

Chương 7. CÁC CHU TRÌNH NHIỆT ĐỘNG

7.1. CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

7.4.1. Chu trình Carno hơi nước

7.1.1. Khái niệm

Động cơ đốt trong là động cơ nhiệt mà quá trình cháy được tiến hành bên trong xi lanh và sản phẩm cháy được thải ra môi trường. Đây là chu trình biến đổi nhiệt thành công. Hiện nay động cơ đốt trong đwocj sử dụng nhiều trong sản xuất và sinh hoạt như dùng làm động cơ cho ô tô, máy kéo, xe lửa, máy phát điện . . .

Môi chất làm việc trong động cơ đốt trong lúc đầu là không khí và nhiên liệu, sau đó là sản phẩm cháy của hỗn hợp không khí và nhiên liệu.

Có nhiều cách phân loại động cơ đốt trong, có thể phân loại theo nhiên liệu sử dụng, theo hành trình piston, theo quá trình cấp nhiệt . . . Ở đây, theo quan điểm nhiệt động, dựa vào chu trình cấp nhiệt ta phân động cơ đốt trong thành 3 loại: chu trình cấp nhiệt đẳng áp, chu trình cấp nhiệt đẳng tích, chu trình cấp nhiệt hỗn hợp.

Để nghiên cứu các quá trình của động cơ đốt trong, ta giả thiết:

- Môi chất là khí lý tưởng và đồng nhất,
- Các quá trình xảy ra đều là thuận nghịch,
- Quá trình cháy là quá trình cấp nhiệt, quá trình thải sản phẩm cháy là quá trình nhả nhiệt.
- Công trong quá trình nạp môi chất và quá trình thải sản phẩm cháy triệt tiêu lẫn nhau và biến hệ ở đây thành hệ kín.

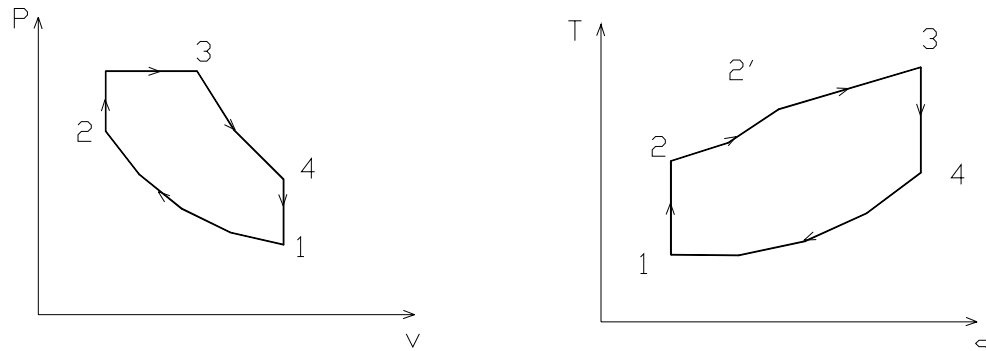
7.1.2. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

7.1.2.1. Mô tả chu trình

Trong chu trình cấp nhiệt hỗn hợp, nhiên liệu sẽ được bơm cao áp nén đến áp suất cao, phun vào xi lanh ở dạng sương mù. Trong xi lanh không khí sẽ đã được nén đến áp suất và nhiệt độ cao, vào xi lanh gặp không khí nhiên liệu sẽ tự bốc cháy ngay. Quá trình cháy gồm hai giai đoạn: giai đoạn đầu cháy đẳng tích, giai đoạn sau cháy đẳng áp. Chu trình cháy lý tưởng của động cơ đốt trong cấp nhiệt hỗn hợp được trình bày trên hình 7.1. Chu trình gồm:

- 1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt,
- 2-2' là quá trình cấp nhiệt đẳng tích, môi chất nhận nhiệt lượng q_1' ,
- 2'-3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp, môi chất nhận nhiệt lượng q_1''
- 3-4 là quá trình dẫn nở đoạn nhiệt,
- 4-1 là quá trình nhả nhiệt đẳng tích, nhả nhiệt lượng q_2 ,

7.1.2.2. Hiệu suất chu trình cấp nhiệt hỗn hợp



Hình 7.1 Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

* Các đại lượng đặc trưng cho chu trình:

- Thông số trạng thái đầu: p_1, T_1 ,

- Tỷ số nén:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (7-1)$$

- Tỷ số tăng áp:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad (7-2)$$

- Hệ số dẫn nở sớm:

$$\rho = \frac{v_3}{v'_2} \quad (7-3)$$

* Hiệu suất của chu trình:

$$\eta_{ct} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad (7-4)$$

Trong đó:

q_1 là nhiệt lượng chu trình nhận được từ quá trình cháy nhiên liệu, gồm

q_1' là nhiệt lượng nhận được từ quá trình cháy đẳng tích 2-2',

q_1'' là nhiệt lượng nhận được từ quá trình cháy đẳng áp 2'-3,

vậy: $q_1 = q_1' + q_1''$,

q_2 là nhiệt lượng cho nguồn lạnh trong quá trình nở nhiệt đẳng tích 4-1, Từ đó ta có hiệu suất của chu trình là:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1' + q_1''} \quad (7-5)$$

vì 2-2' là quá trình cấp nhiệt đẳng tích, nên $q_1' = C_v(T_2 - T_2')$,

vì 2'-3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp, $q_1'' = C_p(T_3 - T_2')$,

vì 4-1 là quá trình nở nhiệt đẳng tích, nên $q_2 = C_v(T_4 - T_1)$,

Thay các giá trị của q_1' , q_1'' và q_2 vào (7-5) ta được:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_{2'} - T_2) + C_p(T_3 - T_{2'})} \quad (7-6a)$$

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_{2'} - T_2) + k(T_3 - T_{2'})} \quad (7-6b)$$

Dựa vào đặc điểm quá trình của các chu trình, ta tiếp tục biến đổi để có thể tính hiệu suất của chu trình theo nhiệt độ đầu T_1 và các đại lượng đặc trưng cho chu trình như sau:

- Vì 1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt nên ta có

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}, \text{ suy ra: } T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1},$$

2-2' là quá trình cấp nhiệt đẳng tích nên:

$$\frac{T_{2'}}{T_2} = \frac{p_{2'}}{p_2} = \lambda, \text{ suy ra: } T_{2'} = \lambda T_2 = \lambda T_1 \varepsilon^{k-1},$$

2'-3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp nên:

$$\frac{T_3}{T_{2'}} = \frac{v_3}{v_{2'}} = \rho, \text{ suy ra: } T_3 = \rho T_{2'} = \rho \lambda T_1 \varepsilon^{k-1},$$

3-4 là quá trình dẫn nở đoạn nhiệt nên:

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

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

Thay các giá trị T_2 , $T_{2'}$, T_3 và T_4 vào (7-6) ta có:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{T_1 \lambda \rho^k - T_1}{(T_1 \lambda \varepsilon^{k-1} - T_1 \varepsilon^{k-1}) + k(T_1 \rho \lambda \varepsilon^{k-1} - T_1 \lambda \varepsilon^{k-1})}$$

Rút gọn lại ta có hiệu suất chu trình:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]} \quad (7-7)$$

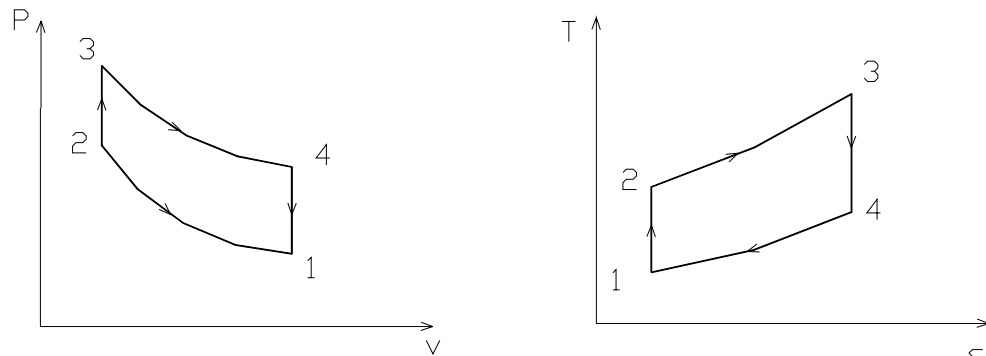
7.1.3. Các chu trình khác

Ngoài chu trình cấp nhiệt hỗn hợp, còn có chu trình cấp nhiệt đẳng áp, chu trình cấp nhiệt đẳng tích.

7.1.3.1. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

Ở chu trình cấp nhiệt đẳng tích, nhiên liệu (xăng) và không khí được hỗn hợp trước ở ngoài xi lanh. Sau đó hỗn nhiên liệu và không khí được nạp vào xi lanh và nén đoạn nhiệt đến áp suất và nhiệt độ cao (được biểu diễn bằng đoạn 1-2) nhưng vẫn thấp hơn nhiệt độ tự bốc cháy của nó nên nó không tự bốc cháy

được. Quá trình cháy xảy ra nhờ bugi bật tia lửa điện, quá trình cháy (được biểu diễn bằng đoạn 2-3) xảy ra rất nhanh làm cho áp suất trong xi lanh tăng vọt lên trong khi xi lanh chưa kịp dịch chuyển, thể tích hỗn hợp khí trong xi lanh không đổi, vì vậy quá trình này có thể coi là quá trình cháy đẳng tích. Sau đó sản phẩm cháy giãn nở, đẩy piston dịch chuyển và sinh công. Quá trình giãn nở này được coi là đoạn nhiệt, (được biểu diễn bằng đoạn 3-4). Cuối cùng là quá trình thải sản phẩm cháy ra ngoài (được biểu diễn bằng đoạn 4-1), đây cũng là quá trình đẳng tích. Các quá trình lặp lại như cũ, thực hiện chu trình mới.



Hình 7.2 Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

Đây chính là chu trình động cơ ô tô chạy xăng hay còn gọi là động cơ cháy cưỡng bức nhờ bugi đánh lửa. Đồ thị thay đổi trạng thái của môi chất được biểu diễn trên hình 7.2.

Từ công thức tính hiệu suất của chu trình cấp nhiệt hỗn hợp (7-7), ta thấy:

Nếu chu trình cấp nhiệt hỗn hợp có $\rho = 1$, tức là $v_2' = v_2 = v_3$, như vậy quá trình cấp nhiệt chỉ còn giai đoạn cháy đẳng tích 2-3, khi đó chu trình cấp nhiệt hỗn hợp trở thành chu trình cấp nhiệt đẳng tích.

Khi đó thay $\rho = 1$ vào công thức (7-7) ta được hiệu suất chu trình cấp nhiệt đẳng tích:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{\lambda - 1}{\varepsilon^{k-1}(\lambda - 1)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (7-8)$$

Như vậy hiệu suất nhiệt chu trình cấp nhiệt đẳng tích chỉ phụ thuộc vào tỉ số nén ε .

7.1.3.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp

Nếu chu trình cấp nhiệt hỗn hợp có $\lambda = 1$, tức là $p_2' = p_2 = p_3$, nghĩa là quá trình cấp nhiệt chỉ còn giai đoạn cháy đẳng áp 2-3, khi đó chu trình cấp nhiệt hỗn hợp trở thành chu trình cấp nhiệt đẳng áp. Ở chu trình này, không khí được nén đoạn nhiệt đến áp suất và nhiệt độ cao, đến cuối quá trình nén nhiên liệu được phun vào xi lanh dưới dạng sương mù, pha trộn với không khí tạo nên hỗn hợp cháy và sẽ tự bốc cháy.

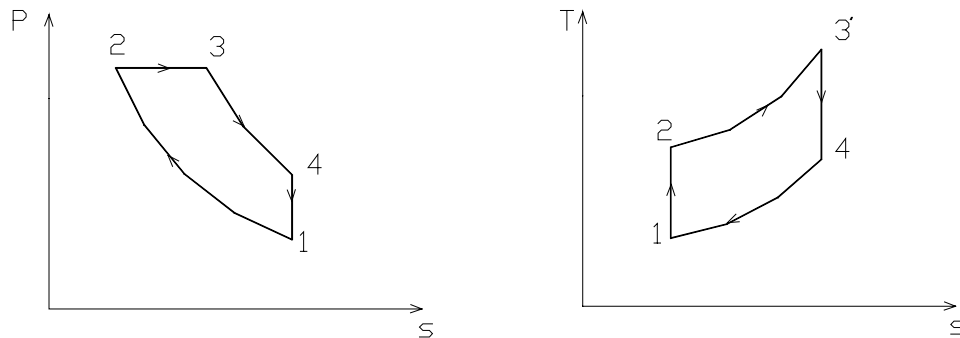
Khi đó thay $\lambda = 1$ vào công thức (7-7) ta được hiệu suất chu trình cấp nhiệt đẳng áp:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k (\rho - 1)} \quad (7-9)$$

Như vậy hiệu suất nhiệt chu trình cấp nhiệt đẳng tích chỉ phụ thuộc vào tỉ số nén ε và tỉ số dẫn nở sớm ρ .

Quá trình thay đổi trạng thái của môi chất trong chu trình được biểu diễn trên đồ thị p-v và T-s hình 7.3.

Hiện nay người ta không chế tạo động cơ theo nguyên lý này nữa.



Hình 7.3 Chu trình cấp nhiệt đẳng áp

7.1.3. Nhận xét

- Hiệu suất nhiệt của chu trình động cơ cấp nhiệt hỗn hợp phụ thuộc vào k,
- Động cơ cấp nhiệt đẳng áp và cấp nhiệt hỗn hợp có thể làm việc với tỷ số nén rất cao. Tuy nhiên khi đó chiều dài xi lanh cũng sẽ phải tăng lên và gặp khó khăn trong vấn đề chế tạo, đồng thời tổn thất ma sát của động cơ sẽ tăng và làm giảm hiệu suất của nó.

- Trong động cơ cấp nhiệt đẳng tích quá trình cháy là cưỡng bức (nhờ bugi), nếu ε tăng cao quá trị số giới hạn (6-9) thì hỗn hợp cháy sẽ tự bốc cháy khi bugi chưa đánh lửa, sẽ ảnh hưởng xấu đến chế độ làm việc bình thường của động cơ. Ngoài ra khi tỷ số nén lớn thì tốc độ cháy có thể tăng lên một cách đột ngột gây ra hiện tượng kích nổ (vì hỗn hợp nén là hỗn hợp cháy) phá hỏng các chi tiết động cơ. Vì vậy tỉ số nén cần được lựa chọn phù hợp với từng loại nhiên liệu.

7.1.5. So sánh hiệu suất nhiệt của chu trình động cơ đốt trong (η_{ctp} , η_{ct} , η_{ctv})

Để đánh giá hiệu suất nhiệt của động cơ đốt trong làm việc theo các chu trình khác nhau, ta so sánh các chu trình với các điều kiện sau:

a. Khi có cùng tỉ số nén ε và nhiệt lượng q_1 cấp vào cho chu trình:

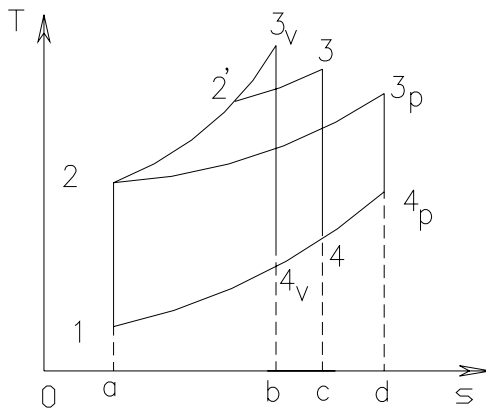
Trên đồ thị T-s hình 7.4 biểu diễn 3 chu trình: 123_v4_v1 là chu trình cấp nhiệt đẳng tích, $122'341$ là chu trình cấp nhiệt hỗn hợp và 123_p4_p1 chu trình cấp nhiệt đẳng áp. 3 chu trình này có cùng tỷ số nén ε và nhiệt lượng q_1 , nghĩa là cùng v_1, v_2 và các diện tích $a23_vd$, $a22'3c$ và $a23_p b$ bằng nhau. Từ (7-4) ta thấy: các chu trình có cùng q_1 , chu trình nào có q_2 nhỏ hơn sẽ có hiệu suất nhiệt cao hơn.

q_2 của chu trình cấp nhiệt đẳng tích bằng diện tích $a14_v b$ là nhỏ nhất,

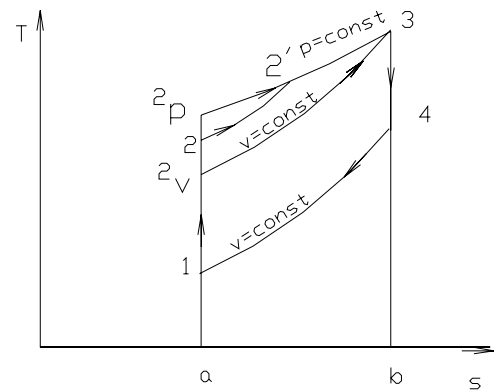
q_2 của chu trình cấp nhiệt đẳng áp bằng diện tích $a14_p d$ là lớn nhất, q_2 của chu trình cấp nhiệt hỗn hợp bằng diện tích $a14c$ có giá trị trung gian so với hai chu trình kia.

Vậy hiệu suất của chu trình cấp nhiệt đẳng tích là lớn nhất và hiệu suất của chu trình cấp nhiệt đẳng áp là nhỏ nhất:

$$\eta_{ctv} > \eta_{ct} > \eta_{ctp} \quad (7-10)$$



Hình 7.4. So sánh các chu trình



Hình 7.5. So sánh các chu trình

b. Khí có cùng áp suất và nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất:

Ở đây ta so sánh hiệu suất nhiệt của chu trình cùng nhận một nhiệt lượng q_2 giống nhau, cùng làm việc với ứng suất nhiệt như nhau (cùng T_{max} và p_{max}).

Với cùng điều kiện đó, các chu trình được biểu diễn trên đồ thị T-s hình 7.5. 12_p34 là chu trình cấp nhiệt đẳng áp, $122'341$ là chu trình cấp nhiệt hỗn hợp và 12_v34 chu trình cấp nhiệt đẳng tích. Trên đồ thị, 3 chu trình này có cùng p_1 , T_1 và cùng p_3 , T_3 nghĩa là cùng nhận ra một lượng nhiệt q_2 (diện tích $14ab$) trong đó: nhiệt lượng q_1 cấp vào cho chu trình cấp nhiệt đẳng áp bằng diện tích $a2_p3b$ là lớn nhất, nhiệt lượng q_1 cấp vào cho chu trình cấp nhiệt đẳng tích bằng diện tích $a2_v3b$ là nhỏ nhất.

Vậy theo (7-4) ta thấy hiệu suất của chu trình cấp nhiệt đẳng áp là lớn nhất và hiệu suất của chu trình cấp nhiệt đẳng tích là nhỏ nhất:

$$\eta_{ctp} > \eta_{ct} > \eta_{ctv} \quad (7-11)$$

Giới hạn trên của p_3 , T_3 phụ thuộc vào sức bền các chi tiết của động cơ.

7.2. Chu trình tuốc bin khí

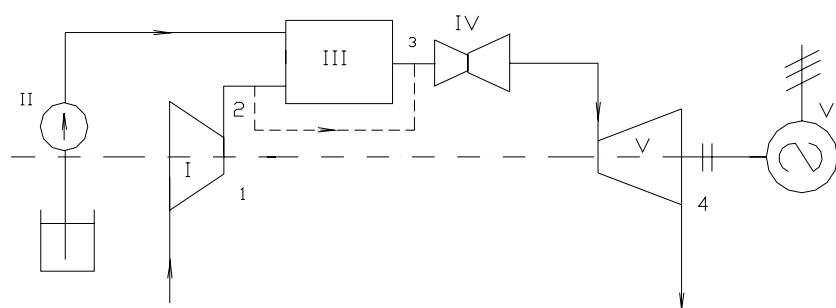
Ưu điểm của động cơ đốt trong là có hiệu suất cao. Tuy nhiên, động cơ đốt trong có cấu tạo phức tạp vì phải có cơ cấu để biến chuyển động thẳng thành chuyển động quay, nên công suất bị hạn chế. Để khắc phục các nhược điểm trên, người ta dùng tuốc bin khí. Tuốc bin khí cho phép chế tạo với công suất lớn, sinh công liên tục, thiết bị gọn nhẹ nên được sử dụng rộng rãi để kéo máy phát điện, sử dụng trong giao thông vận tải. Dựa vào quá trình cháy của nhiên liệu, có thể chia thành hai loại: tuốc bin khí cháy đẳng áp và tuốc bin khí cháy đẳng tích.

7.2.1. Sơ đồ thiết bị và nguyên lý hoạt động của tuốc bin khí

Sơ đồ thiết bị và nguyên lý hoạt động của tuốc bin khí được biểu diễn trên hình 7.6. Không khí được nén đoạn nhiệt trong máy nén khí I, phần lớn được đưa vào buồng đốt III, một phần nhỏ được đưa ra phía sau buồng đốt để hoà trộn với sản phẩm cháy nhằm làm giảm nhiệt độ sản phẩm cháy trước khi vào tuốc bin.

Nhiên liệu được bơm hoặc máy nén II đưa vào buồng đốt III.

Nhiên liệu và không khí được sẽ tạo thành hỗn hợp cháy và cháy trong buồng đốt III. Sản phẩm cháy có áp suất và nhiệt độ cao (khoảng 1300-1500⁰C) được pha trộn với không khí trích từ máy nén, tạo thành hỗn hợp có nhiệt độ có nhiệt độ khoảng 900-1100⁰C. Sau đó, sản phẩm cháy được đưa qua ống tăng tốc IV, tốc độ sẽ tăng lên và đi vào tuốc bin, biến động năng thành cơ năng trên cánh tuốc bin, làm quay tuốc bin kéo máy phát quay theo. Sản phẩm cháy sau khi ra khỏi tuốc bin được thải ra môi trường.



Hình 7.6. Sơ đồ thiết bị tuốc bin khí

Quá trình cháy có thể là:

- Cháy đẳng áp $p = \text{const}$. Ở đây môi chất vào và ra khỏi buồng đốt một cách liên tục, cấu tạo buồng đốt đơn giản.

- Cháy đẳng tích $v = \text{const}$. Ở đây khi cháy, các van của buồng đốt phải đóng lại để thể tích hỗn hợp không đổi, nhằm thực hiện quá trình cháy đẳng tích, do đó sản phẩm cháy ra khỏi buồng đốt không liên tục. Muốn sản phẩm cháy vào và ra khỏi buồng đốt một cách liên tục thì cần có nhiều buồng đốt, do đó cấu tạo phức tạp và tổn thất qua các van cũng lớn. Vì vậy, trong thực tế người ta thường chế tạo tuốc bin cháy đẳng áp.

7.2.2. Chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp

Chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp được biểu diễn trên đồ thị p-v và T-s hình 7.7.

1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt môi chất trong buồng đốt,

2-3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp trong buồng đốt,

3-4 là quá trình dẫn nở đoạn nhiệt trong ống tăng tốc và trong tuốc bin,

4-1 là quá trình nhả nhiệt đẳng áp (thải sản phẩm cháy),

* Các đại lượng đặc trưng của chu trình gồm:

- Tỷ số nén:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} \quad (7-12)$$

- Hệ số dẫn nở sớm trong quá trình cấp nhiệt:

$$\rho = \frac{v_3}{v_2} \quad (7-13)$$

- Hiệu suất của chu trình:

$$\eta_{ct} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} \quad (7-14)$$

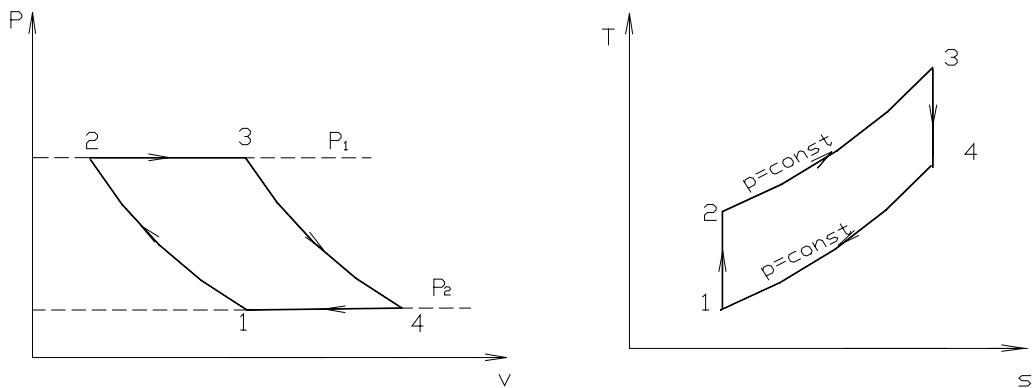
Trong đó:

q_1 là nhiệt lượng sinh ra trong quá trình cháy đẳng áp, $q_1 = q_{23} = C_p(T_2 - T_2')$,

q_2 là nhiệt lượng thải ra môi trường trong quá trình 41, $q_2 = C_p(T_4 - T_1)$,

Từ đó ta có hiệu suất của chu trình là:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$



Hình 7.7. Đồ thị p-v và T-s của chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp

Tương tự như đối với chu trình động cơ đốt trong, thay các giá trị vào ta được:

$$\eta_{ct} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7-15)$$

Ta thấy hiệu suất nhiệt của chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp phụ thuộc vào β và k . Khi tăng β và k thì hiệu suất nhiệt của chu trình sẽ tăng và ngược lại.

7.3. Chu trình động cơ phản lực

Đối với động cơ đốt trong, muốn có công suất lớn thì kích thước và trọng lượng rất lớn, do đó không thể sử dụng trong kỹ thuật hàng không được. Động cơ phản lực có thể đạt được công suất và tốc độ lớn mà kích thước và trọng lượng thiết bị lại nhỏ, do đó được sử dụng rất nhiều trong kỹ thuật hàng không, trong các tên lửa vũ trụ.

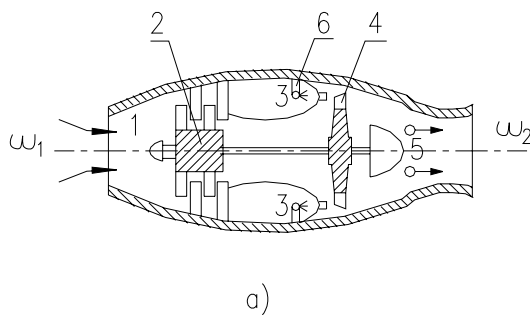
Nguyên lý của động cơ phản lực là: nhiên liệu được đốt cháy, nhiệt năng biến thành động năng của dòng khí, phun qua ống phun ra ngoài với vận tốc lớn, tạo ra phản lực mạnh đẩy thiết bị chuyển động về phía trước.

Động cơ phản lực được chia thành hai loại: động cơ máy bay và động cơ tên lửa.

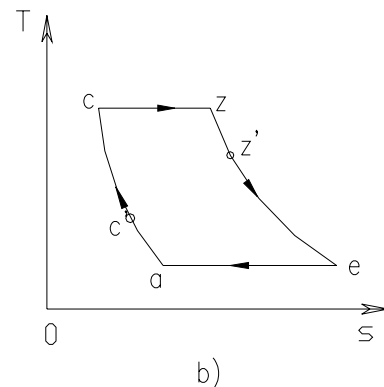
Động cơ máy bay và động cơ tên lửa chỉ khác nhau ở chỗ: Oxy cấp cho máy bay lấy từ không khí xung quanh, còn ở động cơ tên lửa oxy được chứa sẵn dưới dạng lỏng ngay trong động cơ, vì vậy tên lửa có tốc độ lớn hơn và có thể bay trong chân không.

7.3.1. Động cơ máy bay

Việc tăng áp suất không khí trong động cơ máy bay có thể nhờ ống tăng áp, có thể nhờ máy nén. Hiện nay máy bay được chế tạo theo kiểu tăng áp một phần nhờ ống tăng áp, nhưng phần chủ yếu là nhờ máy nén, do đó dưới đây ta chỉ khảo sát loại này.



Hình 7.8. Sơ đồ cấu tạo động cơ máy bay có máy nén



Hình 7.9. Đồ thị p-v chu trình động cơ máy bay có máy nén

Sơ đồ cấu tạo của động cơ máy bay có máy nén được biểu diễn trên hình 7.8. Cấu tạo của động cơ gồm các bộ phận chính như sau: ống tăng áp 1, máy nén 2, vòi phun nhiên liệu 3, tuốc bin khí 4, ống tăng tốc 5 và buồng đốt 6.

Chu trình của động cơ máy bay được biểu diễn trên hình 7.9, gồm các quá trình:

1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong ống tăng áp,

2-3 là quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong máy nén,

3-4 là quá trình cháy đẳng áp hỗn hợp Không khí-nhiên liệu trong buồng đốt, cấp cho chu trình một lượng nhiệt q_1 ,

4-5 là quá trình sản phẩm cháy dãn nở đoạn nhiệt trong tuốc bin khí, sinh công để chạy máy nén,

5-6 là quá trình dãn nở đoạn nhiệt sản phẩm cháy trong ống tăng tốc,

6-1 là quá trình thải sản phẩm cháy đẳng áp, nhả ra môi trường lượng nhiệt q_2 .

Chu trình của động cơ máy bay có máy nén cháy đẳng áp hoàn toàn giống như chu trình tuốc bin khí cấp nhiệt đẳng áp. Hiệu suất của chu trình được xác định theo (7-15):

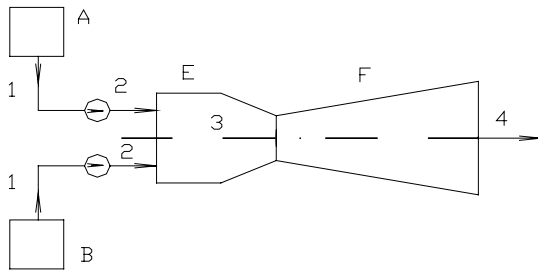
$$\eta_{ct} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \quad (7-16)$$

Ta thấy hiệu suất nhiệt η_{ct} tăng khi β tăng (β là tỷ số tăng áp trong quá trình nén 1-2 cả trong ống tăng tốc lẫn trong máy nén). Rõ ràng là tỷ số β ở đây lớn hơn β ở chu trình động cơ máy bay không có máy nén, động cơ này có hiệu suất so với các động cơ không có máy nén.

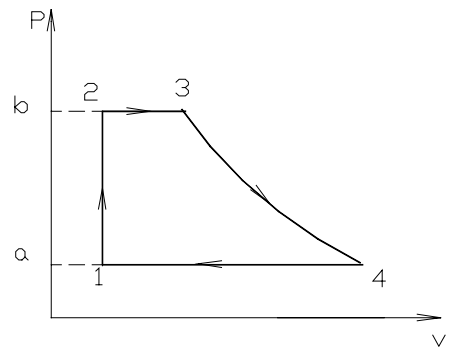
7.3.2. Động cơ tên lửa

Sơ đồ cấu tạo của động cơ tên lửa được biểu diễn trên hình 7.10. Cấu tạo của động cơ gồm các bộ phận chính như sau: Bình chứa nhiên liệu A, Bình chứa oxy lỏng B, bơm nhiên liệu C, bơm oxy lỏng D, buồng đốt E và ống tăng tốc F.

Chu trình của động cơ máy bay được biểu diễn trên đồ thị p-v hình 7.11, gồm các quá trình:



Hình 7.10. Sơ đồ cấu tạo động cơ tên lửa



Hình 7.11. Đồ thị p-v chu trình động cơ tên lửa

1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt nhiên liệu và oxy trong bơm (vì chất lỏng không chịu nén nên có thể coi là quá trình đẳng tích),

2-3 là quá trình cháy đẳng áp hỗn hợp Không khí-nhiên liệu trong buồng đốt, cấp cho chu trình một lượng nhiệt q_1 ,

3-4 là quá trình dẫn nở đoạn nhiệt sản phẩm cháy trong ống tăng tốc,

4-1 là quá trình thải sản phẩm cháy đẳng áp ra môi trường, nhả lượng nhiệt q_2 .

Hiệu suất của chu trình được xác định:

$$\eta_{ct} = \frac{1}{q_1} \quad (7-17)$$

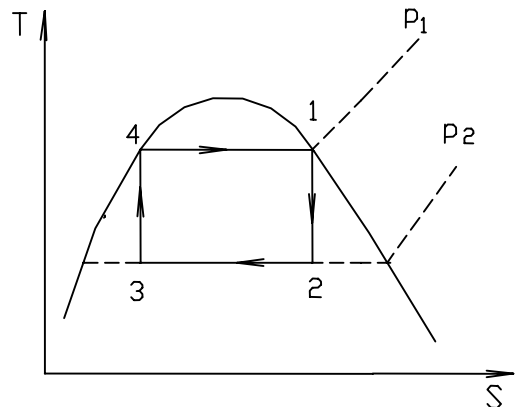
Ở đây công kỹ thuật của quá trình dẫn nở đoạn nhiệt 3-4 (bỏ qua công bơm trong quá trình 1-2).

7.4. CHU TRÌNH NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

7.4.1. Chu trình Carno hơi nước

Ở chương 2 ta đã biết chu trình Carno thuận chiều là chu trình có hiệu suất nhiệt cao nhất. Về mặt kỹ thuật, dùng khí thực trong phạm vi bão hòa có thể thực hiện được chu trình Carno và vẫn đạt được hiệu suất nhiệt lớn nhất khi ở cùng phạm vi nhiệt độ. Chu trình Carno áp dụng cho khí thực trong vùng hơi bão hòa được biểu diễn trên hình 7.12. Tuy nhiên, đối với khí thực và hơi nước thì việc thực hiện chu trình Carno rất khó khăn, vì những lý do sau đây:

- Quá trình hơi nở nhiệt đẳng áp, ngưng tụ thành nước (quá trình 2-3) sẽ thực hiện không hoàn toàn. Muốn nén đoạn nhiệt hơi ẩm theo quá trình 3-4, cần phải có máy nén kích thước rất lớn và tiêu hao công rất lớn.
- Nhiệt độ tới hạn của nước thấp ($374,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) nên độ chênh nhiệt độ giữa nguồn nóng và nguồn lạnh của chu trình không lớn lắm, do đó công của chu trình nhỏ.

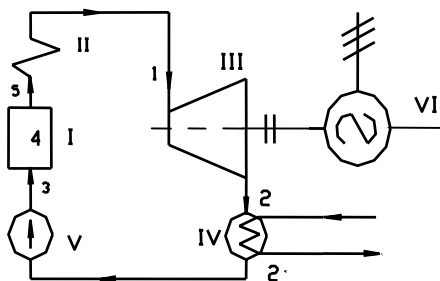


Hình 7.12. chu trình Carno hơi nước

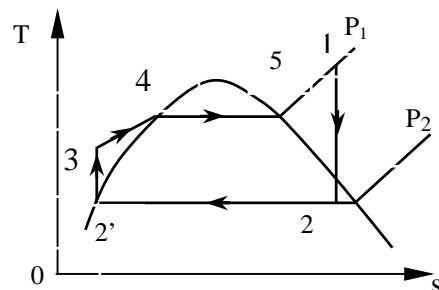
- Các giọt ẩm của hơi sẽ va đập vào cánh tuốc bin gây tổn thất năng lượng và ăn mòn và mài mòn nhanh cánh Tuốc bin.

7.4.2. Chu trình Rankin (chu trình nhà máy điện)

Như đã phân tích ở trên, tuy có hiệu suất nhiệt cao nhưng chu trình Carno có một số nhược điểm khi áp dụng cho khí thực, nên trong thực tế người ta không áp dụng chu trình này mà áp dụng một chu trình cải tiến gần với chu trình này gọi là chu trình Rankin. Chu trình Rankin là chu trình thuận chiều, biến nhiệt thành công.



Hình 7.13. Sơ đồ thiết bị nhà máy điện



Hình 7.14. Đồ thị T-s của chu trình NMNĐ

Chu trình Rankin là chu trình nhiệt được áp dụng trong tất cả các loại nhà máy nhiệt điện, môi chất là nước. Tất cả các thiết bị của các nhà máy nhiệt điện

đều giống nhau trừ thiết bị sinh hơi I. Trong thiết bị sinh hơi, nước nhận nhiệt để biến thành hơi

Đối với nhà máy nhiệt điện thiết bị sinh hơi là lò hơi, trong đó nước nhận nhiệt từ quá trình đốt cháy nhiên liệu. Đối với nhà máy điện mặt trời hoặc địa nhiệt, nước nhận nhiệt từ năng lượng mặt trời hoặc từ nhiệt năng trong lòng đất. Đối với nhà máy điện nguyên tử, thiết bị sinh hơi là thiết bị trao đổi nhiệt, trong đó nước nhận nhiệt từ chất tải nhiệt trong lò phản ứng hạt nhân ra.

Sơ đồ thiết bị của chu trình Renkin được trình bày trên hình 7.13. Đồ thị T-s của chu trình được biểu diễn trên hình 7.14.

Nước ngưng trong bình ngưng IV (ở trạng thái 2' trên đồ thị) có thông số p_2, t_2, i_2 , được bơm V bơm vào thiết bị sinh hơi I với áp suất p_1 (quá trình 2'-3). Trong thiết bị sinh hơi, nước trong các ống sinh hơi nhận nhiệt đẳng áp đến sôi (quá trình 3-4), hoá hơi (quá trình 4-5) và thành hơi quá nhiệt trong bộ quá nhiệt II (quá trình 5-1). Quá trình 3-4-5-1 là quá trình hóa hơi đẳng áp ở áp suất $p_1 = \text{const}$. Hơi ra khỏi bộ quá nhiệt II (ở trạng thái 1) có thông số p_1, t_1 đi vào tuốc bin III, ở đây hơi giãn nở đoạn nhiệt đến trạng thái 2 (quá trình 1-2) và sinh công trong tuốc bin. Hơi ra khỏi tuốc bin có thông số p_2, t_2 , đi vào bình ngưng IV, ngưng tụ thành nước (quá trình 2-2'), rồi lại được bơm V bơm trở về lò. Quá trình nén đoạn nhiệt trong bơm có thể xem là quá trình nén đẳng tích vì nước không chịu nén (thể tích ít thay đổi).

7.4.2.2. Hiệu suất nhiệt của chu trình Renkin

Hiệu suất nhiệt của chu trình η_t được tính theo công thức:

$$\eta_{ct} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = \frac{l}{q_1} \quad (7-18)$$

Nhiệt lượng nhận được trong lò hơi theo quá trình đẳng áp 3-1 là:

$$q_1 = i_1 - i_3$$

Nhiệt lượng môi chất nhả ra cho nước làm mát ở bình ngưng trong quá trình đẳng áp 2-2' là:

$$q_2 = i_2 - i_2'$$

Thông thường, ở áp suất không cao lắm, công tiêu tốn cho bơm nước cấp rất bé so với công Tuốc bin sinh ra nên ta có thể bỏ qua công bơm, nghĩa là coi $i_2' \approx i_3$. Khi đó công của chu trình sẽ bằng:

$$l = q_1 - |q_2| = i_1 - i_3 - i_2' - i_2' \approx i_1 - i_2 \quad (7-19)$$

Hiệu suất nhiệt chu trình sẽ bằng:

$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \quad (7-20)$$

7.4.2.3. Các biện pháp nâng cao hiệu suất của chu trình

Hiệu suất nhiệt của chu trình Renkin cũng có thể biểu thị bằng hiệu suất chu trình Carno tương đương:

$$\max \eta_t = \eta_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7-20)$$

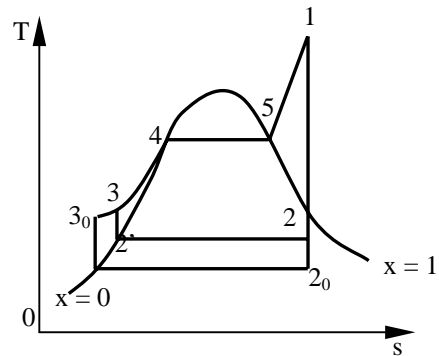
Từ (7-20) ta thấy: hiệu suất nhiệt của chu trình khi giảm nhiệt độ trung bình T_{2tb} của quá trình nở nhiệt trong bình ngưng hoặc tăng nhiệt độ trung bình T_{1tb} của quá trình cấp nhiệt trong lò hơi.

* Giảm nhiệt độ trung bình của quá trình nở nhiệt T_{2tb}

Hình 10.7 biểu diễn chu trình Rankin có áp suất cuối giảm từ p_2 xuống p_{20} , khi nhiệt độ đầu t_1 và áp suất đầu P_1 không thay đổi.

Khi giảm áp suất ngưng tụ p_2 của hơi trong bình ngưng, thì nhiệt độ bão hòa t_s cũng giảm theo, do đó nhiệt độ trung bình T_{2tb} của quá trình nở nhiệt giảm xuống. Theo (10-29) thì hiệu suất nhiệt η_t của chu trình tăng lên.

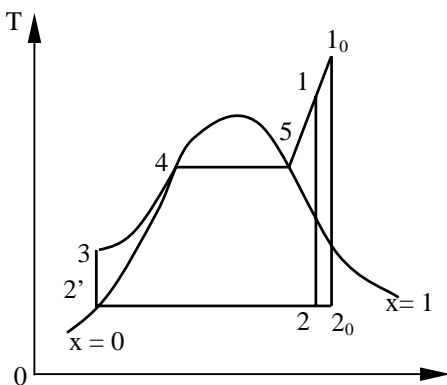
Tuy nhiên, nhiệt độ t_s bị giới hạn bởi nhiệt độ nguồn lạnh (nhiệt độ nước làm mát trong bình ngưng), do đó áp suất cuối của chu trình cũng không thể xuống quá thấp, thường từ 2Kpa đến 5Kpa tùy theo điều kiện khí hậu từng vùng. Mặt khác, khi giảm áp suất p_2 xuống thì độ ẩm của hơi ở các tầng cuối tuốc bin cũng giảm xuống, sẽ làm giảm hiệu suất và tuổi thọ Tuốc bin, do đó cũng làm giảm hiệu suất chung của toàn nhà máy.



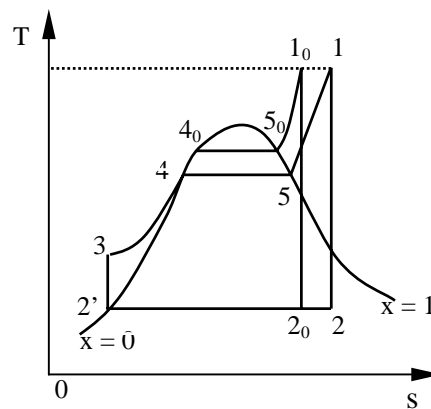
Hình 10.15. ảnh hưởng của áp suất cuối

* Nâng cao nhiệt độ trung bình của quá trình cấp nhiệt T_{1tb}

Để nâng nhiệt độ trung bình của quá trình cấp nhiệt T_{1tb} , có thể tăng áp suất đầu p_1 hoặc nhiệt độ đầu t_1 .



Hình 7.16. ảnh hưởng của nhiệt độ đầu



Hình 7.17. ảnh hưởng của áp suất đầu

- Hình 7.16. biểu diễn chu trình Rankine có nhiệt độ hơi quá nhiệt tăng từ t_1 lên t_{10} khi áp suất hơi quá nhiệt p_1 và áp suất cuối p_2 không đổi. Khi đó nhiệt độ trung bình T_{1tb} của quá trình cấp nhiệt 3451 tăng lên, do đó theo (7-21) thì hiệu suất nhiệt η_t của chu trình tăng lên.

- Hình 7.17. biểu diễn chu trình Rankine có áp suất đầu tăng từ p_1 đến p_{10} , khi nhiệt độ hơi quá nhiệt t_1 và áp suất cuối p_2 không thay đổi.

Nếu giữ nguyên nhiệt độ hơi quá nhiệt t_1 và áp suất cuối p_2 , tăng áp suất p_1 thì nhiệt độ sôi của quá trình 4-5 tăng, do đó nhiệt độ trung bình T_{1tb} của quá trình cấp nhiệt 3451 cũng tăng lên trong khi T_{2tb} giữ nguyên, dẫn đến hiệu suất nhiệt η_t của chu trình tăng lên.

Tuy nhiên khi tăng áp suất p_1 thì độ khô của hơi các tầng cuối tuốc bin sẽ giảm, là giảm hiệu suất và tuổi thọ tuốc bin.

Khi tăng nhiệt độ đầu thì độ ẩm giảm, nhưng tăng áp suất đầu thì độ ẩm tăng. Do đó trên thực tế người ta thường tăng đồng thời cả áp suất và nhiệt độ đầu để tăng hiệu suất chu trình mà độ ẩm không tăng, nên hiệu suất của chu trình Rankine thực tế sẽ tăng lên.

Chính vì vậy, ứng với một giá trị áp suất đầu người ta sẽ chọn nhiệt độ đầu tương ứng, hai thông số này gọi là thông số kết đôi.

7.4.3. Chu trình trích hơi gia nhiệt nước cấp

Một biện pháp khác để nâng cao hiệu suất chu trình Rankine là trích một phần hơi từ tuốc bin để gia nhiệt hâm nước cấp. Sơ đồ thiết bị chu trình gia nhiệt hâm nước cấp được biểu diễn trên hình 7.18. Chu trình này khác chu trình Rankine ở chỗ: Cho 1kg hơi đi vào tuốc bin, sau khi dẫn nở trong phần đầu của Tuốc bin từ áp suất p_1 đến áp suất p_2 , người ta trích một lượng hơi g_1 và g_2 để gia nhiệt nước cấp, do đó lượng hơi đi qua phần sau của tuốc bin vào bình ngưng sẽ giảm xuống chỉ còn là g_k :

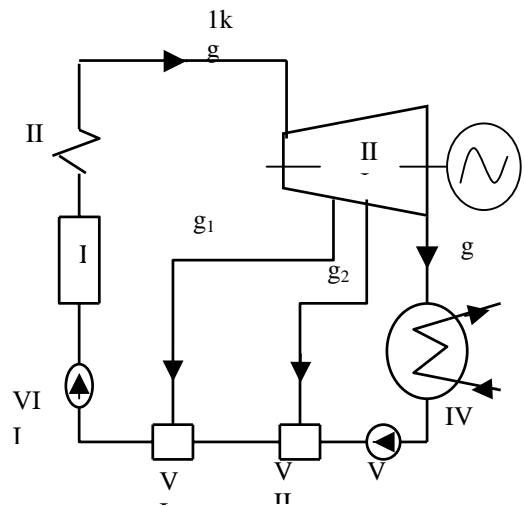
$$g_k = 1 - g_1 - g_2 \quad (7-22)$$

Lượng nhiệt nhả ra trong bình ngưng cũng giảm xuống chỉ còn:

$$q_2^{hn} = (i_2 - i_2')(1 - g_1 - g_2) < (i_2 - i_2') \quad (7-23)$$

Hiệu suất chu trình có trích hơi hâm nóng nước cấp là:

$$\eta_{ct}^{tr} = \frac{q_1 - |q_2|^{hn}}{q_1} = \frac{1}{q_1} \quad (7-24)$$



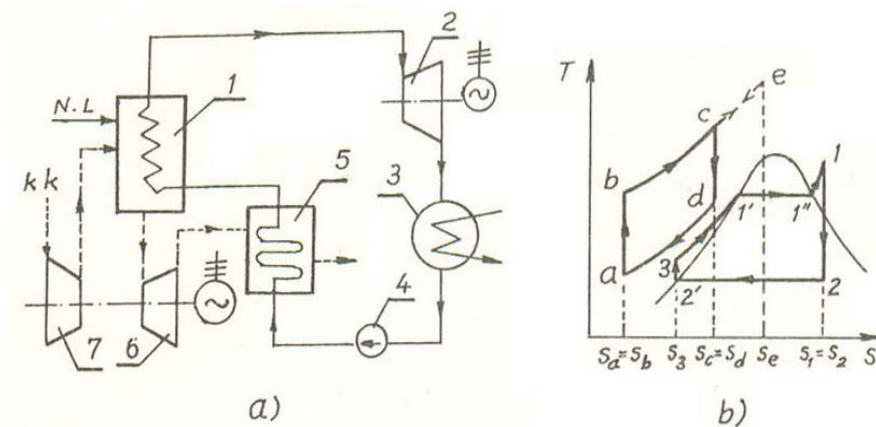
Hình 7.18. chu trình gia nhiệt hâm nước cấp

$$\eta_{ct}^{tr} = 1 - \frac{|q_2|^{hn}}{q_1} > \eta_{ct} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad (7-25)$$

Lượng hơi vào bình ngưng giảm, nghĩa là lượng nhiệt q_2 mà hơi nhả ra cho nước làm mát trong bình ngưng cũng giảm. Từ (7-25) rõ ràng ta thấy hiệu suất nhiệt chu trình có trích hơi gia nhiệt hâm nước cấp tăng lên.

7.4.4. Nhà máy điện dùng chu trình hỗn hợp Tuốc bin khí - hơi

Chu trình hỗn hợp là một chu trình ghép, gồm chu trình Rankin hơi nước và chu trình Tuốc bin khí. Sơ đồ thiết bị và đồ thị T-s của chu trình được thể hiện trên hình 7.19. Hệ thống thiết bị bao gồm: thiết bị sinh hơi 1 (buồng đốt); tuốc bin hơi nước 2; bình ngưng hơi 3; bơm nước cấp 4; bộ hâm nước 5; tuốc bin khí 6; máy nén không khí 7.



Hình 7.20. Sơ đồ thiết bị và đồ thị T-s của chu trình hỗn hợp

Nguyên lí làm việc của chu trình thiết bị như sau: Không khí được nén đoạn nhiệt trong máy nén 7 đến áp suất và nhiệt độ cao, được đưa vào buồng đốt 1 cùng với nhiên liệu và cháy trong buồng đốt dưới áp suất cao, không đổi. Sau khi nhả một phần nhiệt cho nước trong dàn ống của buồng đốt 1, sản phẩm cháy đi vào tuốc bin khí 6, dẫn nở sinh công. Ra khỏi tuốc bin khí, sản phẩm cháy có nhiệt độ còn cao, tiếp tục đi qua bộ hâm nước 5, gia nhiệt cho nước rồi thải ra ngoài.

Nước được bơm 4 bơm qua bộ hâm nước 5, vào dàn ống của buồng đốt 1. Ở đây nước nhận nhiệt và biến thành hơi quá nhiệt. Hơi quá nhiệt đi vào tuốc bin hơi 2, dẫn nở đoạn nhiệt và sinh công. Ra khỏi tuốc bin, hơi đi vào bình ngưng 3 nhả nhiệt đẳng áp, ngưng tụ thành nước rồi được bơm 4 bơm trở về lò, lặp lại chu trình cũ.

Đồ thị T-s của chu trình nhiệt được biểu diễn trên hình 7.20. Nhiệt lượng do nhiên liệu cháy tỏa ra trong quá trình b-e chia thành hai phần: một phần dùng để sản xuất hơi nước trong thiết bị sinh hơi 1, một phần cấp cho tuốc bin khí 6.

- a-b: quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong máy nén khí 7;

- b-c: quá trình cấp nhiệt (cháy) đẳng áp trong buồng đốt 1;
 - c-d: quá trình dẫn nở đoạn nhiệt sinh công trong tuốc bin khí 6;
 - d-a: quá trình nhả nhiệt đẳng áp trong bộ hâm nước 5;
 - 3-1'-1''-1: quá trình nước nhận nhiệt đẳng áp trong bộ hâm 5 và buồng đốt 1;
 - 1-2; 2-2'; 2'-3 là các quá trình dẫn nở đoạn nhiệt trong tuốc bin, ngưng đẳng áp trong bình ngưng, nén đoạn nhiệt trong bơm như ở chu trình Renkin.
- Hiệu suất chu trình là:

$$\eta_{ct} = \frac{1}{q_1} \quad (7-28)$$

Trong đó:

l: Công của tuốc bin hơi và tuốc bin khí, $l = l_h + l_k$

q_1 : nhiệt lượng nhiên liệu tỏa ra khi cháy trong buồng đốt 1.

7.5. chu trình thiết bị lạnh chạy bằng Amoniac, Frêon

Chu trình thiết bị lạnh chạy là chu trình ngược chiều, nhận nhiệt từ nguồn có nhiệt độ thấp, nhả nhiệt chonguồn có nhiệt độ cao. Môi chất sử dụng trong các làm thiết bị lạnh thực tế thường là hơi của một số chất lỏng có nhiệt độ sôi thấp ở áp suất bình thường, hệ số tỏa nhiệt lớn, rẻ tiền, không độc hại. Tùy theo phương pháp tăng áp suất của môi chất ta chia ra hai loại: chu trình thiết bị lạnh có máy nén và chu trình thiết bị lạnh hấp thụ (không có máy nén).

7.5.1. Chu trình thiết bị lạnh có máy nén

Môi chất thường dùng trong máy lạnh có máy nén là Amoniac (NH_3) hay Frêon F_{12} , F_{22} (có công thức: $C_mH_xF_yCl_z$). Amôniac thường dùng trong máy lạnh công nghiệp để sản xuất nước đá hoặc làm lạnh thực phẩm, vì nhiệt ẩn hoá hơi lớn nên có thể chế tạo với công suất lớn. Frêon thường dùng trong máy lạnh gia đình như tủ kem, tủ lạnh gia đình vì không đòi hỏi công suất lớn, không mùi và không độc hại.

Sơ đồ nguyên lý của máy lạnh có máy nén được thể hiện trên hình 7-20. Hơi môi chất ở trạng thái bão hoà khô từ buồng lạnh IV có áp suất p_1 được máy nén hút vào và nén đoạn nhiệt đến áp suất p_2 , nhiệt độ t_2 . Sau đó đi vào bình ngưng II ngưng tụ đẳng áp ở áp suất p_2 , nhả lượng nhiệt q_1 cho không khí hay nước làm mát. Lỏng ngưng tụ từ dàn ngưng II đi qua van tiết lưu III, giảm áp suất từ p_2 xuống p_1 và chuyển từ dạng lỏng sang dạng hơi ẩm. Hơi ẩm tiếp tục đi vào buồng lạnh IV nhận nhiệt lượng q_2 của vật cần làm lạnh ở áp suất $p_1 = \text{const}$ biến thành hơi bão hoà khô và chu trình lặp lại như cũ.

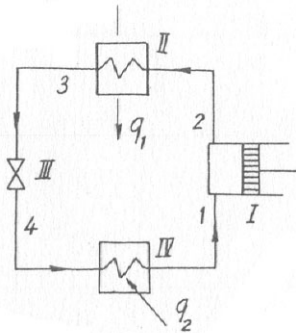
Các quá trình của máy lạnh dùng hơi có máy nén được biểu thị trên đồ thị hình 7-21.

1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt trong máy nén, áp suất tăng từ p_1 đến p_2 ,

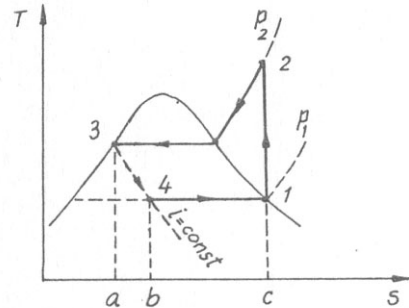
2-3 là quá trình ngưng tụ đẳng áp ở áp suất $p_2 = \text{const}$, nhả lượng nhiệt q_1 cho không khí hay nước làm mát,

3-4 là quá trình tiết lưu trong van tiết lưu, áp suất giảm từ p_2 xuống p_1 ,

4-1 là quá trình bốc hơi ở dàn bốc hơi trong buồng lạnh, môi chất nhiệt lượng q_2 ở áp suất $p_1 = \text{const}$.



Hình 4-26. Sơ đồ máy lạnh dùng hơi có máy nén



Hình 4-27. Đồ thị T-s chu trình máy lạnh dùng hơi có máy nén

Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2} = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_4) - (i_1 - i_5)},$$

vì trong quá trình tiết lưu $i_4 = i_3$, do đó:

$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_1)} \quad (7-26)$$

Năng suất của máy lạnh:

$$Q_0 = G \cdot q_2,$$

Công suất của máy nén:

$$N = G \cdot l,$$

ở đây: G là lưu lượng môi chất trong chu trình, kg/s.

7.5.2. Bơm nhiệt

Bơm nhiệt còn được gọi là máy điều hoà hai chiều. Bơm nhiệt có thể làm lạnh, hút ẩm và cũng có thể sưởi ấm, hiện được dùng khá phổ biến ở miền Bắc nước ta. Khi dùng với chức năng sưởi ấm, bơm nhiệt sẽ tiết kiệm được điện năng rất nhiều so với dùng lò sưởi điện trở.

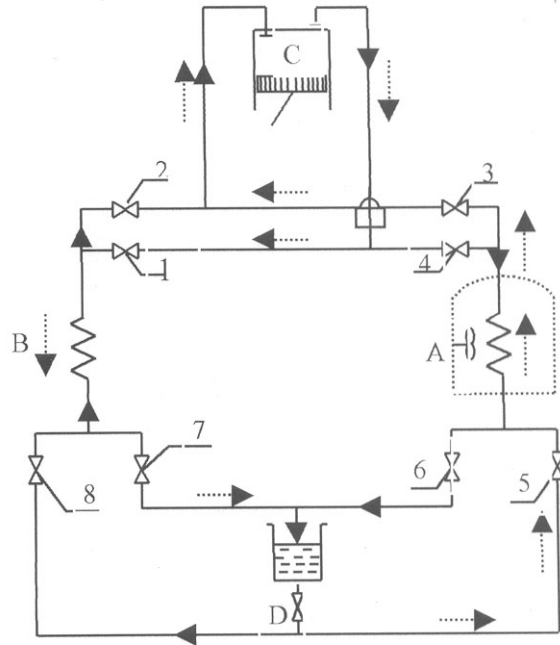
Nguyên lý làm việc của bơm nhiệt như sau: Môi chất ở trạng thái bão hoà khô từ buồng lạnh IV được máy nén hút vào và nén đoạn nhiệt từ áp suất p_1 đến áp suất p_2 , nhiệt độ t_2 . Sau đó đi vào dàn ngưng II ngưng tụ đẳng áp ở áp suất p_2 , nhả lượng nhiệt q_1 biến thành lỏng. Lỏng từ dàn ngưng II đi qua van tiết lưu III, giảm áp suất từ p_2 xuống p_1 và chuyển từ dạng lỏng sang dạng hơi ẩm, rồi vào dàn bay hơi để nhận nhiệt lượng q_2 . Nếu sử dụng năng lượng hữu ích từ dàn bay hơi (dàn lạnh, được bố trí trong phòng) thì máy làm việc theo chế độ làm lạnh; Nếu sử dụng năng lượng hữu ích từ dàn ngưng (dàn nóng, được bố trí trong phòng) thì máy làm việc theo chế độ sưởi ấm (bơm nhiệt). Trong thực tế các dàn được bố trí cố định, chỉ cần đổi chiều chuyển động của dòng môi chất nhờ van đổi chiều.

Sơ đồ nguyên lý của bơm nhiệt được thể hiện trên hình 7-22. Chỉ cần thay đổi vai trò đóng, mở của các van, thiết bị có thể làm lạnh hoặc sưởi ấm. Thiết bị

chính gồm máy nén C, hai dàn trao đổi nhiệt A và B, hai dàn này thay nhau làm dàn lạnh (dàn bốc hơi) hoặc dàn nóng (dàn ngưng tụ); van tiết lưu D và các van đóng mở từ 1-8 để thay đổi chức năng làm việc của máy. Môi chất có thể là Frêon hoặc Amôniac. Để xét nguyên lý vận hành của thiết bị, ta coi dàn A đặt trong phòng.

*** Máy làm việc với chức năng sưởi ấm:**

Mở các van 2, 4, 6, 8 và đóng các van 1, 3, 5, 7, môi chất từ máy nén C đi theo chiều C4A6D8B2C. Môi chất được máy nén hút vào và nén đến áp suất và nhiệt độ cao, qua van 4 vào dàn ngưng A, nhả lượng nhiệt cho không khí trong phòng. Bản thân môi chất mất nhiệt, sẽ ngưng tụ, đi qua van 6 và van tiết lưu D, biến thành hơi bão hoà ẩm ở nhiệt độ và áp suất thấp, qua van 8 vào dàn bay hơi B để nhận nhiệt từ môi trường xung quanh, bốc hơi và được hút về máy nén, hoàn chỉnh một chu trình ngược chiều.



Hình 7.22. sơ đồ máy lạnh-bơm nhiệt

*** Máy làm việc với chức năng làm mát:**

Đóng các van 2, 4, 6, 8 và mở các van 1, 3, 5, 7, môi chất từ máy nén C đi theo chiều C1B7D5A3C. Môi chất được máy nén hút vào và nén đến áp suất và nhiệt độ cao, qua van 1 vào dàn ngưng B, nhả lượng nhiệt cho môi trường xung quanh. Bản thân môi chất mất nhiệt, sẽ ngưng tụ, đi qua van 7 và van tiết lưu D, biến thành hơi bão hoà ẩm ở nhiệt độ và áp suất thấp, qua van 5 vào dàn bay hơi A để nhận nhiệt từ không khí trong phòng, làm cho nhiệt độ trong phòng giảm xuống, môi chất bốc hơi và được hút về máy nén, hoàn chỉnh một chu trình ngược chiều để làm mát phòng.