

2.2. THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT KIỂU ỐNG CHÙM

2.2.1. Giới thiệu

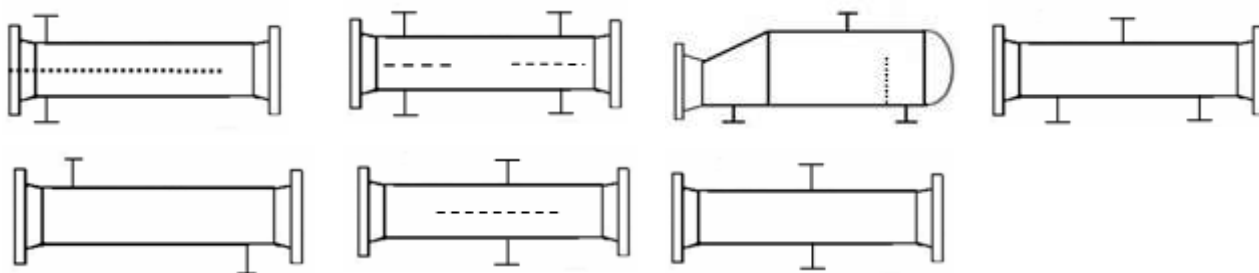
Thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm là một trong những dạng thiết bị trao đổi nhiệt được sử dụng rộng rãi nhất trong tất cả các ngành công nghiệp, ước tính có tới 60% số thiết bị trao đổi nhiệt hiện nay trên thế giới là thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống chùm. Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống chùm có khoảng áp dụng rất rộng, gần như ở mọi công suất, trong mọi điều kiện hoạt động từ chân không đến siêu cao áp, từ nhiệt độ rất thấp đến nhiệt độ rất cao và cho tất cả các dạng lưu thể ở nhiệt độ, áp suất khác nhau ở phía trong và ngoài ống. Vật liệu để chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm chỉ phụ thuộc vào điều kiện hoạt động, vì vậy cho phép thiết kế để đáp ứng được các yêu cầu khác như độ rung, khả năng sử dụng cho các lưu thể có những tính chất đóng cặn, chất có độ nhớt cao, có tính xâm thực, tính ăn mòn, tính độc hại và hỗn hợp nhiều thành phần. Thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm có thể được chế tạo từ vật liệu là các loại kim loại, hợp kim cho tới các vật liệu phi kim với bề mặt truyền nhiệt từ 0,1m² đến 100.000m². Tuy nhiên, thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống chùm có một nhược điểm là bề mặt trao đổi nhiệt tính trên một đơn vị thể tích của thiết bị thấp so với các dạng thiết bị trao đổi nhiệt kiểu mới, vì vậy, cùng một bề mặt trao đổi nhiệt như nhau, thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm thường có kích thước lớn hơn nhiều.

Trong ngành công nghiệp chế biến dầu khí, thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm được sử dụng tương đối rộng rãi ở nhiều quá trình khác nhau và được sử dụng phối hợp với các thiết bị trao đổi nhiệt kiểu khác.

2.2.2. Phân loại

Thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống chùm được chia thành nhiều dạng khác nhau. Có nhiều phương pháp để phân chia như căn cứ vào kiểu dạng cấu tạo, dòng chảy của khoang dầu (Tube Side Channel) hoặc căn cứ vào cấu tạo, kiểu phân bố dòng chảy trong vỏ (Shell) của thiết bị trao đổi nhiệt. Theo tiêu chuẩn của hội các Nhà chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt Hoa kỳ (TEMA), thiết bị trao đổi

nhật dạng ống chùm căn cứ theo đặc điểm của phần vỏ ngoài (Shell), và kiểu dòng chảy được chia thành các dạng chính sau đây:

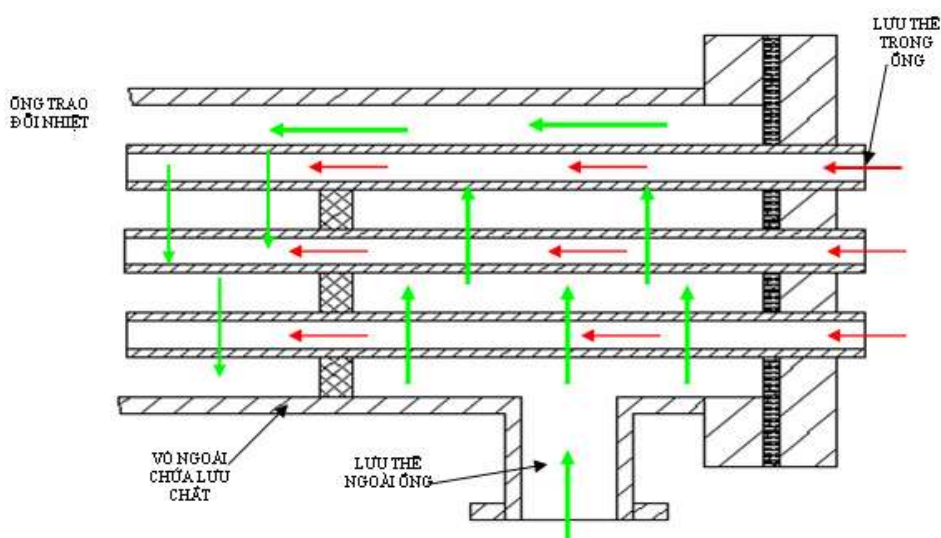


Hình H-2.1 Các dạng cơ bản của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm

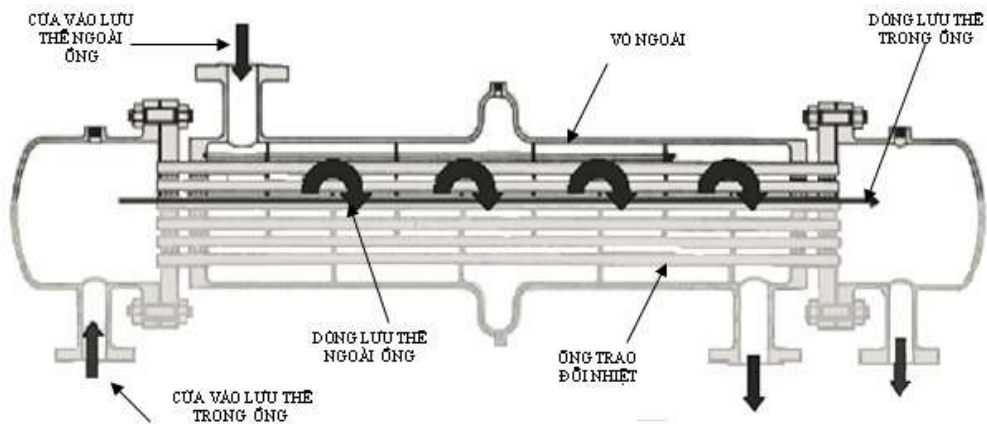
2.2.3. Nguyên lý hoạt động, cấu tạo và ứng dụng

2.2.3.1 Nguyên lý hoạt động

Thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm dựa trên nguyên lý trao đổi nhiệt gián tiếp giữa hai lưu thể chuyển động bên trong và bên ngoài ống trao đổi nhiệt. Để tăng cường hiệu quả trao đổi nhiệt, người ta tạo ra chiều chuyển động của lưu thể trong và ngoài ống theo phương vuông góc hoặc chéo dòng. Tùy theo ứng dụng cụ thể mà bố trí kiểu dòng chảy khác nhau (vấn đề này sẽ được đề cập trong phần cấu tạo thiết bị). Để phân phối lưu thể trong và ngoài ống người ta tạo ra hai khoang để phân phối lưu chất trong và ngoài ống khác nhau. Lưu chất chảy ngoài ống được chứa trong vỏ trụ (Shell) còn lưu chất chảy trong lòng ống được chứa khoang đầu và trong lòng ống. Toàn bộ bó ống được đặt trong vỏ trụ. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm được minh họa trong hình vẽ H-2.2 A, H-2.2 B.



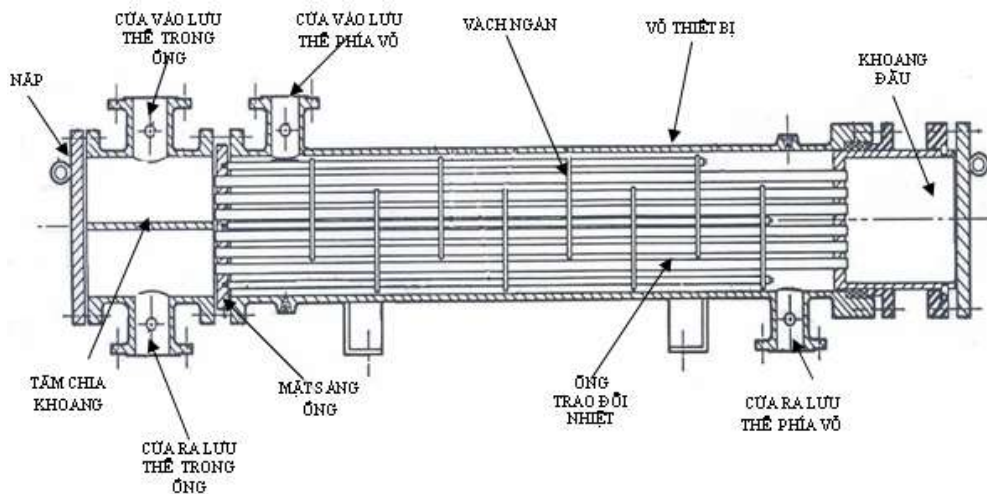
Hình H-2.2a. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm



Hình H-2.2 B Sơ đồ minh họa nguyên lý hoạt động tổng quát thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm

2.2.3.2. Cấu tạo chung thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm

Trong khi có rất nhiều kiểu dạng khác nhau nhưng số các bộ phận chính của thiết bị trao đổi nhiệt lại có rất ít khác biệt. Các bộ phận chính của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm được mô tả trong các mục dưới đây. Sơ đồ cấu tạo chung của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm được mô tả trong hình vẽ H-2.3.



Hình H-2.3- Cấu tạo chung thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm

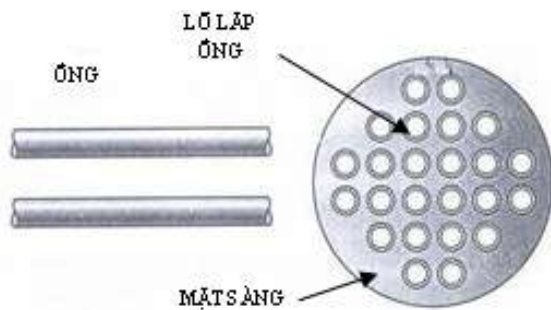
a. Ống trao đổi nhiệt

Ống trao đổi nhiệt là thành phần cơ bản của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm, bề mặt của ống trao đổi nhiệt chính là bề mặt truyền nhiệt giữa lưu thể chảy bên trong ống và bên ngoài ống. Các ống trao đổi nhiệt có thể được gắn vào mặt sàng bằng phương pháp nong ống hay phương pháp hàn. Ống trao đổi nhiệt thường được làm bằng đồng hoặc thép hợp kim, trong một số ứng dụng, đặc biệt ống trao đổi nhiệt có thể được chế tạo từ hợp kim Niken, Titanium hoặc hợp kim nhôm.

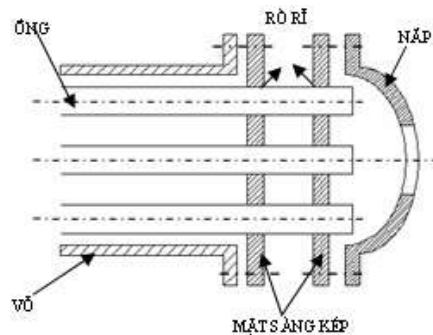
Ống trao đổi nhiệt có thể là ống trơn hoặc ống được tăng cường bề mặt bằng các cánh (Fin Tube- như dạng thiết bị trao đổi nhiệt không khí) khi một lưu chất có hệ số truyền nhiệt thấp hơn rất nhiều so với lưu chất kia. Với kết cấu ống này có tăng bề mặt trao đổi nhiệt so với dạng ống trơn từ 2 tới 4 lần cho phép bù lại hệ số truyền nhiệt ở phía ngoài ống.

b. Mặt sàng ống (Tube Sheet)

Các ống được định vị cố định nhờ được gắn chặt vào các lỗ trên mặt sàng. Ống gắn vào mặt sàng bằng phương pháp làm biến dạng ống (nong ống) hoặc phương pháp hàn tùy theo dạng vật liệu chế tạo ống và mặt sàng và điều kiện hoạt động của thiết bị. Hình dạng một mặt sàng và ống truyền nhiệt điển hình như mô tả trong hình vẽ H-2.4



Hình H-2.4 Mặt sàng ống



Hình H-2.5 Mặt sàng ống kép

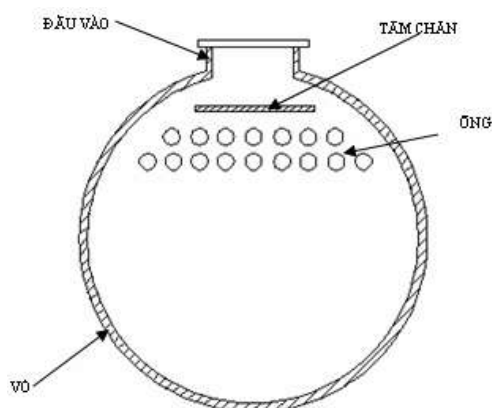
Mặt sàng ống thường là một tấm kim loại phẳng hình tròn, được khoan lỗ (theo một kiểu bố trí thích hợp) và soi rãnh để cố định ống, lắp vòng đệm, bu lông mặt bích và các thanh đỡ tấm chia dòng,... Trong quá trình gia công, cần phải đảm bảo mối nối giữa ống và mặt sàng phải kín tránh rò rỉ trộn lẫn hai lưu thể trong và ngoài ống. Trong những trường hợp đặc biệt, hai lưu chất trao đổi nhiệt không được phép trộn lẫn vào nhau do rò rỉ, người ta thiết kế mặt sàng kép để để ngăn ngừa hiện tượng này. Theo thiết kế này, phần không gian giữa hai mặt sàng được thông với môi trường bên ngoài, khi xảy ra rò rỉ sẽ nhanh chóng được phát hiện. Kết cấu của thiết bị ống chùm với mặt sàng kép được minh họa trong hình vẽ H-2.5. Trong trường hợp ngay cả lưu chất rò rỉ ra phía ngoài cũng không cho phép được trộn lẫn vào nhau thì sử dụng loại 3 mặt sàng nối tiếp nhau. Khi đó, nếu các lưu chất rò rỉ là các hóa chất độc hại hoặc quý hiếm thì cần phải được thu hồi và xử lý đúng quy trình.

Ngoài các yêu cầu về kết cấu cơ khí nêu trên, mặt sàng ống cần phải đáp ứng được yêu cầu chống ăn mòn với cả lưu chất trong và ngoài ống. Vật liệu chế tạo mặt sàng ống phải có tính chất điện hóa tương đồng với vật liệu chế tạo ống và khoang chứa lưu chất chảy phía trong lòng ống (Tube-side) nhằm giảm

thiểu hiện tượng ăn mòn điện hóa do khác biệt vật liệu chế tạo các bộ phận của thiết bị gây ra.

c. Vỏ và cửa lưu chất vào/ra (Shell and Shell-Side Nozzles)

Vỏ thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm (Shell) đơn giản chỉ là một bộ phận chứa lưu chất phía ngoài ống trao đổi nhiệt. Cửa lưu chất là nơi đưa lưu chất trao đổi nhiệt phía ngoài ống vào và ra khỏi thiết bị. Vỏ thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm thường có tiết diện hình tròn được chế tạo từ thép tấm. Các thiết bị trao đổi nhiệt có kích thước lớn được chế tạo từ thép có hàm lượng các bon thấp nếu điều kiện cho phép để giảm giá thành, vật liệu hợp kim cũng được sử dụng khi thiết bị hoạt động trong môi trường ăn mòn và nhiệt độ cao. Tại cửa vào của lưu chất, thường có một tấm chắn dòng đặt ngay sát dưới cửa vào (xem hình vẽ minh họa H-2.6). Mục đích của tấm chắn dòng là để chuyển hướng chuyển động của dòng lưu thể vào có vận tốc lớn có thể ảnh hưởng tới phần đầu của ống trao đổi nhiệt. Các ảnh hưởng của dòng có vận tốc lớn đập trực tiếp vào phần đầu ống trao đổi nhiệt là gây ra các hiện tượng sỏi mòn cơ học, hiện tượng khí xâm thực và gây rung động thiết bị. Để đủ không gian lắp đặt tấm chắn và không làm tổn thất áp suất dòng chảy lớn do việc lắp tấm chắn gây ra, một số ống ở vị trí này có thể được loại bỏ để dành không gian thích hợp bố trí lắp đặt.



Hình h-2.6. Tiết diện vỏ và sơ đồ bố trí tấm chắn dòng thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm

d. Khoảng đầu và đầu đưa chất lỏng vào/ra phía trong ống (Tube-Side Channel and Nozzles)

Khoang đầu và các đầu dẫn lưu chất phía trong ống vào/ra đơn giản là để kiểm soát dòng lưu chất chảy phía trong lòng ống của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm. Do nguyên tắc bố trí các chất lỏng chảy phía trong ống thường là các chất có tính ăn mòn cao hơn, vì vậy, khoang đầu và đầu dẫn lưu chất thường được chế tạo từ vật liệu hợp kim. Để giảm chi phí chế tạo, có thể chỉ

tráng một lớp hợp kim bên ngoài các bộ phận này mà không cần thiết phải chế tạo toàn bộ chi tiết bằng hợp kim.

e. Nắp

Lắp của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm là tấm hình tròn (có thể là một chỏm cầu) được lắp với mặt bích của khoang đầu bằng bu lông. Nắp có thể được tháo dễ dàng để kiểm tra ống trao đổi nhiệt hoặc vệ sinh, bảo dưỡng thiết bị định kỳ mà không làm ảnh hưởng tới chùm ống.

f. Tấm chia khoang (Pass Divider)

Tấm chia khoang được sử dụng khi thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm thiết kế với số khoang ống từ 2 trở lên. Không có nguyên tắc chung cho việc bố trí tấm chia khoang nhưng phải đảm bảo được một số tiêu chí sau: cố gắng đảm bảo số lượng ống ở mỗi khoang là như nhau để giảm thiểu chênh áp giữa các khoang (giảm được hiện tượng rò rỉ giữa các khoang), đảm bảo bề mặt chịu nén thích hợp lắp đặt vòng đệm, không quá gây khó khăn cho việc chế tạo và không làm ảnh hưởng nhiều đến chi phí chế tạo, vận hành và bảo dưỡng. Một số dạng bố trí tấm chia khoang được minh họa trong hình vẽ H-2.7.

g. Vách ngăn (Baffles)

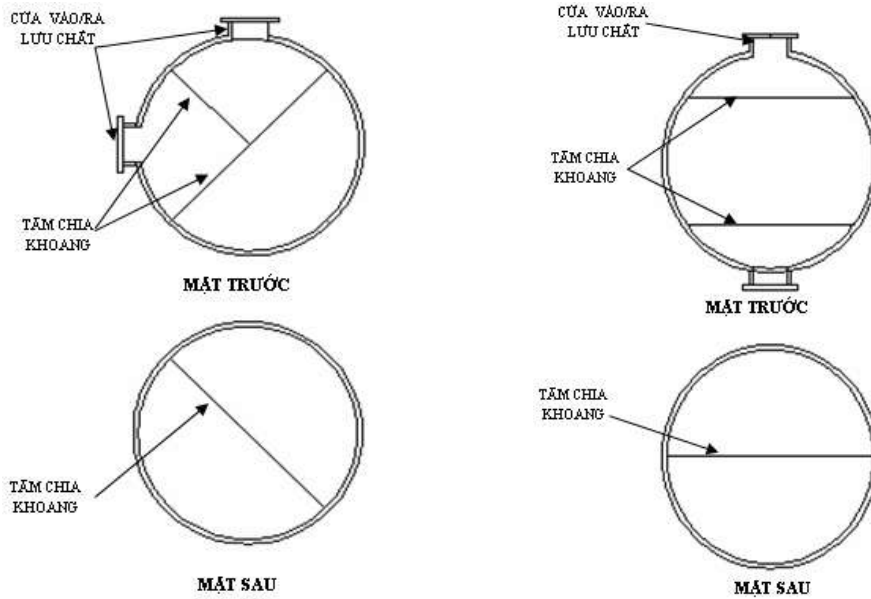
Vách ngăn có hai chức năng chính:

- Chức năng quan trọng nhất của vách ngăn là tạo thành cơ cấu để định vị ống trao đổi nhiệt ở vị trí thích hợp khi lắp đặt cũng như khi vận hành và giữ cho bó ống không bị rung do sự chuyển động xoáy của lưu chất.
- Định hướng chuyển động của lưu chất phía ngoài ống chuyển động qua lại theo phương vuông góc với chùm ống làm tăng vận tốc chuyển động của lưu chất và hệ số truyền nhiệt.

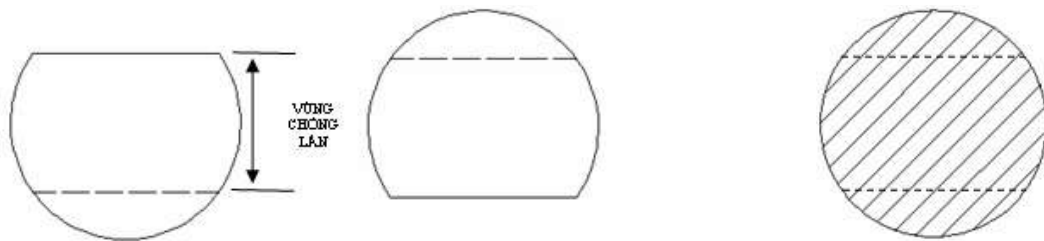
Hình dạng phổ biến nhất của vách ngăn là hình viên phân (xem hình vẽ H-2.8), các vách ngăn này là tấm tròn, phần cắt đi phải nhỏ hơn bán kính hình tròn ban đầu nhằm đảm bảo rằng vùng chồng lấn nhau giữa các vách ngăn gần nhất phải đủ chứa ít nhất một hàng ống trao đổi nhiệt. Nếu thiết bị được thiết kế với dòng lưu thể dạng lỏng chuyển động ngoài ống thì phần cắt của viên phân thường trong khoảng 20-25% đường kính, còn lưu thể là dạng khí làm việc ở áp suất thấp thì phần cắt khoảng 40-45% đường kính để nhằm giảm tối đa tổn thất áp suất của dòng chảy trong thiết bị.

Khoảng cách giữa hai vách ngăn kế tiếp phải được lựa chọn sao cho diện tích dòng chảy tự do qua cửa sổ giữa vách ngăn và vỏ ngoài phải xấp xỉ bằng tiết diện dòng chảy vuông góc chùm ống tạo ra giữa hai vách ngăn liên tiếp. Với dòng chảy vận tốc lớn, cấu hình vách ngăn đơn thường gây tổn thất áp suất

lớn, vì vậy cấu hình vách ngăn kép sẽ được sử dụng trong trường hợp này. Cấu hình bố trí vách ngăn kép cho phép giảm tốc độ cục bộ do đó giảm được tổn thất dòng chảy phía ngoài ống.



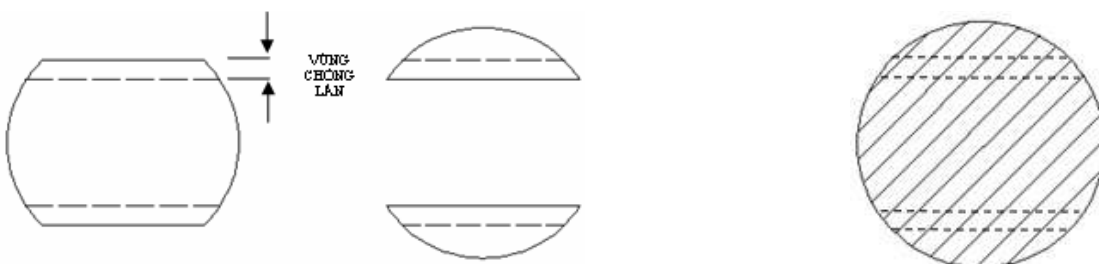
Hình H-2.7- Một số sơ đồ bố trí tấm chia khoang



Dạng hình viên phân đơn

Bó ống đầy tiết diện

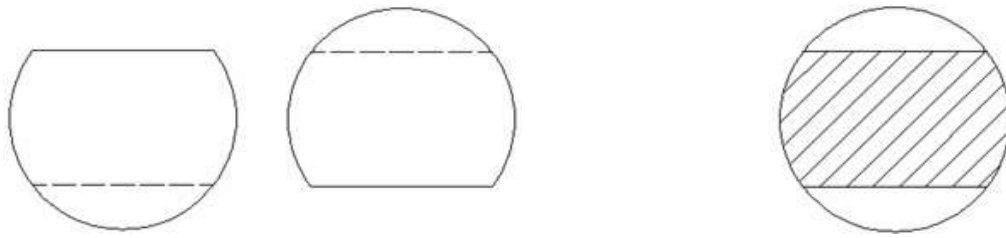
Hình H -2.8a-Một số kiểu hình dạng và cách bố trí vách ngăn, chùm ống thông dụng (dạng hình viên phân đơn)



Dạng hình viên phân kép

Bó ống đầy tiết diện

Hình H -2.8b-Một số kiểu hình dạng và cách bố trí vách ngăn, chùm ống thông dụng (dạng hình viên phân kép)

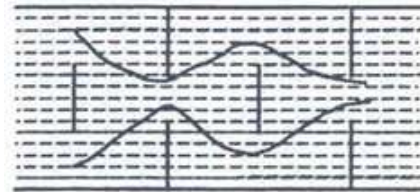
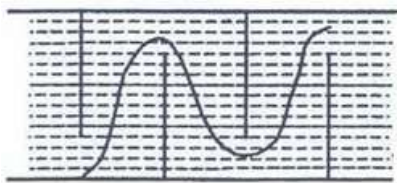


Dạng hình viên phân đơn

Bó ống không đầy tiết diện

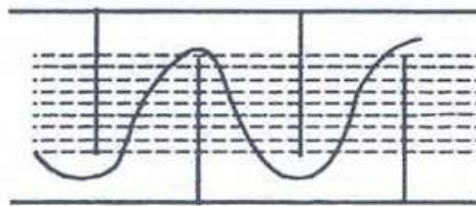
Hình H -2.8c-Một số kiểu hình dạng và cách bố trí vách ngăn, chùm ống thông dụng (dạng hình đơn bó ống không đầy tiết diện)

Kiểu vách ngăn, cách bố trí vách ngăn và chùm ống sẽ làm thay đổi tốc độ cục bộ và hướng dòng chảy ngoài ống. Một số sơ đồ dòng chảy tương ứng với kiểu và cách bố trí vách ngăn thông dụng được minh họa trong hình vẽ H-2.9.



A-Dòng chảy trong vỏ vách ngăn đơn

B-Dòng chảy trong vỏ vách ngăn kép



C-Dòng chảy trong vỏ vách ngăn đơn, bó ống không đầy tiết diện

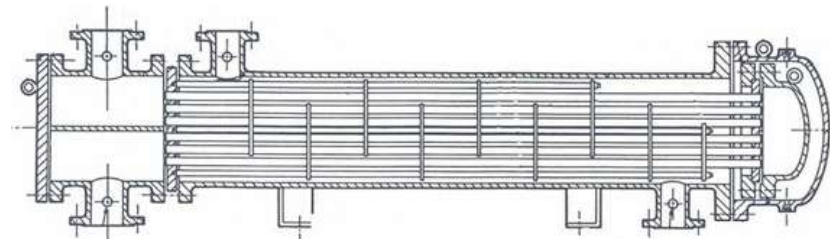
Hình H-2.9- Sơ đồ dòng chảy tương ứng với bố trí vách ngăn

h. Cấu tạo và ứng dụng một số dạng thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm

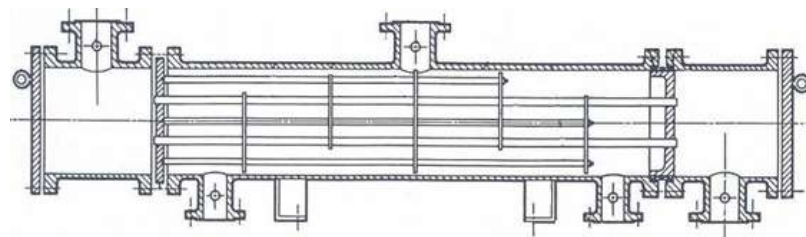
Cấu tạo chung của thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống chùm được trình bày ở trên, tuy nhiên, tùy theo ứng dụng cụ thể mà các bộ phận của thiết bị có kết cấu khác nhau. Dưới đây trình bày cấu tạo các loại thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm được sử dụng phổ biến nhất hiện nay theo phân loại của tiêu chuẩn TEMA. Các dạng thiết bị này được mô tả trong hình H-2.10, sơ bộ về cấu tạo và ứng dụng của từng dạng này được tóm tắt như dưới đây:

- Loại có hai khoang cho dòng chảy trong ống với một đầu ống di chuyển tự do (floating head): sử dụng cho trường hợp nhiệt độ giữa hai lưu thể chênh lệch lớn (hình H-2.10A)
- Loại có chùm ống cố định với hai dòng chảy (cho lưu thể ngoài ống): được sử dụng cho trường hợp nhiệt độ giữa hai lưu thể chênh lệch không lớn, tốc độ lưu thể phía ngoài ống cần được kiểm soát ở mức thấp (hình H-2.10B).

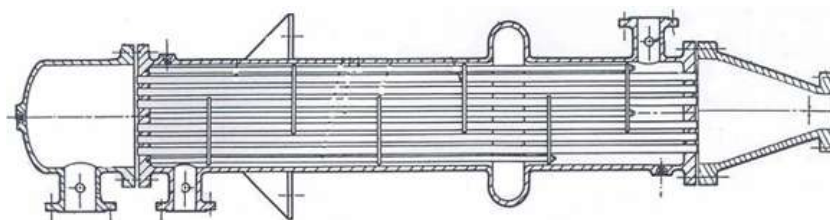
- Loại có chùm ống cố định với vành bù giãn nở nhiệt (hình H-2.10C): Loại này được lắp đặt theo phương thẳng đứng, sử dụng cho trường hợp hai lưu thể có nhiệt độ chênh lệch lớn, thường dùng cho quá trình ngưng tụ .
- Loại có hai khoang cho dòng chảy trong ống với một đầu ống di chuyển tự do (floating head) (hình H-2.10D): Loại này về nguyên lý cũng tương tự như loại mô tả trong hình H-2.10A được sử dụng cho trường hợp nhiệt độ giữa hai lưu thể chênh lệch lớn . Tuy nhiên, loại này có kết cấu khác đôi chút so với dạng mô tả trong hình H-2.10A. Phần đầu ống di chuyển tự do nằm hẳn ở bên ngoài vỏ thiết bị, được bít kín bằng hộp đệm, do vậy không sử dụng được trong điều kiện lưu thể chảy trong ống có áp suất cao.
- Loại có ống trao đổi nhiệt hình chữ U với hai khoang lưu thể chảy ngoài ống (hình H-2.10E): Loại này được sử dụng cho trường hợp nhiệt độ giữa hai lưu thể chênh lệch lớn, tốc độ lưu thể chảy ngoài ống cần được tăng tốc độ (để tăng hiệu quả truyền nhiệt, giảm cặn đóng kết).
- Loại “ ấm đun” (Kettle) (hình H-2.10F): Loại này thường được sử dụng để gia nhiệt hoặc trao đổi nhiệt có quá trình ngưng tụ.



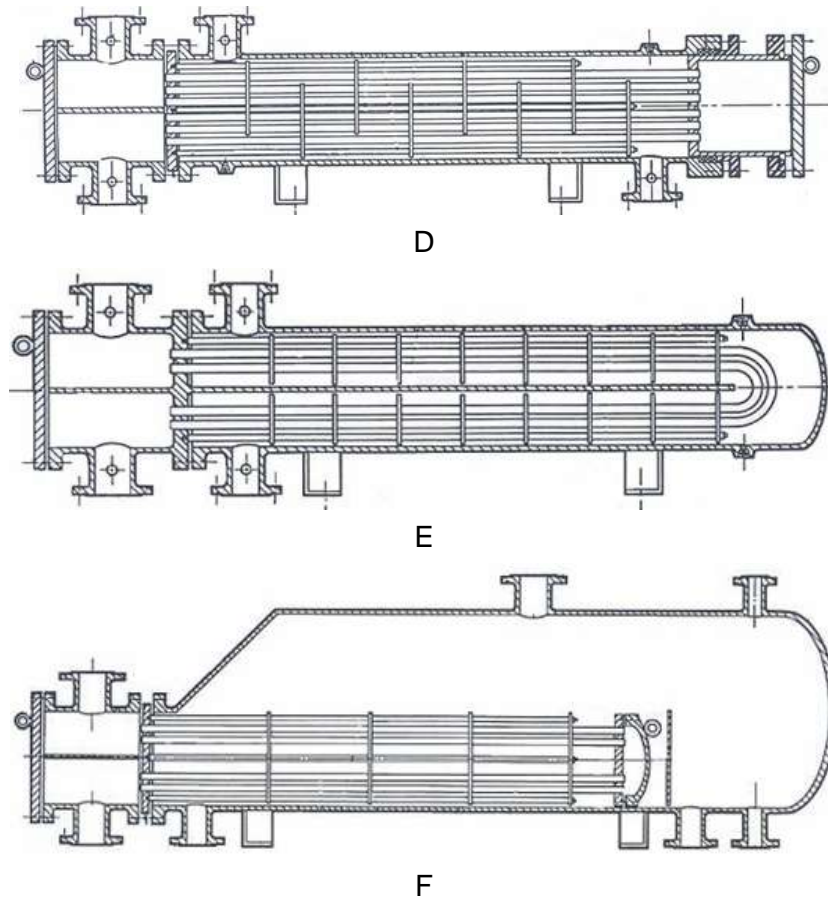
A



B



C



Hình H-2.10-Cấu tạo một số thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm thông dụng
2.2.4. Một số vấn đề kỹ thuật lưu ý

Trong quá trình sử dụng, hàng loạt các vấn đề về kỹ thuật nảy sinh cần phải được giải quyết nhằm đáp ứng yêu cầu về độ bền thiết bị, độ tin cậy hoạt động. Các vấn đề kỹ thuật chính cần phải giải quyết khi thiết kế, chế tạo thiết bị bao gồm: Ứng suất nhiệt gây ra do nhiệt độ không đồng đều giữa các bộ phận, ứng suất dư cơ học, vấn đề ổn định và vấn đề mài mòn cơ học.

2.2.4.1. Ứng suất nhiệt

a. Đặt vấn đề

Các lưu thể chuyển động trong thiết bị trao đổi nhiệt thường có nhiệt độ khác nhau tương đối lớn, vì vậy mà nhiệt độ của các bộ phận, chi tiết của thiết bị trao đổi nhiệt tiếp xúc với các lưu thể này cũng khác xa nhau, đặc biệt là giữa các ống trao đổi nhiệt và vỏ thiết bị. Nhiệt độ của các bộ phận, chi tiết trong thiết bị khác nhau, do đó, độ giãn nở nhiệt của các phần này cũng khác nhau. Điều này dẫn đến sự di chuyển tương đối giữa các bộ phận so với vị trí ban đầu và sinh ra các ứng suất dư cục bộ. Các chi tiết có chiều dài lớn là vỏ và ống trao đổi nhiệt bị ảnh hưởng của nhiệt độ càng lớn. Ứng suất nhiệt càng lớn khi nhiệt độ giữa hai bộ phận này có chênh lệch càng lớn. Trong một số trường hợp, hậu

quả của ứng suất nhiệt có thể gây ra là vỏ bình sẽ bị uốn cong hoặc các ống trao đổi nhiệt sẽ bị tuột ra khỏi mặt sàng ống. Với dạng thiết bị có chùm ống gắn cố định (như hình H-2.10-C, D) dễ bị tổn hại do ứng suất nhiệt gây ra. Chính vì vậy, theo kinh nghiệm, với các thiết bị trao đổi nhiệt có chùm ống gắn cố định, nếu nhiệt độ đầu vào của hai lưu thể khác nhau lớn (trên 100 °F) thì không được sử dụng. Vấn đề đặt ra là cần phải có kết cấu, giải pháp kỹ thuật để khắc phục ứng suất nhiệt do sự giãn nở nhiệt không đồng đều giữa chùm ống và vỏ thiết bị. Dưới đây trình bày một số giải pháp kỹ thuật đã được áp dụng trong thực tế để giảm ứng suất nhiệt gây ra.

b. Một số giải pháp điển hình

Vành bù giãn nở nhiệt trên vỏ bình.

Giải pháp thường áp dụng để khắc phục vấn đề giãn nở nhiệt không đồng đều là tạo ra một vành bù giãn nở nhiệt trên vỏ của thiết bị trao đổi nhiệt (xem hình H-2.10C). Tuy nhiên, kết cấu này chỉ thích hợp với các thiết bị trao đổi nhiệt có kích thước nhỏ và vỏ bình hoạt động trong điều kiện áp suất thấp.

Ống hình chữ U

Một giải pháp khác để khắc phục hiện tượng giãn nở nhiệt không đều giữa chùm ống và vỏ thiết bị trao đổi nhiệt là sử dụng ống trao đổi nhiệt hình chữ U (xem hình H-2.10E). Kết cấu này cho phép chùm ống và thân thiết bị giãn nở một cách độc lập nhau và nhờ đó không gây ra ứng suất dư do sự co kéo giữa các bộ phận này. Tuy nhiên, kết cấu này có một số hạn chế như không cho phép thay thế một cách riêng rẽ các ống trao đổi nhiệt, không vệ sinh được đoạn cong của ống khi bảo dưỡng (ngoại trừ các ống phía ngoài cùng), điều này không thể chấp nhận trong một số ứng dụng.

Đầu ống tự do

Để giải quyết vấn đề giãn nở nhiệt không đồng đều, kết cấu chùm ống một đầu được ngàm chặt cùng vỏ thiết bị còn đầu kia của chùm ống được thả tự do được đưa vào sử dụng. Tùy từng ứng dụng cụ thể mà có nhiều kiểu kết cấu khác nhau (xem hình H-2.10A, D, F) để đáp ứng được đồng thời các yêu cầu khác ngoài yêu cầu về giải quyết ứng suất nhiệt.

Kết cấu đơn giản nhất của thiết bị kiểu này là mặt sàng ống phía đầu tự do và mặt bích đầu ống phải đủ nhỏ để có thể chuyển động tự do trong lòng vỏ thiết bị. Kết cấu kiểu này cho phép dễ dàng làm sạch lòng ống và thay thế các ống một cách độc lập mà không cần phải đưa chùm ống ra khỏi vỏ thiết bị. Tuy nhiên, kết cấu này có nhược điểm là số ống trong thiết bị bị giảm đi so với thiết bị khác có cùng đường kính vỏ (do đó diện tích bề mặt trao đổi nhiệt tương ứng

sẽ bị giảm đi) do phải dành không gian cho bích đầu tự do. Để khắc phục nhược điểm này, người ta đưa ra dạng kết cấu khác với đầu tự do đặt phía ngoài vỏ nhưng lại được đặt trong một đầu chứa cách ly môi trường bên ngoài (hình H – 2.10A). Với kết cấu kiểu này, số lượng ống sẽ không bị mất đi tuy nhiên kết cấu phức tạp hơn và giá thành thiết bị vì thế sẽ cao hơn đôi chút.

Một số dạng thiết bị có đầu di chuyển tự do với khoang đầu ống hoàn toàn nằm ở bên ngoài vỏ ống được đưa vào sử dụng (hình H-2.10D). Để bít kín, giữa đầu thả nổi của chùm ống và vỏ có một hộp đệm. Dạng kết cấu này có ưu điểm chỉ có một kết cấu khoang đầu. Tuy nhiên, nó có nhược điểm là dễ bị rò rỉ lưu chất ra môi trường bên ngoài nếu thiết bị hoạt động ở điều kiện áp suất cao.

2.2.4.2. Các vấn đề khác

Ngoài vấn đề ứng suất nhiệt một số vấn đề khác cần phải giải quyết trong quá trình thiết kế và vận hành thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm. Các vấn đề này được đề cập chi tiết trong các phần dưới đây.

a. Vấn đề ổn định

Một trong vấn đề hết sức lưu ý trong thiết kế cơ khí của thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm là hiện tượng gây rung động ống trao đổi nhiệt do dòng lưu chất đưa vào thiết bị. Hậu quả của hiện tượng rung động ống là rất nghiêm trọng. Sự rung động của ống dẫn đến hiện tượng lõ các vách ngăn dần dần sẽ cắt đứt ống tại vị trí tiếp xúc, các ống va đập lẫn nhau dẫn đến nóng dần khỏi sàng ống, ứng suất bền mỏi vượt quá giới hạn cho phép, bó ống sẽ dần bị lỏng lẻo và đẩy nhanh quá trình ăn mòn.

Hiện tượng rung động của ống là do lực tác động không đều nhau theo thời gian vào ống. Có nhiều lực tác động vào ống, tuy nhiên, thông thường là do động năng của dòng lưu thể chuyển động vuông góc với chùm ống gây ra. Bình thường, các rung động này không gây ra tác hại đối với thiết bị. Tuy nhiên, khi các rung động này xảy ra ở tần số gần với tần số dao động riêng của thiết bị thì sẽ xảy ra hiện tượng cộng hưởng dẫn đến hiện tượng dao động mạnh của các ống trao đổi nhiệt. Hiện nay, có nhiều tiến bộ trong việc nghiên cứu rung động của thiết bị, song những cơ sở khoa học để xác định chính xác cấu hình của thiết bị để tránh hiện tượng rung còn chưa được hoàn thiện. Vì vậy, trong thực tế chỉ có hai giải pháp hiệu quả để giải quyết vấn đề này là tăng cường độ cứng cho chùm ứng tới mức tối đa có thể (giảm khoảng cách giữa các vách ngăn) và giữ tốc độ dòng chảy ở mức độ thấp.

b. Vấn đề mài mòn cơ học

Một vấn đề cơ khí khác cần quan tâm khi thiết kế, vận hành thiết bị trao đổi nhiệt ống chùm là hiện tượng bào mòn kim loại thành ống trao đổi nhiệt do ma sát của dòng lưu thể chuyển động cắt ngang ống. Hiện tượng bào mòn xuất hiện đồng thời và thúc đẩy quá trình ăn mòn do quá trình bào mòn phá hủy lớp bảo vệ ngoài của kim loại. Tốc độ quá trình bào mòn phụ thuộc vào một số yếu tố: kim loại chế tạo ống, tốc độ và khối lượng riêng của lưu thể, tính chất hoá học của lưu thể và hình dạng của thiết bị. Chính vì vậy mà hiện tượng bào mòn thường xảy ra nghiêm trọng ở các vị trí đầu vào của lưu thể, các vị trí ống bị uốn cong, bị cắt. Để giảm thiểu ảnh hưởng của hiện tượng này trong thiết kế và vận hành không được để tốc độ vượt quá tốc độ tới hạn, lựa chọn kim loại chế tạo phù hợp với tính chất của lưu thể.

2.2.5. Bố trí dòng chảy trong thiết bị

Về nguyên tắc, hai lưu thể tham gia quá trình trao đổi nhiệt trong thiết bị ống chùm có thể bố trí chảy phía trong hay phía ngoài ống đều có thể chấp nhận được. Tuy nhiên, việc lựa chọn dòng chảy của các lưu thể ảnh hưởng nhiều đến yếu tố kinh tế, vì vậy, người ta dựa vào một số tiêu chí làm cơ sở để bố trí dòng chảy của lưu thể trong thiết bị:

2.2.5.1. Áp suất cao

Nếu một trong hai lưu thể có áp suất cao thì lưu thể này được bố trí chảy trong lòng ống trao đổi nhiệt. Nhờ cách bố trí này, chỉ có ống và phần bít kín liên quan đến dòng chảy trong ống được thiết kế để chịu được áp suất cao, còn vỏ thiết bị được thiết kế ở điều kiện ít khắc nghiệt hơn. Trong khi đó, nếu bố trí dòng lưu thể có áp suất cao hơn chảy ngoài ống thì toàn bộ phần vỏ có kích thước lớn sẽ phải được thiết kế để chịu áp suất cao dẫn đến chi phí chế tạo sẽ cao hơn.

2.2.5.2. Ăn mòn

Tính ăn mòn của lưu thể quyết định sự lựa chọn vật liệu chế tạo thiết bị nhiều hơn là vấn đề thiết kế cơ khí. Các hợp kim chống ăn mòn thường đắt hơn so với các kim loại thường, vì vậy, lưu thể có tính ăn mòn được bố trí chảy phía trong ống để vỏ thiết bị không phải chế tạo bằng vật liệu chống ăn mòn, nhờ đó giảm được chi phí chế tạo thiết bị.

2.2.5.3. Đóng cặn

Trong quá trình hoạt động, các chất cặn bẩn trong lưu thể sẽ đóng cặn lại trên thành thiết bị lưu thể đi qua. Lớp cặn này sẽ làm giảm hiệu quả quá trình truyền nhiệt của thiết bị, vì vậy, từ giai đoạn thiết kế cần phải có giải pháp để

giảm thiểu ảnh hưởng của hiện tượng đóng cặn. Một số giải pháp được đưa ra trong thực tế:

- Giảm thiểu khả năng đóng cặn bằng cách không để vùng chết trong thiết bị, tăng tốc độ dòng chảy;
- Có kết cấu dễ dàng trong vệ sinh lớp cặn bằng cách bố trí dòng lưu thể dễ đóng cặn chảy phía trong ống, phía vỏ có các cửa để rửa và thu cặn nếu lưu thể có khả năng đóng cặn cao chảy phía ngoài ống.
- Tăng thời gian phục vụ của thiết bị bằng cách bố trí nhiều thiết bị nối tiếp hoặc song song.

2.2.5.4. Hệ số truyền nhiệt thấp

Nếu một lưu thể vốn có hệ số truyền nhiệt thấp (các chất khí áp suất thấp hoặc chất lỏng có độ nhớt cao) thì lưu thể này thường được bố trí chảy phía ngoài ống để trong một số trường hợp có thể sử dụng ống có cánh tăng cường bề mặt nhờ đó giảm được kích thước thiết bị và giá thành chế tạo.