khi nén.

Số Mach, $M = \frac{c}{a}$; c là tốc độ dòng khí, a là tốc độ truyền âm

Bằng cách áp dụng quan hệ giữa các thông số với số Mach trong dòng khí chuyển động, có thể xác định tỷ số nhiệt độ trên :

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2} \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2} \quad (4.11)$$

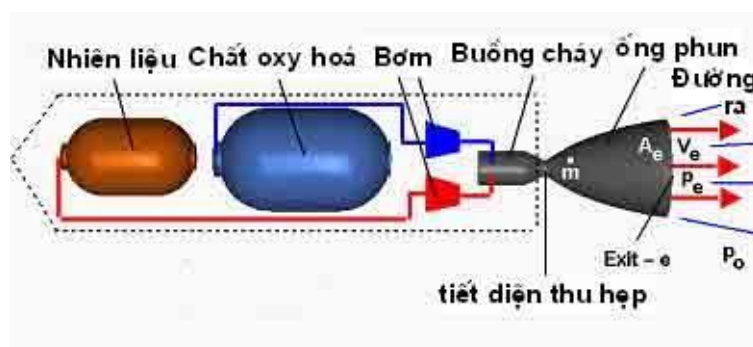
Từ đó có hiệu suất nhiệt:

$$\eta = \frac{\frac{k-1}{2} M_1^2}{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2} \eta = \frac{\frac{k-1}{2} M_1^2}{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2} \quad (4.12)$$

Như vậy hiệu suất nhiệt động cơ phản lực phụ thuộc vào $M_1 = \frac{c_1}{a}$, tức tốc độ của máy bay. Để nén được không khí tới áp suất cần thiết cấp vào buồng cháy, động cơ phản lực cần phải có tốc độ bay khá cao. Động cơ hoạt động có hiệu quả nhất ở tốc độ khoảng 3 Mach, máy bay có thể bay với tốc độ 5 Mach.

10.11. ĐỘNG CƠ TÊN LỬA

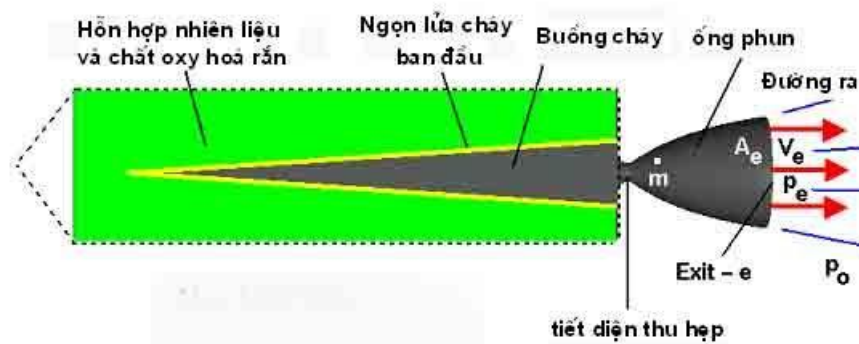
a. Tên lửa nhiên liệu lỏng



Hình 10.27. Sơ đồ tên lửa nhiên liệu lỏng

Nhiên liệu và chất ôxy hóa chứa trong hai bình riêng, được bơm cấp vào buồng cháy. Tại buồng cháy, quá trình cháy tạo ra khí cháy có nhiệt độ áp suất cao giãn nở qua ống thu hẹp tới ống phun. Ống phun là ống khuếch tán thực hiện quá trình tăng tốc giảm áp, làm tốc độ dòng khí tại đường ra có tốc độ trên âm thanh.

b. Tên lửa nhiên liệu rắn



Hình 10.28. Sơ đồ tên lửa nhiên liệu rắn

Nhiên liệu và chất ôxy hóa dạng rắn được hỗn hợp nén vào trong thân tên lửa.

Ban đầu ngọn lửa được môi cháy trong lõi tên lửa, chất cháy được cháy trong buồng cháy tạo ra khí cháy có nhiệt độ áp suất cao giãn nở qua ống thu hẹp tới ống phun. Ống phun là ống khuếch tán thực hiện quá trình tăng tốc giảm áp, làm tốc độ dòng khí tại đường ra có tốc độ trên âm thanh.