

Môn học

QTTB TRUYỀN KHỐI

CHƯƠNG 6



SÄY



I. Khái Niệm

■ Các phương pháp tách ẩm

- Phương pháp cơ học
- Phương pháp hóa lý
- Phương pháp nhiệt

■ Định nghĩa

Sấy là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu bằng phương pháp nhiệt

- Sấy tự nhiên
- Sấy nhân tạo

■ Mục đích

- giảm khối lượng của vật liệu (giảm công chuyên chở)
- tăng độ bền (các vật liệu gốm sứ, gỗ), bảo quản được tốt



■ Động lực quá trình

Chênh lệch độ ẩm ở bề mặt và trong vật liệu, nói cách khác là do chênh lệch áp suất hơi riêng phần của ẩm ở bề mặt vật liệu và môi trường xung quanh.

Bản chất của quá trình sấy là chuyển lượng nước trong vật liệu từ pha lỏng sang pha hơi, quá trình chuyển pha này chỉ xảy ra khi áp suất riêng phần của hơi nước trên bề mặt vật liệu lớn hơn áp suất riêng phần của hơi nước trong môi trường không khí xung quanh.

Do đó, ta phải nghiên cứu cả hai mặt của quá trình sấy: tĩnh lực học và động lực học của quá trình sấy



I. Khái Niệm

- Tĩnh lực học nghiên cứu mối quan hệ giữa các thông số đầu và cuối của vật liệu sấy và tác nhân sấy dựa theo phương trình cân bằng vật liệu và cân bằng nhiệt lượng, từ đó ta xác định được thành phần vật liệu, lượng tác nhân sấy và lượng nhiệt cần thiết.
- Động lực học nghiên cứu quan hệ giữa sự biến thiên của độ ẩm vật liệu với thời gian và các thông số của quá trình, ví dụ như tính chất và cấu trúc của vật liệu, kích thước vật liệu, các điều kiện thủy động lực học của tác nhân sấy... từ đó ta xác định được chế độ sấy, tốc độ sấy và thời gian sấy thích hợp.

II. Tĩnh lực học về sấy

1. Khái niệm không khí ẩm

- Khái niệm
- Thông số của không khí ẩm
 - Độ ẩm tuyệt đối
 - Độ ẩm tương đối
 - Hàm ẩm
 - Hàm nhiệt (nhiệt lượng riêng)
 - Nhiệt độ điểm sương
 - Nhiệt độ bầu ướt
 - Thế sấy

II. Tĩnh lực học về sấy

1. Khái niệm không khí ẩm

■ Độ ẩm tuyệt đối

Độ ẩm tuyệt đối của không khí là lượng hơi nước chứa trong 1m^3 không khí ẩm hay lượng hơi nước ở trong hỗn hợp không khí ẩm, ký hiệu là ρ_h , kg/m^3

■ Độ ẩm tương đối

Độ ẩm tương đối của không khí hay còn gọi là độ bão hòa hơi nước là tỷ số giữa lượng hơi nước chứa trong 1m^3 không khí với lượng hơi nước trong 1m^3 không khí đó đã bão hòa hơi nước ở cùng nhiệt độ và áp suất, ký hiệu: φ

■ Hàm ẩm

Hàm ẩm của không khí là lượng hơi nước chứa trong 1 kg không khí khô, ký hiệu: \bar{Y} kg/kg kk khô

II. Tĩnh lực học về sấy

1. Khái niệm không khí ẩm

■ Hàm nhiệt (nhiệt lượng riêng)

Nhiệt lượng riêng của không khí ẩm được xác định bằng tổng số nhiệt lượng riêng của không khí khô và hơi nước ở trong hỗn hợp, ký hiệu H (J/kg kkk)

■ Nhiệt độ điểm sương

Là nhiệt độ mà hỗn hợp không khí ẩm đạt trạng thái bão hòa hơi nước khi làm lạnh đẳng hàm ẩm, ký hiệu t_s

Nhiệt độ điểm sương là giới hạn của quá trình làm lạnh không khí ẩm với hàm ẩm không đổi.

■ Nhiệt độ bầu khô

Nhiệt độ đọc ở nhiệt kế bình thường gọi là nhiệt độ bầu khô, ký hiệu t

II. Tĩnh lực học về sấy

1. Khái niệm không khí ẩm

■ Nhiệt độ bầu ướt

Là nhiệt độ mà hỗn hợp không khí ẩm đạt trạng thái bão hòa hơi nước khi làm lạnh đẳng hàm nhiệt, ký hiệu t_w

Nhiệt độ bầu ướt là một thông số đặc trưng khả năng cấp nhiệt của không khí để làm bay hơi nước cho đến khi không khí bão hòa hơi nước.

Nhiệt độ bầu ướt được đo bằng nhiệt kế có bọc vải ướt ở bầu thủy ngân.

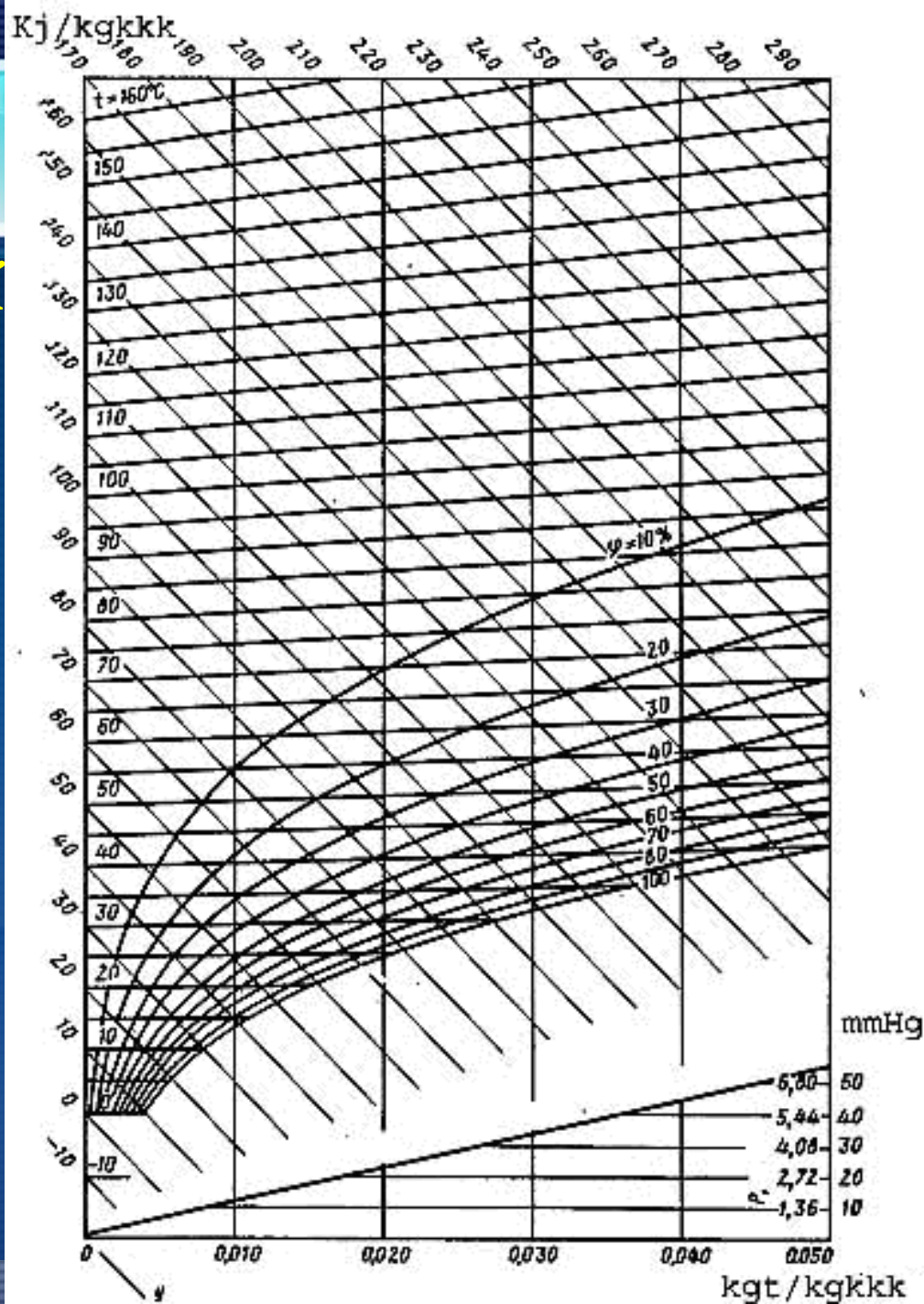
■ Thế sấy

Hiệu số giữa nhiệt độ không khí (nhiệt độ bầu khô) và nhiệt độ bầu ướt, đặc trưng cho khả năng hút ẩm của không khí, ký hiệu ε

$$\varepsilon = t - t_w$$

II. Tĩnh lực học về sấy

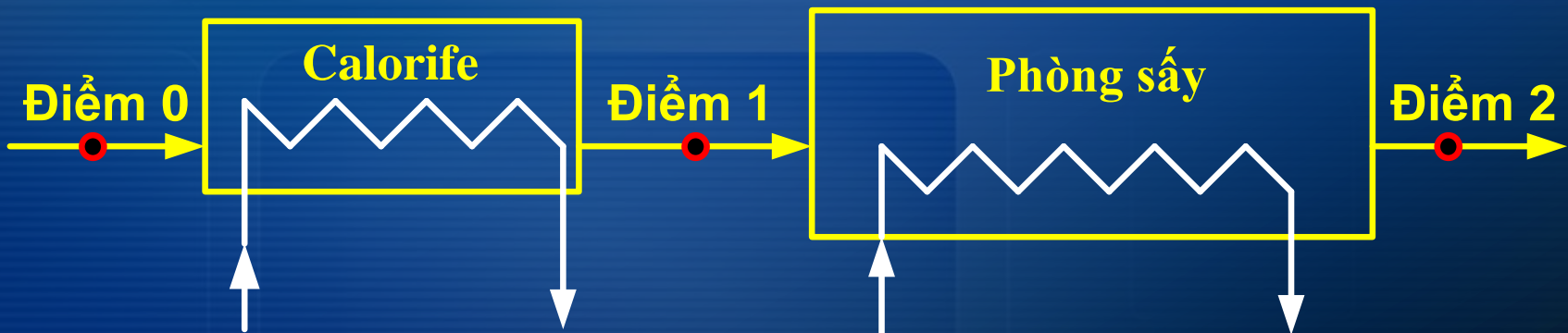
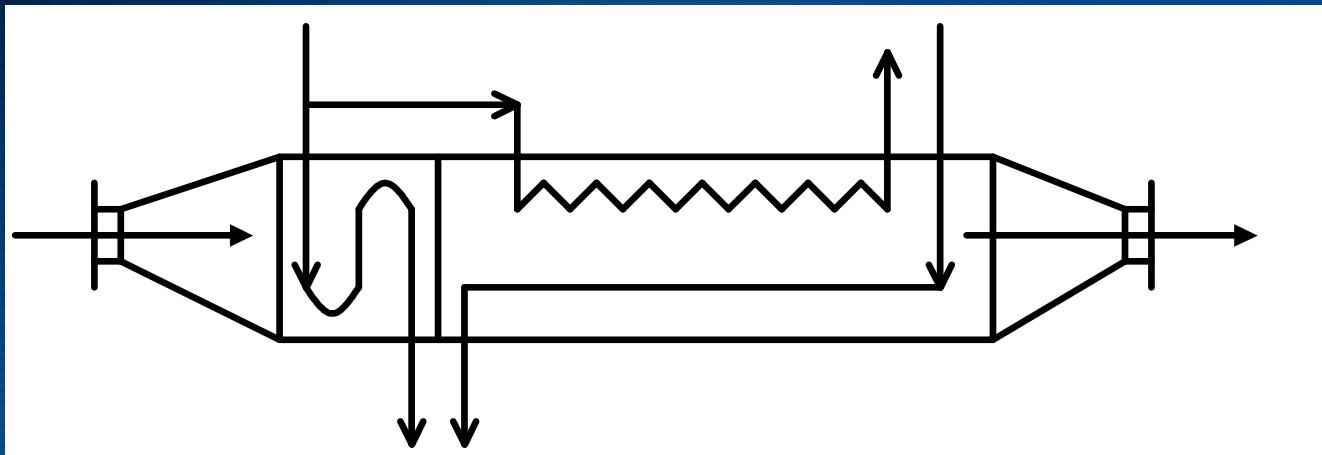
2. Giảm độ không khí



II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.1. Sơ đồ nguyên lý của máy sấy bằng không khí



II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.2. Cân bằng vật liệu

- G_d, G_c : lượng vật liệu trước và sau khi ra khỏi máy sấy, kg/s
- G_k : lượng vật liệu khô tuyệt đối đi qua máy sấy, kg/s
- $\overline{x_d}$: độ ẩm vật liệu trước khi sấy, % khối lượng vật liệu ướt
- $\overline{x_c}$: độ ẩm vật liệu sau khi sấy, % khối lượng vật liệu ướt
- $\overline{X_d}$: độ ẩm vật liệu trước khi sấy, % khối lượng vật liệu khô
- $\overline{X_c}$: độ ẩm vật liệu sau khi sấy, % khối lượng vật liệu khô
- W - lượng ẩm được tách ra khỏi vật liệu khi qua máy sấy, kg/s
- L - lượng không khí khô tuyệt đối đi qua máy sấy, kg/s
- $\overline{Y_0}$: hàm ẩm của không khí trước khi được đốt nóng, kg/kg kkk
- $\overline{Y_1}, \overline{Y_2}$: hàm ẩm của không khí trước và sau khi sấy, kg/kg kkk

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.2. Cân bằng vật liệu

Lượng vật liệu khô tuyệt đối đi qua máy sấy

$$G_k = G_{\bar{d}} (1 - \bar{x}_{\bar{d}}) = G_c (1 - \bar{x}_c)$$

Lượng ẩm tách ra khỏi vật liệu

$$W = G_c \frac{\bar{x}_{\bar{d}} - \bar{x}_c}{1 - \bar{x}_{\bar{d}}} = G_{\bar{d}} \frac{\bar{x}_{\bar{d}} - \bar{x}_c}{1 - \bar{x}_c}$$

Lượng không khí khô cần thiết

$$L = \frac{W}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_0} = \frac{W}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

Lượng không khí khô cần thiết để tách 1kg ẩm

$$l = \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_0} = \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.3. Cân bằng năng lượng

- Q : nhiệt lượng tiêu hao chung cho máy sấy, W
- Q_s : nhiệt lượng sưởi nóng không khí ở caloriphe sưởi, W
- Q_b : nhiệt lượng bổ sung trong phòng sấy, W
- H_0, H_1, H_2 : hàm nhiệt của không khí trước khi vào caloriphe, sau khi qua caloriphe và sau khi sấy, J/kg
- t_0, t_1, t_2 : nhiệt độ không khí trước và sau khi vào caloriphe, sau khi qua caloriphe và sau khi sấy xong, °C
- i_0, i_1, i_2 : nhiệt lượng riêng của hơi nước trong không khí tương ứng với nhiệt độ t_0, t_1, t_2 , J/kg
- θ_1, θ_2 - nhiệt độ của vật liệu khi vào ra khỏi máy sấy, °C

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.3. Cân bằng năng lượng

- C_{v1} - nhiệt dung riêng của vật liệu sấy, j/kg độ
- C_{vc} - nhiệt dung riêng của các bộ phận vận chuyển trong máy sấy, J/kg;
- C - nhiệt dung riêng của nước, J/kg độ
- G_{vc} - khối lượng của bộ phận vận chuyển vật liệu sấy, kg/s
- t_d, t_c - nhiệt độ ban đầu và cuối của bộ phận vận chuyển, °C;
- Q_m - nhiệt lượng mất mát trong quá trình sấy;

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.3. Cân bằng năng lượng

Tổng nhiệt lượng vào máy sấy

- Nhiệt lượng không khí mang vào: LH_0
- Nhiệt lượng do vật liệu mang vào: $G_2 C_{vl} \theta_1 + W \theta_1 C$
- Nhiệt lượng do bộ phận vận chuyển mang vào: $G_{vc} C_{vc} t_d$
- Nhiệt lượng do caloriphe chính cung cấp: Q_s
- Nhiệt lượng do caloriphe bổ sung cung cấp: Q_b

$$LH_0 + G_2 C_{vl} \theta_1 + W \theta_1 C + G_{vc} C_{vc} t_d + Q_s + Q_b$$

II. Tĩnh lực học về sấy

3.3. Cân bằng năng lượng

Tổng nhiệt lượng ra máy sấy

- Nhiệt lượng do không khí mang ra : LH_2
- Nhiệt lượng do vật liệu sấy mang ra: $G_2 C_{v1} \theta_2$
- Nhiệt lượng do bộ phận vận chuyển mang ra: $G_{vc} C_{vc} t_c$
- Nhiệt lượng mất mát: Q_m

$$LH_2 + G_2 C_{v1} \theta_2 + G_{vc} C_{vc} t_c + Q_m$$

CBNL: Năng lượng vào = Năng lượng ra

$$\text{Suy ra: } Q_s + Q_b = L(H_2 - H_0) + G_2 C_{v1} (\theta_2 - \theta_1) + G_{vc} C_{vc} (t_c - t_d) + Q_m - W \theta_1 C$$

$$Q = Q_s + Q_b = L(H_2 - H_0) + Q_{v1} + Q_{vc} + Q_m - W \theta_1 C$$

$$Q_{v1} = G_2 C_{v1} (\theta_2 - \theta_1) - \text{nhiệt lượng đun nóng vật liệu sấy}$$

$$Q_{vc} = G_{vc} C_{vc} (t_c - t_d) - \text{nhiệt lượng đun nóng bộ phận vận chuyển.}$$

II. Tĩnh lực học về sấy

3.3. Cân bằng năng lượng

Nhiệt lượng tiêu hao riêng để tách 1kg ẩm cho toàn máy sấy:

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{Q_s}{W} + \frac{Q_b}{W} = L(H_2 - H_0) + \frac{Q_{vl}}{W} + \frac{Q_{vc}}{W} + \frac{Q_m}{W} - \theta_1 C$$

Hoặc: $q = q_s + q_b = l(H_2 - H_0) + q_{vl} + q_{vc} + q_m + \theta_1 C$

Thay l từ CBVC ta có:

$$q = q_s + q_b = \frac{H_2 - H_0}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_0} + q_{v1} + q_{vc} + q_m - \theta_1 C$$

$$q_{v1} + q_{vc} + q_m = \sum q$$

Vậy:

$$q = q_s + q_b = \frac{H_2 - H_0}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_0} + \sum q - \theta_1 C$$

II. Tĩnh lực học về sấy

3.3. Cân bằng năng lượng

Nhiệt lượng tiêu hao riêng cho calorife:

$$q_s = \frac{H_2 - H_0}{Y_2 - Y_0} + \Sigma q - q_b - \theta_1 C$$

Đặt: $\Delta = q_b + \theta_1 C - \Sigma q$

Suy ra: $q_s = l(H_2 - H_0) - \Delta$

Vậy Δ chính là nhiệt lượng bổ sung chung trừ cho nhiệt lượng tổn thất chung do đó người ta gọi Δ là nhiệt lượng bổ sung thực tế

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.4. Sấy lý thuyết và sấy thực tế

Trong sấy lý thuyết coi các đại lượng nhiệt bổ sung và nhiệt tổn thất đều bằng không hoặc nhiệt lượng bổ sung chung đủ bù nhiệt lượng tổn thất chung \Rightarrow Sấy lý thuyết: $\Delta=0$

Trong sấy thực tế, lượng nhiệt bổ sung chung khác với nhiệt lượng tổn thất chung \Rightarrow Sấy thực tế: $\Delta \neq 0$

Mặt khác ta có: $q_s = l(H_1 - H_0) = l(H_2 - H_0) - \Delta$

Suy ra: $\Delta = l(H_2 - H_1)$

Hay
$$H_2 - H_1 = \frac{\Delta}{l}$$

II. Tĩnh lực học về sấy

3.4. Sấy lý thuyết và sấy thực tế

Vậy:

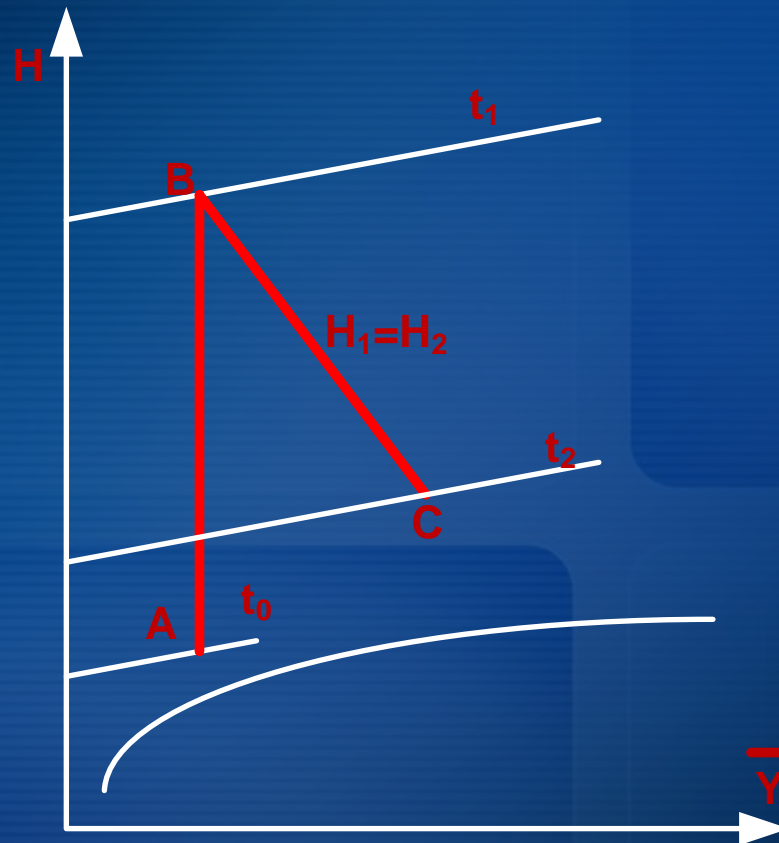
- Sấy lý thuyết: $\Delta=0 \Rightarrow H_1=H_2$
- Sấy lý thuyết: $\Delta \neq 0 \Rightarrow H_1 \neq H_2$
 - $\Delta > 0 \Leftrightarrow H_2 > H_1$: Nhiệt lượng bổ sung lớn hơn nhiệt lượng tổn thất chung $\Rightarrow t'_2 > t_2$
 - $\Delta < 0 \Leftrightarrow H_2 < H_1$: Nhiệt lượng bổ sung không đủ bù nhiệt lượng tổn thất chung $\Rightarrow t'_2 < t_2$

II. Tĩnh lực học về sấy

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.5. Biểu diễn quá trình sấy trên đồ thị

- Sấy lý thuyết:

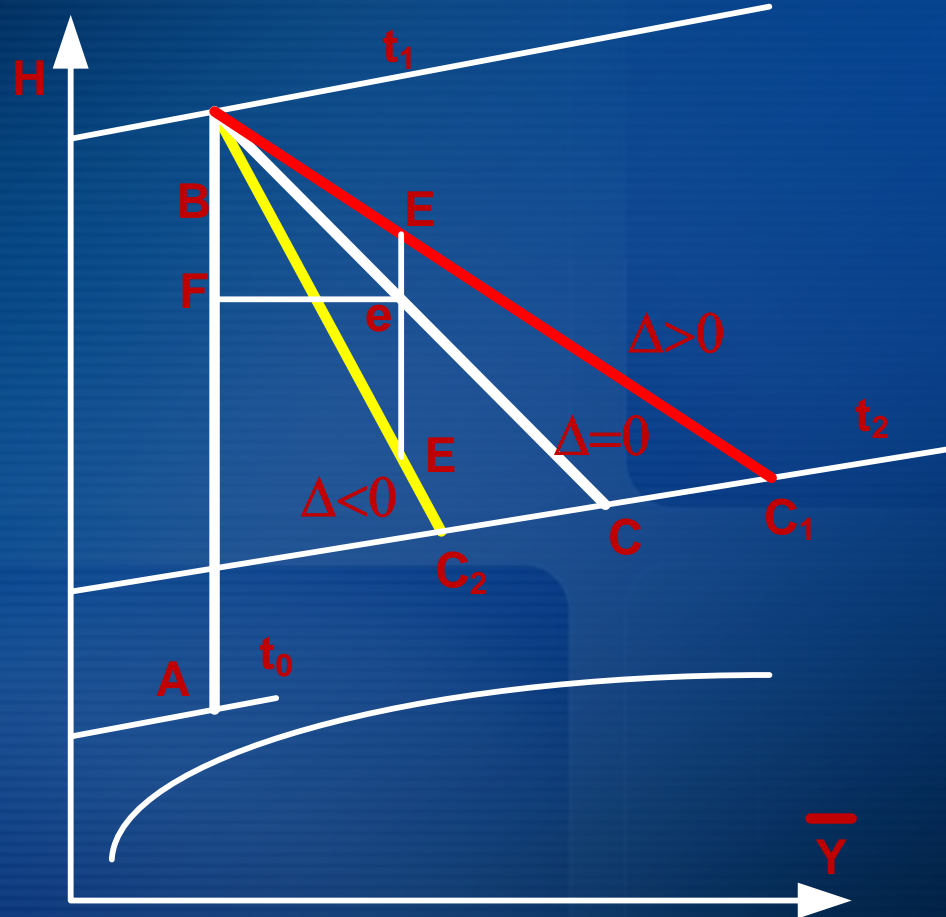


II. Tĩnh lực học về sây

3. Cân bằng vật liệu và năng lượng

3.5. Biểu diễn quá trình sây trên đồ thị

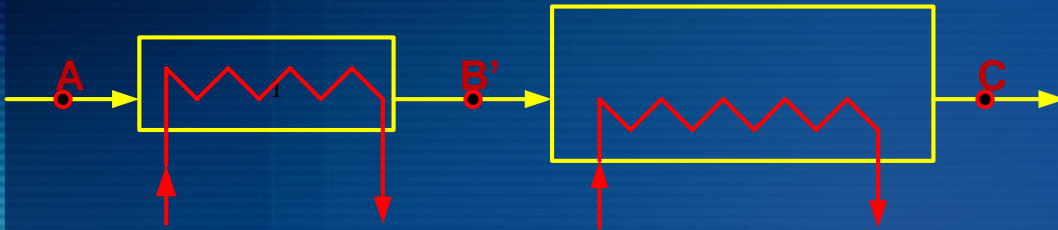
- Sây thực tế



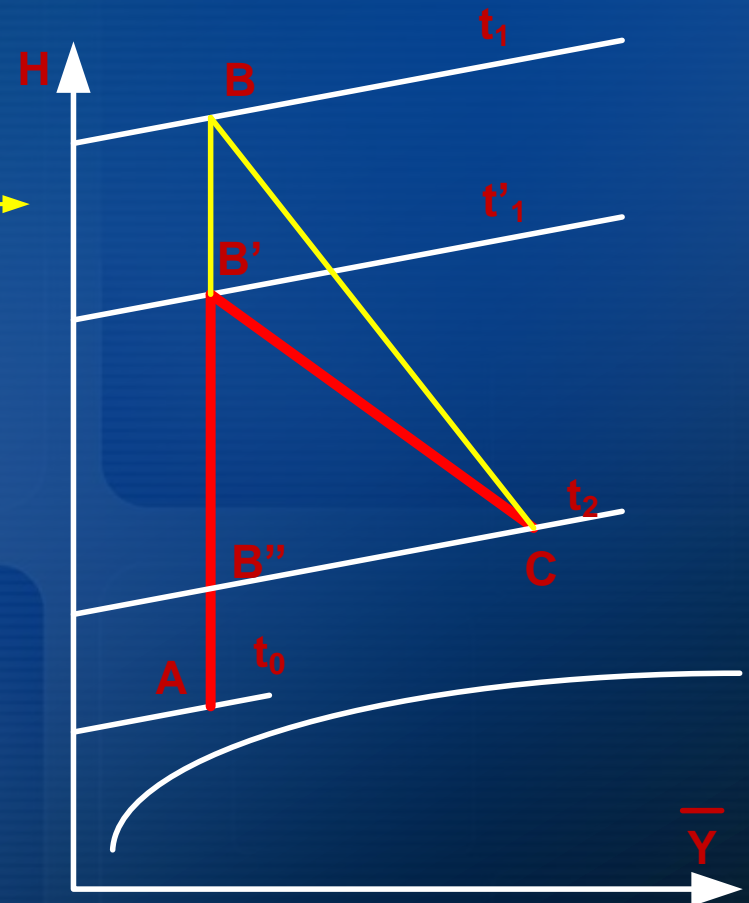
II. Tĩnh lực học về sấy

4. Các phương thức sấy

4.1. Sấy có bổ sung nhiệt trong phòng sấy



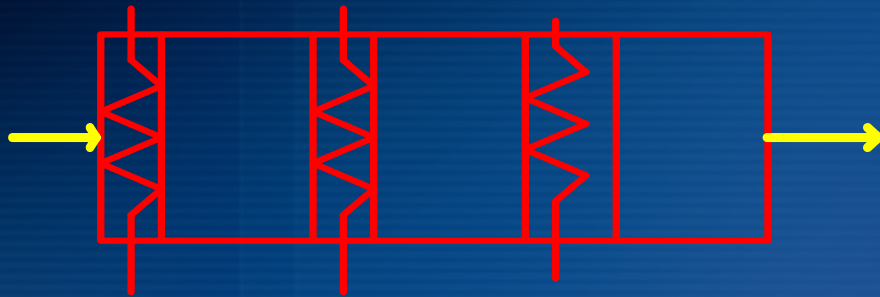
Ưu điểm: giảm được nhiệt độ của tác nhân sấy trước khi vào phòng sấy, thích hợp sấy những vật liệu không chịu được nhiệt độ cao



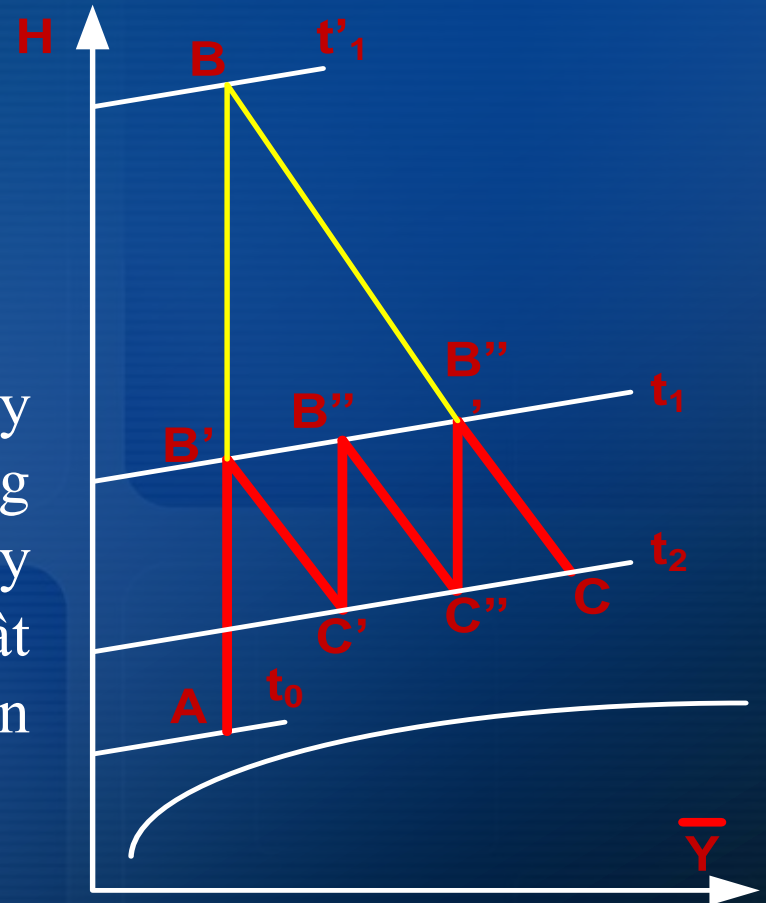
II. Tĩnh lực học về sấy

4. Các phương thức sấy

4.2. Sấy có đốt nóng không khí giữa các phòng sấy



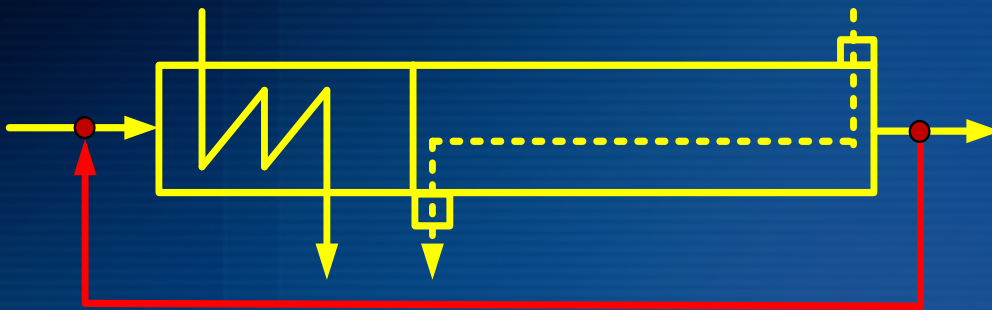
Ưu điểm: đảm bảo cho quá trình sấy không giảm nhanh nhiệt độ trong phòng sấy, đảm bảo cho chế độ sấy điều hòa hơn, thích hợp sấy những vật liệu không chịu được nhiệt độ cao, biến thiên nhiệt độ trong phòng sấy lớn.



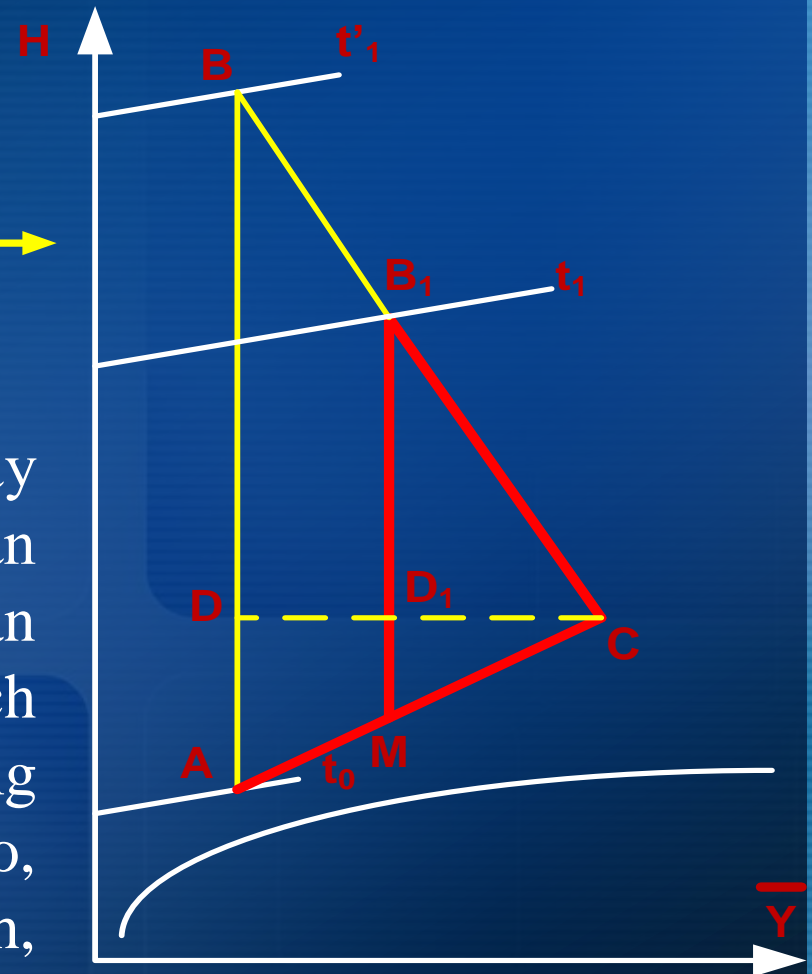
II. Tĩnh lực học về sấy

4. Các phương thức sấy

4.3. Sấy có tuần hoàn khí thải



Ưu điểm: nhiệt độ của tác nhân sấy thấp hơn nhiều so với không tuần hoàn, độ ẩm trung bình của tác nhân lớn hơn so với không tuần hoàn, thích hợp sấy những vật liệu dễ bị biến dạng trong quá trình sấy ở nhiệt độ cao, hàm ẩm thấp (như đồ gốm, sành, sứ,...)



II. Tĩnh lực học về sấy

4.3. Sấy có tuần hoàn khí thải

Nếu có 1 kg không khí khô ban đầu được hút vào trộn lẫn với n kg không khí khô tuần hoàn thì nhiệt lượng riêng H_M của hợp được tính theo công thức:

$$H_M = \frac{H_0 + nH_2}{1 + n}$$

Hàm ẩm của hỗn tính theo công thức:

$$Y_M = \frac{\bar{Y}_0 + n\bar{Y}_2}{1 + n}$$

Lượng hỗn hợp không khí đi vào máy sấy:

$$L_n = \frac{W}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_M}$$

Hay: $L_n = L(n + 1)$

Trong đó L là lượng không khí khô ban đầu:

$$L = \frac{W}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_0}$$

Lượng nhiệt tiêu tốn ở calorife:

$$Q_s = L_n (H_1 - H_M) = W \frac{H_1 - H_M}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_M}$$

II. Tĩnh lực học về sấy

4. Các phương thức sấy

4.4. Sấy bằng khói lò

- Sấy bằng khói lò thường được sử dụng khi vật liệu sấy cho phép sấy ở nhiệt độ cao và không yêu cầu phải giữ vệ sinh.
- Khói lò sử dụng làm tác nhân sấy thường chứa một lượng tro và bụi nhất định nên phải được làm sạch trước khi vào phòng sấy.
- Nhiệt độ của khói lò thường rất cao, vượt quá nhiệt độ cho phép của vật liệu sấy nên phải trộn lẫn khói lò với không khí lạnh để điều chỉnh nhiệt độ khói lò.
- Sấy bằng khói lò có ưu điểm tiết kiệm nhiên liệu, giảm chi phí thiết bị do không dùng thiết bị đun nóng gián tiếp ở calorife như khi sấy bằng không khí nóng.

1. Trạng thái liên kết ẩm trong vật liệu

Theo Ghingbua, liên kết ẩm với vật liệu có thể chia thành bốn loại:

- Liên kết hấp phụ đơn phân tử: lực liên kết này rất lớn, lượng ẩm nhỏ nhưng rất khó tách
- Liên kết hấp phụ đa phân tử (còn gọi là hấp phụ hóa lý): lực liên kết của phần ẩm này cũng khá lớn, khi sấy thường chỉ tách một phần của phần ẩm này
- Liên kết mao quản: lực liên kết của phần ẩm này không lớn lắm khi sấy có thể tách được hết
- Liên kết kết dính: phần ẩm này là do nước bám trên bề mặt vật liệu hoặc trong các mao quản lớn, ẩm này được tạo thành khi ta nhúng ướt vật liệu, lực liên kết không đáng kể nên dễ tách

III. Động lực học về sấy

1. Trạng thái liên kết ẩm trong vật liệu

Theo A.Rebinder có 3 dạng liên kết giữa ẩm với vật liệu:

- Liên kết hóa học: có năng lượng liên kết lớn nên nhiệt của quá trình sấy không đủ để tách loại ẩm này.
- Liên kết hóa lý: gồm liên kết hấp phụ và liên kết thẩm thấu (liên kết ẩm trương). Ẩm liên kết hóa lý có thể tách được bằng nhiệt của quá trình sấy, trong đó ẩm liên kết thẩm thấu ít tiêu tốn năng lượng hơn ẩm liên kết hấp phụ
- Liên kết cơ lý: ẩm được giữ trên bề mặt vật liệu và trong các mao quản bằng liên kết kết dính với năng lượng liên kết rất bé. Năng lượng của quá trình sấy có thể tách hoàn toàn phần ẩm này

1. Trạng thái liên kết ẩm trong vật liệu

Ngoài ra người ta còn phân ra ẩm trong vật liệu gồm hai loại:

- Ẩm tự do: ẩm có tốc độ bay hơi bằng tốc độ bay hơi nước từ bề mặt tự do. Do đó trong vật liệu nếu có ẩm tự do thì áp suất riêng phần của hơi nước trên bề mặt vật liệu bằng áp suất hơi bão hòa trên bề mặt tự do
- Ẩm liên kết thì ngược lại có áp suất riêng phần của hơi nước trên bề mặt vật liệu nhỏ hơn áp suất hơi bão hòa trên bề mặt tự do. Năng lượng liên kết loại ẩm này tương đối lớn nên nhiệt của quá trình sấy chỉ tách được một phần loại ẩm này

Cơ chế tách ẩm trong vật liệu

Quá trình ẩm bay hơi từ vật liệu thường có hai giai đoạn:

- Ẩm trên bề mặt vật liệu bay hơi vào môi trường, giai đoạn này tốc độ khuếch tán phụ thuộc vào áp suất P_M , P_h và nhiệt độ, tốc độ của môi trường.
- Khi độ ẩm trên mặt vật liệu nhỏ hơn độ ẩm ở trong vật liệu, ẩm sẽ di chuyển từ trong ra nhờ chênh lệch độ ẩm (gradient ẩm) ở dạng lỏng hoặc dạng hơi khi độ ẩm của vật liệu nhỏ hơn độ ẩm hút nước

P_h : áp suất riêng phần của hơi nước trong môi trường xung quanh

P_M : áp suất riêng phần của hơi nước trên bề mặt vật liệu

III. Động lực học về sấy

2. Tốc độ sấy

Tốc độ sấy được xác định bằng lượng kg ẩm (nước) bay hơi trên 1m^2 bề mặt vật liệu sấy trong một đơn vị thời gian

$$U = \frac{dW}{Fd\tau}$$

Tốc độ sấy iến đổi theo thời gian, giảm dần theo mức độ giảm hàm ẩm trong vật liệu sấy. Khi sấy, thường có khoảng 90% lượng ẩm trong vật liệu bốc hơi trong một nửa thời gian đầu của quá trình, còn lại 10% ẩm bốc hơi trong một nửa thời gian cuối.

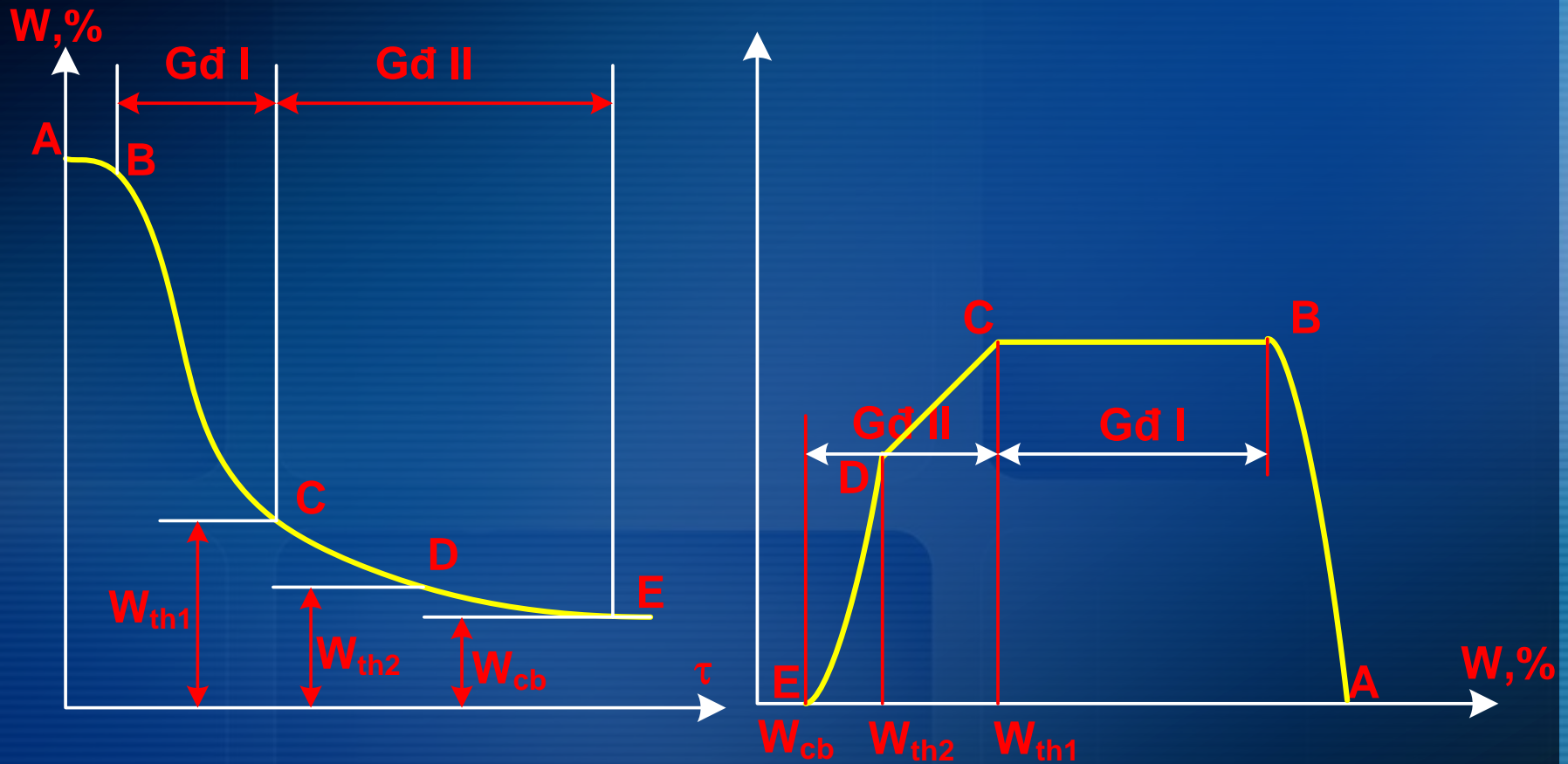
III. Động lực học về sấy



Các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ sấy

- Bản chất của vật liệu sấy
- Hình dáng vật liệu sấy: kích thước, chiều dày lớp vật liệu,...t liệu sấy với thể tích của nó. Bề mặt vật liệu sấy càng lớn thì quá trình sấy tiến hành càng nhanh.
- Độ ẩm ban đầu và ban cuối, độ ẩm tới hạn của vật liệu.
- Độ ẩm của không khí, nhiệt độ và tốc độ của không khí.
- Tác nhân sấy: có thể sấy bằng không khí hoặc bằng khói lò.
- Chênh lệch nhiệt độ ban đầu và ban cuối của tác nhân sấy, nhiệt độ cuối giảm ít thì nhiệt độ trung bình của tác nhân sấy càng cao, do đó tốc độ sấy cũng tăng. Nhưng không nên chọn nhiệt độ cuối quá cao vì không sử dụng triệt để nhiệt.
- Cấu tạo máy sấy, phương thức sấy và chế độ sấy.

3. Đường cong sấy – đường cong tốc độ sấy



III. Động lực học về sấy

Các giai đoạn sấy

- Giai đoạn I: sau khoảng thời gian đốt nóng rất ngắn (giai đoạn đốt nóng vật liệu) hàm ẩm vật liệu giảm không đáng kể thì bắt đầu giai đoạn sấy đẳng tốc. Ở giai đoạn này hàm ẩm vật liệu giảm rất nhanh theo quy luật tuyến tính cho đến khi vật liệu đạt độ ẩm tới hạn
- Giai đoạn II: khi vật liệu đạt độ ẩm tới hạn nếu tiếp tục sấy thì hàm ẩm của vật liệu giảm rất chậm cho đến khi đạt độ ẩm cân bằng, giai đoạn này gọi là giai đoạn giảm tốc

Xin cảm ơn !

