

Chương 6. CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG THỰC TẾ

6.1. QUÁ TRÌNH LƯU ĐỘNG

Sự chuyển động của môi chất gọi là lưu động. Khi khảo sát dòng lưu động, ngoài các thông số trạng thái như áp suất, nhiệt độ . . . ta còn phải xét một thông số nữa là tốc độ, kí hiệu là ω .

6.1.1 Các điều kiện khảo sát

Để đơn giản, khi khảo sát ta giả thiết :

- *Dòng lưu động là ổn định*: nghĩa là các thông số của môi chất không thay đổi theo thời gian .

- *Dòng lưu động một chiều*: vận tốc dòng không thay đổi trong tiết diện ngang.

- *Quá trình lưu động là đoạn nhiệt*: bỏ qua nhiệt do ma sát và dòng không trao đổi nhiệt với môi trường.

- *Quá trình lưu động là liên tục*: các thông số của dòng thay đổi một cách liên tục, không bị ngắt quãng và tuân theo phương trình liên tục:

$$G = \omega \cdot \rho \cdot f = \text{const} \quad (6-1)$$

ở đây:

G — lưu lượng khối lượng [kg/s];

ω - vận tốc của dòng [m/s];

f — diện tích tiết diện ngang của dòng tại nơi khảo sát [m²];

ρ - khối lượng riêng của môi chất [kg/m³];

6.1.2. Các qui luật chung của của quá trình lưu động

6.1.2.1. Tốc độ âm thanh

Tốc độ âm thanh là tốc độ lan truyền sóng chấn động trong một môi trường nào đó. Tốc độ âm thanh trong môi trường khí hoặc hơi được xác định theo công thức:

$$a = \sqrt{kp v} = \sqrt{kRT} \quad (6-2)$$

ở đây:

a — tốc độ âm thanh [m/s];

k — số mũ đoạn nhiệt;

p - áp suất môi chất [N/m²];

v — thể tích riêng [m³/kg];

R — Hằng số chất khí [J/kg⁰K];

T — nhiệt độ tuyệt đối của môi chất [⁰K];

Từ (6-2) ta thấy tốc độ âm thanh phụ thuộc vào bản chất và các thông số trạng thái của môi chất.

Tỉ số giữa tốc độ của dòng với tốc độ âm thanh được gọi là số Mach, ký hiệu là M.

$$\frac{\omega}{a} = M \quad (6-3)$$

Khi:

- $\omega < a$ nghĩa là $M < 1$, ta nói dòng lưu động dưới âm thanh,
- $\omega = a$ nghĩa là $M = 1$, ta nói dòng lưu động bằng âm thanh,
- $\omega > a$ nghĩa là $M > 1$, ta nói dòng lưu động trên âm thanh (vượt âm thanh).

Dòng lưu động trong ống là một hệ hở, do đó ta theo định luật nhiệt động I ta có thể viết:

$$dq = di - vdp \quad (6-4a)$$

$$dq = di + d\frac{\omega^2}{2} \quad (6-4b).$$

6.1.2.2. Quan hệ giữa tốc độ và hình dáng ống

Vì dòng đoạn nhiệt có $dq = 0$, nên từ (6-4) ta suy ra:

$$d\frac{\omega^2}{2} = -vdp \quad (6-5).$$

$$\omega d\omega = -vdp \quad (6-6)$$

Các đại lượng ω , v , p luôn dương, do đó ω ngược dấu với p , nghĩa là:

- Khi tốc độ tăng ($d\omega > 0$) thì áp suất giảm ($dp < 0$), ống loại này là ống tăng tốc. Ống tăng tốc được dùng để tăng động năng của dòng môi chất trong tuốc bin hơi, tuốc bin khí.

- Khi tốc độ tăng ($d\omega < 0$) thì áp suất tăng ($dp > 0$), ống loại này là ống tăng áp. Ống tăng áp được dùng để tăng áp suất của chất khí trong máy nén li tâm, động cơ phản lực.

6.1.2.3. Quan hệ giữa tốc độ và hình dáng ống

Từ (6-1) ta có: $Gv = \omega f$, lấy vi phân ta được: $Gdv = fd\omega + \omega df$, chia 2 vế của phương trình cho ωf ta được:

$$\frac{df}{f} = \frac{dv}{v} - d\frac{\omega}{\omega} \quad (6-7).$$

Mặt khác, quá trình lưu động là đoạn nhiệt nên $\frac{dv}{v} = -\frac{dp}{kp}$, thay vào (6-7) ta được:

$$\frac{df}{f} = -\frac{dp}{kp} - \frac{d\omega}{\omega} \quad (6-8)$$

Đồng thời từ (6-6) ta có: $dp = dp = -\frac{\omega d\omega}{v}$, thay vào (6-8) ta được:

$$\frac{df}{f} = -\frac{\omega d\omega}{kpv} - \frac{d\omega}{\omega} \quad \text{hay} \quad \frac{df}{f} = -\frac{\omega^2}{a^2} \frac{d\omega}{\omega} - \frac{d\omega}{\omega}, \quad \text{từ đó suy ra:}$$

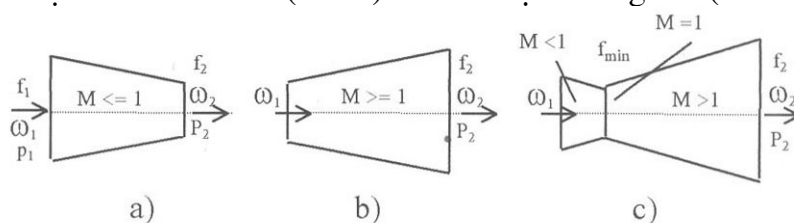
$$\frac{df}{f} = (M^2 - 1) \frac{d\omega}{\omega}, \quad (6-9)$$

Đối với ống tăng tốc, vì F, ω, M luôn dương và $d\omega > 0$, nên df sẽ cùng dấu với (M^2-1) , từ đây ta có 3 trường hợp sau:

- Nếu $(M^2-1) < 0$ nghĩa là $M < 1$ hay $(\omega < a)$ thì $df < 0$ (tiết diện giảm). ống tăng tốc có tiết diện nhỏ dần (hình 6.1a),

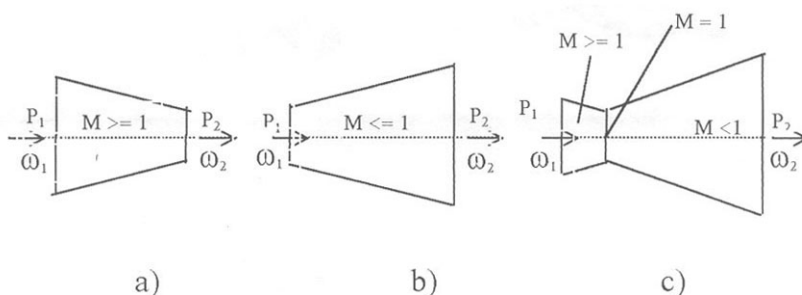
- Nếu $(M^2-1) > 0$ nghĩa là $M > 1$ hay $(\omega > a)$ thì $df > 0$ (tiết diện tăng). ống tăng tốc có tiết diện lớn dần (hình 6.1b),

- Nếu $(M^2-1) = 0$ nghĩa là $M = 1$ hay $(\omega = a)$ thì $df = 0$ (tiết diện không đổi). Nghĩa là tại nơi bắt đầu có $(\omega = a)$ thì tiết diện không đổi (hình 6.1c).



Hình 6.1. Ống tăng tốc

Đối với ống tăng áp, vì $d\omega < 0$, nên df sẽ ngược dấu với (M^2-1) , các kết quả thu được sẽ ngược lại với ống tăng tốc, nghĩa là khi nghĩa là $M > 1$ thì $df < 0$, ống tăng áp có tiết diện nhỏ dần (hình 6.2a); khi $M < 1$ thì $df > 0$, ống tăng áp có tiết diện lớn dần (hình 6.2b).



Hình 6.2 Ống tăng áp

Qua phân tích ta thấy: đối với một ống phun nhất định (lớn dần hay nhỏ dần) thì tùy theo tốc độ ở đầu vào mà ống có thể làm việc như ống tăng tốc hay ống tăng áp.

6.1.2.4. Tốc độ dòng khí tại tiết diện ra của rỗng tăng tốc

Dòng lưu động đoạn nhiệt có $dq = 0$ nên theo (6-4a) ta có: $-di = dl_{kt} = d\frac{\omega^2}{2}$, tích phân lên ta được:

$$i_1 - i_2 = l_{kt} = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} \quad (6-10)$$

Với ống tăng tốc thì thông thường $\omega_2 \gg \omega_1$ nên có thể coi $i_1 - i_2 = l_{kt} = \frac{\omega_2^2}{2}$, khi đó tốc độ tại tiết diện ra là:

$$\omega_2 = \sqrt{2l_{kt}} = \sqrt{2(i_1 - i_2)} \quad (6-11a)$$

$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (6-11b)$$

6.1.2.5. Tốc độ tới hạn và áp suất tới hạn

Khi lưu động qua ống tăng tốc nhỏ dần với tốc độ đầu vào nhỏ hơn âm thanh, tốc độ dòng sẽ tăng dần, còn áp suất và nhiệt độ giảm dần đến tiết diện nào đó, tốc độ dòng bằng tốc độ âm thanh ($\omega_k = a_k$), ta nói dòng đạt trạng thái tới hạn, các thông số tại đó gọi là thông số tới hạn, ký hiệu là $v_k, p_k, \omega_k \dots$

Tỷ số giữa áp suất tới hạn và áp suất ở tiết diện vào gọi là tỉ số áp suất tới hạn, ký hiệu $\beta_k = p_k/p_1$.

Khi dòng đạt trạng thái tới hạn $\omega_k = a_k$, theo (6-2) và (6-11b) ta có:

$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = a_k = \omega_2 = \sqrt{2k p_k v_k},$$

suy ra:

$$\beta_k = \frac{p_k}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (6-12)$$

Từ (6-12) ta thấy tỉ số áp suất tới hạn chỉ phụ thuộc vào số mũ đoạn nhiệt k , tức là vào bản chất của chất khí. Với khí 2 nguyên tử $k = 1,4$ thì $\beta_k = 0,528$. Với khí 3 nguyên tử $k = 1,3$ thì $\beta_k = 0,55$.

Khi thay β bởi β_k thì tốc độ tới hạn được xác định theo (6-11b):

$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left[1 - \beta_k^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (6-13)$$

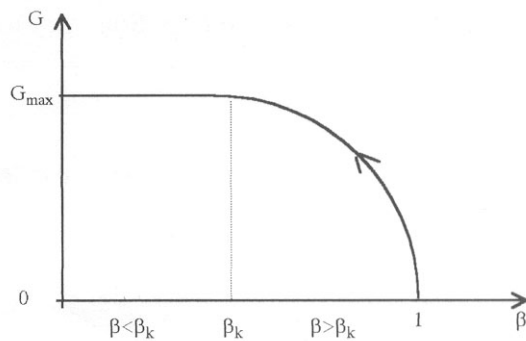
$$\omega_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k} \frac{k}{k+1}} \right]} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_1},$$

6.1.2.6. Lưu lượng cực đại

Lưu lượng của dòng lưu động được xác định theo công thức (6-1) tại tiết diện ra f_2 của ống:

$$G = \frac{f_2 \omega_2}{v_2} \quad (6-14)$$

Khi áp suất tại tiết diện ra thay đổi thì lưu lượng cũng thay đổi và chỉ phụ thuộc vào tỉ số áp suất $\beta = p_2/p_1$. Để tính lưu lượng lớn nhất G_{\max} ta lấy đạo hàm của G theo β và xác định được lưu lượng lớn nhất khi $\beta = \beta_k$. Nghĩa là khi tốc độ dòng đạt tới tốc độ âm thanh thì lưu lượng cũng đạt giá trị cực đại.



Hình 6.3. sự phụ thuộc $G = f(\beta)$

Thực nghiệm cho thấy: Nếu tiếp tục giảm β , thì lưu lượng sẽ không tăng lên mà vẫn giữ nguyên ở giá trị G_{\max} , khi đó lưu lượng cực đại được tính theo các thông số tới hạn;

$$G_{\max} = \frac{f_{\min} \omega_k}{v_k} \quad (6-15)$$

6.1.3. Ống tăng tốc nhỏ dần và ống tăng tốc hỗn hợp

6.1.3.1. ống tăng tốc nhỏ dần

Như đã biết trong mục 6.1.2.3, đối với ống tăng tốc nhỏ dần, nếu dòng vào có tốc độ nhỏ hơn âm thanh thì tốc độ của dòng tăng dần và cùng lắm thì bằng tốc độ âm thanh. Vì vậy, trước khi tính toán cần so sánh tỉ số áp suất $\beta = p_2/p_1$ với $\beta_k = p_k/p_1$.

+ Nếu $\beta > \beta_k$, trạng thái dòng khí trong ống phun chưa đạt đến trạng thái tới hạn, tốc độ $\omega_2 < \omega_k$ được tính theo (6-11) và lưu lượng $G < G_{\max}$ được tính theo (6-14).

+ Nếu $\beta \leq \beta_k$, dòng khí trong ống phun đạt đến trạng thái tới hạn, tốc độ $\omega_2 = \omega_k$ được tính theo (6-13) và lưu lượng $G = G_{\max}$ được tính theo (6-15).

6.1.3.2. Ống tăng tốc hỗn hợp (ống Lavan)

Ống tăng tốc nhỏ dần không thể đạt được tốc độ lớn hơn âm thanh, do đó để đạt được tốc độ trên âm thanh người ta ghép ống tăng tốc nhỏ dần với ống tăng tốc lớn dần gọi là ống tăng tốc Lavan (hình 6.1c).

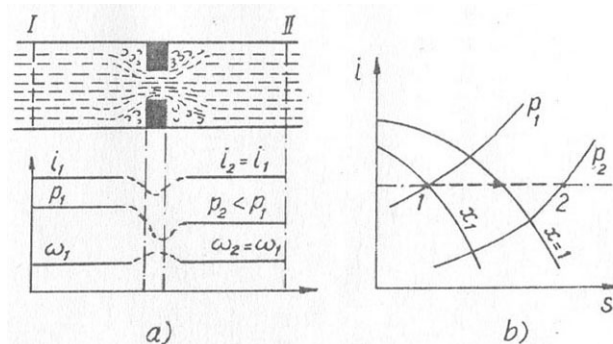
Đối với ống Lavan, khi ở tiết diện vào tỉ số áp suất $\beta > \beta_k$ thì tốc độ vào nhỏ hơn tốc độ âm thanh, nếu ở tiết diện ra đạt được điều kiện $\beta < \beta_k$, thì tại tiết diện cực tiểu $\beta = \beta_k$, tốc độ $\omega_{\min} = \omega_k$ và tại tiết diện ra tốc độ $\omega_2 > \omega_k$.

6.2. QUÁ TRÌNH TIẾT LƯU

6.2.1. Định nghĩa

Quá trình tiết lưu là quá trình giảm áp suất mà không sinh công, khi môi chất chuyển động qua chỗ tiết diện bị giảm đột ngột.

Trong thực tế, khi dòng môi chất chuyển động qua van, lá chắn những chỗ có tiết diện thu hẹp đột ngột, trở lực sẽ tăng đột ngột, áp suất của dòng phía sau tiết diện sẽ nhỏ hơn trước tiết diện, sự giảm áp suất này không sinh công mà nhằm khắc phục trở lực ma sát do dòng xoáy sinh ra sau tiết diện.



Hình 6.4. Quá trình tiết lưu

Thực tế quá trình tiết lưu xảy ra rất nhanh, nên nhiệt lượng trao đổi với môi trường rất bé, vì vậy có thể coi quá trình là đoạn nhiệt, nhưng không thuận nghịch nên Entropi tăng.

Độ giảm áp suất trong quá trình tiết lưu phụ thuộc vào tính chất và các thông số của môi chất, tốc độ chuyển động của dòng và cấu trúc của vật cản.

6.2.2. Tính chất của quá trình tiết lưu

Khi tiết diện 1-1 cách xa tiết diện 2-2, qua quá trình tiết lưu các thông số của môi chất sẽ thay đổi như sau:

- Áp suất giảm:

$$\Delta p = p_2 - p_1 < 0, \quad (6-16)$$

- Entropi tăng:

$$\Delta s = s_2 - s_1 > 0, \quad (6-17)$$

- Entanpi không đổi:

$$\Delta i = i_2 - i_1 = 0, \quad (6-18)$$

- Tốc độ dòng không đổi:

$$\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1 = 0. \quad (6-19)$$

6.3. QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ

6.3.1. Các loại máy nén

Máy nén khí là máy để nén khí hoặc hơi đến áp suất cao theo yêu cầu. Máy nén tiêu tốn công để nâng áp suất của môi chất lên.

Theo nguyên lí làm việc, có thể chia máy nén thành hai nhóm:

Nhóm thứ nhất gồm máy nén piston, máy nén bánh răng, máy nén cánh gạt. Ở máy nén piston, khí được hút vào xilanh và được nén đến áp suất cần thiết rồi được đẩy vào bình chứa (máy nén rôto thuộc loại này), quá trình nén xảy ra theo từng chu kỳ. Máy nén loại này còn được gọi là máy nén tĩnh vì tốc độ của dòng khí không lớn. Máy nén piston đạt được áp suất lớn nhưng năng suất nhỏ.

Nhóm thứ hai gồm máy nén li tâm, máy nén hướng trục và máy nén ejectơ. Đối với các máy nén nhóm này, để tăng áp suất của môi chất, đầu tiên phải tăng tốc độ của dòng khí nhờ lực li tâm, sau đó thực hiện quá trình hãm dòng để biến động năng của dòng thành thế năng. Loại này có thể đạt được năng suất lớn nhưng áp suất thấp.

Tuy khác nhau về cấu tạo và đặc tính kĩ thuật, nhưng về quan điểm nhiệt động thì các quá trình tiến hành trong máy nén hoàn toàn như nhau. Sau đây ta nghiên cứu máy nén piston.

6.3.2. Máy nén piston một cấp

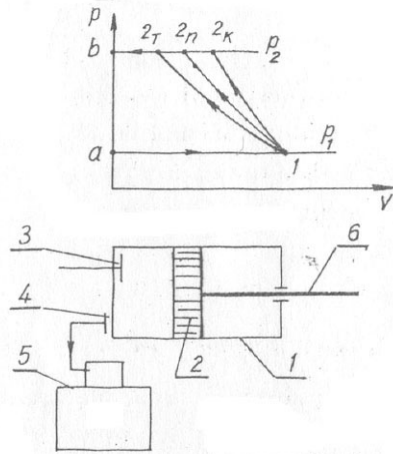
6.3.2.1. Những quá trình trong máy nén piston một cấp lí tưởng

Để đơn giản, khi phân tích quá trình nhiệt động trong máy nén, ta giả thiết:

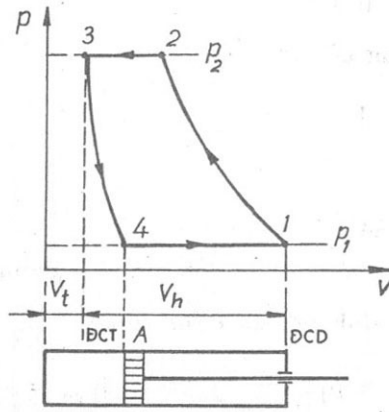
- Toàn bộ thể tích xilanh là thể tích có ích, nghĩa là đỉnh piston có thể áp sát nắp xilanh.

- Dòng khí chuyển động không có ma sát, nghĩa là áp suất hút khí vào xilanh luôn bằng áp suất môi trường p_1 và áp suất đẩy khí vào bình chứa luôn bằng áp suất khí trong bình chứa p_2 .

Nguyên lí cấu tạo của máy nén piston một cấp được biểu diễn trên hình 6.5, gồm các bộ phận chính: Xilanh 1, piston 2, van hút 3, van xả 4, bình chứa 5.



Hình 6.5. Máy nén pittông



Hình 6.6. Biểu diễn các quá trình trong máy nén pittông một cấp thực

Quá trình làm của một máy nén một cấp như sau: Khi piston chuyển động từ trái sang phải, van 3 mở ra hút khí vào bình ở áp suất p_1 , nhiệt độ t_1 , thể tích riêng v_1 . Các thông số này không thay đổi trong quá trình hút, do đó đây không phải là quá trình nhiệt động và được biểu diễn bằng đoạn a-1 trên đồ thị p-v hình 6.5. Khi piston ở điểm cạn phải, piston bắt đầu chuyển động từ phải sang trái, van hút 3 đóng lại, khí trong xi lanh bị nén lại và áp suất bắt đầu tăng từ p_1 đến p_2 . Quá trình nén là quá trình nhiệt động, có thể thực hiện đẳng nhiệt, đoạn nhiệt hoặc đa biến được biểu diễn trên đồ thị bằng các quá trình tương ứng là 1-2_T, 1-2_k, 1-2_n. Khi khí trong xi lanh đạt được áp suất p_2 thì van xả 4 sẽ mở ra, khí được đẩy ra khỏi xi lanh vào bình chứa 5. Tương tự như quá trình hút, quá trình đẩy cũng không phải là quá trình nhiệt động, trạng thái của khí không thay đổi và có áp suất p_2 nhiệt độ t_2 , thể tích riêng v_2 . Quá trình đẩy được biểu diễn trên đồ thị bằng quá trình 2-b.

6.3.2.2. Công tiêu thụ của máy nén một cấp lí tưởng

Như đã phân tích ở trên quá trình hút a-1 và quá trình nạp 2-b không phải là quá trình nhiệt động, các thông số không thay đổi, do đó không sinh công. Như vậy công của máy nén chính là công tiêu thụ cho quá trình nén khí 1-2. Nếu ta coi là quá trình nén là lí tưởng, thuận nghịch thì công của quá trình nén được tính theo công thức:

$$l_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp$$

+ Nếu quá trình nén là đẳng nhiệt 1-2_T, nghĩa là $n = 1$ và $v = \frac{RT}{p}$, công

của máy nén sẽ là:

$$l = - \int_1^2 RT \frac{dp}{p} = -RT \ln \frac{p_2}{p_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2}, [J/kg] \quad (6-20)$$

+ Nếu quá trình nén là đoạn nhiệt 1-2_{kt}, nghĩa là n = k và p^kv^k = p₁v₁^k, công của máy nén sẽ là:

$$l = -\int_1^2 v_1 p_1^{1/k} \frac{dp}{p^{1/k}} = -\frac{k}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1), [J/kg] \quad (6-21)$$

hoặc:

$$l = -\frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right], [J/kg] \quad (6-22)$$

hoặc:

$$l = -\frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right], [J/kg] \quad (6-23)$$

Có thể tính cách khác, từ dq = di + dl_{kt} = 0, ta có dl_{kt} = -di nên dq = di + dl_{kt} = 0 hay:

$$l_{kt} = i_1 - i_2 \quad (6-24)$$

+ Nếu quá trình nén là đa biến, với số mũ đa biến n thì pⁿvⁿ = p₁v₁ⁿ, khi đó công của máy nén sẽ là:

$$l = -\int_{p_1}^{p_2} v_1 p_1^{\frac{1}{n}} dp = -\frac{n}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) \quad (6-25)$$

hoặc:

$$l = -\frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right], [J/kg] \quad (6-26a)$$

hoặc:

$$l = -\frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 1 \right], [J/kg] \quad (6-26b)$$

Công của máy nén được biểu diễn bằng diện tích a12b trên đồ thị p-v, phụ thuộc vào quá trình nén. Từ đồ thị ta thấy: nếu quá trình nén là đẳng nhiệt thì công máy nén tiêu tốn là nhỏ nhất. Trong thực tế, để máy nén tiêu tốn công ít nhất thì người ta làm mát cho máy nén để cho quá trình nén gần với quá trình đẳng nhiệt nhất.

6.3.2.3. Nhược điểm của máy nén một cấp

Trong thực tế để tránh va đập giữa đỉnh piston và nắp xilanh, giữa đỉnh piston và nắp xilanh phải có một khe hở nhất định. Không gian khoảng hở này được gọi là thể tích thừa V_t (Hình 6.6). Do có thể tích thừa nên sau khi đẩy khí vào bình chứa, vẫn còn lại một lượng khí có áp suất là p₂ chứa trong thể tích thừa. Khi piston chuyển động từ trái sang phải, trước hết lượng khí này giãn nở đến áp

suất p_1 theo quá trình 3-4, khi đó van hút bắt đầu mở ra để hút khí vào, do đó lượng khí thực tế hút vào xilanh là $V = V_1 - V_4$. Như vậy năng suất của máy nén thực tế nhỏ hơn năng suất của máy nén lí tưởng do có thể tích thừa. Nói cách khác, thể tích thừa làm giảm năng suất của máy nén.

Để đánh giá ảnh hưởng của thể tích thừa đến lượng khí hút vào máy nén người ta dùng đại lượng hiệu suất thể tích máy nén, kí hiệu là λ :

$$\lambda = \frac{v_1 - v_4}{v_1 - v_3} \leq 1 \quad (6-27)$$

Có thể viết lại (6-27):

$$\lambda = \frac{v_1 - v_4}{v_1 - v_3} = 1 - \frac{v_4 - v_3}{v_1 - v_3}, \quad (6-28)$$

Từ (6-28) ta thấy: khi thể tích thừa V_3 càng tăng thì hiệu suất thể tích λ càng giảm.

- Khi áp suất nén p_2 càng cao thì lượng khí hút vào $V = (V_1 - V_4)$ càng giảm, tức là λ càng giảm và khi $p_2 = p_{gh}$ thì $(V_1 - V_4) = 0$, áp suất p_{gh} gọi là áp suất tới hạn. Đối với máy nén một cấp tỉ số nén $\beta = p_2/p_1$ không vượt quá 12.

- Khi nén đến áp suất cao thì nhiệt độ khí cao sẽ làm giảm độ nhớt của dầu bôi trơn.

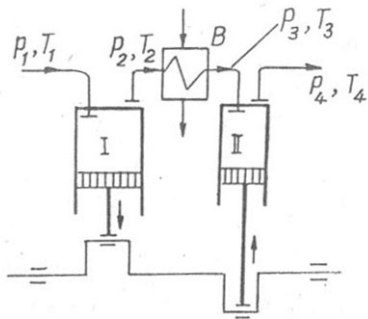
Các máy nén thực tế có : $\lambda = 0,7 \div 0,9$

6.3.3. Máy nén nhiều cấp

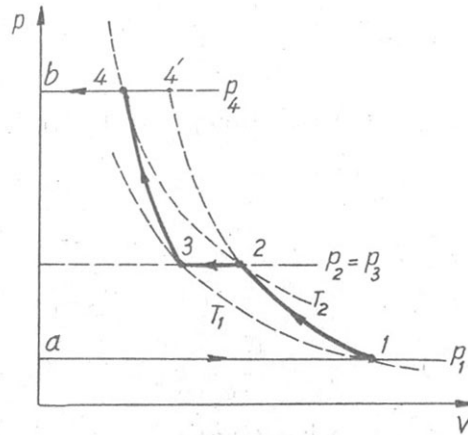
Do những hạn chế của máy nén một cấp như đã nêu ở trên, trong thực tế chỉ chế tạo máy nén một cấp để nén khí với tỉ số nén $\beta = p_2/p_1 = 6 \div 8$. Muốn nén khí đến áp suất cao hơn ta dùng máy nén nhiều cấp, giữa các cấp có làm mát trung gian khí trước khi vào cấp nén tiếp theo.

6.3.3.1. Quá trình nén trong máy nén nhiều cấp

Máy nén nhiều cấp thực chất là gồm nhiều máy nén một cấp nối với nhau qua bình làm mát khí. Sơ đồ cấu tạo và đồ thị p-v của máy nén hai cấp được biểu diễn trên hình 6.7.I, II là xilanh cấp 1 và cấp 2, B là bình làm mát trung gian.



Hình 6.5. Sơ đồ máy nén pittông hai cấp



Hình 6.8. Đồ thị p-V của máy nén pittông hai cấp

Khi được hút vào cấp I ở áp suất p_1 , được nén trong xilanh I đến áp suất p_2 , nhiệt độ của khí tăng từ T_1 đến T_2 . Khi ra khỏi cấp I được làm mát trong bình làm mát trung gian B, nhiệt độ khí giảm từ T_2 xuống đến T_1 (bằng nhiệt độ khí vào xilanh cấp I). sau khi được làm mát ở bình làm mát B, khí được hút vào xilanh II và được nén từ áp suất $p_3 = p_2$ đến áp suất p_4 .

Các quá trình của máy nén hai cấp được thể hiện trên hình 6.8, bao gồm:

a-1 là quá trình hút khí vào xilanh I (cấp 1) ở áp suất p_1 ,

1-2- quá trình nén khí trong xilanh I từ áp suất p_1 đến p_2 ,

2-3' — quá trình đẩy khí vào bình làm mát trung gian B, nhiệt độ khí giảm từ T_2 xuống đến T_1 ,

3'-3- quá trình hút khí từ bình làm mát vào xilanh II (cấp 2),

3-4 là quá trình nén khí trong xi lanh II từ áp suất p_2 đến p_4 ,

4-b là quá trình đẩy khí vào bình chứa,

Vì được làm mát trung gian nên thể tích khí vào cấp 2 giảm đi một lượng $\Delta V = V_2 - V_3$, do đó công tiêu hao giảm đi một lượng bằng diện tích 2344' so với khi nén trong máy nén một cấp có cùng áp suất đầu p_1 và áp suất cuối p_4 .

Nếu máy nén rất nhiều cấp và có làm mát trung gian sau mỗi cấp thì quá trình nén sẽ tiến dần tới quá trình nén đẳng nhiệt.

6.3.3.2. Chọn áp suất trung gian

Tỉ số nén trong mỗi cấp được chọn sao cho công tiêu hao của máy nén là nhỏ nhất, nghĩa là quá trình nén tiến tới quá trình đẳng nhiệt.

Nhiệt độ khí vào các cấp đều bằng nhau và bằng T_1 , nhiệt độ khí ra khỏi các cấp đều bằng nhau và bằng T_2 , nghĩa là:

$$T_1 = T_2 \text{ và } T_2 = T_4$$

áp suất khí ra khỏi cấp nén trước bằng áp suất khí vào cấp nén sau, nghĩa là:

$$p_2 = p_3 \text{ và } p_4 = p_5,$$

Trong trường hợp tổng quát, ta coi quá trình nén là đa biến và số mũ đa biến ở các cấp đều như nhau, ta có:

ở cấp I:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (6-29)$$

ở cấp II:

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (6-30)$$

mà: $T_1 = T_2$ và $T_2 = T_4$, do đó ta suy ra tỷ số nén của mỗi cấp là:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}, \quad (6-31)$$

hay:

$$\beta^2 = \frac{p_2}{p_1} \frac{p_4}{p_3} = \frac{p_4}{p_1}, \quad (6-32)$$

Tổng quát, nếu máy nén có m cấp thì:

$$\beta = \sqrt[m]{\frac{p_c}{p_d}} \quad (6-33)$$

6.3.3.3. Công tiêu hao của máy nén

Công của máy nén nhiều cấp bằng tổng công của các cấp. Với hai cấp ta có:

$$l_{mn} = l_1 + l_2$$

trong đó:

$$l_1 = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6-35)$$

$$l_2 = \frac{n}{n-1} RT_3 \left[\left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6-36)$$

mà: $T_1 = T_3$ và $\beta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$, nên $l_1 = l_2$ và $l_{mn} = 2l_1 = 2l_2$.

Tương tự, nếu máy nén có m cấp thì công tiêu tốn của nó sẽ là:

$$l_{mn} = ml_1 = \frac{m.n}{n-1} RT_1 \left[(\beta)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6-37)$$

6.4. CÁC QUÁ TRÌNH CỦA KHÔNG KHÍ ẤM

6.4.1. Không khí ẩm

6.4.1.1. Định nghĩa và tính chất của không khí ẩm

Không khí ẩm (khí quyển) là một hỗn hợp gồm không khí khô và hơi nước.

Không khí khô là hỗn hợp các khí có thành phần thể tích: Nitơ khoảng 78%; Oxy: 20,93%; Carbonic và các khí trơ khác chiếm khoảng 1%.

Hơi nước trong không khí ẩm có phân áp suất rất nhỏ (khoảng 15 đến 20 mmHg), do đó ở nhiệt độ bình thường thì hơi nước trong khí quyển là hơi quá nhiệt, ta coi nó là khí lý tưởng. Như vậy, có thể coi không khí ẩm là một hỗn hợp khí lý tưởng, có thể sử dụng các công thức của hỗn hợp khí lý tưởng để tính toán không khí ẩm, nghĩa là:

Nhiệt độ không khí ẩm :

$$T = T_{kk} = T_h, \quad (6-38)$$

Áp suất không khí ẩm:

$$p = p_{kk} = p_h, \quad (6-39)$$

Thể tích V:

$$V = V_{kk} + V_h, \quad (6-40)$$

Khối lượng G:

$$G = G_{kk} + G_h, \quad (6-41)$$

6.4.1.2. Phân loại không khí ẩm

Tùy theo lượng hơi nước chứa trong không khí ẩm, ta chia chúng ra thành 3 loại:

* *không khí ẩm bão hòa:*

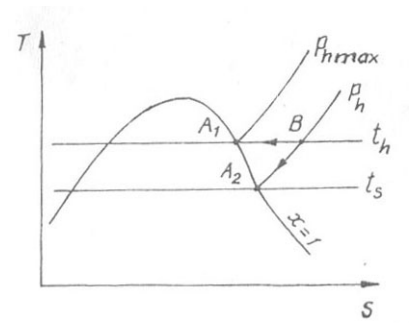
Không khí ẩm bão hòa là không khí ẩm mà trong đó lượng hơi nước đạt tới giá trị lớn nhất $G = G_{max}$. Hơi nước ở đây là hơi bão hòa khô, được biểu diễn bằng điểm A trên đồ thị T-s hình 6.9.

* *Không khí ẩm chưa bão hòa:*

Không khí ẩm chưa bão hòa là không khí ẩm mà trong đó lượng hơi nước chưa đạt tới giá trị lớn nhất $G < G_{max}$, nghĩa là còn có thể nhận thêm một lượng hơi nước nữa mới trở thành không khí ẩm bão hòa. Hơi nước ở đây là hơi quá nhiệt, được biểu diễn bằng điểm B trên đồ thị T-s hình 6.9

* *Không khí ẩm quá bão hòa:*

Không khí ẩm quá bão hòa là không khí ẩm mà trong đó ngoài lượng hơi nước lớn nhất G_{max} , còn có thêm một lượng nước ngưng nữa chứa trong nó. Hơi nước ở đây là hơi bão hòa ẩm.



Hình 6.9 Đồ thị T-s của hơi nước

Nếu cho thêm một lượng hơi nước nữa vào không khí ẩm bão hòa thì sẽ có một lượng chừng đó hơi nước ngưng tụ lại thành nước, khi đó không khí ẩm bão hòa trở thành không khí quá bão hòa. Ví dụ sương mù là không khí ẩm quá bão hòa vì trong đó có các giọt nước ngưng tụ.

Từ đồ thị hình 6.9 ta thấy, có thể biến không khí ẩm chưa bão hòa thành không khí ẩm bão hòa bằng hai cách:

+ Giữ nguyên nhiệt độ không khí ẩm $t_h = \text{const}$, tăng phân áp suất của hơi nước từ p_h đến $p_{h\text{max}}$ (quá trình BA_1). áp suất $p_{h\text{max}}$ là áp suất lớn nhất hay còn gọi là áp suất bão hòa. Nghĩa là tăng lượng nước trong không khí ẩm chưa bão hòa để nó trở thành không khí ẩm bão hòa.

+ Giữ nguyên áp suất hơi $p_h = \text{const}$, giảm nhiệt độ không khí ẩm từ t_h đến nhiệt độ đọng sương t_s (quá trình BA_2). Nhiệt độ đọng sương t_s là nhiệt độ tại đó hơi ngưng tụ lại thành nước.

6.4.1.3. các đại lượng đặc trưng cho không khí ẩm

* *Độ ẩm tuyệt đối:*

Độ ẩm tuyệt đối là khối lượng hơi nước chứa trong 1m^3 không khí ẩm. Đây cũng chính là khối lượng riêng của hơi nước trong không khí ẩm.

$$\rho_h = \frac{G_h}{V}, \text{ kg/m}^3; \quad (6-42)$$

* *Độ ẩm tương đối:*

Độ ẩm tương đối φ là tỷ số giữa độ ẩm tuyệt đối của không khí chưa bão hòa ρ_h và độ ẩm tuyệt đối của không khí ẩm bão hòa $\rho_{h\text{max}}$ ở cùng nhiệt độ.

$$\varphi = \rho_h / \rho_{h\text{max}} \quad (6-43)$$

Từ phương trình trạng thái của không khí ẩm chưa bão hòa: $p_h V = G_h R_h T$ và bão hòa: $p_{h\text{max}} V = G_{h\text{max}} R_h T$, suy ra:

$$\rho_h = \frac{G_h}{V} = \frac{p_h}{R_h T} \quad (a)$$

và
$$\rho_{h\text{max}} = \frac{G_{h\text{max}}}{V} = \frac{p_{h\text{max}}}{R_h T} \quad (b)$$

Chia (a) cho (b) ta được:

$$\varphi = \frac{\rho_h}{\rho_{h\text{max}}} = \frac{p_h}{p_{h\text{max}}} \quad (6-44)$$

vì $0 \leq p_h \leq p_{h\text{max}}$ nên $0 \leq \varphi \leq 100\%$. Không khí khô có $\varphi = 0$, không khí ẩm bão hòa có $\varphi = 100\%$.

Độ ẩm thích hợp nhất cho sức khỏe động vật là $\varphi = (40 \div 75)\%$, cho bảo quản lạnh thực phẩm là 90% .

* *Độ chứa hơi d:*

Độ chứa hơi d là lượng hơi chứa trong 1kg không khí khô hoặc trong $(1+d)$ kg không khí ẩm.

$$d = G_h / G_k; \text{ [kgh/kgK]} \quad (6-45)$$

Từ phương trình trạng thái khí lí tưởng viết cho hơi nước và không khí khô ta có:

$$G_h = \frac{p_h V}{R_h T} \text{ và } G_k = \frac{p_k V}{R_k T};$$

thay thế các giá trị G vào (6-45) ta được:

$$d = \frac{p_h R_k}{p_k R_h} = \frac{8314.18.p_h}{29.8314.p_k} = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h}; [\text{kgH} / \text{kgK}] \quad (6-46)$$

* *Entanpi của không khí ẩm*

Entanpi của không khí ẩm bằng tổng entanpi của không khí khô và entanpi của hơi nước chứa trong đó. Trong kĩ thuật thường tính entanpi của 1kg không khí khô và d kg hơi nước chứa trong (1+d)kg không khí ẩm, kí hiệu là i:

$$i = i_k + d.i_h; \quad [\text{kJ/kgK}] \quad (6-47)$$

trong đó:

i_k - entanpi của 1kg không khí khô, $i_k = C_{pk}t$, mà $C_{pk} = 1\text{kJ/kgK}$ vậy $i_k = t$;

i_h - entanpi của hơi nước, nếu không khí ẩm chưa bão hoà thì hơi nước là hơi quá nhiệt có $i_h = 2500 + C_{ph}t = 2500 + 1,9t$;

Cuối cùng ta có: $I = t + d(2500 + 1,9t)$; (kJ/kgK).

6.4.1.4. Đồ thị i-d

Để giải các bài toán về không khí ẩm, ngoài việc tính toán theo các công thức, chúng ta có thể giải bằng đồ thị i-d.

Đồ thị i-d được biểu diễn trên hình 6.10, có trục là entanpi của không khí ẩm [kJ/kgK], trục hoành là độ chứa hơi d [g/kgK]. Trục i và d không vuông góc với nhau mà tạo với nhau một góc 135° , đồ thị gồm các đường sau:

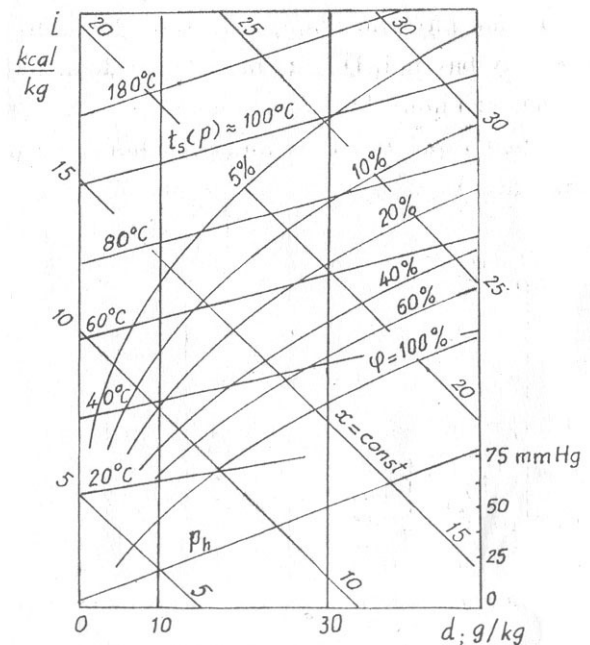
Đường $i = \text{const}$ là đường thẳng nghiêng đi xuống với góc nghiêng 135° ;

Đường $d = \text{const}$ là đường thẳng đứng;

Đường $t = \text{const}$ trong vùng không khí ẩm chưa bão hòa là các đường thẳng nghiêng đi lên.

Đường $\varphi = \text{const}$ trong vùng không khí ẩm chưa bão hòa ở nhiệt độ $t < t_s(p)$ là các đường cong lồi, trong vùng nhiệt độ $t > t_s(p)$ là đường thẳng đi lên.

Đường $\varphi = 100\%$ chia đồ thị thành hai vùng phía trên là không khí ẩm chưa bão hòa, vùng phía dưới là không khí ẩm quá bão hòa.



Hình 6.10 Đồ thị i-d của không khí ẩm

Đường phân áp suất hơi nước $p_h = \text{const}$ là đường thẳng nghiêng đi lên được dựng theo quan hệ (6-46), đơn vị đo p_h là mmHg.

Trạng thái không khí ẩm được xác định khi biết hai trong các thông số $i, d, t, \varphi \dots$. Khi đã xác định được trạng thái của không khí ẩm trên đồ thị $i-d$, ta có thể xác định được các thông số còn lại.

6.4.2. Các quá trình của không khí ẩm

6.4.2.1. Quá trình sấy

Quá trình sấy là quá trình làm giảm độ ẩm của vật muốn sấy. Môi chất dùng để sấy thường là không khí ẩm chưa bão hòa hoặc sản phẩm cháy của nhiên liệu, về nguyên tắc hoàn toàn giống nhau, ở đây ta khảo sát quá trình sấy dùng không khí làm môi chất sấy.

Quá trình sấy được chia làm hai giai đoạn: Giai đoạn cấp nhiệt cho không khí và giai đoạn không khí sấy nóng vật sấy và hút ẩm từ vật sấy.

Quá trình sấy được biểu diễn trên hình 6-11. Không khí từ trạng thái 1 được cấp nhiệt theo quá trình 1-2 nhiệt độ tăng từ t_1 đến t_2 , entanpi tăng từ i_1 đến i_2 , độ ẩm tương đối giảm từ φ_1 đến φ_2 nhưng độ chứa hơi không thay đổi $d_1 = \text{const}$. Không khí sau khi được sấy nóng đi vào buồng sấy, tiếp xúc với vật sấy, sấy nóng vật sấy và làm cho nước trong vật sấy bay hơi. Quá trình sấy 2—3 có entanpi không đổi ($i_2 = i_3$), độ ẩm tương đối của không khí tăng từ φ_2 đến φ_3 và độ chứa hơi tăng từ d_1 đến d_3 , nghĩa là độ chứa hơi trong vật sấy bốc giảm.

- Không khí nhận một lượng hơi nước từ vật sấy bốc ra G_n :

$$G_n = d_3 - d_1; [\text{kgH/kgK}] \quad (6-48)$$

- Lượng không khí khô cần thiết làm bay hơi 1kg nước:

$$G_k = 1/(d_3 - d_1); [\text{kgH/kgK}] \quad (6-49)$$

49)

- lượng không khí ẩm ở trạng thái ban đầu cần để làm bay hơi 1kg nước trong vật sấy:

$$G = (1 + d_1) G_k \quad (6-50)$$

- Lượng nhiệt cần để đốt nóng 1kg không khí khô chứa trong $(1+d)$ kg không khí ẩm là:

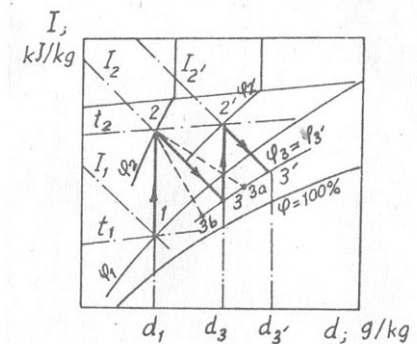
$$q = i_2 - i_1; [\text{kJ/kgK}] \quad (6-51)$$

51)

- Lượng nhiệt cần thiết để làm bay hơi 1kg nước trong vật sấy:

$$Q = g_k q = (i_2 - i_1)/(d_3 - d_2); [\text{kJ/kgH}] \quad (6-52)$$

6.4.2.2. Quá trình điều hòa không khí



Hình 6.11 Quá trình sấy

Thức chất của quá trình điều hòa không khí là sấy nóng làm lạnh không khí, đồng thời điều chỉnh độ ẩm của nó đến một giá trị nào đó trước khi đưa không khí vào phòng.

Điều hòa không khí gồm các quá trình lọc bụi, hỗn hợp không khí mới với không khí trong phòng, tăng hoặc giảm độ ẩm, nhiệt độ cho phù hợp với yêu cầu của môi trường sống hoặc để bảo quản vật tư, thiết bị