

PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA VẬT LIỆU THIẾT BỊ TRAO ĐỔI NHIỆT TRONG BẦU HẤP PHỤ ĐẾN KHẢ NĂNG LÀM VIỆC CỦA MÁY LẠNH HẤP PHỤ

ANALYSIS THE EFFECT OF HEAT EXCHANGER MATERIAL OF ADSORPTION BED ON THE PERFORMANCE OF ADSORPTIVE REFRIGERATORS

TS. Cao Ngọc Vi

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT

Bài báo phân tích hiệu quả làm việc của máy lạnh hấp phụ có bầu hấp phụ kiểu ống – cánh tản nhiệt. Ba loại vật liệu sử dụng phổ biến trong chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt là đồng (Cu), nhôm (Al) và thép không gỉ (SS) lần lượt được khảo sát bằng phương pháp mô phỏng số. Trong đó, bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt được làm từ nhôm có hệ số làm lạnh cao nhất, $COP = 0.515$, vượt qua khoảng 6.2% so với Cu và 29.7% so với SS. Bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Cu đạt công suất làm lạnh riêng lớn nhất, $SCP = 262.79 \text{ W/kg}$, cao hơn Al và SS lần lượt là 1.8% và 120%.

Từ khóa: Thiết bị trao đổi nhiệt; Máy lạnh hấp phụ; Vật liệu; Mô phỏng số; Hệ số làm lạnh.

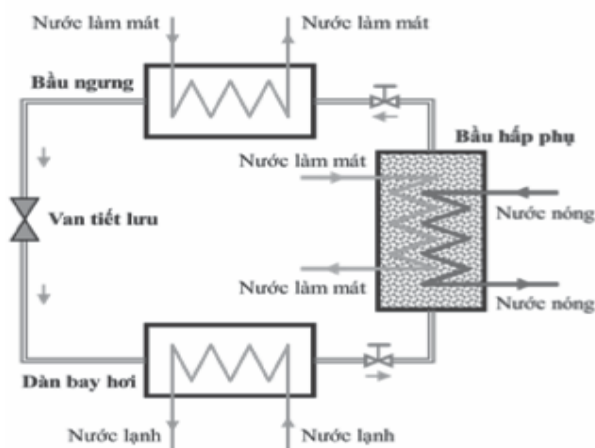
ABSTRACT

This article analyzes the performance of finned-tube type adsorption refrigerators. Three well-known materials, namely, copper (Cu), aluminum (Al) and stainless steel (SS) were simulated respectively. The Al-heat exchanger exhibits the best performance with $COP = 0.515$. It is followed by Cu- and SS-heat exchanger with about 6.2% and 29.7%, respectively. The Cu-heat exchanger shows the highest SCP. It is around 262.79 W/kg , which is 1.8% and 120% higher than that of Al- and SS-heat exchanger, respectively.

Keywords: Heat exchanger; Adsorption refrigerator; Material; Numerical simulation; COP. 

1. TỔNG QUAN

Máy lạnh hấp phụ (ACS) sử dụng nhiệt năng làm nguồn động lực, nước (hoặc các chất tự nhiên như rượu ethanol, a-mô-ni-ắc, đi-ô-xít các-bon) làm chất công tác, được cộng đồng khoa học đánh giá là giải pháp thay thế khả dĩ cho máy lạnh nén hơi truyền thống. Hình 1 trình bày sơ đồ cấu trúc của một máy lạnh hấp phụ đơn giản nhất, bao gồm bầu hấp phụ, dàn bay hơi, bầu ngưng và van tiết lưu. Bầu hấp phụ (còn gọi là máy nén nhiệt) là một thiết bị trao đổi nhiệt, được bố trí thêm chất hấp phụ, từ đó tạo ra các quá trình hấp phụ – giải hấp phụ hơi chất công tác cùng với hiệu ứng làm lạnh. Cấu tạo và khả năng làm việc của bầu hấp phụ tác động trực tiếp đến kích thước, giá thành, khả năng cũng như phạm vi sử dụng của máy [1], [2].



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của máy lạnh một bầu hấp phụ

Theo nghiên cứu của Sur và cộng sự [2], việc tăng cường khả năng làm việc của bầu hấp phụ có thể thực hiện bởi các biện pháp sau: tăng diện tích trao đổi nhiệt, giảm nhiệt trở trên bề mặt tiếp xúc thiết bị trao đổi nhiệt – vật liệu hấp phụ, sử dụng chất hấp phụ có nhiệt trở thấp và áp dụng các kỹ thuật của ống nhiệt. Tăng

diện tích trao đổi nhiệt là phương thức đơn giản nhất nhưng cũng đem lại hiệu quả cao nhất. Trong đó, cấu trúc ống – cánh tản nhiệt tỏ ra siêu việt hơn những biện pháp khác [3].

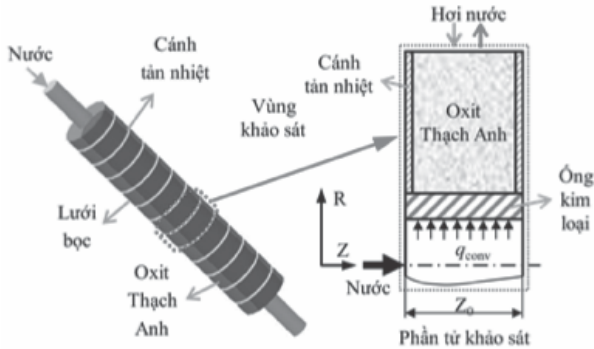
Mặc dù vật liệu ống và cánh tản nhiệt có nhiệt trở rất thấp nhưng chiếm tỷ trọng tương đối lớn so với chất hấp phụ [4]. Vì vậy, ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt cần được quan tâm nghiên cứu. Mục tiêu bài báo này là đánh giá ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến khả năng làm việc của máy lạnh hấp phụ. Nghiên cứu được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng số, áp dụng cho thiết bị trao đổi nhiệt kiểu ống – cánh tản nhiệt.

2. MÔ HÌNH TOÁN

Ngày nay, phương pháp mô phỏng số được áp dụng rộng rãi trong hoạt động nghiên cứu cũng như trong thiết kế. Mô phỏng số cho phép thực hiện các nghiên cứu tham số một cách tự động và nhanh chóng với các điều kiện biên khác nhau, tạo tiền đề cho việc tối ưu hóa thiết kế. Mô hình khảo sát ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến hiệu quả làm việc của bầu hấp phụ được trình bày như trên Hình 2. Thông số về cấu hình của thiết bị trao đổi nhiệt, điều kiện khai thác và tính chất Vật lý – Nhiệt của chất hấp phụ được trình bày trong các Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 1. Thông số về cấu hình thiết bị trao đổi nhiệt

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Bước cánh (mm)	FP	3.0
Chiều cao bản cánh (mm)	FH	10
Chiều dày cánh (mm)	FT	0.5
Đường kính bao ngoài (mm)	D_o	32
Đường kính trong của ống (mm)	D_i	10
Đường kính ngoài của ống (mm)	D_m	12



Hình 2. Mô hình phân tích đặc tính nhiệt động lực học của bầu hấp phụ

Bảng 2. Thông số về điều kiện khai thác

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Nhiệt độ nguồn lạnh (°C)	T_L	30
Nhiệt độ nguồn nóng (°C)	T_H	80
Nhiệt độ bay hơi (°C)	T_{eva}	15
Nhiệt độ ngưng tụ (°C)	T_{con}	30
Thời gian chu trình (s)	t_{cycle}	840
Vận tốc dòng chảy (m/s)	u_H/u_L	1.0

Bảng 3. Tính chất Vật lý – Nhiệt của chất hấp phụ

Thông số	Ký hiệu	Trị số
Đường kính hạt (mm)	d_p	0.2
Khối lượng riêng (kg/m³)	ρ_b	761
Nhiệt dung riêng (J/kg·K)	c_{pb}	920
Hệ số truyền nhiệt (W/m·K)	k_b	0.198
Nhiệt hấp phụ (mm)	Q_{st}	$2.76 \cdot 10^3$
Độ xốp (-)	ε_p	0.43

Sản lượng lạnh Q_{eva} của hệ thống trong một chu trình tính theo công thức (1) [4]:

$$Q_{eva} = [L_v(T_{eva}) - c_{pb}(T_{eva} - T_{con})] \times \int_{t_{des}}^{t_{ads}} \dot{m}_g dt \quad (1)$$

Trong đó: L_v – Nhiệt hóa hơi của chất làm lạnh; $\dot{m}_g$ – Lưu lượng khối lượng của dòng hơi chất làm lạnh; c_{pb} – Nhiệt dung riêng của chất hấp phụ; T_{con} – Nhiệt độ ngưng tụ và T_{eva} là nhiệt độ hóa hơi.

Tổng nhiệt giải hấp phụ Q_{des} trong một chu trình tính theo công thức (2) [4]:

$$Q_{des} = \int_{t_{des}} \dot{m}_b Q_{st} \frac{\partial q}{\partial t} dt \quad (2)$$

Trong đó: $\dot{m}_b$ – Khối lượng chất hấp phụ; Q_{st} – Nhiệt hấp phụ; q – Lượng hấp phụ.

Nhiệt hấp thụ trong vật liệu ống, cánh tản nhiệt, chất hấp phụ và chất làm lạnh Q_{sen} tính theo công thức (3) [4]:

$$Q_{sen} = \int_{t_{des}} \dot{m}_{tube} c_{ptube} \frac{\partial T_{tube}}{\partial t} dt + \int_{t_{des}} \dot{m}_{fin} c_{pfin} \frac{\partial T_{fin}}{\partial t} dt + \int_{t_{des}} \dot{m}_b (c_{pb} + qc_{pw}) \frac{\partial T_b}{\partial t} dt \quad (3)$$

Trong đó: $\dot{m}_{tube}$ – Khối lượng ống; $\dot{m}_{fin}$ – Khối lượng cánh tản nhiệt; c_{ptube} , c_{pfin} , c_{pb} và c_{pw} – Nhiệt dung riêng của vật liệu ống, cánh tản nhiệt, chất hấp phụ và chất làm lạnh ở pha lỏng; T_{tube} , T_{fin} và T_b – Nhiệt độ ống, cánh tản nhiệt và chất hấp phụ.

Hệ số làm lạnh được định nghĩa là tỷ số giữa sản lượng lạnh với tổng lượng nhiệt cấp trong một chu trình, xác định theo công thức (4) [4].

$$COP = \frac{Q_{eva}}{Q_{sen} + Q_{des}} \quad (4)$$

Công suất làm lạnh riêng SCP tính theo công thức (5) [4]:

$$SCP = \frac{Q_{eva}}{\dot{m}_b t_{cycle}} \quad (5)$$

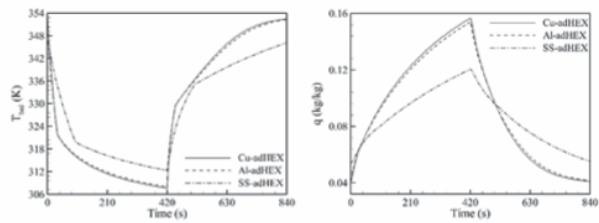
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Ba loại vật liệu phổ biến là đồng (Cu), nhôm (Al) và thép không gỉ (SS) được lựa chọn để khảo sát ảnh hưởng của vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt đến khả năng làm việc của máy lạnh hấp phụ. Các thông số Vật lý – Nhiệt của mỗi loại vật liệu được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Tính chất Vật lý – Nhiệt của Cu, Al và SS

Vật liệu	Khối lượng riêng ρ (kg/m ³)	Nhiệt dung riêng c_p (J/kg·K)	Hệ số dẫn nhiệt k (W/m·K)
Cu	8940	386	398
Al	2702	903	237
SS	8055	480	15.1

Kết quả mô phỏng số đáp ứng nhiệt của hệ thống ứng với những vật liệu đã chọn được trình bày như trên Hình 3 và Bảng 5. Theo đó, máy lạnh có bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng SS có khả năng làm việc tương đối thấp so với Cu và Al. Trong khi đó, sự sai khác của Cu so với Al là không đáng kể. Bởi vì hệ số dẫn nhiệt lớn, nhiệt dung riêng nhỏ, bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Cu có tốc độ truyền nhiệt và truyền khối cao nhất: Tổng lượng hấp phụ cực đại, $\Delta q_{\max} = 0.1155$ kg/kg, Công suất làm lạnh riêng, $SCP = 262.79$ W/kg, cao hơn so với các thông số tương ứng của hệ thống có thiết bị trao đổi nhiệt bằng Al lần lượt là 1.4% và 1.76%. Tuy nhiên, tỷ trọng riêng của Cu tương đối lớn, $\rho_{Cu} \approx 3.3\rho_{Al}$, lượng nhiệt bị giữ lại trong vật liệu thiết bị trao đổi nhiệt nhiều hơn. Kết quả là hệ thống với thiết bị trao đổi nhiệt bằng Al đạt được hệ số làm lạnh cao nhất, $COP = 0.515$, cao hơn khoảng 6.2% và 29.72% so với Cu và SS.



Hình 3. Đặc tính truyền nhiệt và truyền khối trong bầu hấp phụ ứng với các vật liệu khác nhau của thiết bị trao đổi nhiệt

Bảng 5. Các chỉ tiêu đánh giá chất lượng làm việc của hệ thống

Vật liệu	Tổng lượng hấp phụ $\Delta q_{\max}$ (kg/kg)	Hệ số làm lạnh COP	Công suất làm lạnh riêng SCP (W/kg)
Cu	0.1155	0.485	262.79
Al	0.1139	0.515	258.24
SS	0.0652	0.397	119.87

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo thực hiện mô phỏng số đáp ứng nhiệt động lực học của bầu hấp phụ với thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống – cánh tản nhiệt, làm cơ sở đánh giá ảnh hưởng của vật liệu chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt của bầu hấp phụ đến đặc tính truyền nhiệt, truyền khối và khả năng làm việc của hệ thống làm lạnh bằng công nghệ hấp phụ. Ba loại vật liệu phổ biến dùng cho thiết bị trao đổi nhiệt được lựa chọn để thực hiện khảo sát. Từ kết quả đạt được, có thể kết luận như sau:

- Vật liệu có hệ số dẫn nhiệt cao, tỷ trọng nhỏ, nhiệt dung riêng thấp cung cấp khả năng truyền nhiệt tốt hơn, do đó hiệu quả làm lạnh cao hơn.

- Vật liệu có tỷ trọng lớn không những làm tăng khối lượng mà còn tiêu thụ nhiều nhiệt hơn, do đó làm giảm hiệu suất nhiệt của hệ thống.

- Vật liệu có nhiệt dung riêng lớn sẽ làm chậm tốc độ truyền nhiệt, kéo dài thời gian chu trình, dẫn đến hiệu quả làm lạnh thấp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.39.❖

Ngày nhận bài: **10/3/2024**

Ngày phản biện: **25/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. R. Z. Wang and R. G. Oliveira, *Adsorption refrigeration – An efficient way to make good use of waste heat and solar energy*, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 32, (2006) 424-458.
- [2]. A. Sur and R. K. Das (2016), *Review of Technology Used to Improve Heat and Mass Transfer Characteristics of Adsorption Refrigeration System*, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, vol. 24, 1630003.
- [3]. A. Sharafian and M. Bahrami (2014), *Assessment of adsorber bed designs in waste-heat driven adsorption cooling systems for vehicle air conditioning and refrigeration*, Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 30, 440-451.
- [4]. Cao, N.V., Duong, X.Q., Lee, W.S. et al (2020). *Effect of heat exchanger materials on the performance of adsorption chiller*. J Mech Sci Technol 34, 2217-2223.