

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC TRỌNG TRƯỜNG ĐẾN HIỆU QUẢ QUÁ TRÌNH NGƯNG TỤ TRONG KÊNH MICRO BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

A STUDY ON THE INFLUENCE OF GRAVITY TO CONDENSATION IN MICRO-CHANNELS BY EXPERIMENTAL METHOD

Đoàn Minh Hùng, Đặng Thành Trung, Lê Quốc Trạng và Nguyễn Trà Anh Khoa
 Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 14/6/2017, ngày phản biện đánh giá 22/6/2017, ngày chấp nhận đăng 30/6/2017.

TÓM TẮT

Chỉ số hoàn thiện và hệ số truyền nhiệt là các đại lượng đặc trưng cơ bản để đánh giá hiệu quả của một thiết bị trao đổi nhiệt. Các đại lượng này phụ thuộc bởi nhiều yếu tố như thông số vật lý của lưu chất làm việc, giải nhiệt, vật liệu chế tạo và lực trọng trường,... Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá sự ảnh hưởng của lực trọng trường đến chỉ số hoàn thiện và hệ số truyền nhiệt của thiết bị ngưng tụ kênh micro. Nghiên cứu được thực hiện trên một thiết bị ngưng tụ kênh micro trong hai trường hợp nằm ngang và thẳng đứng trong khi điều kiện môi trường giải nhiệt và thông số hơi vào thiết bị không thay đổi. Kết quả đã chỉ ra được độ chênh áp của thiết bị, chỉ số hoàn thiện và hệ số truyền nhiệt trong hai trường hợp kênh micro nằm ngang và thẳng đứng khi lưu lượng hơi vào thay đổi từ 0,01 [g/s] đến 0,07[g/s]. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng kênh micro đặt thẳng đứng luôn có độ chênh áp nhỏ hơn và chỉ số hoàn thiện cao hơn so với trường hợp nằm ngang. Hệ số truyền nhiệt lớn nhất được xác định trong nghiên cứu này là 5556 [W/m².K].

Từ khóa: Lực trọng trường; kênh micro; độ chênh áp; hệ số truyền nhiệt; chỉ số hoàn thiện.

ABSTRACT

The performance index and the heat transfer coefficient are the basic characteristics for evaluating the efficiency of a heat exchanger. These quantities depend on many factors including the physical parameters of working fluid, heat dissipation, materials and gravitational force, etc. The objective of this study was to assess the effect of gravity force to the performance index and heat transfer coefficient of microchannel condensers. The study was conducted on a microchannel condenser in two horizontal and vertical cases while the ambient temperature and steam parameters remained constant. The results showed the difference in the pressure drop, the performance index and the heat transfer coefficient in the two horizontal and vertical channels when the inlet steam rate varied from 0.01 [g/s] to 0.07 [g/s]. The results revealed that vertical micro-channels had smaller pressure drop and higher performance index than horizontal ones. The maximum heat transfer coefficient of 5556 [W/m²K] was achieved in this study.

Keywords: Gravity; microchannel; pressure drop; performance index; heat transfer coefficient.

1. GIỚI THIỆU

Đặc trưng của thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro là kích thước nhỏ nhưng mật độ dòng nhiệt lớn, nên ngày nay được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như giải nhiệt cho

các thiết bị có yêu cầu kích thước nhỏ, để cấp nhiệt cho các qui trình công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt,... Quá trình truyền nhiệt khi ngưng của dòng hơi trong kênh micro là một quá trình phức tạp bởi nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố bao gồm các

thông số vật lý của lưu chất làm việc, lưu chất giải nhiệt, thông số hình học của thiết bị, độ nhám bề mặt, lực trọng trường và cả điều kiện môi trường xung quanh.

Liên quan đến quá trình ngưng tụ trong thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro Fan cùng các cộng sự [1] đã nghiên cứu về sự giảm áp trong quá trình ngưng tụ của kênh Micro hình thang bằng phương pháp thực nghiệm với ba mẫu kênh có đường kính thủy lực $D_h = 134 \mu\text{m}$ và $D_h = 166 \mu\text{m}$, dài 50 mm. Jiang cùng các cộng sự [2] đã nghiên cứu quá trình ngưng tụ của hỗn hợp ethanol - nước bằng thực nghiệm trong kênh Micro silicon hình thang có $D_h = 165,87 \mu\text{m}$ và dài 50 mm. Mghari và Gualous [3] đã thực nghiệm và phân tích số liệu quá trình truyền nhiệt ngưng tụ cục bộ khi dòng nhiệt thay đổi trong kênh Micro silicon hình chữ nhật có $D_h = 305 \mu\text{m}$ dài 50 mm. Fronk và Garimella [4] đã nghiên cứu truyền nhiệt và sự giảm áp quá trình ngưng tụ của ammonia trong kênh micro đơn, hình tròn với đường kính 1,435 mm. Heo cùng các cộng sự [5] đã nghiên cứu thực nghiệm về đặc tính truyền nhiệt ngưng tụ và giảm áp của CO_2 trong kênh micro.

Bằng phương pháp mô phỏng số Xia và Chan [6] đã nghiên cứu về hiệu quả của việc sử dụng kênh micro để tăng cường khả năng truyền nhiệt. Kết quả cho thấy khi giảm kích thước đầu vào mỗi kênh thì tốc độ truyền nhiệt tăng lên và tổn thất áp suất cũng giảm. Nghiên cứu thực nghiệm về tác động của lực trọng trường đến đặc tính truyền nhiệt và tổn thất áp suất của bộ trao đổi nhiệt kênh micro cũng được thực hiện bởi Dang cùng các cộng sự [7]. Kết quả cho thấy rằng, ảnh hưởng của lực trọng trường trong bộ trao đổi nhiệt kênh micro là không đáng kể và đồng thời sự chênh lệch giữa kết quả mô phỏng số và kết quả thực nghiệm đạt được thấp hơn 9%. Ngoài ra, các đặc tính thủy lực và nhiệt động của kênh micro phân nhánh hình cây cũng được báo cáo bởi Yu cùng các cộng sự [8] bằng cả phương pháp mô phỏng số và thực nghiệm. Với cùng điều kiện, kênh micro phân nhánh hình cây có hệ số truyền nhiệt cao hơn kênh micro thẳng, đồng thời hệ số tỉ lệ của kênh có ảnh hưởng tương đối lớn đến tổn thất

áp suất và khả năng truyền nhiệt của cả hai kênh micro phân nhánh và kênh micro thẳng.

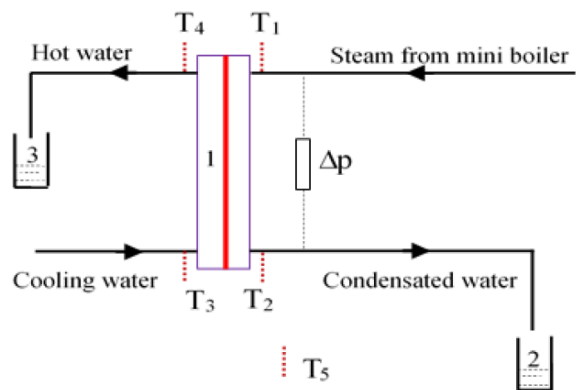
Ngoài ra, Fossa [9] đã đánh giá sự tương tác và khả năng truyền nhiệt trong vùng hai pha giữa lỏng và khí trong điều kiện đẳng nhiệt. Bằng mô phỏng số trực tiếp 3D cho quá trình sôi trong kênh micro hình chữ nhật, Ling cùng các cộng sự [10] đã chỉ ra rằng sự kết hợp giữa các bọt bong bóng làm mật độ dòng nhiệt tăng theo thời gian và lớp màng chất lỏng giữa bong bóng và vách khi sôi trong kênh micro là nguyên nhân chính làm tăng mật độ dòng nhiệt.

Từ các nghiên cứu liên quan trên, chúng tôi đã chỉ ra sự ảnh hưởng bởi lực trọng trường đến hiệu quả của trao đổi nhiệt của thiết bị ngưng tụ kênh micro là cần thiết. Để đánh giá sự ảnh hưởng này, mẫu thí nghiệm cần thực hiện trong hai trường hợp khi kênh micro nằm ngang và thẳng đứng. Kết quả của nghiên cứu này sẽ thể hiện các mối quan hệ về độ chênh áp của thiết bị, chỉ số hoàn thiện và phạm vi tối ưu về hệ số truyền nhiệt của thiết bị.

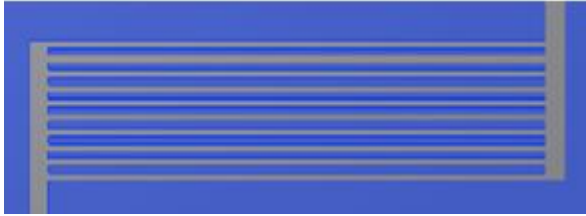
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết bị ngưng tụ kênh micro

Quá trình trao đổi nhiệt ngược chiều giữa lưu chất làm việc và lưu chất giải nhiệt được thực hiện trong thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro nhằm nâng cao hiệu quả truyền nhiệt. Ở đây lưu chất làm việc là hơi nước ở trạng thái bão hòa (phía nóng), lưu chất giải nhiệt là nước có nhiệt độ thấp đi vào để giải nhiệt cho thiết bị (phía lạnh) theo chiều ngược lại như mô tả trong hình 1a.



(a) Sơ đồ trao đổi nhiệt ngược chiều [11]



(b) Thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro



(c) Thiết bị được gia công và được định vị bởi tám tấm PMMA (phía lưu chất nóng)

Hình 1. Thiết bị ngưng tụ kênh micro

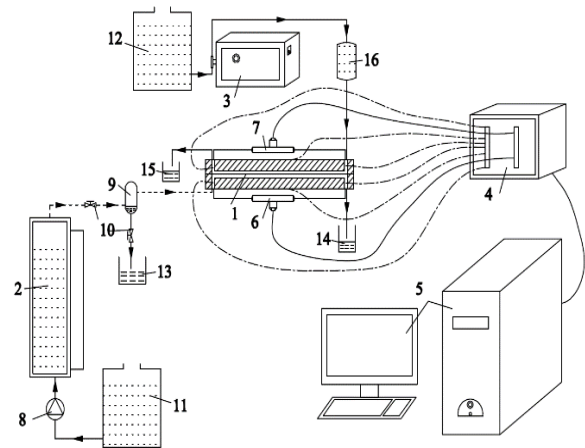
Hình 1 b là thiết bị ngưng tụ kênh micro được thiết kế với công suất 150W với vật liệu chế tạo bằng nhôm, diện tích trao đổi nhiệt $6,37\text{cm}^2$ và gồm 10 kênh micro vuông song song với nhau có đường kính thủy lực $D_h = 500\mu\text{m}$. Các thông số hình học được trình bày trong Bảng 1 có sai số lớn nhất $\pm 70\mu\text{m}$. Để tiến hành thí nghiệm, thiết bị kênh micro này được định vị bởi hai tấm PMMA với đường vào và ra của cả hai dòng lưu chất phía nóng và phía lạnh như hình 1c.

Bảng 1. Thông số hình học thiết bị ngưng tụ kênh micro

Phía lưu chất nóng	
Chiều rộng kênh	500 μm
Chiều sâu kênh	500 μm
Chiều dày vách	500 μm
Chiều dài kênh	52 mm
Số lượng kênh	10
Phía lưu chất lạnh	
Chiều rộng	9.5 mm
Chiều dài	52 mm
Chiều sâu	500 μm

2.2. Xây dựng hệ thống thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm được xây dựng như Hình 2, trong đó thiết bị ngưng tụ kênh micro (1) với đầy đủ các thông số hình học được mô tả như ở trên. Quá trình thí nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng bơm mini (8) bơm nước từ bể chứa (11) và cấp vào lò hơi (2), tại đây nước được đun sôi bằng điện trở có công suất 4,5 kW. Bình tách lỏng (9) được bố trí trước thiết bị ngưng tụ kênh micro nhằm đảm bảo hơi vào thiết bị là hơi bão hòa khô. Nhiệt độ dòng hơi bão hòa có giá trị từ 100°C đến 105°C vào thiết bị nhả nhiệt và ngưng tụ thành nước. Về phía lưu chất lạnh, nước có nhiệt độ thấp từ bể chứa (12) được bơm pittong (3) cấp vào bình điều áp (16) nhằm tạo dòng chảy ổn định trước khi đi vào thiết bị để giải nhiệt. Tất cả các giá trị nhiệt độ, áp suất được ghi nhận bởi bộ thu nhận dữ liệu MX 100 (4) và được xử lý bởi máy tính (5).

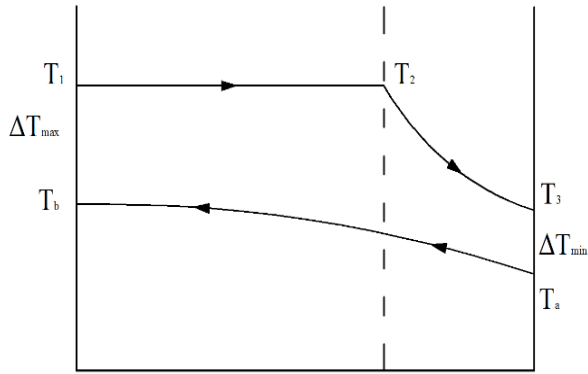


Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm thiết bị ngưng tụ kênh Micro

1-Thiết bị ngưng tụ kênh Micro; 2-Lò hơi; 3-Bơm pittong; 4-Bộ thu nhận dữ liệu MX 100; 5-Máy tính; 6,7-Bộ cảm biến chênh áp; 8-Bơm mini; 9-Bình tách lỏng; 10-Van chặn; 11,12-Bể chứa nước cấp; 13,14-Bể chứa nước ngưng; 15-Bể chứa nước giải nhiệt; 16-Bình điều áp

2.3. Mô hình toán và điều kiện thí nghiệm

Quá trình trao đổi nhiệt của thiết bị được mô tả ở trên là quá trình trao đổi nhiệt ngược chiều, từ đây có thể áp dụng sơ đồ lưu động ngược chiều như Hình 3 để phục vụ việc xác định thông số tính toán cho thiết bị.



Hình 3. Sơ đồ lưu động ngược chiều

Từ phân tích mô hình thí nghiệm ta chọn giải pháp truyền nhiệt tương ứng cho giải pháp mô phỏng số, cụ thể sử dụng các phương trình và lập luận như sau:

Mật độ dòng nhiệt truyền trong vật rắn tuân thủ theo định luật Fourier về dẫn nhiệt.

$$q = -k \cdot \nabla T \quad (1)$$

Trong đó: q : Mật độ dòng nhiệt, [W/m²]

∇T : Gradient nhiệt độ, [K/m]

k : Hệ số dẫn nhiệt, [W/m.K]

Nhiệt lượng nhả ra từ phía lưu chất nóng được tách ra bởi 2 thành phần như sau

$$Q_h = Q_{12} + Q_{23} \quad (2)$$

Trong đó: Q_{12} : Nhiệt lượng nhả ra để ngưng tụ G_h [kg/s] hơi thành lỏng hoàn toàn, [kJ/s].

$$Q_{12} = G_h \cdot (h_1 - h_2) = G_h \cdot r,$$

Với h_1, h_2 tương ứng là enthalpy [kJ/kg] ở trạng thái hơi và lỏng hoàn toàn và r [kJ/kg] là ẩn nhiệt của quá trình ngưng tụ.

Q_{23} : Nhiệt lượng mà nước ngưng hoàn toàn tiếp tục nhả nhiệt để trở thành nước ở trạng thái quá lạnh tại đầu ra của thiết bị và được xác định là

$$Q_{23} = G_h \cdot C_{p2} \cdot T_2 - G_h \cdot C_{p3} \cdot T_3, \text{ [kJ/s]}$$

Với G_h là lưu lượng hơi, C_p là nhiệt dung riêng đẳng áp, T là nhiệt độ.

$$\text{Vậy } Q_h = G_h \cdot r + (G_h \cdot C_{p2} \cdot T_2 - G_h \cdot C_{p3} \cdot T_3) \quad (3)$$

Nhiệt lượng nước giải nhiệt nhận được, được xác định theo phương trình (4)

$$Q_n = G_n \cdot C_{pa} \cdot (T_b - T_a) \quad (4)$$

Trong đó:

+ G_n là lưu lượng nước giải nhiệt, [kg/s]

+ C_{pa} là nhiệt dung riêng đẳng áp của nước giải nhiệt, [kJ/Kg.K]

Phương trình truyền nhiệt của thiết bị.

$$Q = k \cdot F \cdot \overline{\Delta t} \quad (5)$$

Trong đó: Q : Công suất nhiệt, [W].

k : Hệ số truyền nhiệt, [W/m².K].

F : Diện tích truyền nhiệt, [m²].

—

Δt : Độ chênh nhiệt độ trung bình logarit, được xác định theo Hình 3.

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} \quad (6)$$

$$\text{Trong đó: } \Delta T_{\max} = T_1 - T_b$$

$$\Delta T_{\min} = T_3 - T_a$$

Vậy hệ số truyền nhiệt

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} \quad (7)$$

Quá trình thực nghiệm được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ trung bình nước giải nhiệt là 29,5[°C] với lưu lượng là 1,03[g/s], hơi bão hòa khô đi vào thiết bị có lưu lượng thay đổi trong khoảng từ 0,01[g/s] đến 0,07[g/s].

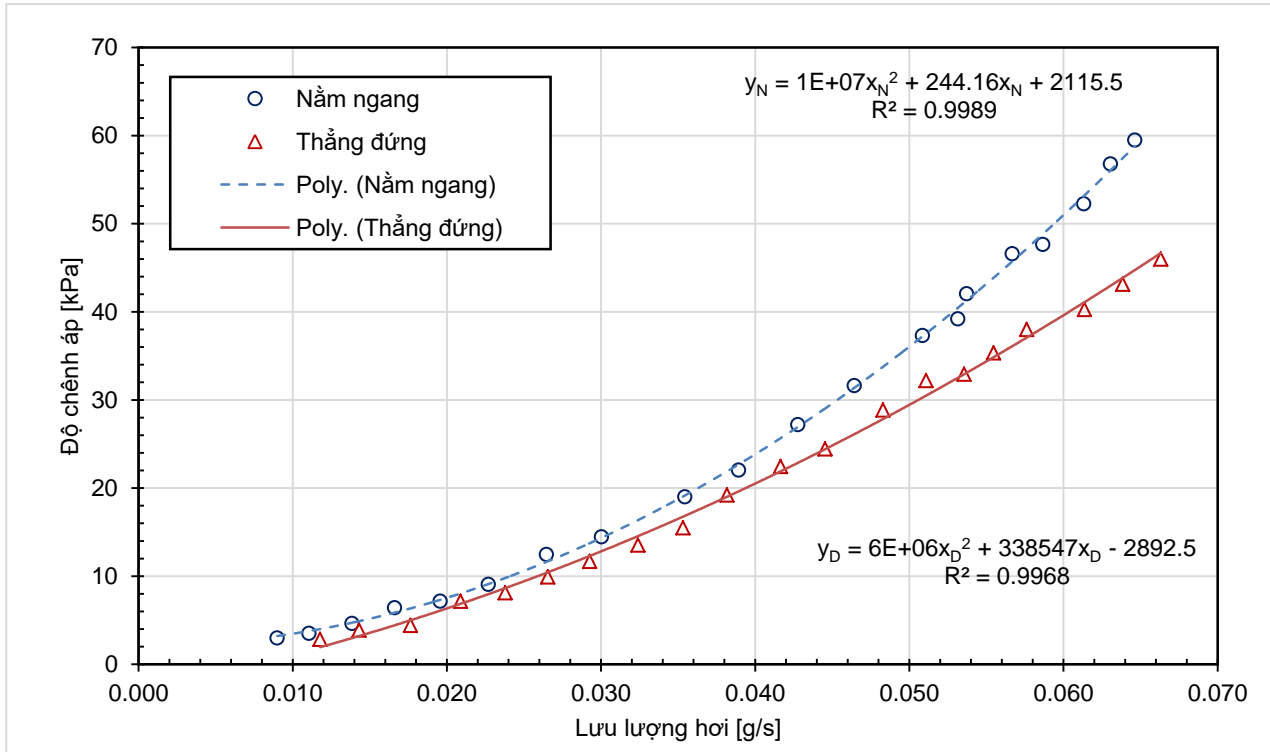
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sự ảnh hưởng của lực trọng trường đến hiệu quả truyền nhiệt của quá trình ngưng tụ trong thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro được thể hiện rõ rệt thông qua hai trường hợp cụ thể là khi kênh micro nằm ngang và thẳng đứng. Kết quả của sự ảnh hưởng này được thể hiện thông qua các mối quan hệ như sau:

3.1. Độ chênh áp của thiết bị

Độ chênh áp tại đầu vào và đầu ra của thiết bị về phía dòng lưu chất nóng trong cả hai trường hợp kênh micro nằm ngang và thẳng đứng trong điều kiện khi lưu lượng hơi

vào thay đổi trong khoảng 0,01[g/s] đến 0,07[g/s] và điều kiện môi trường không đổi như trên kết quả của sự ảnh hưởng này được thể hiện như Hình 4.



Hình 4. Mối quan hệ giữa độ chênh áp và lưu lượng hơi.

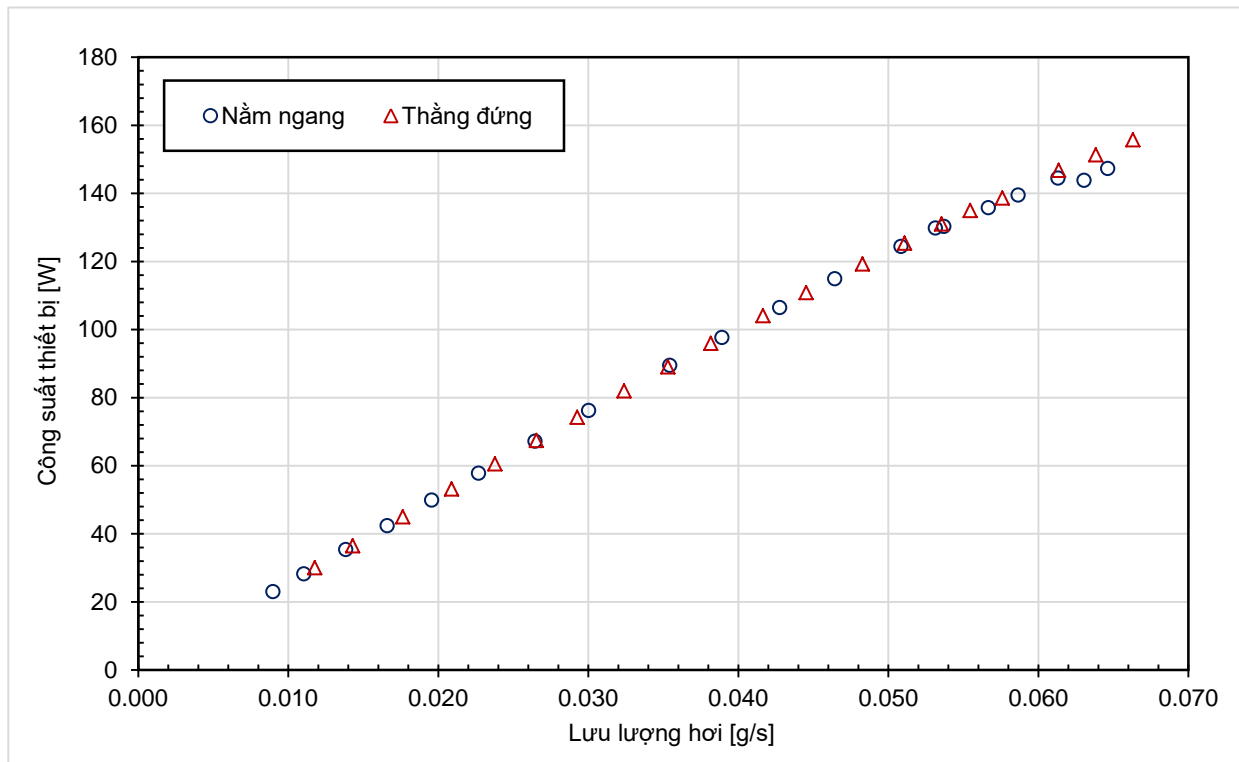
Từ mối quan hệ về sự phụ thuộc của lưu lượng hơi tại đầu vào đến độ chênh áp của thiết bị (Hình 4) đã chỉ ra độ chênh áp còn phụ thuộc vào sự bố trí kênh micro, sự phụ thuộc này càng lớn khi lưu lượng hơi đầu vào càng tăng, giá trị khác biệt lớn nhất này được xác định là 15000[Pa] tại lưu lượng hơi đặt 0,065[kg/s]. Nói cách khác với thiết bị ngưng tụ kênh micro được thiết kế là 150[W] thì khi thay đổi từ nằm ngang sang thẳng đứng độ chênh áp sẽ giảm thêm 15000[Pa]. Điều này thực sự có ý nghĩa rất lớn bởi khi cùng một giá trị công suất nhiệt nhưng độ chênh áp của thiết bị càng thấp thì công cấp sẽ giảm đáng kể.

3.2. Công suất và chỉ số hoàn thiện

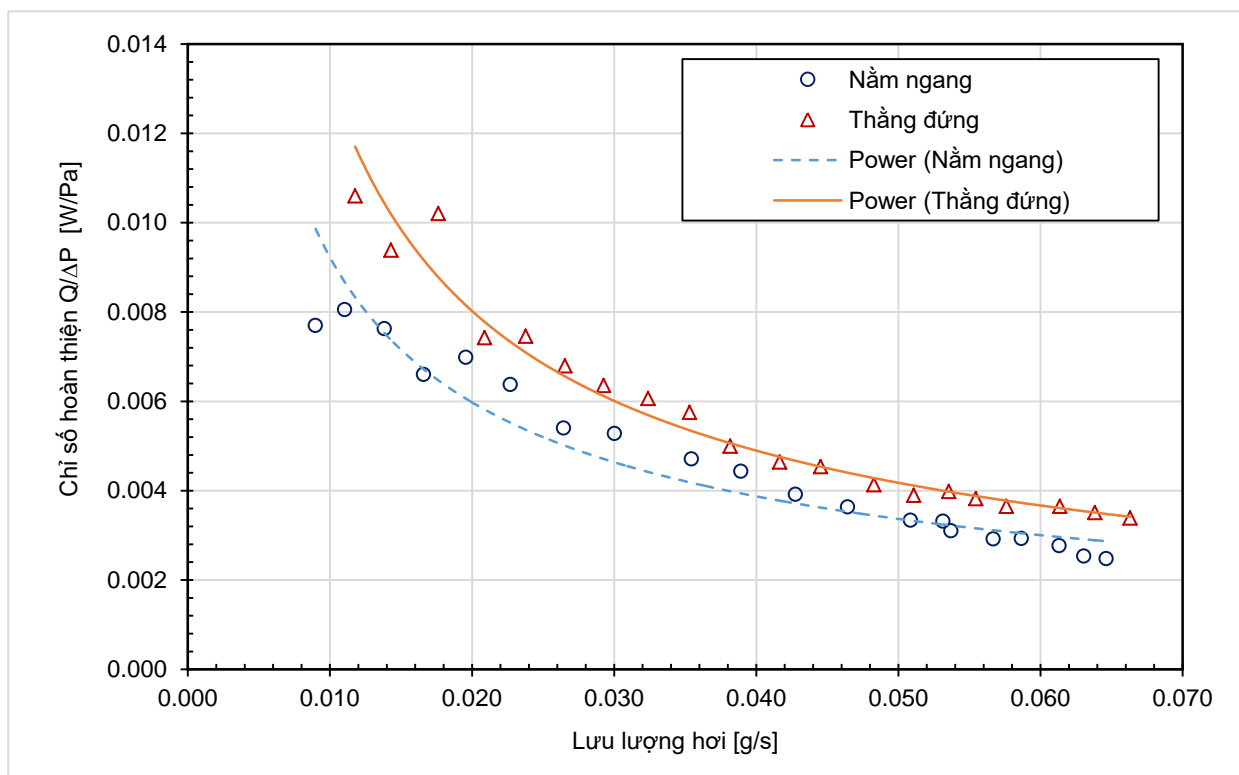
Công suất nhiệt của thiết bị được xác định bởi lưu lượng hơi vào trong một đơn vị thời gian với độ chênh enthalpy tại đầu vào

và đầu ra của lưu chất nóng và được xác định như công thức (3) và kết quả của 2 trường hợp kênh micro nằm ngang và thẳng đứng được thể hiện trong Hình 5a.

Chỉ số hoàn thiện được xác định bởi tỉ số giữa công suất nhiệt và độ chênh áp của thiết bị. Đây là tiêu chí quan trọng để đánh giá hiệu quả của một thiết bị trao đổi nhiệt như đã trình bày ở trên. Kết quả mối quan hệ giữa chỉ số hoàn thiện với lưu lượng hơi chịu sự ảnh hưởng của lực trọng trường được thể hiện trong Hình 5b. Mối quan hệ này cho thấy trường hợp kênh micro đặt thẳng đứng luôn có chỉ số hoàn thiện cao hơn so với trường hợp kênh micro đặt nằm ngang và tại giá trị công suất lớn nhất của thiết bị trong điều kiện thí nghiệm này thì sự khác biệt được xác định là 0,01 [W/Pa].



(a) Công suất thiết bị



(b) Chỉ số hoàn thiện

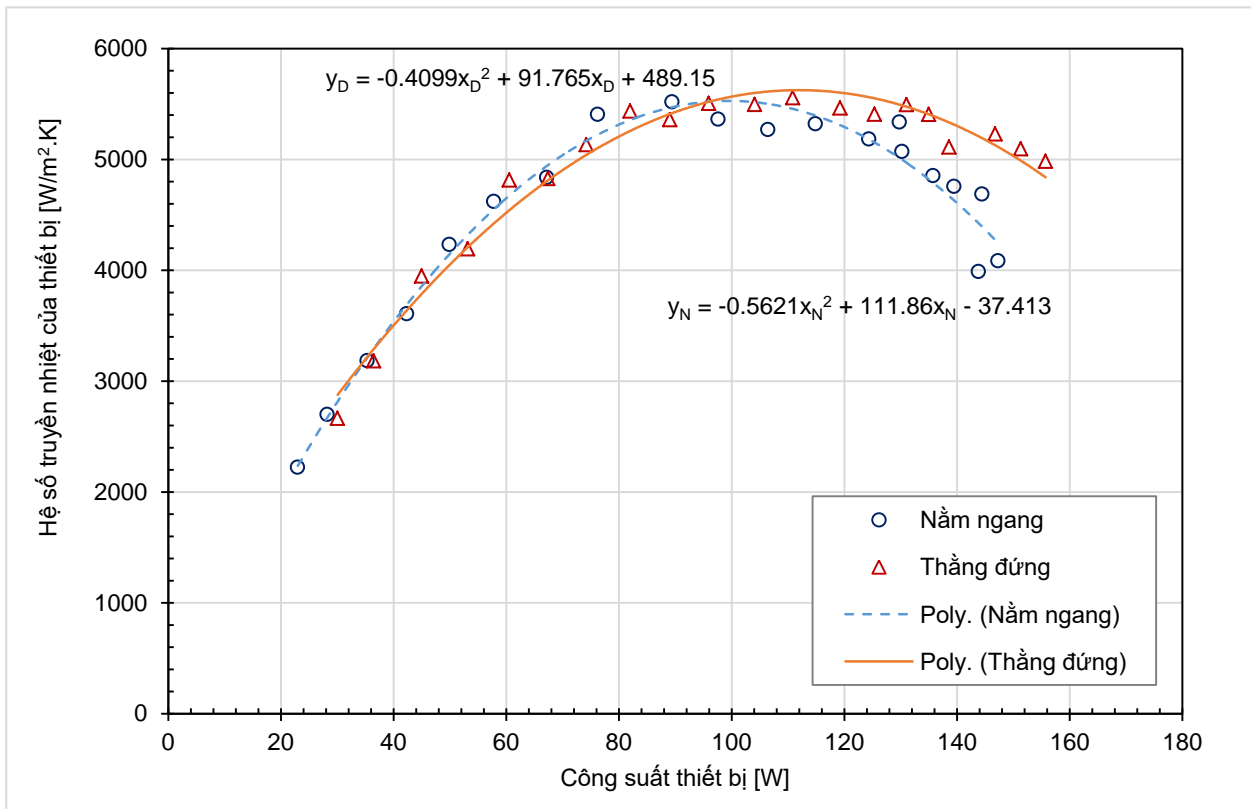
Hình 5. Công suất và chỉ số hoàn thiện của thiết bị trong điều kiện lưu lượng nước giải nhiệt là 1,03 [g/s]

3.3. Hệ số truyền nhiệt của thiết bị

Hệ số truyền nhiệt là đại lượng đặc trưng cho hiệu quả truyền nhiệt và được xác định theo công thức (7). Kết quả hệ số truyền nhiệt của thiết bị trong 2 trường hợp kênh micro nằm ngang và thẳng đứng được trình bày như hình 6.

Từ công thức (7) ta thấy rằng hệ số truyền nhiệt là hàm đồng biến với công suất thiết bị khi diện tích trao đổi nhiệt được xác định. Kết quả thực nghiệm được trình bày trong Hình 6 hoàn toàn thống nhất với lý luận này và không chịu sự ảnh hưởng bởi lực

trọng trường trong phạm vi công suất nhiệt của thiết bị đạt từ 20[W] đến 100[W]. Tuy nhiên khi công suất thiết bị càng lớn hơn 100[W] nghĩa là lúc này lưu lượng hơi vào tăng, hệ số truyền nhiệt có xu hướng giảm và càng chịu sự ảnh hưởng rõ rệt của lực trọng trường. Cụ thể khi kênh micro thẳng đứng có hệ số truyền nhiệt lớn hơn so với trường hợp kênh micro nằm ngang. Đồng thời hệ số truyền nhiệt giảm được lý giải bởi độ chênh nhiệt độ trung bình logarit tăng nhanh do lưu lượng hơi vào tăng. Giá trị hệ số truyền nhiệt lớn nhất trong cả hai trường hợp này được xác định là 5556[W/m².K].



Hình 6. Hệ số truyền nhiệt

4. KẾT LUẬN

Sự ảnh hưởng của lực trọng trường đến hiệu quả quá trình ngưng tụ được thực hiện trong hai trường hợp khi kênh micro đặt nằm ngang và thẳng đứng, trong điều kiện nhiệt độ trung bình nước giải nhiệt 29,5[°C], lưu lượng là 1,03[g/s] với phạm vi công suất nhiệt của thiết bị 150[W]. Từ các kết quả thu được đã chỉ ra một số kết luận như sau:

Độ chênh áp của thiết bị ngưng tụ trong trường hợp kênh micro thẳng đứng luôn thấp hơn so với trường hợp nằm ngang. Trong nghiên cứu này, chênh lệch tổn thất áp suất của hai trường hợp này là 15000[Pa]. Cũng chính vì độ chênh áp thấp hơn này dẫn đến chỉ số hoàn thiện của thiết bị kênh micro thẳng đứng luôn có giá trị lớn hơn trong cùng điều kiện.

Hệ số truyền nhiệt cũng chịu sự ảnh hưởng bởi lực trọng trường, do hiệu quả truyền nhiệt của quá trình ngưng trong trường hợp kênh micro đặt thẳng đứng tốt hơn so với nằm ngang dẫn đến độ chênh nhiệt độ trung bình logarit tăng nhanh. Sự khác biệt này càng rõ rệt khi công suất thiết bị càng lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Xiaoguang Fan, Xuehu Ma, Lei Yang, Zhong Lan, Tingting Hao, Rui Jiang, Tao Bai, Experimental study on two-phase flow pressure drop during steam condensation in trapezoidal microchannels, *Experimental Thermal and Fluid Science* (2016).
- [2] Rui Jiang, Xuehu Ma, Zhong Lan, Yuxiao Bai, Tao Bai, Visualization study of condensation of ethanol–water mixtures in trapezoidal microchannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* (2015).
- [3] H. El Mghari, H. Louahlia-Gualous, Experimental and numerical investigations of local condensation heat transfer in a single square microchannel under variable heat flux, *International Communications in Heat and Mass Transfer* (2016).
- [4] Brian M. Fronk, Srinivas Garimella, Heat transfer and pressure drop during condensation of ammonia in microchannels, *Proceedings of the ASME 2012 3rd Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference MNHMT* (2012).
- [5] Jaehyeok Heo, Hanvit Park, Rin Yun, Condensation heat transfer and pressure drop characteristics of CO₂ in a microchannel, *International Journal of Refrigeration* (2013).
- [6] Liang Xia, Yue Chan, Investigation of the enhancement effect of heat transfer using micro channel, *The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015*
- [7] Thanhtrung Dang, Ngoctan Tran, Jyh tong-Teng, Numerical and Experimental investigations for effect of gravity to the heat transfer and fluid flow phenomena of microchannel heat exchangers, *Applied International Journal of Computational Engineering / ISSN: 2250-3005*
- [8] Xiang-fei Yu, Chun-ping Zhang, Jyh-tong Teng, Su-yi Huang, Shi-ping Jin, Yi-fu Lian, Ching-hung Cheng, Ting-ting Xu, Jiann-Cherng Chu, Yaw-Jen Chang, Thanhtrung Dang, Ralph Greif, A study on the hydraulic and thermal characteristics in fractal tree-like microchannels by numerical and experimental methods, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55 (2012) 7499-7507
- [9] M. Fossa, A simple model to evaluate direct contact heat transfer and flow characteristics in annular two-phase flow, *Heat and Fluid Flow* 16: 272-279, 1995
- [10] Kong Ling, Gihun Son, Dong-Liang Sun, Wen-Quan Tao, Three dimensional numerical simulation on bubble growth and merger in microchannel boiling flow, *International Journal of Thermal Science* 98(2015) 135-147
- [11]Minhhung Doan, Thanhtrung Dang, An experimental investigation on condensation in horizontal microchannels, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science*, Vol-2, Issue-2, March-April, 2016, 99-106.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Đoàn Minh Hùng

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

Email: hungdm@hcmute.edu.vn.