
LỜI NÓI ĐẦU

* Nguyên Lý Lò Công Nghiệp Vật Liệu Xây Dựng là môn học nghiên cứu những đặc điểm kỹ thuật quan trọng nhất, những vấn đề chung nhất của các lò công nghiệp, đặc biệt là lò công nghiệp dùng trong lĩnh vực sản xuất vật liệu và cấu kiện xây dựng, trong đó chủ yếu là nghiên cứu các quy luật có liên quan đến sự chuyển động của dòng khí trong các thiết bị nhiệt.

* Do tính chất của môn học, Nguyên Lý Lò Công Nghiệp Vật Liệu Xây Dựng được xem là nền tảng để nghiên cứu các vấn đề chuyên sâu có liên quan. Chính vì vậy, nội dung và mức độ trình bày các vấn đề trong môn học chỉ tập trung vào việc trang bị cho sinh viên (đặc biệt là sinh viên chuyên ngành Vật liệu và cấu kiện xây dựng) những kiến thức cơ bản về các thiết bị nhiệt và tất cả các vấn đề có liên quan đến quá trình gia công nhiệt sản phẩm trong các thiết bị nhiệt, để cùng với các môn học khác làm cơ sở lý luận quan trọng giúp cho sinh viên hiểu biết có hệ thống về thiết bị nhiệt (Ví dụ: Lò nung, Lò sấy, Buồng đốt, Bể dưỡng hộ nhiệt ẩm, các thiết bị hoàn nhiệt hay các thiết bị duy trì sự chuyển động cưỡng bức của dòng khí...) và có cơ sở vững vàng trong việc sử dụng thiết bị, lựa chọn các phương án kỹ thuật về nhiệt một cách hợp lý trong các dây chuyền công nghệ.

Chương 1: Những đặc tính và các chỉ tiêu cơ bản của thiết bị nhiệt

I. Giới thiệu và phân loại thiết bị nhiệt:

1. Giới thiệu chung:

* Như đã biết, vật liệu xây dựng rất đa dạng về chủng loại và tính chất, tương ứng với mỗi loại vật liệu xây dựng là một qui trình công nghệ sản xuất khác nhau (có những loại được sản xuất theo qui trình tương đối đơn giản và cũng có những loại được sản xuất theo một qui trình công nghệ rất phức tạp...) và điểm chung nhất trong qui trình sản xuất của phần lớn các loại vật liệu xây dựng đó là: chúng đều phải trải qua một công đoạn quan trọng gọi là công đoạn gia công nhiệt, công đoạn này có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng sản phẩm.

* Loại thiết bị được sử dụng để thực hiện quá trình gia công nhiệt được gọi là thiết bị nhiệt, ví dụ như: lò nung, lò sấy, buồng đốt...

* Nguồn cung cấp nhiệt cho các thiết bị nhiệt thực hiện quá trình gia công nhiệt thu được từ quá trình đốt cháy các loại nhiên liệu như: gỗ, than đá, dầu mazut, khí thiên nhiên hay nhân tạo... Bên cạnh đó có thể tận dụng dòng khí thải hay dòng khí nóng ở vùng làm nguội có nhiệt độ cao của lò nung...

2. Phân loại thiết bị:

* Phân loại thiết bị dựa theo đặc điểm của quá trình sản xuất:

- Thiết bị sấy.
- Thiết bị nung.
- Thiết bị dưỡng hộ (thiết bị gia công nhiệt ẩm).
- Các thiết bị phụ trợ như: buồng đốt, kênh dẫn khí...

* Phân loại thiết bị nhiệt theo chu trình làm việc:

- Thiết bị nhiệt hoạt động liên tục.
- Thiết bị nhiệt hoạt động gián đoạn.

* Phân loại theo khoảng nhiệt độ:

- Dưỡng hộ bê tông bằng hơi nước: từ 60 đến 200°C.
- Sấy vật liệu: từ 80 đến 500°C.

- Nung sản phẩm gồm: từ 900 đến 1400°C.

- Nung xi măng: từ 1400 đến 1500°C.

- Nung thạch cao: từ 120 đến 200°C.

* Trên thực tế thường dựa theo khoảng nhiệt độ để lựa chọn vật liệu bao che, chọn kết cấu để bảo đảm công nghệ và tuổi thọ của thiết bị nhiệt. Đồng thời tùy ở mức độ nhiệt mà tìm những biện pháp tương ứng để nâng cao hiệu quả của quá trình trao đổi nhiệt.

II. Các chỉ tiêu cơ bản của thiết bị nhiệt:

1. Mức tiêu thụ nhiệt riêng phần: kí hiệu q , đơn vị kCal/đơn vị sản phẩm và được tính theo công thức như sau:

$$q = Q/G$$

Trong đó:

Q là nhiệt lượng tiêu tốn cho quá trình gia công nhiệt tạo ra sản phẩm (kCal, kJ).

G là tổng lượng sản phẩm.

2. Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng phần: kí hiệu b , đơn vị kg/đơn vị sản phẩm.

* Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng phần thực tế (kí hiệu b_{tt}) là lượng nhiên liệu thực tế đang dùng để gia công một đơn vị sản phẩm.

$$b_{tt} = Q/(Q_{lvt} \times G)$$

Trong đó:

Q_{lvt} là nhiệt trị thực tế ở trạng thái làm việc của nhiên liệu (kCal/kg)

* Mức tiêu thụ nhiên liệu riêng phần qui về nhiên liệu chuẩn (kí hiệu b_{ch}) là lượng nhiên liệu chuẩn cần để gia công một đơn vị sản phẩm.

$$b_{ch} = Q/(Q_{lvch} \times G) = Q/(7000 \times G)$$

Trong đó:

Q_{lvch} là nhiệt trị của nhiên liệu chuẩn ($Q = 7000$ kCal/kg)

* Lưu ý: riêng đối với thiết bị sấy thì G (tổng lượng sản phẩm) được thay bằng tổng lượng ẩm bốc hơi trong một đơn vị thời gian.

3. Năng suất riêng phần: kí hiệu g , đơn vị - sản phẩm/m³ (hay m²).tháng (hay năm)

* Năng suất riêng phần cho một đơn vị thể tích V hay một đơn vị diện tích F của thiết bị trong một tháng, một năm được xác định theo công thức sau:

$$g = G[\text{số đvsf/tháng(hay năm)}]/V(\text{hay F})$$

Trong đó:

G là tổng lượng sản phẩm trong một tháng hay trong một năm.

* Lưu ý: chỉ tiêu này rất quan trọng vì nó phản ánh cách bố trí tối ưu, chặt chẽ và gọn gàng của thiết bị nhiệt.

4. Hệ số hữu ích của thiết bị nhiệt: kí hiệu η , tính bằng phần trăm, có giá trị < 1 .

* Hệ số hữu ích của thiết bị nhiệt được xác định theo công thức sau:

$$\eta = Q_{ct}/Q_{cc} < 1$$

Trong đó:

Q_{ct} là tổng nhiệt lượng cần thiết cho các phản ứng hóa học tiêu thụ nhiệt và đốt nóng sản phẩm (kể cả phản ứng làm bay hơi và đốt nóng lượng nước).

Q_{cc} là tổng lượng nhiệt cung cấp.

* Lưu ý: các thiết bị đường hệ nhiệt ẩm ở áp suất thường không có hệ số hữu ích vì bản thân các phản ứng thủy hóa xi măng không cần cung cấp nhiệt.

5. Kích thước hữu ích của thiết bị nhiệt: kí hiệu V(hay F), đơn vị m^3 (hay m^2).

* Kích thước hữu ích của tất cả các loại thiết bị nhiệt được xác định theo công thức sau:

$$V(\text{hay F}) = (G_n \times \tau_{ck})/[24 \times n \times a \times (1-p)]$$

Trong đó:

G_n là năng suất trong một năm tính theo chính phẩm.

n là số ngày làm việc của thiết bị tính trong một năm.

a là mật độ xếp sản phẩm trong một đơn vị thể tích hay diện tích (tấn hay sản phẩm/ m^3 hay m^2).

p là tỷ lệ phế phẩm gia công (%).

τ_{ck} là chu kỳ gia công nhiệt (đối với lò liên tục lấy bằng thời gian gia công nhiệt, còn ở lò gián đoạn là chu kỳ vòng quay của lò) (giờ).

* Lưu ý: trong các lò tuynel, sản phẩm thường được xếp trên các va gông. Khi đó nếu a là mật độ xếp sản phẩm trên một va gông thì V (hay F) trong trường hợp này phải hiểu là tổng số va gông cần thiết phải có trong lò.

III. Các chỉ tiêu cơ bản của nguyên vật liệu trong quá trình gia công nhiệt:

* Nguyên vật liệu trong quá trình gia công nhiệt chịu sự biến đổi về lượng (chất) và sự biến đổi này có thể được xác định dựa vào sản phẩm cuối cùng (chính là thành phẩm ra lò).

* Nếu vật liệu ban đầu ở trạng thái khô tuyệt đối có khối lượng là G_k và sản phẩm đã nung cuối cùng có khối lượng là G_{cc} thì chúng có mối liên hệ như sau:

$$G_k = (G_{cc} \times 100) / (100 - MKN)$$

Trong đó:

MKN là tổn thất khi nung.

* Còn khi vật liệu ban đầu ở trạng thái ẩm với độ ẩm tương đối là W (%) thì khối lượng của nó kí hiệu là G_w được xác định như sau:

$$G_w = (G_k \times 100) / (100 - W)$$

* Như vậy lượng hơi nước bốc hơi trong quá trình gia công nhiệt (L_w) sẽ bằng:

$$L_w = G_w - G_k$$

* Lưu ý: khi sử dụng các công thức này thì cần phân biệt rõ sự khác nhau giữa “tổn thất khi nung” và “phế phẩm khi nung”.

Chương 2: Nhiên liệu

I. Giới thiệu chung:

* Có thể định nghĩa “Nhiên liệu” là tên gọi của một số chất trong thiên nhiên hoặc nhân tạo có khả năng cháy nhanh và tạo ra một lượng nhiệt lớn, làm tăng nhiệt độ của môi trường khí xung quanh lên rất cao cần thiết cho quá trình gia công nhiệt.

* Trong công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng, sử dụng nhiều loại nhiên liệu khác nhau như: củi, than đá, các loại nhiên liệu lỏng, khí đốt thiên nhiên và nhân tạo, cho đến điện năng... song trong số đó chủ yếu vẫn là những loại nhiên liệu cổ truyền thông thường gồm ba loại nhiên liệu chính và đây cũng chính là ba trạng thái tồn tại của chúng:

- Nhiên liệu rắn: gồm các loại than, củi.
- Nhiên liệu lỏng: gồm các loại dầu cháy, chủ yếu là dầu mazut.
- Nhiên liệu khí: gồm khí đốt thiên nhiên và nhân tạo.

II. Nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng:

* Nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có cùng các tính cháy và cách biểu diễn thành phần hóa học. Do vậy về phần nhiên liệu lỏng dưới đây chỉ xét thêm một số đặc điểm riêng biệt.

1. Phân loại:

1.1. Nhiên liệu rắn:

* Các loại nhiên liệu rắn thường dùng trong công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng gồm có:

- Củi, gỗ được dùng ngày càng ít vì hiếm dần và các chỉ tiêu về nhiệt lại thấp, nhiệt trị thông thường từ 1700 đến 2200kCal/kg.
- Than bùn là nhiên liệu của thời kỳ đầu tiên chuyển hóa thành than đá, trong nó còn thấy rõ những thảo mộc, lá cành. Độ ẩm của than bùn rất cao, hàm lượng tro xỉ thấp, nhiệt trị làm việc khoảng 2500 đến 3000kCal/kg.
- Than non ở vị trí trung gian khi than bùn chuyển hóa thành than đá. Than non thường có màu đen (tối), hàm lượng xỉ khoảng từ 7 đến 40%, độ ẩm từ 11 đến 45%, nhiệt trị từ 2500 đến 4400kCal/kg.

- Than đá có độ cứng khác nhau tùy theo tuổi, có ánh than và khối lượng thể tích khác nhau. Nhiệt trị của than đá tương đối cao, thành phần hóa học chủ yếu là cacbon. Tính theo tuổi hình thành thì than bùn có tuổi trẻ nhất và cuối cùng là than antraxit.

1.2. Nhiên liệu lỏng:

* Loại nhiên liệu lỏng hay dùng trong công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng là dầu mazut – một sản phẩm phụ của công nghiệp dầu lửa. Dầu mazut có nhiệt trị rất cao khoảng 9240 đến 9850 kCal/kg.

* Dầu mazut được chuyên chở và chứa trong các thùng hoặc bể kính. Trong quá trình chuyên chở và bảo quản dầu mazut có thể bị bẩn thêm vì bụi và nước lẫn vào, khi đó lượng ẩm có thể lên tới 5 đến 10%, vì vậy phải lọc một phần nước lẫn trong dầu mazut trước khi đốt bằng vòi phun.

* Ngoài nhiệt trị và thành phần hóa học dầu mazut còn có những tính chất khác rất quan trọng như: độ nhớt, hệ số dẫn nhiệt, tỷ nhiệt và nhiệt độ bốc lửa...

2. Thành phần của nhiên liệu rắn và của nhiên liệu lỏng:

2.1. Thành phần của nhiên liệu rắn:

* Cacbon (C) là thành phần chủ yếu trong nhiên liệu rắn như than đá, thành phần này chiếm tỷ lệ từ 50 đến 92% và có tham gia vào phản ứng cháy khi đốt (kí hiệu C_c).

* Hydro (H) trong nhiên liệu rắn có thể chiếm từ 1 đến 25%, riêng trong thành phần của than đá hydro thường chiếm khoảng từ 2 đến 5% và hydro có tham gia vào phản ứng cháy khi đốt (kí hiệu H_c).

* Lưu huỳnh (S) tồn tại trong nhiên liệu rắn dưới dạng các hợp chất như: trong hợp chất của kim loại kiềm và kiềm thổ (ví dụ $CaSO_4$), trong hợp chất với pyrit sắt (như FeS_2) hay trong thành phần của các hợp chất hữu cơ có thành phần hóa phức tạp. Trong ba dạng tồn tại ở trên chỉ có lưu huỳnh tồn tại trong hai dạng sau có tham gia vào phản ứng cháy (kí hiệu S_c) và tỏa nhiệt tạo ra SO_2 . Song lưu huỳnh là chất có hại vì sản phẩm cháy của lưu huỳnh sẽ kết hợp với hơi nước có trong khói thải tạo thành axit loãng làm hỏng đường tải nhiệt và là khí độc, than ít lưu huỳnh là than tốt (có $S < 1\%$).

* Oxi (O_2) trong thành phần nhiên liệu có tham gia vào phản ứng cháy (kí hiệu O_c) nhưng không tỏa nhiệt, nó thay thế một phần oxi từ không khí, hàm lượng oxi trong nhiên liệu rắn có thể từ 0,5 đến 43%.

* Nitơ khí trơ (N) là một thành phần của nhiên liệu không tham gia vào phản ứng cháy, chiếm hàm lượng tương đối nhỏ khoảng 0,5 đến 2%, vì vậy nó không có ảnh hưởng lớn đến lượng nhiệt tỏa ra khi cháy của nhiên liệu.

* Lượng tro xỉ trong nhiên liệu (kí hiệu A) gồm tro và các muối của kim loại kiềm và kiềm thổ, các khoáng silic và aluminat, khoáng chứa các hợp chất của sắt... riêng hàm lượng xỉ trong than chiếm tỷ lệ rất cao, có khi lên đến 50% và có ảnh hưởng rõ rệt tới cách đốt (ví dụ đối với loại nhiên liệu than chứa nhiều xỉ dễ chảy thì đốt khó hơn vì cháy không đều và khó thông lò).

* Lượng ẩm trong nhiên liệu (kí hiệu W) là thành phần có hại và khi bay hơi nó tiêu tốn một lượng nhiệt. Ngoài ra lượng ẩm làm giảm khả năng bốc lửa của nhiên liệu, làm hạ thấp nhiệt độ trong lò và làm chậm quá trình cháy.

2.2. Thành phần của nhiên liệu lỏng:

* Dầu mazut chứa rất ít các chất không cháy, độ ẩm khoảng 1 đến 4%, hàm lượng tro xỉ rất thấp khoảng 0,1 đến 0,3%. Lượng oxi và nitơ thấp, gần như không có.

* Thành phần cacbon (C), hydro (H), lưu huỳnh (S) và oxi (O₂) trung bình của dầu mazut chiếm lần lượt khoảng 88%; 11%; 0,7% và 1%. Khi hàm lượng lưu huỳnh chiếm từ 1 đến 3% ta có thể gọi là dầu mazut giàu lưu huỳnh.

3. Cách biểu diễn thành phần hóa của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng:

* Thành phần hóa của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có thể được biểu diễn như sau:

$$C + H + S + O + N + A + W = 100\%$$

* Nhìn vào thành phần hóa của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng ta thấy rằng thành phần ẩm (W) và tro xỉ (A) có thể biến đổi tùy thuộc vào cách bảo quản, vận chuyển và vào môi trường khí xung quanh... do vậy thành phần hóa của các loại nhiên liệu này còn có thể được biểu diễn dưới các dạng sau:

- Thành phần hữu cơ (kí hiệu hc): khi đó thành phần hữu cơ của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có thể được biểu diễn như dưới đây:

$$C_{hc} + H_{hc} + O_{hc} + N_{hc} = 100\%$$

$$\text{Với } X_{hc} = (X \times 100) / (100 - W - A - S)$$

- Thành phần cháy (kí hiệu là c): khi đó thành phần cháy của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có thể được biểu diễn như dưới đây:

$$C_c + H_c + O_c + N_c + S_c = 100\%$$

$$\text{Với } X_c = (X \times 100) / (100 - W - A)$$

- Thành phần khô (kí hiệu là k): khi đó thành phần khô của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có thể được biểu diễn như dưới đây:

$$C_k + H_k + O_k + N_k + S_k + A_k = 100\%$$

$$\text{Với } X_k = (X \times 100) / (100 - W)$$

- Thành phần làm việc (kí hiệu là lv): khi đó thành phần làm việc của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng có thể được biểu diễn như dưới đây:

$$C_{lv} + H_{lv} + O_{lv} + N_{lv} + S_{lv} + A_{lv} = 100\%$$

$$\text{Với } X_{lv} = (X \times [100 - W_{lv}]) / (100 - W)$$

Trong đó:

X là thành phần bất kỳ nào đó trong thành phần từ kết quả phân tích (%).

X_{hc} là thành phần bất kỳ nào đó trong thành phần hữu cơ của nhiên liệu (%).

X_c là thành phần bất kỳ nào đó trong thành phần cháy của nhiên liệu (%).

X_k là thành phần bất kỳ nào đó trong thành phần khô của nhiên liệu (%).

X_{lv} là thành phần bất kỳ nào đó trong thành phần làm việc của nhiên liệu (%).

* Lưu ý: các cách biểu diễn thành phần hóa của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng vừa trình bày ở trên có thể được tóm tắt theo sơ đồ sau:

C	H	O	N	S	A	W
Thành phần hữu cơ						
Thành phần cháy						
Thành phần khô						
Thành phần làm việc						

III. Nhiên liệu khí:

* Nhiên liệu khí bao gồm khí thiên nhiên và khí nhân tạo.

1. Khí thiên nhiên:

* Khí thiên nhiên là một hỗn hợp cơ học các cacbua hydro chủ yếu chứa khí metan (CH_4) và một số các cacbua hydro không no khác như etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}) và một ít lượng khí CO_2 , N_2 .

* Tùy thuộc vào mỏ khí, hàm lượng khí metan đạt từ 93 đến 98% và lượng các khí còn lại không quá 7%. Nhiệt trị của nhiên liệu khí khoảng 7000 đến 9000kCal/m³ chuẩn. Khí thiên nhiên càng giàu cacbua hydro nặng thì nhiệt trị càng cao, có thể đạt đến 15000kCal/m³ chuẩn.

2. Khí nhân tạo:

* Khí nhân tạo là sản phẩm thu được từ quá trình khí hóa nhiên liệu rắn. Thành phần hóa học của khí nhân tạo phụ thuộc vào cách khí hóa và vào thành phần của loại nhiên liệu rắn dùng để khí hóa. Thành phần hóa học của khí nhân tạo có thể dao động rất lớn.

IV. Nhiệt trị của nhiên liệu:

1. Nhiệt trị của nhiên liệu rắn và của nhiên liệu lỏng:

* Nhiệt trị của nhiên liệu rắn và của nhiên liệu lỏng là lượng nhiệt tỏa ra khi cháy hoàn toàn 1kg nhiên liệu.

* Nhiệt trị của các loại nhiên liệu rất khác nhau. Để so sánh nhiệt trị của chúng ta dựa vào giá trị nhiệt trị của nhiên liệu tiêu chuẩn (quy ước là 7000kCal/kg nhiên liệu chuẩn). Trong tính toán kỹ thuật ta phải quy về nhiên liệu chuẩn để đánh giá chất lượng của thiết bị về mặt tiêu hao nhiên liệu.

* Như đã biết hầu hết các loại nhiên liệu đều chứa hydro và một lượng ẩm vật lý nào đó (W). Hơi nước tạo ra trong quá trình cháy của hydro và bốc hơi ẩm hoặc là được ngưng tụ hoặc được thải theo khói lò ở trạng thái khí (hơi nước). Vì vậy nhiệt trị của nhiên liệu được phân thành hai loại là nhiệt trị cao (Q_{lvc}) và nhiệt trị thấp (Q_{lvth}).

- Nhiệt trị cao (Q_{lvc}): khi ngưng tụ hơi nước thải ra một lượng nhiệt ẩm là 539kCal/kg nhiên liệu (ở 100°C) và khi tiếp tục làm nguội trong hơi nước đó từ 100°C xuống 0°C (tính theo điều kiện tiêu chuẩn) thì tỏa ra thêm một lượng nhiệt là 100kCal/kg nhiên liệu. Khi đó lượng nhiệt tổng cộng thu được (khi ngưng tụ và làm nguội hơi nước) là (539 + 100)kCal/kg nhiên liệu và lượng nhiệt này được tính vào khi xác định nhiệt trị cao của nhiên liệu (Q_{lvc}). Công thức thực nghiệm xác định nhiệt trị làm việc cao của nhiên liệu theo Mendeleev là:

$$Q_{lvc} = 81 \times C_{lv} + 300 \times H_{lv} - 26 \times (O_{lv} - S_{lv}) \text{ (kCal/kg)}$$

- Nhiệt trị thấp (Q_{lvth}): trong thực tế kỹ thuật, lượng hơi nước ở thể khí này mất theo khói lò, do vậy mà lượng nhiệt ẩm ngưng tụ và lượng nhiệt lý do làm nguội (từ 100°C xuống 0°C) không được thu hồi, nghĩa là lượng nhiệt (539 + 100)kCal/kg nhiên liệu không được tính vào khi xác định nhiệt trị thực tế của nhiên liệu, đây chính là nhiệt trị thấp (Q_{lvth}) và khi tính toán xác định nhiệt trị thấp của

nhiên liệu thì giá trị nhiệt trị thấp (Q_{lvth}) được quy về điều kiện thông thường là 20°C . Khi đó lượng nhiệt lý tỏa ra do làm nguội 1kg hơi nước từ 100°C xuống 20°C là $(1 \times 0,48 \times 80 = 38,4 \text{ kCal/kg})$, ở đây 0,48 kCal/kg.độ là tỷ nhiệt của hơi nước) và lượng nhiệt này được tính vào khi xác định nhiệt trị thấp của nhiên liệu (Q_{lvth}).

$$Q_{lvth} = (Q_{lvc} - [539 + 100]) + 38,4 = Q_{lvc} - 600 \text{ kCal/kgH}_2\text{O}$$

Trong đó:

600 kCal/kgH₂O là nhiệt hóa hơi của nước (gồm hơi nước tạo ra trong quá trình cháy của hydro ($\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ và bốc hơi nước vật lý – W_{lv}), do đó ta có thể viết lại như sau:



$$2 \text{ =====> } 18$$

$$H_{lv}/100 \text{ =====> ?}$$

$$600 \text{ kCal/kgH}_2\text{O} = 600 \times (9 \times H_{lv}/100 + W_{lv}/100) = 6 \times (9 \times H_{lv} + W_{lv})$$

* Vậy công thức thực nghiệm xác định nhiệt trị làm việc thấp của nhiên liệu theo Mendeleev là:

$$Q_{lvth} = 81 \times C_{lv} + 246 \times H_{lv} - 26 \times (O_{lv} - S_{lv}) - 6 \times W_{lv} \text{ (kCal/kg)}$$

2. Nhiệt trị của nhiên liệu khí:

* Nhiệt trị của nhiên liệu khí là lượng nhiệt tỏa ra khi cháy hoàn toàn một đơn vị thể tích nhiên liệu khí (tính theo m³).

* Nhiệt trị của nhiên liệu khí được xác định bằng tổng số các tích của hiệu ứng nhiệt các phản ứng hóa học xảy ra với hàm lượng phần trăm thể tích của khí trong hỗn hợp và được xác định theo công thức dưới đây:

$$Q_{lvth} = 25,8 \times H_{2lv} + 30,5 \times CO_{lv} + 85,3 \times CH_{4lv} + 140,5 \times C_2H_{4lv} + 135 \times C_2H_{2lv} \text{ (kCal/m}^3 \text{ chuẩn)}$$

* Lưu ý: nếu hàm lượng của các cacbua hydro không no khác chiếm tỷ lệ nhỏ trong tổng số thì chỉ cần tính theo khí metan là đủ.

V. Tính cháy nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng:

* Tính cháy nhiên liệu bao gồm xác định lượng không khí (lượng oxi) cần thiết cho quá trình cháy, xác định thành phần, dung trọng và hàm lượng khói thải tạo ra, nhiệt độ mà nhiên liệu đạt được trong quá trình đốt, lượng không khí cần đưa vào hòa trộn để đạt được nhiệt độ mong muốn...

1. Xác định hệ số chuyển đổi thành phần của nhiên liệu:

* Bảng 2-1. Xác định hệ số chuyển đổi thành phần của nhiên liệu từ trạng thái này sang trạng thái khác

Thành phần đã cho	Thành phần cần chuyển đổi			
	Hữu cơ	Cháy	Khô	Làm việc
Hữu cơ	1	$(100-S_c)/100$	$(100-[S_k+A_k])/100$	$(100-[S_{lv}+A_{lv}+W_{lv}])/100$
Cháy	$100/(100-S_c)$	1	$(100-A_k)/100$	$(100-[A_{lv}+W_{lv}])/100$
Khô	$100/(100-[S_k+A_k])$	$100/(100-A_k)$	1	$(100-W_{lv})/100$
Làm việc	$100/(100-[S_{lv}+A_{lv}+W_{lv}])$	$100/(100-[A_{lv}+W_{lv}])$	$100/(100-W_{lv})$	1

* Gọi Y_o là thành phần đã cho và Y_{cd} là thành phần cần chuyển đổi và y_{cd} có thể là: $A_{lv} + W_{lv}$; $S_{lv} + A_{lv} + W_{lv}$ ta có:

- Trường hợp 1: thành phần đã cho Y_o nhỏ hơn thành phần cần chuyển đổi Y_{cd}

$$Y_{cd} = [(100-y_{cd})/100] \times Y_o$$

Trong đó: hệ số chuyển đổi $k = (100-y_{cd})/100 < 1$

- Trường hợp 2: thành phần đã cho Y_o lớn hơn thành phần cần chuyển đổi Y_{cd}

$$Y_{cd} = [100/(100-y_{cd})] \times Y_o$$

Trong đó: hệ số chuyển đổi $k = 100/(100-y_{cd}) > 1$

2. Nhiệt trị của nhiên liệu rắn và nhiên liệu lỏng: kí hiệu là Q_{lvth} , được xác định theo công thức dưới đây:

$$Q_{lvth} = 81 \times C_{lv} + 246 \times H_{lv} - 26 \times (O_{lv} - S_{lv}) - 6 \times W_{lv} \text{ (kCal/kg)}$$

3. Lượng không khí khô cần cho quá trình cháy lý thuyết: kí hiệu là V_o , được xác định theo công thức dưới đây:

$$V_o = \frac{8,89}{100} \times C_{lv} + \frac{26,5}{100} \times H_{lv} - \frac{3,3}{100} \times (O_{lv} - S_{lv})$$

4. Lượng không khí khô cần cho quá trình cháy thực tế: kí hiệu là V_α , được xác định theo công thức dưới đây:

$$V_\alpha = \alpha \times V_o$$

Trong đó:

α là hệ số hư của không khí ($\alpha > 1$), đây là một hệ số thực nghiệm được chọn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: tùy thuộc vào loại nhiên liệu, vào cỡ hạt của nhiên liệu, vào cách đốt, vào cấu tạo và mức độ hoàn thiện của thiết bị đốt... Cụ thể:

- Đối với nhiên liệu rắn $\alpha = 1,2$ đến $1,6$.
- Đối với nhiên liệu lỏng $\alpha = 1,05$ đến $1,2$.

5. Lượng không khí ẩm lý thuyết: kí hiệu là V_o' , được xác định theo công thức dưới đây:

$$V_o' = (1 + 0,0016 \times d_o) \times V_o$$

Trong đó:

d_o là hàm ẩm của không khí môi trường bên ngoài.

6. Lượng không khí ẩm thực tế: kí hiệu là V_α' , được xác định theo công thức dưới đây:

$$V_\alpha' = (1 + 0,0016 \times d_o) \times V_\alpha$$

Trong đó:

d_o là hàm ẩm của không khí môi trường bên ngoài.

7. Lượng sản phẩm cháy thực tế: kí hiệu là V_{sfc} , được xác định theo công thức dưới đây:

$$V_{sfc} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_{2dr}}$$

Với V_{CO_2} ; V_{SO_2} ; V_{H_2O} ; V_{N_2} ; $V_{O_{2dr}}$ lần lượt được xác định như sau:

$$V_{CO_2} = (1,86 \times C_{lv})/100$$

$$V_{SO_2} = (0,7 \times S_{lv})/100$$

$$V_{N_2} = 0,79 \times V_\alpha + (0,8 \times N_{lv})/100$$

$$V_{O_{2dr}} = 0,21 \times (\alpha - 1) \times V_o$$

$$V_{H_2O} = V_1 + V_2 + V_3$$

Trong đó:

V_1 là lượng hơi nước nhận được do lượng không khí ẩm thực tế cung cấp cho quá trình cháy của nhiên liệu ứng với do (gam ẩm/kg không khí khô = gam/kgkkk) và được xác định theo công thức sau:

$$V_1 = 0,0016 \times d_o \times V_\alpha$$

V_2 là lượng hơi nước nhận được do thành phần hydro trong nhiên liệu bốc cháy và được xác định theo công thức sau:

$$V_2 = (11,2 \times H_{lv})/100$$

V_3 là lượng hơi nước nhận được do độ ẩm trong nhiên liệu bốc hơi khi cháy và được xác định theo công thức sau:

$$V_3 = (1,24 \times W_{lv})/100$$

* Thành phần phần trăm của từng sản phẩm cháy được tính so với tổng lượng sản phẩm cháy thực tế: %CO₂; %SO₂; %H₂O; %N₂; %O_{2 dư}.

8. Tỷ trọng của sản phẩm cháy (hay của khói lò): kí hiệu là γ_{sfc} , được xác định theo công thức dưới đây:

$$\gamma_{sfc} = G_{sfc}/V_{sfc}$$

Trong đó:

G_{sfc} là khối lượng của sản phẩm cháy khi đốt 1kg nhiên liệu (đơn vị kg/kg nhiên liệu) và được xác định theo công thức sau:

$$G_{sfc} = \gamma_{CO_2} \times V_{CO_2} + \gamma_{SO_2} \times V_{SO_2} + \gamma_{H_2O} \times V_{H_2O} + \gamma_{N_2} \times V_{N_2} + \gamma_{O_{2dư}} \times V_{O_{2dư}}$$

Với γ_{CO_2} ; γ_{SO_2} ; γ_{H_2O} ; γ_{N_2} ; $\gamma_{O_{2dư}}$ lần lượt là tỷ trọng của các khí.

* Ví dụ minh họa: Nhiên liệu sử dụng là dầu mazut có thành phần cháy như sau:

C_c	H_c	O_c	N_c	S_c
87,2%	11,7%	0,4%	0,2%	0,5%

Cho biết hàm lượng tro $A_{lv} = 0,1\%$, độ ẩm $W_{lv} = 2,0\%$, $\alpha = 1,2\%$ và không khí môi trường bên ngoài có hàm ẩm là 19 gâ/kgkkk.

- Hãy tính nhiệt trị làm việc thấp của nhiên liệu trên.
- Hãy tính lượng không khí khô và lượng không ẩm lý thuyết cần để đốt cháy hoàn toàn 1kg nhiên liệu.
- Hãy tính lượng không khí khô và lượng không ẩm thực tế cần để đốt cháy hoàn toàn 1kg nhiên liệu.
- Hãy tính thành phần phần trăm sản phẩm cháy thực tế.
- Hãy xác định tỷ trọng của khói lò, biết tỷ trọng của các khí γ_{CO_2} ; γ_{SO_2} ; γ_{H_2O} ; γ_{N_2} ; $\gamma_{O_{2dư}}$ lần lượt bằng: 1,977; 2,927; 0,804; 1,251; 1,429 kg/m³.

Chương 3: Chuyển động của dòng khí trong thiết bị nhiệt

I. Khái quát chung về sự chuyển động của dòng khí trong thiết bị nhiệt:

* Chất khí chuyển động trong các thiết bị nhiệt thông thường là khói lò (là các sản phẩm khí của quá trình đốt cháy nhiên liệu), không khí nóng, hơi nước hoặc hỗn hợp giữa các khí trên. Trong quá trình chuyển động trong thiết bị nhiệt, khí trao cho vật liệu gia công một lượng nhiệt của mình (hoặc nhận một lượng nhiệt từ vật liệu), sự truyền nhiệt này phụ thuộc vào những yếu tố chính như:

- Tốc độ dòng khí, hướng chuyển động.
- Thành phần của khí, nhiệt độ.
- Đặc điểm của kênh dẫn và vào những tính chất của vật liệu gia công, kể cả hình dáng lò và sự bố trí các kênh dẫn trong lò...

* Trước đây, các lò sấy, lò nung vật liệu thường nhỏ, khi hoạt động chúng làm việc chủ yếu nhờ sự chuyển động tự nhiên của dòng khí và Grum – Grimallo đã có công trong việc nghiên cứu và áp dụng những quy luật về sự chuyển động tự nhiên của dòng khí trong thiết bị nhiệt và đã chỉ ra cách chọn hướng dòng khí sao cho có lợi nhất nhờ ảnh hưởng của áp suất thế năng.

* Ngày nay trong các lò hiện đại, sự chuyển động tự nhiên của dòng khí không đủ đảm bảo cho thiết bị làm việc có năng suất cao và công suất lớn, hầu hết các thiết bị nhiệt hiện đại làm việc phải nhờ quạt tạo sự chuyển động cưỡng bức của dòng khí.

* Như vậy, khi xét quá trình làm việc của thiết bị nhiệt ta cần lưu ý những điểm sau:

- Áp suất dư hoặc chân không trong các lò thường không quá ± 50 mm cột nước, do đó khi tính các quá trình liên quan đến dòng khí có thể bỏ qua ảnh hưởng của các yếu tố áp suất tới sự nén hoặc giãn nở của khí mà chỉ xem xét nó như là chất lỏng không chịu nén, đồng nhất và liên tục lấp đầy kênh dẫn. Trên đường chuyển động, khi gặp vật cản thì từ lúc còn ở một khoảng cách tương đối xa dòng khí đã đổi hướng, biến dạng, lượn đều chảy quanh vật cản, điều này có thể giúp ta xác định được vị trí thích hợp khi đặt các thiết bị đo và xây các kênh dẫn.
- Ở trên đã không xét đến ảnh hưởng của yếu tố áp suất đến sự chuyển động của dòng khí trong thiết bị nhiệt nhưng đối với yếu tố nhiệt độ thì hoàn toàn ngược lại, ta phải đặc biệt chú ý đến yếu tố này vì trọng lượng riêng của khí lò phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và chính yếu tố nhiệt độ đã làm cho

trọng lượng riêng của khí lò và của không khí xung quanh có giá trị khác nhau. Do đó khí nóng bao giờ cũng chuyển động tự do hướng lên trên và thành phần của chuyển động tự do này không phải lúc nào cũng có lợi, thực tế nó gây nên không ít khó khăn ảnh hưởng đến quá trình gia công nhiệt vật liệu xây dựng.

II. Những đặc điểm tiêu biểu của chuyển động dòng khí trong thiết bị nhiệt:

* Các thiết bị nhiệt rất đa dạng về chủng loại, về hình dáng và kích thước. Dựa vào loại chất tải nhiệt sử dụng có thể chia thiết bị nhiệt thành hai nhóm chính như sau:

- Nhóm sử dụng chất tải nhiệt là hơi nước hoặc nước nóng.
- Nhóm sử dụng chất tải nhiệt là không khí nóng hoặc khói lò.

* Một cách tổng quát, dòng khí trong thiết bị nhiệt chuyển động được nhờ tác dụng của hai lực:

- Nội lực: lực này xuất hiện ngay chính trong bản thân chất tải nhiệt, do có sự chênh lệch về trọng lượng riêng của khí. Nguyên nhân gây nên sự chênh lệch về trọng lượng riêng của khí lại do sự chênh lệch về nhiệt độ hay độ ẩm (hoặc cả hai) ở những vị trí khác nhau, hay nói cách khác nội lực là nguyên nhân của sự chuyển động tự do của dòng khí.
- Ngoại lực: là lực nhân tạo tác dụng từ bên ngoài, lực này tạo nên áp lực hoặc chân không bắt dòng khí chuyển động mà không cần có sự chênh lệch trọng lượng riêng.

1. Nguyên lý Grum – Grimallo về sự chọn hướng chuyển động của dòng khí trong thiết bị nhiệt theo quy luật tự nhiên:

* Grum – Grimallo đã chỉ ra cách chọn hướng chuyển động của dòng khí trong thiết bị nhiệt theo quy luật tự nhiên sao cho có lợi nhất nhờ ảnh hưởng của áp suất thế năng trong các lò đứng, cụ thể: khi vật liệu trong lò trao nhiệt cho khí đi qua thì phải bố trí sao cho hướng chuyển động của dòng khí đi từ dưới lên, còn nếu khí trao nhiệt cho vật liệu thì phải bố trí sao cho hướng chuyển động của dòng khí đi từ trên xuống.

* Ví dụ 1: dòng khí đưa vào chuyển động từ dưới lên và nhiệt độ của vật liệu trong lò lớn hơn nhiệt độ của dòng khí đưa vào, điều này có nghĩa là vật liệu được làm nguội, còn khí được đốt nóng. Với việc bố trí hướng chuyển động của dòng khí như vậy cho phép tạo nên sự cân bằng về tốc độ chuyển động của dòng khí ở các rãnh khác nhau nhờ xảy ra hiện tượng “sự tự điều hòa” tốc độ dòng khí trong các rãnh này.

* Ví dụ 2: ngược lại, trong trường hợp trên nếu cho dòng khí đưa vào chuyển động hướng từ trên xuống thì sẽ không xảy ra hiện tượng “sự tự điều hòa” tốc độ dòng khí trong các rãnh này, nghĩa là không tạo nên sự cân bằng về tốc độ chuyển động của dòng khí ở các rãnh khác nhau.

2. Dòng khí chuyển động trong lò đường hầm, lò nằm:

* Giả sử có một lò nằm ngang, chiều dài đủ lớn và hai chiều còn lại rất nhỏ. Theo chiều dài ta chia lò thành ba vùng cơ bản lần lượt là: vùng sấy trước, vùng nung và vùng làm nguội. Bây giờ nếu ta chưa đặt một ngoại lực nào vào, nghĩa là hoạt động của lò lúc này hoàn toàn chỉ nhờ vào nội lực của chính mình thì sự chuyển động của dòng khí trong lò sẽ như thế nào ?

Vùng sấy trước	Vùng nung	Vùng làm nguội
----------------	-----------	----------------

* Trong lò đường hầm, lò nằm nếu ta không đặt ngoại lực thì dòng khí trong lò không thể chuyển động được, nghĩa là lò sẽ không hoạt động được. Do đó ta phải tác động vào dòng khí một ngoại lực, khi đó dòng khí trong lò sẽ chuyển động được, lúc này lò hoạt động được. Như vậy để tạo ra được ngoại lực làm cho dòng khí trong lò chuyển động ta cần đặt thêm một hay nhiều quạt (có thể là quạt thông gió hay quạt hút của ống khói hoặc quạt đẩy), ví dụ đặt ở vùng làm nguội.

* Trong thực tế, ở vùng làm nguội của lò đường hầm, lò nằm dòng khí có xu hướng di chuyển mạnh ở phía dưới (đáy lò), còn ở vùng sấy dòng khí lại di chuyển mạnh ở phía trên. Do vậy nguyên tắc khi đặt cửa quạt đẩy ta phải đặt thổi vào đỉnh lò, còn ở cửa hút ra phải đặt ở đáy lò, làm như thế ta sẽ giảm được sự phân tầng của trường tốc độ dòng khí (vì trong lò đường hầm, lò nằm chính thành phần tự do của dòng khí làm lệch trường tốc độ). Tuy nhiên ta cũng không thể loại trừ hết những ảnh hưởng của thành phần này gây ra, mà chỉ nghiên cứu để tìm các biện pháp hạn chế bớt tác dụng xấu của nó.

3. Dòng khí chuyển động trong lò đứng:

* Trong lò đứng vật liệu đi từ trên xuống còn khí lò đi ngược dòng tạo thành ba vùng rõ rệt: sấy đốt nóng – nung – làm nguội. Lò đứng làm việc chỉ nhờ áp suất thế năng của dòng khí như đã phân tích ở trên, chiều cao của lò đứng (H) không thể lớn hơn nhiều lần đường kính của lò (D) và thường nằm trong khoảng $H = (2D \text{ đến } 3D)$ như lò nung vôi, lò gạch thủ công cỡ nhỏ.... Còn lò đứng có công suất

lớn khi làm việc phải nhờ tới quạt hút và quạt đẩy phối hợp, đối với loại lò đứng công suất lớn nên có chiều cao lớn hơn đường kính nhiều lần.

4. Dòng khí chuyển động trong các bể dưỡng hộ:

* Các thiết bị dưỡng hộ được dùng phổ biến trong sản xuất các loại vật liệu có sử dụng nguyên liệu là xi măng – vôi – cát. Để cho phản ứng thủy hóa xi măng và sự kết hợp giữa vôi – cát tạo ra các chất mới với tốc độ nhanh ta dùng chất tải nhiệt là hơi nước bão hòa ở nhiệt độ cao ($t \geq 100^{\circ}\text{C}$).

* Có nhiều cách để đưa hơi nước vào thiết bị và thải hỗn hợp hơi nước với không khí ra khỏi bể, giả sử bể kín hoàn toàn ta có các cách cung cấp hơi nước và thải khí như sau: dưới – dưới; dưới – trên; trên + dưới – dưới (phối hợp).

- Ở sơ đồ thứ nhất (dưới – dưới): hơi nước vào bể gặp vật liệu nguội trao nhiệt đốt nóng vật liệu, một phần bị ngưng tụ còn một phần hơi nước lẫn vào không khí có trong bể, dẫn đến đốt nóng không khí trong bể và làm tăng độ ẩm tương đối của môi trường khí trong bể, lúc này không khí ẩm có nhiệt độ cao, đồng thời nhẹ sẽ chuyển động lên trên tạo nên sự đối lưu trong lò. Hỗn hợp khí thải (không khí + hơi nước) được thoát ra ở phía dưới. Bằng cách này ta có thể đốt nóng vật liệu theo ý muốn nhờ đối lưu và năng nhiệt độ bể lên tới gần 100°C . Khi thành bể và nắp bể có chỗ hở nào đó thì hỗn hợp hơi nước – không khí sẽ thoát qua đó ra ngoài và lúc này cửa thoát ở phía dưới không còn tác dụng nữa.

- Ở sơ đồ thứ hai (dưới – trên): ta thấy tương tự như ở sơ đồ dưới – dưới có nắp bể bị hở. Đây là kiểu bể làm việc phổ biến nhất gọi là bể dưỡng hộ thường (áp suất trong bể này xấp xỉ áp suất khí quyển).

- Ở sơ đồ thứ ba: nếu cấp hơi nước theo kiểu trên + dưới thì hơi nước nhẹ sẽ chiếm lấy phần trên của bể và đốt nóng vật liệu ở phần đó, lúc này trong bể hoàn toàn không có sự đối lưu. Bằng cách này ta không thể thực hiện quá trình nâng nhiệt từ từ được vì trong bể chia làm hai phần rõ rệt bởi mặt phân cách 0 – 0; phía trên vật liệu tiếp xúc với hơi nước có nhiệt độ cao gần như tức thời, còn ở phía dưới vật liệu vẫn chỉ ở nhiệt độ ban đầu.

III. Các dạng trở lực trong chuyển động của dòng khí:

1. Tổn áp ma sát.

2. Tổn áp cục bộ:

- Tổn áp cục bộ khi dòng đổi hướng với góc φ và bán kính uốn cong R , đường kính kênh dẫn D .

- Tổn áp qua cửa điều tiết trong ống tiết diện không đổi.

- Tổn áp khi diện tích mặt cắt kênh dẫn thay đổi đột ngột: khi chảy vào, khi chảy ra.

- Tổn áp qua lưới chắn.
- Tổn áp qua cửa điều tiết của van quay.
- Tổn áp qua cửa chắn của kênh dẫn đường kính D và chiều cao H của tấm chắn nâng lên.
- Tổn áp cục bộ của lớp vật liệu đứng yên (lớp làm việc ở chế độ lọc): ví dụ tổn áp của lớp nhiên liệu trên mặt ghi đốt trong buồng đốt.
- Tổn áp của lớp vật liệu xếp.

3. Tổn áp thế năng:

- Tổn áp thế năng xuất hiện trong thiết bị nhiệt trên đoạn đường dòng khí chuyển động theo phương thẳng đứng hoặc đi nghiêng. Khí nóng khi đi lên tạo ra một áp lực bổ sung kích thích sự chuyển động của dòng khí, ngược lại đối với khí nóng khi đi xuống đòi hỏi ta cần phải tiêu tốn một năng lượng.

4. Tổn áp khác:

- Ngoài các loại tổn áp trên, khi dòng khí chuyển động trong trường không đẳng nhiệt ta nên xét thêm một loại tổn áp có liên quan đến sự biến đổi tốc độ của chất tải nhiệt do dòng khí chuyển động trong trường không đẳng nhiệt gây ra (cụ thể: trong đoạn kênh dẫn khí được đốt nóng và trong đoạn kênh dẫn khí được làm lạnh).

IV. Các thiết bị duy trì sự chuyển động cưỡng bức của dòng khí:

* Có hai loại thiết bị thường dùng nhất có thể làm cho dòng khí nóng chuyển động ngang hoặc hướng từ trên xuống dưới và khắc phục các tổn áp trong lò đó là thiết bị ống khói và quạt thông gió.

1. Ống khói:

* Ống khói là thiết bị được bằng gạch, bê tông cốt thép hoặc thép cuộn nhằm tạo ra một áp suất thế năng để khắc phục một phần hoặc toàn bộ tổn áp của lò.

* Ngoài nhiệm vụ khắc phục tổn áp vừa kể trên, ống khói còn có nhiệm vụ thải khói lò, đảm bảo vệ sinh môi trường và an toàn phòng hỏa.

* Lưu ý:

- Khi tính toán thiết kế ống khói thì chiều cao H của nó không được vượt quá 35m, đường kính xác định D không vượt quá 0,8m và trong thành phần của khói lò ít lưu huỳnh thì ống khói có thể làm

bằng thép. Đối với ống khói có chiều cao từ 30 đến 60m thì nên xây bằng gạch, còn ống khói có chiều cao lớn hơn 60m thì nên đúc bằng bê tông cốt thép.

- Chỉ dùng duy nhất ống khói khi lực hút tự nhiên mà ống khói tạo ra với chiều cao không quá 50 đến 60m. Trong trường hợp cần tạo ra áp lực hút lớn hơn thì nên dùng phối hợp ống khói với quạt thông gió.

- Theo quy định về vệ sinh môi trường, ống khói không được thấp hơn 16m và phải cao hơn nóc nhà cao nhất trong phạm vi 100m là 5m.

- Tốc độ dòng khí ra ở cửa miệng ống khói lấy bằng 4m/s, còn trong trường hợp ống khói có dùng quạt hút và được làm bằng thép thì có thể chọn tốc độ dòng khí ra ở cửa miệng ống khói bằng 8 đến 15m/s.

- Đường kính trong của chân ống khói lấy gấp 1,5 lần đường kính ở trên miệng ống khói nếu xây bằng gạch, còn khi xây bằng bê tông cốt thép thì ống khói có dạng là một hình trụ đều.

- Thông thường ta chỉ biết nhiệt độ khói thải ra tại một trong hai vị trí của ống khói đó là ở chân ống khói hoặc ở miệng ống khói, khi đó muốn biết nhiệt độ tại vị trí còn lại để tính được dung trọng trung bình của khói lò ta phải dựa vào độ giảm nhiệt độ của nó khi di chuyển trong ống khói (với ống khói được xây bằng bê tông cốt thép, xây bằng gạch thì nhiệt độ của khói lò trong ống khói giảm từ 1 đến 2,5°C/m và ống khói được xây bằng thép là 4°C/m).

- Khi ống khói làm việc cho nhiều lò thì chiều cao ống khói khi thiết kế phải tính theo lò nào có trở lực cao nhất, còn đường kính trên của ống khói tính theo tổng lượng khí của tất cả các lò thải ra trong một giây. Trong trường hợp này ở chân ống khói phía trong phải xây dựng những tường phân chia ống khói ra những múi để khi làm việc không ảnh hưởng lẫn nhau, chiều cao của tường từ 4 đến 6m.

2. Quạt thông gió:

* Quạt thông gió có nhiệm vụ cung cấp không khí hoặc khói lò hoặc thải khí từ lò ra. Trong các loại quạt thông gió thì quạt ly tâm là loại quạt được dùng phổ biến nhất để duy trì sự chuyển động của dòng khí trong lò.

* Quạt làm việc nhờ động cơ, việc truyền chuyển động từ động cơ tới quạt có thể bằng hộp số hoặc đai truyền.