

TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ & tên NCS : Đoàn Minh Hùng MSNCS: 1424002
Thuộc chuyên ngành : Kỹ thuật cơ khí Khoá: 2014-2017
Tên luận án : Nghiên cứu đặc tính truyền nhiệt của quá trình ngưng tụ trong bộ trao đổi nhiệt kênh micro
Người hướng dẫn chính : PGS.TS. Đặng Thành Trung
Người hướng dẫn phụ : GS.TS. Jyh-tong Teng

Tóm tắt những đóng góp mới về lý luận và học thuật của luận án:

Trong luận án này, các đặc tính truyền nhiệt của quá trình ngưng tụ trong các bộ trao đổi nhiệt kênh micro và ống micro đã được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng số và thực nghiệm. Dựa vào các nghiên cứu trước, hai thiết bị ngưng tụ kênh micro W150 và W200 có công suất nhiệt tương ứng 150 W và 200 W đã được tính toán thiết kế. Căn cứ vào các thông số tính toán thiết kế cho 2 mẫu trên, chín mẫu khác đã được đề xuất cho mô phỏng số để tìm ra thông số thiết kế tối ưu cho thiết bị ngưng tụ. Từ kết quả thu được bằng mô phỏng số, hai mẫu L32 và L52 được đề xuất cho chế tạo và thực nghiệm kiểm chứng. Để so sánh đặc tính truyền nhiệt của dòng một pha và hai pha trên cùng một thiết bị, hai mẫu L32/1 và L32/2 đã được đưa vào thực nghiệm. Các kết quả mô phỏng số và thực nghiệm về đặc tính truyền nhiệt của quá trình ngưng tụ trong kênh micro được thể hiện như sau:

Các kết quả mô phỏng số:

Để nghiên cứu **ảnh hưởng của ống góp đến quá trình ngưng hơi**, ba mẫu W150-A/B/C (dựa trên W150) và ba mẫu W200-A/B/C (dựa trên W200) đã được đưa vào để mô phỏng số sử dụng phần mềm COMSOL Multiphysics, phiên bản 5.2a. Trong cùng điều kiện mô phỏng số, Mẫu W150-A và Mẫu W200-A có bề rộng ống góp 2,5 mm đều cho kết quả tối ưu nhất về mặt truyền nhiệt và chuyển pha tương ứng với khoảng chiều dài kênh micro lần lượt là 32 mm và 52 mm.

Với các kết quả mô phỏng số về **ảnh hưởng thông số hơi đến quá trình ngưng tụ** trong các mẫu kênh micro trong nghiên cứu này, nhiệt độ hơi vào thiết bị trong phạm vi từ 101 đến 108 °C (ứng với lưu lượng hơi lớn nhất 0,08 g/s và lưu lượng nước giải nhiệt lớn nhất 3,244 g/s) thì quá trình ngưng tụ mới có thể xảy ra.

Các kết quả mô phỏng số thể hiện **biên dạng chuyển pha từ hơi sang lỏng** trong thiết bị ngưng tụ kênh micro. Thêm vào đó, một sự so sánh bởi phương pháp số cho thiết bị ngưng tụ kênh micro giữa hai trường hợp đặt thẳng đứng và nằm ngang cũng được thực hiện. Các kết quả thể hiện biên dạng ngưng không bị ảnh hưởng nhiều bởi lực trọng trường.

Để nghiên cứu **ảnh hưởng của hình dáng kênh micro** đến sự ngưng tụ của hơi nước, ba thiết bị ngưng tụ kênh micro W200-D1/2/3 với các hình dáng kênh khác nhau đã được đưa vào mô phỏng. Trong ba thiết bị ngưng tụ, thiết bị ngưng tụ W200-D1 có hiệu suất ngưng tụ và khả năng gia công cao nhất. Tuy nhiên, sự khác biệt về hiệu quả ngưng tụ của ba thiết bị này là không đáng kể. Các kết quả mô phỏng số này cũng đã được kiểm chứng bởi thực nghiệm và với các nghiên cứu liên quan. Sự so sánh cho thấy các kết quả mô phỏng phù hợp với thực nghiệm với sai số cực đại nhỏ hơn 8%.

Các kết quả thực nghiệm:

Trong phần thực nghiệm, bốn thiết bị ngưng tụ kênh micro (L32, L52, L32/1 và L32/2) đã được đưa vào nghiên cứu. Trong đó mẫu L32 và mẫu L52 được chế tạo dựa trên các kết quả mô phỏng của 11 mẫu mô phỏng trên (W150-A/B/C và W200-A/B/C/D1/D2/D3).

Với **thiết bị ngưng tụ kênh micro L32** đặt nằm ngang, khi lưu lượng hơi tăng từ 0,01 g/s đến 0,06 g/s, tổn thất áp suất tăng tương ứng từ 1,5 kPa đến 50 kPa. Trong khi đó, lưu lượng hơi trong mẫu đặt thẳng đứng tăng 0,01 g/s đến 0,06 g/s, tổn thất áp suất tăng tương ứng từ 2,0 kPa đến 44 kPa. Các kết quả này thu được ở điều kiện hơi nước vào có nhiệt độ 106,5 °C và nước giải nhiệt có lưu lượng 3,244 g/s và nhiệt độ đầu vào khoảng 30,8 °C. Đây là sự khác biệt giữa lưu chất một pha và lưu chất hai pha trong các bộ trao đổi nhiệt kênh micro. Công suất nhiệt tăng từ 20 đến 140 W

khi tăng lưu lượng hơi từ 0,01 g/s đến 0,06 g/s cho cả hai trường hợp nằm ngang và thẳng đứng. Các kết quả về công suất nhiệt tương đồng với các kết quả thu được từ dòng lưu chất một pha: ảnh hưởng của lực trọng trường lên công suất của thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro nhỏ không đáng kể. Khi tăng lưu lượng hơi từ 0,01 g/s đến 0,06 g/s, chỉ số hoàn thiện cho trường hợp nằm ngang giảm từ 0,0141 đến 0,0029 W/Pa; chỉ số hoàn thiện cho trường hợp đứng giảm từ 0,0145 đến 0,0025 W/Pa. Trong nghiên cứu này, hệ số truyền nhiệt cao nhất ($6925 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) của thiết bị ngưng tụ L32 đã thu được ở độ chênh nhiệt độ trung bình logarit 35,7 K.

Một nghiên cứu thực nghiệm đã được thực hiện cho **thiết bị ngưng tụ L52** trong trường hợp đặt thẳng đứng và nằm ngang để đánh giá hiệu suất. Công suất nhiệt cực đại thu được cho thiết bị ngưng tụ này là 180 W. Tồn thất nhiệt cho cả hai trường hợp là 20 W. Tại lưu lượng nước 1,028 g/s, hệ số truyền nhiệt của thiết bị ngưng tụ tăng từ 1704 đến $5200 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ với việc tăng lưu lượng hơi từ 0,008993 đến 0,038923 g/s. Tuy nhiên, hệ số truyền nhiệt giảm khi lưu lượng hơi tăng từ 0,042767 đến 0,067150 g/s. Các phương trình xác định hệ số truyền nhiệt và tổn thất áp suất cũng đã đưa ra.

Trong điều kiện nhiệt độ hơi đầu vào duy trì ở $100,3^\circ\text{C}$ đến $101,9^\circ\text{C}$ và lượng nước giải nhiệt 0,47 g/s thì tổn thất áp suất thu được từ thiết bị ngưng tụ kênh micro L32 thấp hơn giá trị thu được từ thiết bị ngưng tụ kênh micro L52: tại lưu lượng hơi 0,0264 g/s, tổn thất áp suất của L32 là 1257 Pa trong khi tổn thất áp suất của L52 là 6105 Pa. Thêm vào đó, trong phạm vi nghiên cứu, chỉ số hoàn thiện giảm khi tăng lưu lượng hơi. Với thiết bị ngưng tụ L32, chỉ số hoàn thiện giảm từ 0,053 đến 0,038 khi tăng lưu lượng hơi từ 0,0264 g/s đến 0,0314 g/s.

Thực nghiệm cho hai thiết bị ngưng tụ L32/1 và L32/2 có đường kính tương đương tương ứng 375 μm và 265 μm đã được thực hiện để nghiên cứu quá trình truyền nhiệt ngưng. Cho thiết bị ngưng tụ L32/1, công suất nhiệt 272,9 W đã đạt được cho phía hơi có nhiệt độ 101°C và lưu lượng 0,123 g/s và cho phía nước giải nhiệt có nhiệt độ đầu vào 32°C và lưu lượng nước 3,1133 g/s. Nhiệt lượng trong quá trình ngưng tụ cao hơn so với dòng một pha khi cùng các kích thước của thiết bị ngưng tụ. Trong nghiên cứu này, nhiệt lượng thu được từ sơ đồ ngược chiều luôn cao hơn sơ đồ cùng chiều: giá trị thu được từ sơ đồ ngược chiều gấp 1,04 đến 1,05 lần so với sơ đồ cùng chiều. Các kết quả về sơ đồ dòng chảy cho dòng hai pha phù hợp với các kết quả cho dòng một pha; tuy nhiên, ảnh hưởng của sơ đồ dòng chảy trong dòng hai pha ít hơn so với dòng chảy một pha.

Những đóng góp mới

Các kết quả mô phỏng số của quá trình ngưng tụ cho 10 kênh micro trên toàn thiết bị với mô hình 3D là những kết quả mới, rất ít công bố đạt trên mức mô phỏng này. Để mô phỏng số được mô hình này, những phương trình toán học, kỹ thuật phân lưới và chọn lời giải đã được tìm ra phù hợp cho mô hình nghiên cứu. Nó là cơ sở để các nghiên cứu kế tiếp tham khảo nhằm phát triển xa hơn trong lĩnh vực mô phỏng số.

Bên cạnh đó, những kết quả so sánh giữa truyền nhiệt một pha và hai pha trong các thiết bị trao đổi nhiệt kênh micro trong cùng điều kiện cũng đã được đưa ra. Thêm vào đó, các kết quả thực nghiệm như trường nhiệt độ, công suất nhiệt/mật độ dòng nhiệt, hệ số truyền nhiệt tổng, độ giảm áp suất trong quá trình ngưng tụ kênh micro là những dữ liệu quý bổ sung thêm trong lĩnh vực tính toán thiết kế các thiết bị ngưng tụ kênh micro.

Những dữ liệu khoa học trong luận án này đã công bố trên các tạp chí khoa học uy tín, nó sẽ là nền tảng cho việc phát triển các thiết bị ngưng tụ có công suất lớn hay các lưu chất khác trong công nghiệp như là các môi chất lạnh, chất tải lạnh,...

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 18 tháng 5 năm 2021

Nghiên cứu sinh

Đoàn Minh Hùng

PhD candidate : Minhhung Doan Fellows code: 1424002
Major : Mechanical Engineering Major code: 62520103
Dissertation title : Study on the heat transfer phenomena of the condensation process in microchannel heat exchangers
Supervisor one : Assoc. Prof. Dr. Thanhtrung Dang
Supervisor two : Prof. Dr. Jyh-tong Teng

The heat transfer phenomena of the condensation process in microchannel heat exchangers have been investigated by numerical and experimental methods. Based on previous studies, two microchannel condensers W150 and W200 with their thermal capacities of 150 W and 200 W were calculated. Based on the design calculation parameters for the two above models, 9 other models were proposed for numerical simulation to find the optimal design parameters for the condensers. From the results obtained by numerical simulation, two models L32 and L52 were proposed for fabrication and experiment. To compare the heat transfer behaviors of the single phase flow and the two-phase flow on the same device, two models L32/1 and L32/2 were experimented. The results of numerical simulation and experimental data are shown as follows:

To study ***the effect of the manifold on condensation***, three models W150-A/B/C (based on W150) and three models W200-A/B/C (based on W200) were included for numerical simulation using the COMSOL Multiphysics software, version 5.2a. Under the same conditions of numerical simulation, W150-A and W200-A (with the manifold width of 2.5 mm) gives the most optimal results in terms of heat transfer and phase change corresponding to the microchannel length of 32 mm and 52 mm, respectively.

With the numerical results on ***the effect of steam parameters on the condensation process*** in microchannel samples in this study, the inlet temperature of steam is from 101 to 108 °C (corresponding to the maximum steam flow rate of 0.08 g/s and the maximum water flow rate of 3.244 g/s) will condense from vapor to liquid.

The numerical results show **the profile of phase change from vapor to liquid** in the microchannel condenser. In addition, a numerical comparison of microchannels between two cases for horizontal and vertical directions has presented also. The results showed that the condensation profile is not strongly affected the gravitational force.

To investigate ***the effect of microchannel shape on steam condensation***, three microchannel condensers W200-D1/2/3 with different channel shapes were simulated. With these three condensers in this study, the condenser W200-D1 is the best for condensation efficiency and fabrication. However, the difference on condensation efficiency of three condensers is not strong. The numerical results in this study were compared with the experimental results and the results obtained from literature reviews. The comparison indicated that the numerical results are in good agreement with the experimental results, with the maximum percentage error to be less than 8%.

In the experimental section, four microchannel condensers (L32, L52, L32/1 and L32/2) were investigated. In this study, the condenser L32 and the condenser L52 were fabricated based on the numerical results of the 11 models above (W150-A/B/C and W200-A/B/C/D1/D2/D3).

With the horizontal microchannel condenser L32, as mass flow rate of steam is increasing from 0.01 g/s to 0.06 g/s, the pressure drop increases from 1.5 kPa to 50 kPa, respectively. While, the mass flow rate of steam in the vertical microchannel condenser is increasing from 0.01 g/s to 0.06 g/s, the pressure drop increases from 2.0 kPa to 44 kPa, respectively. These results were obtained under conditions where the steam input temperature is 106.5 °C and the cooling water flow rate is 3.244 g/s and the water input temperature is about 30.8 °C. This is the difference between the single-phase fluid and the two-phase fluid in microchannel heat exchangers. The capacity is

increasing from 20 to 140 W as increasing mass flow rate of steam from 0.01 g/s to 0.06 g/s in both of horizontal and vertical cases. The results of the condenser capacity are similar to those obtained from the single-phase flow: the influence of gravity on the capacity of the microchannel heat exchanger is negligible. With increasing mass flow rate of steam from 0.01g/s to 0.06 g/s, the performance index for horizontal microchannel case is decreasing from 0.0141 to 0.0029 W/Pa; the performance index for vertical case, from 0.0145 to 0.0025 W/Pa. In this study, the highest overall heat transfer coefficient (of 6925 W/m²K) of the microchannel condenser is obtained at the log mean temperature difference of 35.7 K.

An experimental study has been done on both vertical and horizontal cases of **the microchannel condenser L52** to evaluate their performance. The maximum capacity of microchannels condenser is 180W. The thermal losses in both cases are 20W. At the water flow rate of 1.028 g/s, heat transfer coefficient of the microchannel condenser increases from 1704 to 5200 W/m²K with rising the mass flow rate of steam from 0.008993 to 0.038923 g/s. However, the heat transfer coefficient decreases, with the mass flow rate of steam rising from 0.042767 to 0.067150 g/s. The relationship equations of the heat transfer coefficient and the pressure drop were found out.

With the inlet steam temperature is maintained at 100.3 °C to 101.9 °C and the cooling water rate is 0.47 g/s, the pressure drop obtained from the microchannel condenser L32 is lower than that obtained from the microchannel condenser L52: at mass flow rate of 0.0264 g/s, the pressure drop of L32 is 1,257 Pa while the pressure drop of L52 is 6,105 Pa. In addition, the performance index decreases as rising mass flow rate of steam. With the microchannel condenser L32, the performance index is decreasing from 0.053 to 0.038 as varying mass flow rate of steam from 0.0264 g/s to 0.0314 g/s.

Experimental work was done for **the two microchannel condensers L32/1 and L32/2** with rectangular channels having hydraulic diameters of 375 µm and 265 µm to investigate the condensation heat transfer. For the microchannel condenser L32/1, the capacity of 272.9 W was achieved for the vapor having the inlet temperature of 101 °C and the mass flow rate of 0.123 g/s and for the cooling water having the inlet temperature of 32°C and mass flow rate of 3.1133 g/s. The heat transfer rate of condensation is higher than that of the single phase flow with the same dimensions of a heat exchanger. In this study the heat transfer rate obtained from the counter flow arrangement is always higher than that obtained from the parallel one: the value obtained from the counter flow arrangement is 1.04 to 1.05 times of that obtained from the parallel flow. The results for two phases are in good agreement with the results for single phase; however, it is shown that the effect of flow arrangement in two phases is not stronger than single phase.

New contributions

The numerical results for 3D two-phase heat transfer process in microchannel condensers are new results and they are difficult to accomplish. To simulate these models numerically, the mathematical equations, meshing techniques and selecting solutions were found to be suitable. It is the basis to refer for further development in the field of numerical simulation.

Besides, comparative results between single-phase and two-phase heat transfer in microchannel heat exchangers under the same conditions have also been given. In addition, experimental results such as temperature profile, heat transfer rate, heat flux, overall heat transfer coefficient, pressure drop for microchannel condensation are valuable data for calculating and designing microchannel condensers.

The scientific data in this dissertation have been published in prestigious scientific journals; they will be the foundation for the development of condensers with high capacity or other industrial fluids such as refrigerants, second refrigerants, etc.

HCMC, 18/05/2021

PhD candidate

Minh Hung Doan