

NGUYỄN ĐỨC QUANG

TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI

Bản quyền thuộc về Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Mọi hình thức xuất bản, sao chép mà không có sự cho phép bằng văn bản của Trường là vi phạm pháp luật.

Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam

Nguyễn Đức Quang

Tăng cường truyền nhiệt / Nguyễn Đức Quang. - H. : Bách khoa Hà Nội,
2021. - 256tr. : minh hoạ ; 24cm
Thư mục : tr. 244-247

1. Truyền nhiệt 2. Kỹ thuật nhiệt
621.4022 - dc23

BKF0218p-CIP

LỜI NÓI ĐẦU

Năng lượng đóng một vai trò rất quan trọng trong sự phát triển của mỗi quốc gia. Nhu cầu sử dụng năng lượng trong công nghiệp và đời sống ngày càng tăng cao, trong đó nhiệt năng chiếm tỷ lệ chủ yếu. Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả sẽ có tác dụng bảo tồn nguồn năng lượng, bảo vệ môi trường, chống biến đổi khí hậu, đảm bảo an ninh năng lượng cũng như góp phần cho phát triển kinh tế - xã hội một cách bền vững.

Thiết bị trao đổi nhiệt là một thành phần quan trọng và không thể thiếu trong các hệ thống nhiệt lạnh dân dụng và công nghiệp. Ngày nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, rất nhiều lĩnh vực đòi hỏi sử dụng các thiết bị trao đổi nhiệt hiệu suất cao, thúc đẩy các nghiên cứu và ứng dụng nhằm phát triển các kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt. Với nhu cầu cấp thiết về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả như hiện nay, lĩnh vực tăng cường truyền nhiệt được mong đợi sẽ chuyển sang một giai đoạn tăng trưởng mạnh mẽ hơn nữa.

Cuốn sách "**Tăng cường truyền nhiệt**" cung cấp các kiến thức phục vụ thực tiễn và nghiên cứu về các phương pháp và nguyên lý tăng cường truyền nhiệt nhằm nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt trong các thiết bị nhiệt lạnh như: làm cánh, xử lý bề mặt truyền nhiệt, tạo dòng xoáy, sử dụng chất phụ gia, v.v.. Các tiêu chuẩn và phương pháp phân tích, đánh giá hiệu quả tăng cường truyền nhiệt đối với dòng một pha và hai pha. Ngoài ra, cuốn sách còn trình bày về hiện tượng bám bẩn trong các thiết bị trao đổi nhiệt cũng như các biện pháp ngăn ngừa và kiểm soát hiện tượng bám bẩn bề mặt truyền nhiệt.

Cuốn sách này không chỉ được dùng làm giáo trình của môn học "Tăng cường truyền nhiệt cho các thiết bị nhiệt lạnh" trong các trường đại học kỹ thuật mà còn là nguồn tài liệu tham khảo hữu ích cho các nhà nghiên cứu, kỹ sư và cán bộ kỹ thuật liên quan.

Tuy đã rất cố gắng nghiên cứu và tham khảo nhiều nguồn tài liệu trong và ngoài nước, nhưng chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót và nhầm lẫn, tác giả rất mong nhận được sự góp ý của các độc giả. Mọi ý kiến xin gửi về cho tác giả theo địa chỉ: Viện KH&CN Nhiệt-Lạnh, Đại học Bách Khoa Hà Nội, email: quangnd74@yahoo.com.

Trân trọng cảm ơn!

Tác giả

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	iii
Chương 1. VAI TRÒ VÀ Ý NGHĨA CỦA TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT.....	1
1.1. Khái niệm	1
1.2. Vai trò và ý nghĩa	1
1.3. Những lợi ích mang lại của tăng cường truyền nhiệt	3
1.4. Các lĩnh vực ứng dụng	5
1.4.1. Kiểu truyền nhiệt và các thiết bị trao đổi nhiệt được quan tâm	5
1.4.2. Các lĩnh vực ứng dụng tăng cường truyền nhiệt	5
Chương 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT	8
2.1. Hệ số tăng cường E_h	8
2.2. Nguyên lý tăng cường truyền nhiệt một pha	10
2.2.1. Lớp biên nhiệt và lớp biên thủy lực	10
2.2.2. Tăng hệ số trao đổi nhiệt mà không tăng diện tích truyền nhiệt	12
2.2.3. Tăng cường cho dòng chảy tầng	12
2.2.4. Tăng cường cho dòng chảy rối.....	14
2.3. Nguyên lý tăng cường truyền nhiệt hai pha	16
2.3.1. Tăng cường truyền nhiệt khi sôi	16
2.3.2. Tăng cường truyền nhiệt khi ngưng	24
2.4. Cách tiếp cận kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt.....	29
2.5. Kỹ thuật thụ động.....	30
2.5.1. Bề mặt truyền nhiệt phụ thêm	30
2.5.2. Bề mặt được xử lý:.....	35

2.5.3. Bề mặt nhấp nhô, độ nhám lớn	36
2.5.4. Dụng cụ lồng ống và tăng cường dòng chảy.....	38
2.5.5. Dụng cụ tạo dòng xoáy	44
2.5.6. Đường ống xoắn.....	51
2.5.7. Dụng cụ sức căng bề mặt	52
2.5.8. Chất phụ gia	53
2.6. Kỹ thuật chủ động	59
2.6.1. Thiết bị hỗ trợ cơ khí	59
2.6.2. Rung động bề mặt trao đổi nhiệt.....	62
2.6.3. Rung động môi chất.....	62
2.6.4. Sử dụng điện trường.....	64
2.6.5. Sử dụng hệ thống phun	69
2.6.6. Sử dụng hệ thống hút	70
2.6.7. Sử dụng dòng phun va đập.....	70
2.7. Kỹ thuật hỗn hợp.....	72

Chương 3. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT MỘT PHA.....

3.1. Tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả (PEC).....	77
3.1.1. Tính tương tự Reynolds	77
3.1.2. Hệ số trao đổi nhiệt và hệ số ma sát của bề mặt phẳng nhẵn	79
3.1.3. Tiêu chuẩn đánh giá hiệu quả (PEC)	87
3.2. PEC đối với thiết bị trao đổi nhiệt	89
3.3. PEC đối với dòng một pha	90
3.3.1. Hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc	90
3.3.2. Biểu thức đại số của PEC.....	92
3.4. Tính đến nhiệt trở cả hai phía, tăng cường hai phía	95
3.5. Hiệu suất thiết bị trao đổi nhiệt.....	101

3.6. Ảnh hưởng của việc giảm lưu lượng dòng chảy.....	102
Chương 4. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT HAI PHA.....	106
4.1. Đặc tính vận hành thiết bị trao đổi nhiệt hai pha.....	106
4.2. Tăng cường trong hệ thống trao đổi nhiệt hai pha.....	109
4.2.1. Hệ thống tiêu tốn công.....	109
4.2.2. Hệ thống sinh công.....	111
4.2.3. Hệ thống vận hành nhiệt.....	112
4.3. PEC đối với hệ thống trao đổi nhiệt hai pha.....	115
4.4. Phương pháp tính toán PEC.....	116
4.4.1. Hệ số trao đổi nhiệt khi sôi và khi ngưng.....	116
4.4.2. Phương pháp tính toán PEC dòng hai pha.....	119
Chương 5. TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT SỬ DỤNG ỐNG LÀM CÁNH ..	126
5.1. Truyền nhiệt qua vách có cánh.....	126
5.1.1. Hiệu suất cánh.....	126
5.1.2. Hệ số truyền nhiệt của vách có cánh.....	129
5.2. Ống làm cánh phía bên ngoài.....	131
5.2.1. Thông số hình học và tiêu chuẩn Reynolds.....	133
5.2.2. Cánh tấm phẳng trên ống tròn.....	137
5.2.3. Cánh tròn trơn độc lập.....	143
5.2.4. Cánh tấm dạng sóng trên ống tròn.....	146
5.2.5. Cánh tấm kiểu chóp trên chùm ống dẹt.....	148
5.2.6. Cánh tròn dạng sóng xoắn ốc.....	149
5.3. Ống làm cánh phía bên trong.....	156
5.3.1. Xác định thông số hình học.....	156
5.3.2. Hệ số trao đổi nhiệt và hệ số ma sát.....	158

Chương 6. TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT SỬ DỤNG TẮM VÀ CÁNH..... 162

6.1. Quan hệ thông số hình học chung 162

6.2. Cánh trơn 164

6.2.1. Xác định thông số hình học 164

6.2.2. Hệ số Colburn j và hệ số ma sát f 166

6.3. Cánh dải xếp so le 167

6.3.1. Nguyên lý tăng cường truyền nhiệt..... 167

6.3.2. Xác định thông số hình học 168

6.3.3. Hệ số Colburn j và hệ số ma sát f 170

6.4. Cánh kiểu chớp 174

6.4.1. Thông số hình học và cấu trúc dòng chảy 174

6.4.2. Hệ số Colburn j và hệ số ma sát f 177

6.5. Cánh dạng sóng..... 182

6.5.1. Thông số hình học và nguyên lý tăng cường 182

6.5.2. Hệ số Colburn j và hệ số ma sát f 183

**Chương 7. BÁM BẮN TRÊN BỀ MẶT ĐƯỢC TĂNG CƯỜNG
TRUYỀN NHIỆT 185**

7.1. Ảnh hưởng của hiện tượng bám bẩn 185

7.1.1. Hiện tượng bám bẩn trong thiết bị trao đổi nhiệt 185

7.1.2. Ảnh hưởng của bám bẩn tới truyền nhiệt..... 187

7.1.3. Ảnh hưởng của bám bẩn tới tổn thất áp suất..... 189

7.2. Cơ sở về hiện tượng bám bẩn 192

7.2.1. Các dạng bám bẩn bề mặt truyền nhiệt 192

7.2.2. Các giai đoạn của quá trình bám bẩn 195

7.2.3. Tốc độ bám bẩn và các thông số ảnh hưởng 198

7.2.4. Mô hình bám bẩn dạng hạt..... 201

7.3. Bám bản bề mặt làm cánh phía môi chất khí.....	204
7.3.1. Một số đặc điểm.....	204
7.3.2. Ngăn ngừa và kiểm soát bám bản phía khí	206
7.4. Bám bản bề mặt truyền nhiệt phía môi chất lỏng.....	207
7.4.1. Một số đặc điểm.....	207
7.4.2. Ngăn ngừa và kiểm soát bám bản phía lỏng	211
BÀI TẬP.....	213
PHỤ LỤC.....	220
TÀI LIỆU THAM KHẢO	244

Chương 1

VAI TRÒ VÀ Ý NGHĨA CỦA TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT

1.1. KHÁI NIỆM

Thiết bị trao đổi nhiệt được sử dụng để truyền nhiệt giữa hai hay nhiều chất tải nhiệt (môi chất) có nhiệt độ khác nhau. Các chất tải nhiệt có thể ở trạng thái một pha hay hai pha, có thể bị ngăn cách hoặc tiếp xúc trực tiếp với nhau tùy thuộc vào loại thiết bị. Trong các hệ thống nhiệt – lạnh công nghiệp và dân dụng, rất nhiều thiết bị trao đổi nhiệt được sử dụng cho các mục đích khác nhau, ví dụ như:

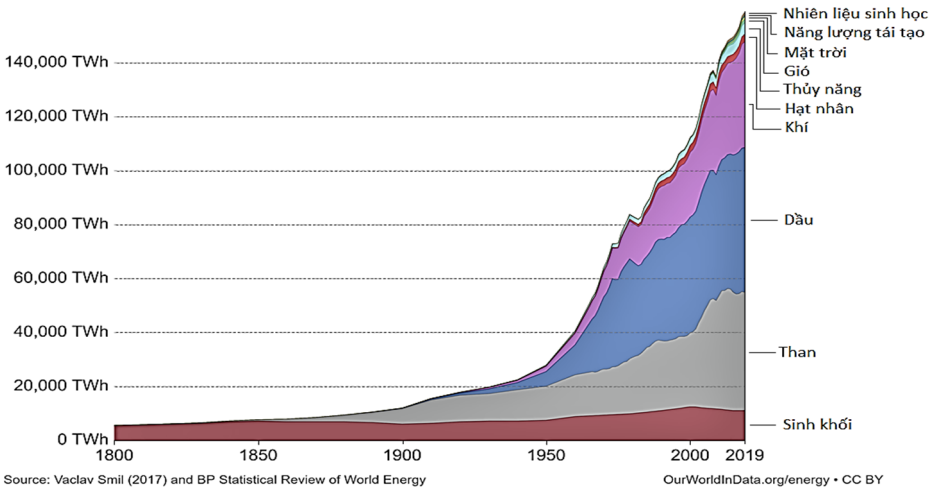
- Các ứng dụng liên quan đến gia nhiệt hoặc làm mát dòng môi chất, ngưng tụ hoặc bay hơi các môi chất có một hoặc nhiều thành phần.
- Thu hồi nhiệt hoặc thải nhiệt.
- Kiểm soát dòng quy trình, khử trùng, thanh trùng, phân đoạn, chưng cất, cô đặc, kết tinh.
- Các ứng dụng chuyển hóa năng lượng nhiệt đại dương (OTEC).
- Thiết bị trao đổi nhiệt trong công nghiệp chế biến, công nghiệp hóa chất.
- Thiết bị sôi, ngưng, hồi nhiệt trong nhà máy nhiệt điện; trong hệ thống lạnh và điều hòa không khí, bộ tản nhiệt trong công nghiệp ô tô, hàng không vũ trụ, v.v..

Tăng cường truyền nhiệt là một quy trình sử dụng các giải pháp kỹ thuật khác nhau nhằm nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt giữa các chất tải nhiệt cho các thiết bị nhiệt – lạnh, mà không gây ra ảnh hưởng đáng kể đến mục tiêu tổng thể của hệ thống.

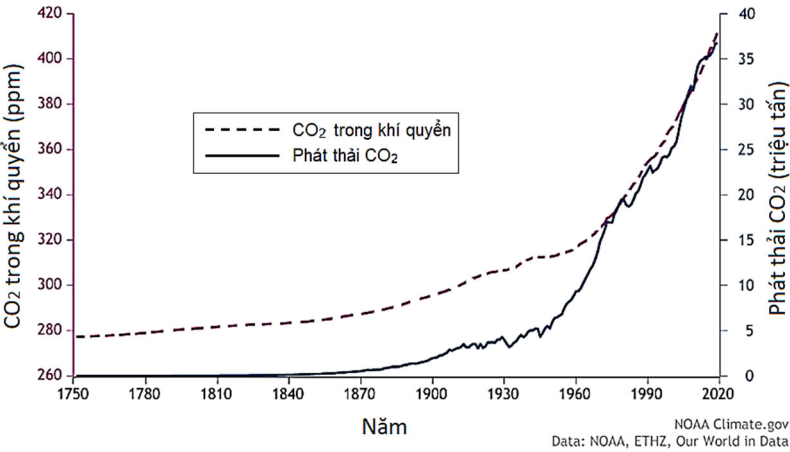
1.2. VAI TRÒ VÀ Ý NGHĨA

Năng lượng cần thiết cho mọi hoạt động của con người, có vai trò rất quan trọng đối với sự phát triển của mỗi quốc gia. Tuy nhiên, tổng số năng lượng trên Trái Đất là

có hạn, nguồn năng lượng truyền thống đang cạn kiệt dần, việc sử dụng và khai thác nguồn năng lượng hóa thạch truyền thống cũng gây ra những tác động tiêu cực đối với con người và môi trường sống như biến đổi khí hậu, sự nóng lên toàn cầu. Vậy nên, việc sử dụng năng lượng một cách tiết kiệm và hiệu quả là rất quan trọng. Sử dụng năng lượng hiệu quả sẽ có tác dụng bảo tồn nguồn năng lượng và có ý nghĩa to lớn trong bảo vệ môi trường, chống biến đổi khí hậu, đảm bảo an ninh năng lượng cũng như đóng góp cho phát triển kinh tế – xã hội bền vững.



Hình 1.1. Tiêu thụ năng lượng toàn cầu.



Hình 1.2. Lượng CO₂ trong khí quyển và phát thải CO₂ bởi con người.

Trong bối cảnh hiện nay, vấn đề sống còn để tránh dẫn đến khủng hoảng năng lượng toàn cầu do nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng tăng cao (hình 1.1), kèm theo sự thiếu hụt về nguồn năng lượng và phát thải CO₂ ngày càng nhiều (hình 1.2), là phải sử dụng năng lượng hiệu quả. Một trong những nhân tố quan trọng quyết định hiệu quả sử dụng năng lượng, trong đó có năng lượng nhiệt, chính là phát triển và đổi mới các quy trình công nghệ. Rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm nâng cao hiệu suất của các hệ thống nhiệt – lạnh và làm giảm bớt kích cỡ các thiết bị và hệ thống, từ đó giảm được các tiêu hao năng lượng.

Thiết bị trao đổi nhiệt là một thành phần không thể thiếu trong các hệ thống nhiệt – lạnh dân dụng và công nghiệp, các thiết bị trao đổi nhiệt này có vai trò quan trọng trong việc thu hồi và bảo tồn năng lượng. Vì thế, tăng cường truyền nhiệt cho các thiết bị nhiệt lạnh trở thành yếu tố quyết định trong rất nhiều ứng dụng công nghiệp. Ngày nay, với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, rất nhiều lĩnh vực công nghiệp yêu cầu sử dụng các thiết bị trao đổi nhiệt cho mục đích làm mát, giải nhiệt với công suất truyền nhiệt rất lớn, dòng nhiệt lên đến mức MW/m². Với mức công suất lớn như vậy, việc sử dụng các môi chất thông thường như nước hoặc ethylene glycol trở thành vấn đề thách thức và làm nảy sinh nhu cầu tăng cường hiệu suất truyền nhiệt cho các môi chất làm việc trong các thiết bị trao đổi nhiệt. Ngoài ra, do yêu cầu về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả, đã làm gia tăng việc sử dụng các thiết bị trao đổi nhiệt hiệu suất cao trong rất nhiều lĩnh vực, thúc đẩy các ứng dụng và nghiên cứu phát triển các kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt. Trong nhiều thập kỷ qua, những nỗ lực đáng ghi nhận của các nhà khoa học đã bỏ ra để phát triển các kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt với mục đích cải thiện hiệu suất của các thiết bị trao đổi nhiệt. Với tình trạng giá năng lượng ngày càng tăng cao như hiện nay, lĩnh vực tăng cường truyền nhiệt được mong đợi sẽ chuyển sang một giai đoạn tăng trưởng mạnh mẽ hơn nữa.

1.3. NHỮNG LỢI ÍCH MANG LẠI CỦA TĂNG CƯỜNG TRUYỀN NHIỆT

Lĩnh vực tăng cường truyền nhiệt bắt đầu được chú ý tới từ nhiều thập niên trước đây và được thừa nhận có một vai trò to lớn trong các nghiên cứu và ứng dụng truyền nhiệt từ những năm 1981 bởi các đóng góp của giáo sư Franz Mayinger thuộc Trường Đại học Kỹ thuật Munich tại CHLB Đức. Trước đó, các bậc tiền bối nổi tiếng như Grigull, Schmidt và Nusselt, đã có những đóng góp quan trọng để giúp hiểu rõ cơ chế truyền nhiệt trong điều kiện thông thường. Giáo sư Franz Mayinger tiếp tục kế thừa những nghiên cứu này, nhưng đồng thời ông cũng là người khai phá ra cách thức để nâng cao truyền nhiệt (tăng hệ số truyền nhiệt) bằng cách phá vỡ các điều kiện truyền nhiệt thông thường trước đó.

Ngày nay, rất nhiều nghiên cứu và ứng dụng công nghiệp về tăng cường truyền nhiệt đã được thực hiện trên toàn thế giới. Có thể thấy rõ điều đó thông qua sự tăng trưởng vượt bậc về các công bố khoa học, các phát minh, sáng chế và hàng trăm nhà sản xuất đã đưa ra những sản phẩm bao trùm từ các dụng cụ nhỏ cho tới toàn bộ hệ thống nhiệt lạnh được tích hợp kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt.

Việc ứng dụng các kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt cho các thiết bị nhiệt lạnh có thể mang lại những lợi ích cụ thể sau đây:

- Với một công suất truyền nhiệt và tổn thất áp suất định trước, áp dụng tăng cường truyền nhiệt có thể làm giảm bớt diện tích của bề mặt truyền nhiệt, từ đó giảm được kích cỡ và trọng lượng của thiết bị trao đổi nhiệt, thiết bị gọn nhẹ hơn, giảm yêu cầu về không gian lắp đặt, giảm chi phí nguyên vật liệu, dễ dàng vận chuyển và giảm chi phí vận chuyển, đặc biệt đáp ứng được các yêu cầu khắt khe trong lĩnh vực hàng không vũ trụ.
- Tăng cường truyền nhiệt cho một thiết bị đã được định trước về kích cỡ, tổn thất áp suất và lưu lượng môi chất, có thể nâng cao được công suất trao đổi nhiệt của thiết bị.
- Nâng cao hiệu suất của quy trình và hệ thống chung, giảm tiêu hao năng lượng.
- Giảm được công suất của máy bơm và quạt khi giữ nguyên kích cỡ và phụ tải nhiệt của thiết bị.
- Khắc phục được hạn chế của các loại môi chất có tính chất dẫn nhiệt kém và độ nhớt cao (khí và dầu).
- Giảm được độ chênh lệch nhiệt độ tiệm cận ATD (Approach Temperature Difference) hay là ΔT_{min} trong các thiết bị ngưng tụ và thiết bị bay hơi.

Ngoài ra, việc áp dụng tăng cường truyền nhiệt có thể mang lại lợi ích là sự kết hợp của một số yếu tố kể trên. Bên cạnh việc tăng cường truyền nhiệt trong các thiết bị trao đổi nhiệt, lĩnh vực làm mát các thiết bị và dụng cụ có phát sinh nguồn nhiệt bên trong cũng đang rất được quan tâm. Chẳng hạn như là các phần tử nhiên liệu hạt nhân, các linh kiện điện tử, bảng mạch, v.v.. Áp dụng các kỹ thuật tăng cường truyền nhiệt sẽ mang lại một trong hai lợi ích: các dụng cụ và thiết bị này có thể chịu được một mật độ dòng nhiệt cao hơn khi giữ cố định nhiệt độ bề mặt; hoặc là các thiết bị này có thể hoạt động ở một nhiệt độ thấp hơn khi có cùng một mật độ dòng nhiệt. Lợi ích thứ hai rất quan trọng đối với các thiết bị điện tử, bởi vì tuổi thọ của các linh kiện điện tử tỷ lệ nghịch với nhiệt độ hoạt động của chúng.