

TĂNG CƯỜNG HIỆU QUẢ TRUYỀN NHIỆT CỦA ỐNG NHIỆT SỬ DỤNG MÔI CHẤT NANO

ENHANCING THE HEAT TRANSFER EFFICIENCY OF HEAT PIPE USING NANOFLUID

Bùi Mạnh Tú^{1*}, Đặng Văn Bính²

TÓM TẮT

Ống nhiệt là thiết bị trao đổi nhiệt đặc biệt, có thể chuyển lượng nhiệt lớn dựa trên nguyên lý chuyển pha của môi chất. Ống nhiệt được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng khác nhau để giải nhiệt và kiểm soát nhiệt độ do có các ưu điểm như: chi phí vận hành và bảo dưỡng thấp, độ chính xác cao, tuổi thọ làm việc cao, an toàn với môi trường. Việc tăng cường hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt luôn được quan tâm, sử dụng môi chất có bổ sung nano là một giải pháp hiệu quả. Bài báo này trình bày khả năng tăng cường hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt sử dụng môi chất nano.

Từ khóa: Ống nhiệt, hiệu quả truyền nhiệt, môi chất nano.

ABSTRACT

Heat pipe is a special type of heat exchanger that transfers large amount of heat due to the effect of phase change heat transfer principle. Heat pipes are widely used in various applications to remove the heat and control temperature due to many advantages such as least operating and maintenance cost, accuracy, long service life and environmentally safe. Enhancing the heat transfer efficiency of the heat pipe has received increasing interests, using nanofluid is an effective solution. This paper presents enhancing the heat transfer efficiency of heat pipe using nanofluid.

Keywords: Heat pipe, heat transfer efficiency, nanofluid.

¹Trường Đại học Điện lực

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tubm@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/12/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/01/2018

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2018

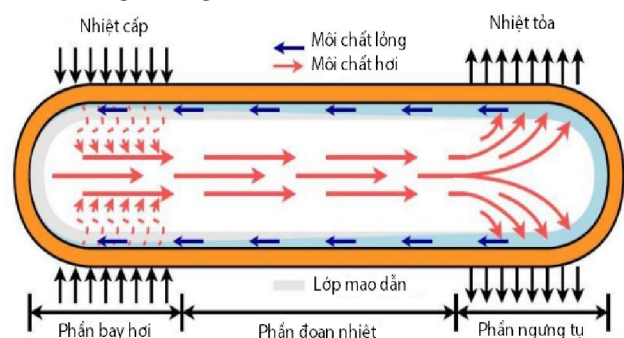
1. GIỚI THIỆU

1.1. Ống nhiệt

Ống nhiệt là thiết bị truyền nhiệt có hiệu quả cao, được ứng dụng rộng rãi và đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực. Ống nhiệt có cấu tạo như hình 1, bao gồm ba phần: phần ngưng tụ, phần đoạn nhiệt và phần bay hơi.

Phần bay hơi của ống nhiệt sẽ nhận nhiệt từ nguồn nóng làm bay hơi môi chất trong ống nhiệt. Hơi môi chất chuyển động qua phần đoạn nhiệt đến phần ngưng tụ, hơi môi chất nhả nhiệt nguồn lạnh phía bên ngoài và ngưng tụ.

Môi chất ngưng tụ sẽ quay lại phần bay hơi của ống nhiệt nhờ lực trọng trường, lực mao dẫn,... [1].



Hình 1. Cấu tạo của ống nhiệt

Thông thường, môi chất sử dụng phổ biến trong ống nhiệt là nước, axeton, methanol, NH₃,... Môi chất trong ống nhiệt hoạt động theo chu trình tuần hoàn khép kín, hiệu quả truyền nhiệt cao, hoạt động ổn định, khoảng cách truyền nhiệt tương đối xa với sự chênh lệch nhiệt độ giữa phần bay hơi và phần ngưng tụ tương đối nhỏ.

Ống nhiệt được sử dụng rộng rãi trong làm mát thiết bị điện tử, thiết bị thu hồi nhiệt, thiết bị thu nhiệt năng lượng mặt trời, thiết bị tích trữ năng lượng,...

Hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố sau: (1) loại ống nhiệt; (2) vật liệu làm ống nhiệt; (3) hướng của ống nhiệt (độ nghiêng); (4) Cấu trúc bên trong của ống nhiệt; (5) Các thông số của cấu trúc bên trong ống nhiệt;...

1.2. Môi chất nano lỏng

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, điện tử,... các thiết bị, linh kiện điện, điện tử, chip máy tính ngày càng được thu nhỏ về kích thước, tăng cường tốc độ xử lý, hiệu suất làm việc cao. Trong quá trình hoạt động, các thiết bị này cũng tỏa ra lượng nhiệt lớn hơn, khả năng làm mát thiết bị cũng khó khăn hơn. Nếu không xử lý kịp thời, các thiết bị sẽ bị hỏng, giảm tuổi thọ và hiệu quả làm việc. Vì vậy, yêu cầu các thiết bị làm mát, giải nhiệt phải hoạt động tốt hơn, hiệu quả hơn. Môi chất nano lỏng được sử dụng thay thế môi chất thông thường để tăng cường khả năng, hiệu quả giải nhiệt của ống nhiệt cho các thiết bị.

Nano lỏng được ứng dụng trong các lĩnh vực:

- Dược phẩm và sinh học;
- Truyền nhiệt;
- Công nghệ hóa học;
- Giảm ô nhiễm môi trường;
- Tạo lớp phủ nano, chất hoạt động bề mặt;
- Ma sát, bôi trơn và mài mòn (tribology);...

Nano lỏng là hỗn hợp các hạt có kích thước nano hay gọi là hạt nano (có kích thước nhỏ hơn 100nm) và chất lỏng cơ bản. Các loại hạt nano sử dụng phổ biến là: (1) kim loại nguyên chất (Cu, Ag, Fe, Au); (2) oxit kim loại (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄); (3) cacbua (SiC, TiC); (4) nitrit (AlN, SiN); (5) các loại thu hình khác của cacbon (kim cương, than chì,...). Các chất lỏng cơ bản như: nước, etylen glycol, dầu động cơ,...

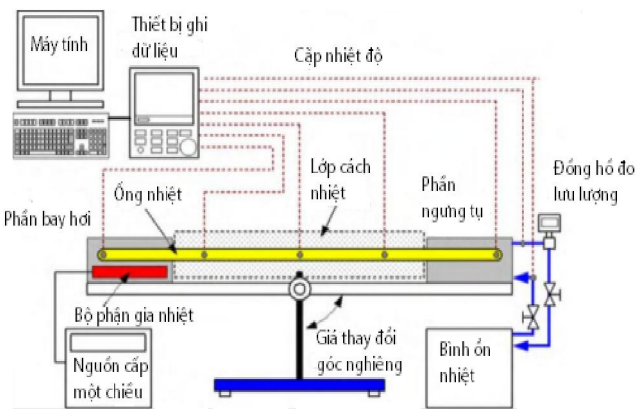
Các hạt nano có kích thước từ 1 ÷ 100nm có dạng hình cầu, hình trụ,... được hòa trộn với chất lỏng cơ bản theo các tỷ lệ khác nhau. Do đó, việc tăng hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố: (1) loại hạt nano; (2) chất lỏng cơ bản; (3) kích thước hạt nano; (4) hình dạng hạt nano; (5) nồng độ hạt nano trong chất lỏng cơ bản,...

Các nhà nghiên cứu bắt đầu ứng dụng công nghệ vật liệu nano vào truyền nhiệt và đạt được những kết quả có ý nghĩa trong tăng cường hiệu quả truyền nhiệt. Năm 1995, Choi [2] lần đầu tiên đề xuất khái niệm "chất lỏng nano", là chất lỏng với một số loại hạt nano lơ lửng trong chất lỏng cơ bản. Việc ứng dụng chất lỏng nano vào ống nhiệt được công bố năm 2003 bởi H.T. Chien và cộng sự [3].

Bài báo này tập trung nghiên cứu đánh giá tăng cường hiệu quả truyền nhiệt khi chất lỏng nano được sử dụng làm môi chất bên trong ống nhiệt so với dùng môi chất thông thường.

2. MÔ HÌNH ĐÁNH GIÁ

Mô hình đánh giá hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt sử dụng môi chất nano lỏng được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Mô hình đánh giá

Ống nhiệt sử dụng môi chất nano được đặt trên giá có thể thay đổi được góc nghiêng [4,5]. Phần bay hơi được cấp nhiệt bởi bộ phận gia nhiệt sử dụng dòng điện một chiều. Phần ngưng tụ được làm mát bằng nước được cung cấp từ bên ngoài có nhiệt độ ổn định. Dọc theo chiều dài của ống

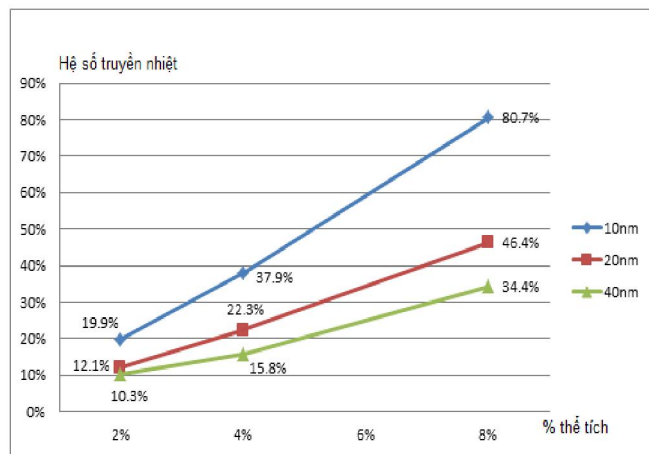
nhiệt có gắn các cặp nhiệt độ để đo nhiệt độ tại các điểm trên ống nhiệt. Các số liệu nhiệt độ sẽ được gửi đến thiết bị ghi dữ liệu và máy tính để phân tích.

Thông qua nhiệt độ đo được, sẽ tính toán, đánh giá được nhiệt trở, hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt. Đây chính là hai thông số quan trọng để tính toán, đánh giá hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt.

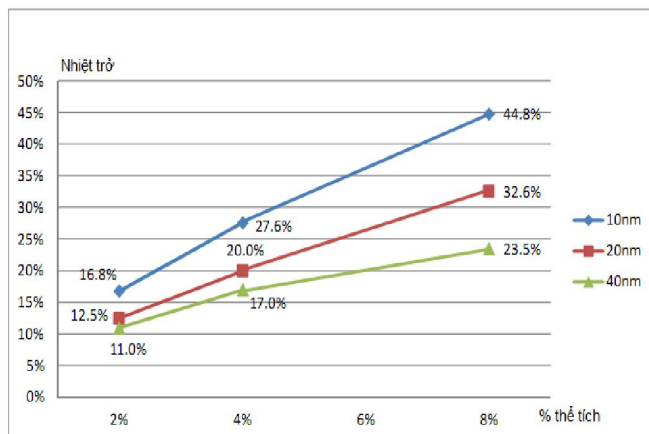
3. HIỆU QUẢ TRUYỀN NHIỆT CỦA ỐNG NHIỆT KHI SỬ DỤNG MÔI CHẤT NANO

Theo [6], trên thế giới có khoảng 78 công trình công bố kết quả nghiên cứu sử dụng môi chất nano cho ống nhiệt, trong đó tập trung chủ yếu vào các môi chất nano lỏng: Al₂O₃ (25 nghiên cứu); CuO (13 nghiên cứu); Ag (9 nghiên cứu); TiO₂ (7 nghiên cứu); còn lại là các nano khác như Cu, ZnO, SiC, Ti, Au, MgO,... Tại Việt Nam, cho đến nay vẫn chưa có công bố nào nghiên cứu về việc sử dụng môi chất nano cho ống nhiệt. Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ trình bày các nghiên cứu đánh giá khả năng tăng cường hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt sử dụng môi chất nano Al₂O₃, CuO, Ag và TiO₂ thông qua hai thông số là nhiệt trở và hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt.

3.1. Môi chất nano Al₂O₃



Hình 3. Độ tăng hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano Al₂O₃/H₂O so với môi chất H₂O

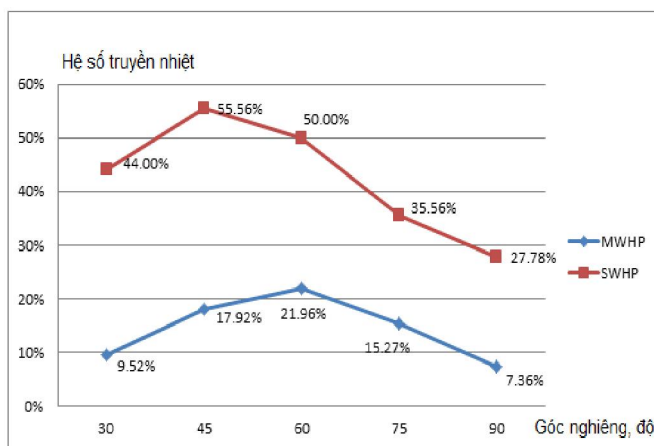


Hình 4. Độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano Al₂O₃/H₂O so với môi chất H₂O

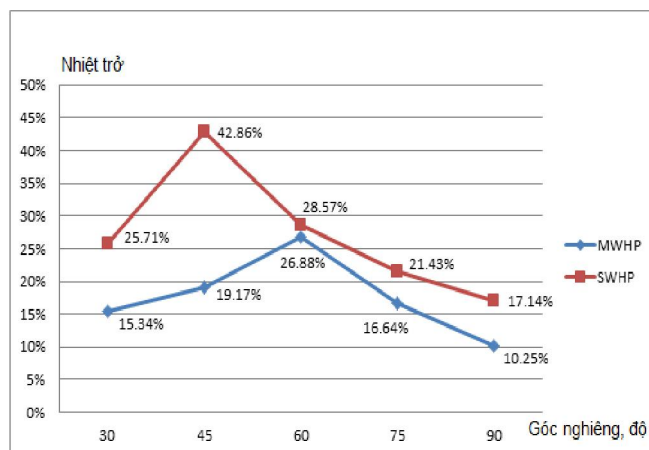
Các nghiên cứu [7, 8, 9, 10, 11] đã sử dụng môi chất nano $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ cho ống nhiệt. Góc nghiêng của ống nhiệt ảnh hưởng đến khả năng làm việc của ống nhiệt, với môi chất nano $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ góc nghiêng tối ưu để ống nhiệt có hiệu suất cao nhất là 90° (tức là ống nhiệt đặt thẳng đứng). Hình 3, 4 thể hiện độ tăng hệ số truyền nhiệt và giảm nhiệt trở của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$, nano Al_2O_3 có kích thước 10nm, 20nm và 40nm với tỷ lệ thể tích 2%, 4% và 8% so với H_2O .

Nhận xét: Khi bổ sung thêm nano Al_2O_3 vào môi chất H_2O ta thấy, độ tăng hệ số truyền nhiệt và độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt càng cao khi kích thước hạt nano càng nhỏ. Tỷ lệ thể tích hạt nano Al_2O_3 càng cao thì độ tăng hệ số truyền nhiệt và độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt càng cao. Khi hạt nano Al_2O_3 có kích thước 10nm và chiếm 8% thể tích thì hệ số truyền nhiệt tăng 80,7%, nhiệt trở giảm 44,8% so với khi sử dụng môi chất H_2O cho ống nhiệt.

3.2. Môi chất nano CuO



Hình 5. Độ tăng hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano $\text{CuO}/\text{H}_2\text{O}$ 1% khối lượng ở các góc nghiêng khác nhau so với vị trí nằm ngang (0°)



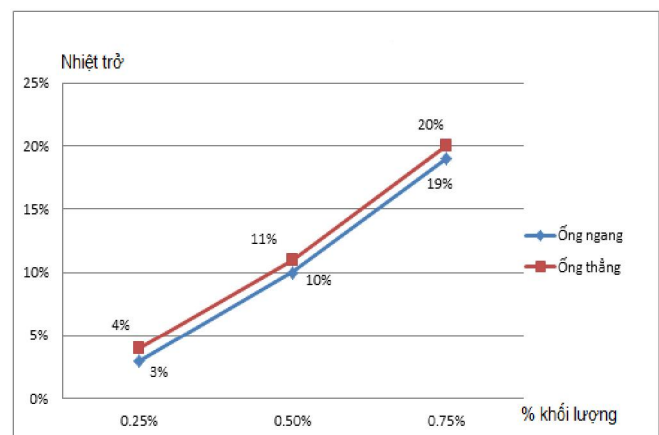
Hình 6. Độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano $\text{CuO}/\text{H}_2\text{O}$ 1% khối lượng ở các góc nghiêng khác nhau so với vị trí nằm ngang (0°)

Các nghiên cứu [5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18] đã sử dụng môi chất nano $\text{CuO}/\text{H}_2\text{O}$ cho ống nhiệt. Khi sử dụng môi chất nano $\text{Cu}/\text{H}_2\text{O}$ cho ống nhiệt thì hiệu quả truyền nhiệt cao hơn so với sử dụng môi chất H_2O . Tỷ lệ nano CuO bổ

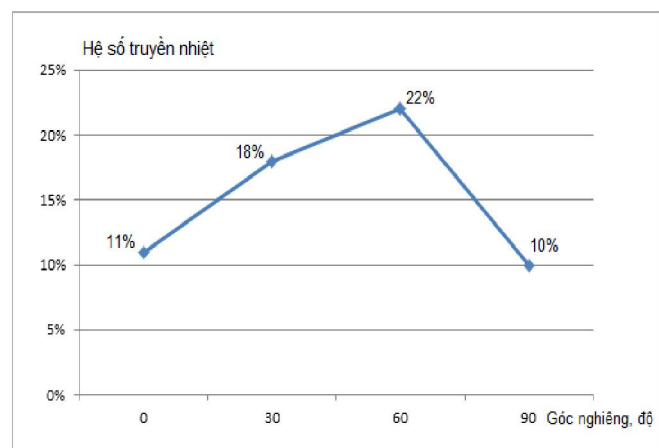
sung vào môi chất cơ bản H_2O ảnh hưởng đến hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt và tỷ lệ 1% nano CuO về khối lượng là tỷ lệ tối ưu. Hình 5, 6 thể hiện độ tăng hệ số truyền nhiệt và giảm nhiệt trở của ống nhiệt có lớp mao dẫn dạng mắt lưới (MWHP) và dạng đục (SWHP) khi nano CuO có kích thước 40nm được bổ sung thêm vào môi chất cơ bản H_2O với tỷ lệ 1% về khối lượng ở các góc nghiêng khác nhau của ống nhiệt so với vị trí nằm ngang (góc nghiêng bằng 0°).

Nhận xét: Khi bổ sung thêm nano CuO vào môi chất H_2O ta thấy, với ống nhiệt có lớp mao dẫn dạng mắt lưới (MWHP) góc nghiêng tối ưu của ống nhiệt là 60° , khi đó hệ số truyền nhiệt tăng 21,96%, nhiệt trở giảm 26,88% so với phương ngang. Đối với ống nhiệt có lớp mao dẫn dạng đục (SWHP) góc nghiêng tối ưu của ống nhiệt là 45° , khi đó hệ số truyền nhiệt tăng 55,56%, nhiệt trở giảm 42,86% so với phương ngang. Từ hình 5, 6 cho thấy, ống nhiệt sử dụng lớp mao dẫn dạng đục tốt hơn lớp mao dẫn dạng lưới ở mọi vị trí nghiêng của ống nhiệt.

3.3. Môi chất nano Ag



Hình 7. Độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt ngang và thẳng đứng khi sử dụng môi chất nano $\text{AgO}/\text{H}_2\text{O}$ 0,75% khối lượng so với môi chất H_2O



Hình 8. Độ tăng hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano $\text{Ag}/\text{H}_2\text{O}$ 0,75% khối lượng ở các góc nghiêng khác nhau so với vị trí nằm ngang (0°) dùng môi chất H_2O

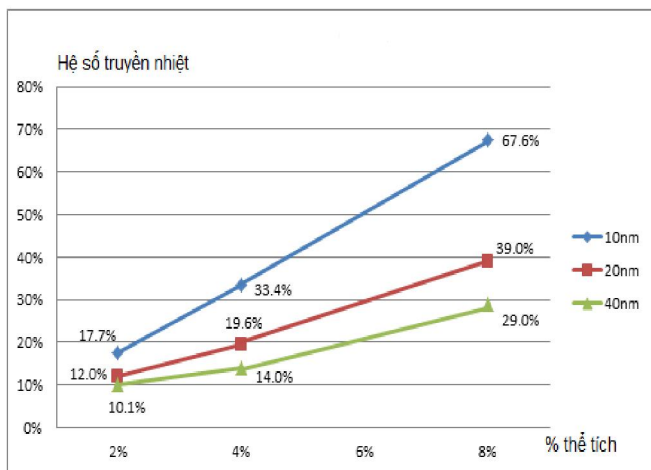
Sử dụng môi chất nano $\text{Ag}/\text{H}_2\text{O}$ được nghiên cứu trong [19, 20, 21, 22, 23, 24], kết quả đã giúp nâng cao khả năng

truyền nhiệt của ống nhiệt so với sử dụng môi chất H₂O. Hình 7 thể hiện độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt khi môi chất H₂O được bổ sung thêm nano Ag với tỷ lệ khối lượng 0,25%, 0,5% và 0,75% so với môi chất H₂O.

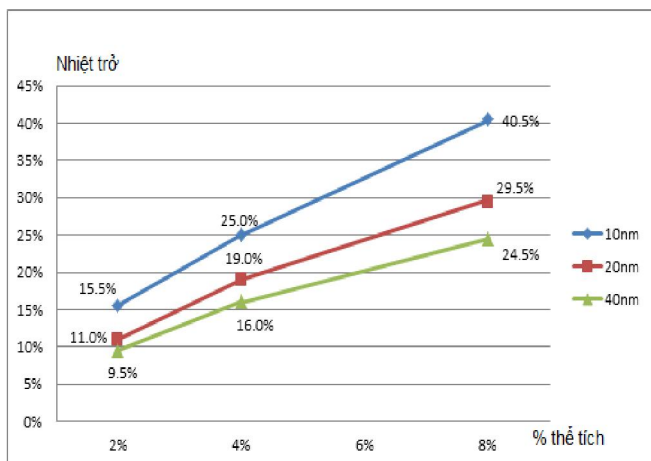
Nhận xét: Từ hình 7 cho thấy, ống nhiệt sử dụng môi chất nano Ag/H₂O với tỷ lệ 0,75% về khối lượng có độ giảm nhiệt trở lớn nhất. Sử dụng môi chất nano lỏng Ag/H₂O tỷ lệ 0,75% về khối lượng cho ống nhiệt để khảo sát ảnh hưởng của góc nghiêng đến hiệu quả truyền nhiệt. Kết quả cho thấy, hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt ở góc nghiêng 60° tăng cao nhất so với các góc nghiêng khác khi so sánh với ống nhiệt sử dụng môi chất H₂O ở vị trí nằm ngang (hình 8).

3.4. Môi chất nano TiO₂

Các nghiên cứu [9, 10, 18, 25, 26] đã sử dụng môi chất nano TiO₂/H₂O cho ống nhiệt, hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt đã được cải thiện so với sử dụng môi chất H₂O. Hình 9, 10 thể hiện độ tăng hệ số truyền nhiệt và giảm nhiệt trở khi bổ sung nano TiO₂ có kích thước 10nm, 20nm và 40nm với tỷ lệ thể tích 2%, 4% và 8% vào môi chất cơ bản H₂O để làm môi chất cho ống nhiệt so với H₂O.



Hình 9. Độ tăng hệ số truyền nhiệt của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano TiO₂/H₂O so với môi chất H₂O



Hình 10. Độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt khi sử dụng môi chất nano TiO₂/H₂O so với dùng môi chất H₂O

Nhận xét: Khi bổ sung thêm nano TiO₂ vào môi chất H₂O ta thấy, độ tăng hệ số truyền nhiệt và độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt càng cao khi kích thước hạt nano càng nhỏ. Tỷ lệ thể tích hạt nano TiO₂ càng cao thì độ tăng hệ số truyền nhiệt và độ giảm nhiệt trở của ống nhiệt càng cao. Khi hạt nano TiO₂ có kích thước 10nm và chiếm 8% thể tích thì hệ số truyền nhiệt tăng 67,6%, nhiệt trở giảm 40,5% so với khi sử dụng môi chất H₂O cho ống nhiệt.

4. KẾT LUẬN

Khi sử dụng môi chất nano cho ống nhiệt sẽ làm tăng hệ số truyền nhiệt và giảm nhiệt trở của ống nhiệt so với sử dụng môi chất thông thường. Qua đó, hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt sẽ tăng lên. Loại nano, kích thước nano, tỷ lệ bổ sung vào môi chất, cấu trúc lớp mao dẫn, góc nghiêng của ống nhiệt ảnh hưởng đến hiệu quả truyền nhiệt của ống nhiệt. Đồng thời, khi bổ sung nano vào môi chất sẽ ảnh hưởng đến hệ số dẫn nhiệt, độ nhớt của môi chất nên lựa chọn tỷ lệ bổ sung tối ưu để ống nhiệt hoạt động hiệu quả nhất là rất quan trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Hải, Trần Văn Vang, 2008. *Ống nhiệt và ứng dụng của ống nhiệt*. NXB Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [2]. S.U.S. Choi, J.A. Eastman, 1995. *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*, in: D.A. Siginer, H.P. Wang (Eds.). *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, New York, USA, pp. 99-105.
- [3]. H. T. Chien, C. Y. Tsai, P. H. Chen, P. Y. Chen, 2003. *Improvement on thermal performance of a disk-shaped miniature heat pipe with nanofluid*. *Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology*, IEEE, Shanghai, China, pp. 389-391.
- [4]. Tun-Pig Teng, How-Gao Hsu, Huai-En Mo, Chien-Chih-Chen, 2010. *Thermal efficiency of heat pipe with alumina nanofluid*. *Journal of Alloys and Compounds* 504s, pp. 380-384.
- [5]. Senthilkumar R., Vaidyanathan S., Sivaraman B., 2012. *Effect of inclination angle in heat pipe performance using copper nanofluid*. *Procedia Engineering*, Vol. 38, pp. 3715-3721.
- [6]. Ritesh N. Patel, N. K. Chavda, 2016. *A review on application of nanofluid in enhancement of thermal performance of various types of heat pipes*. *International Journal Of Advance Research And Innovative Ideas In Education*, vol. 2, Issue 3, pp. 2032-2044.
- [7]. Hamdy Hassan, Souad Harmand, 2015. *Study of the parameters and characteristics of flat heat pipe with nanofluids subjected to periodic heat load on its performance*. *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 97, pp. 126-142.
- [8]. Mohamed I. Hassan, Ismail A. Alzarooni, Youssef Shatilla, 2015. *The Effect of Water-Based Nanofluid Incorporating Al₂O₃ Nanoparticles on Heat Pipe Performance*. *Energy Procedia*, Volume 75, pp. 3201-3206.
- [9]. Morteza Ghanbarpour, Rahmatollah Khodabandeh, 2015. *Entropy generation analysis of cylindrical heat pipe using nanofluid*. *Thermochimica Acta*, Volume 610, pp. 37-46.
- [10]. P. R. Mashaei, M. Shahryari, 2015. *Effect of nanofluid on thermal performance of heat pipe with two evaporators: application to satellite equipment cooling*. *Acta Astronautica*, Volume 111, pp. 345-355.

- [11]. T. Yousefi, S. A. Mousavi, B. Farahbakhsh, M.Z. Saghir, 2013. *Experimental investigation on the performance of CPU coolers: Effect of heat pipe inclination angle and the use of nanofluids*. *Microelectronics Reliability*, Volume 53, Issue 12, pp. 1954-1961.
- [12]. S. Venkatachalapathy, G. Kumaresan, S. Suresh, 2015. *Performance analysis of cylindrical heat pipe using nanofluids - An experimental study*. *International Journal of Multiphase Flow*, Volume 72, pp. 188-197.
- [13]. G. Kumaresan, S. Venkatachalapathy, Lazarus Godson Asirvatham, Somchai Wongwises, 2014. *Comparative study on heat transfer characteristics of sintered and mesh wick heat pipes using CuO nanofluids*. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 57, pp. 208-215.
- [14]. Ping-Yang Wang, Xiu-Juan Chen, Zhen-Hua Liu, Yi-Peng Liu, 2012. *Application of nanofluid in an inclined mesh wick heat pipes*. *Thermochemica Acta*, Volume 539, pp. 100-108.
- [15]. Zhen Hua Liu, QunZhi Zhu, 2011. *Application of aqueous nanofluids in a horizontal mesh heat pipe*. *Energy Conversion and Management*, Volume 52, Issue 1, pp. 292-300.
- [16]. Guo-Shan Wang, Bin Song, Zhen-Hua Liu, 2010. *Operation characteristics of cylindrical miniature grooved heat pipe using aqueous CuO nanofluids*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 34, Issue 8, pp. 1415-1421.
- [17]. Zhen-Hua Liu, Yuan-Yang Li, Ran Bao, 2010. *Thermal performance of inclined grooved heat pipes using nanofluids*. *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 49, Issue 9, pp. 1680-1687.
- [18]. Maryam Shafahi, Vincenzo Bianco, Kambiz Vafai, Oronzio Manca, 2010. *An investigation of the thermal performance of cylindrical heat pipes using nanofluids*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 53, Issues 1-3, pp. 376-383.
- [19]. M. Ghanbarpour, N. Nikkam, R. Khodabandeh, M. S. Toprak, 2015. *Thermal performance of inclined screen mesh heat pipes using silver nanofluids*. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 67, pp. 14-20.
- [20]. M. M. Sarafraz, F. Hormozi, S. M. Peyghambarzadeh, 2014. *Thermal performance and efficiency of a thermosyphon heat pipe working with a biologically ecofriendly nanofluid*. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 57, pp. 297-303.
- [21]. Lazarus Godson Asirvatham, Rajesh Nimmagadda, Somchai Wongwises, 2013. *Heat transfer performance of screen mesh wick heat pipes using silver-water nanofluid*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 60, pp. 201-209.
- [22]. Ramin Hajian, Mohammad Layeghi, Kamal Abbaspour Sani, 2012. *Experimental study of nanofluid effects on the thermal performance with response time of heat pipe*. *Energy Conversion and Management*, Volume 56, pp. 63-68.
- [23]. Shung-Wen Kang, Wei-Chiang Wei, Sheng-Hong Tsai, Chia-Ching Huang, 2009. *Experimental investigation of nanofluids on sintered heat pipe thermal performance*. *Applied Thermal Engineering*, Volume 29, Issues 5-6, pp. 973-979.
- [24]. Shung-Wen Kang, Wei-Chiang Wei, Sheng-Hong Tsai, Shih-Yu Yang, 2006. *Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance*. *Applied Thermal Engineering*, Volume 26, Issues 17-18, pp. 2377-2382.
- [25]. L. Colla, L. Fedele, M. H. Buschmann, 2016. *Laminar mixed convection of TiO₂-water nanofluid in horizontal uniformly heated pipe flow*. *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 97, pp. 26-40.
- [26]. Nandy Putra, Wayan Nata Septiadi, Haolia Rahman, Ridho Irwansyah, 2012. *Thermal performance of screen mesh wick heat pipes with nanofluids*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volume 40, pp. 10-17.