Thesis Title Evaluation of Porous Material Porosity for Highest Thermal Performance in Miniature Heat Pipe

Author Mr. Jirapol Klinbun

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

Professor Dr. Pradit Terdtoon	Chairperson
Assistant Prof. Dr. Patrapon Kamonpet	Member
Assistant Prof. Dr. Itthichai Preechawuttipong	Member

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to investigate and evaluate the porosity characteristics of various wick designed for the highest thermal performance in miniature heat pipe. Mathematical model has been developed as an efficient tool to design heat pipe employing the optimization condition between normal working condition and maximum heat transfer rate. The maximum heat transfer rate at the optimum void fraction and under operating conditions corresponding to other factors affecting the behavior of heat pipe can be predicted by using the established model. Results from calculation have been validated by the actual testing of heat pipe. Heat pipe performance was tested and heat pipes consist of three sections: the evaporator, adiabatic section and condenser. Lengths were 31 mm, 100 mm and 69 mm, respectively. A sintered wick structure was used. Wicks were made from spherical copper powder having average diameters of 50, 100, 150, 200, 250 and 300 microns. Wick thicknesses used were 0.4mm, 0.5mm and 0.6mm. Sintering temperatures varied from 850^{o}C to 1200^{o}C. The copper powder was inserted into heat pipes made of copper tube with an outside diameter of 6 mm and length of 200 mm. Wick porosity

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

was measured as a function of void fraction. It was determined that a wick thickness of 0.4 mm with spherical copper powder diameters of 50, 100 and 200 microns will have void fractions of 0.46, 0.507 and 0.535, respectively. For heat pipe with a wick thickness of 0.5mm using copper powder diameters of 50, 100 and 250 microns, void fractions are 0.453, 0.483 and 0.521, respectively. And heat pipe with a wick thickness of 0.6 mm and copper powder sizes of 50, 100, 150, 200 and 300 microns has representative void fractions of 0.42, 0.43, 0.45, 0.49 and 0.51 respectively. Heat pipe was filled with water as the working fluid. The test started by supplying heat to the evaporator section and waiting for the heat pipe to reach it's a steady state. Temperatures and other parameters were recorded. After that heat loads were increased until the maximum (upper limit) heat transfer rate was observed. These steps were repeated for heat pipes at inclination angles of 0 degrees, -45 degrees and -90 degrees. Results showed that heat pipe with a wick thickness of 0.6 mm had higher efficiency than pipes with thicknesses of 0.4mm and 0.5mm. The maximum values of heat transfer for thicknesses of 0.6mm, 0.5mm and 0.4mm were equal to 80W, 60W and 35W, respectively. With the wick thickness of 0.6 mm, the optimum void fraction has been found to be 0.51 with the heat transfer rate of 80W. The inclination angles of 0, -45 and – 90 degree provided the maximum heat transfer rate of 80 W, 45 W and 25 W respectively. The heat transfer rate, Q, under normal operation can be also predicted with the error of $\pm 10.45\%$;

$$Q = \frac{T_e - T_c}{R_2 + R_{3c} + R_{3b} + R_{7fc} + R_{7c} + R_8}$$

The maximum heat transfer rate, $Q_{cap,\max}$, can be also predicted with the error of to $\pm 15.6\%$ as;

$$Q_{cap,\max} \geq \frac{0.0116\rho_l A_w r_s^2 (1-\varepsilon) h_{fg}}{\mu_l L_{eff}} \left[\frac{2\sigma_l \cos\theta}{r_c} - \rho_l g L_t \sin\phi \right]$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยาพนธ์	การประเมินความพรุนของวัสดุพรุนสำหรับสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดในท่อความร้อนขนาดเล็ก
ผู้เขียน	นายจิรพล กลิ่นบุญ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.ดร. ประดิษฐ์ เทิดทูล ประธานกรรมการ ผศ.ดร. ภัทราพร กมลเพ็ชร กรรมการ ผศ.ดร. อิทธิชัย ปรีชาวุฒิพงศ์ กรรมการ

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้มุ่งที่จะศึกษา การประเมินคุณลักษณะความพรุนของวัสดุพรุนที่ออกแบบสำหรับสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดในท่อความร้อนขนาดเล็ก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกพัฒนาเพื่อเป็นเครื่องมือในการออกแบบท่อความร้อนโดยใช้เงื่อนขอความเหมาะสมระหว่างเงื่อนไขการทำงานที่สภาวะปกติและการทำงานที่สภาวะการส่งถ่ายความร้อนสูงสุด ค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดที่มีค่าสัดส่วนช่องว่างที่เหมาะสมและอยู่ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่สอดคล้องกับพฤติกรรมกับผลของตัวแปรอื่นๆ ของท่อความร้อน สามารถทำนายได้โดยใช้การประมาณจากแบบจำลองนี้ ผลจากการคำนวณจากแบบจำลองนี้ได้มีการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของท่อความร้อนด้วย การทดสอบสมรรนถนะของท่อความร้อนโดยกำหนดให้ท่อความร้อนแบ่งออกเป็น3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และ ส่วนควบแน่น โดยมีความยาวแต่ละส่วนเท่ากับ 31 mm 100 mm และ 69 mm ตามลำดับ วัสดุพรุนแบบซินเตอร์ถูกใช้กับท่อความร้อนนี้ โดยวัสดุพรุนที่ใช้ทำมาจากผงทองแดงทรงกลม โดยใช้ผงทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 50 100 150 200 250 และ 300 micron โดยกำหนดให้วัสดุพรุนมีความหนาวัสดุพรุนเท่ากับ 0.4 mm 0.5 mm และ 0.6 mm ทำการ Sinter ที่อุณหภูมิ 850 ^{o}C ถึง 1200 ^{o}C โดยผงทองแดงถูกบรรจุในท่อความร้อนซึ่งทำมาจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 6 mm ยาว 200 mm วัสดุพรุนถูกการตรวจสอบค่าความพรุน โดยการหาค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัดส่วนช่องว่างในวัสดุพรุน พบว่าท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุนเท่ากับ 0.4 mm ใช้ผงทองแดงขนาด 50 100 และ 200 micron มีค่าสัดส่วนช่องว่าง เท่ากับ 0.46 0.507 และ 0.535 ตามลำดับ สำหรับท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุนเท่ากับ 0.5 mm ใช้ผงทองแดงขนาด 50 100 และ 250 micron มีค่าสัดส่วนช่องว่าง เท่ากับ 0.453 0.483 และ 0.521 ตามลำดับ และสำหรับท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุนเท่ากับ 0.6 mm ใช้ผงทองแดงขนาด 50 100 150 200 และ 300 micron มีค่าสัดส่วนช่องว่าง เท่ากับ 0.42 0.43 0.45 0.49 และ 0.51 ตามลำดับ ทำการนำท่อความร้อนเติมน้ำซึ่งใช้เป็นสารทำงาน ทำการทดสอบท่อความร้อนโดย การให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยที่ค่าหนึ่งแล้วรอจนกว่าท่อความร้อนจะทำงานอยู่ที่สภาวะคงตัว แล้วบันทึกค่าความร้อนที่ให้และอุณหภูมิ หลังจากนั้นทำการเพิ่มระดับการให้ความร้อนจนพบว่าท่อความร้อนส่งถ่ายความร้อนสูงสุด(ขีดจำกัดสูงสุด) ขั้นตอนดังกล่าวจะถูกกระทำซ้ำแบบเดิมสำหรับท่อความร้อนที่มีมุมเอียงการทำงาน 0 องศา -45 องศา และ -90 องศา จากผลการทดสอบพบว่า ท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุนเท่ากับ 0.6 mm สามารถส่งถ่ายความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุน 0.5 mm และ 0.4 mm โดยมีค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดของท่อความร้อนที่มีความหนาวัสดุพรุน 0.4 mm 0.5 mm และ 0.6 mm มีค่าเท่ากับ 90W 60 W และ 35 W ตามลำดับ ที่ความหนาวัสดุพรุน 0.6 mm. มีค่าสัดส่วนช่องว่างที่เหมาะสมเท่ากับ 0.51 จะสามารถให้ท่อความร้อนค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุด เท่ากับ 80W ส่วนผลของมุมเอียง 0 องศา -45 องศา และ -90 องศา มีค่าการส่งถ่ายความร้อนเท่ากับ 80 W 45 W และ 25 W ตามลำดับ ค่าการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อน Q ที่สภาวะการทำงานปกติที่แบบจำลองทำนายได้มีค่าความผิดพลาดจากการทำนายเท่ากับ ± 10.45 %

$$Q = \frac{T_e - T_c}{R_2 + R_{3c} + R_{3b} + R_{7fc} + R_{7c} + R_8}$$

ค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุด $Q_{cap,\max}$ ที่สามมารถทำนายได้ของท่อความร้อนมีค่าความผิดพลาดจากการทำนายเท่ากับ ± 15.6 %

$$Q_{cap,\max} \geq \frac{0.0116\rho_l A_w r_s^2 (1-\varepsilon) h_{fg}}{\mu_l L_{eff}} \left[\frac{2\sigma_l \cos\theta}{r_c} - \rho_l g L_t \sin\phi \right]$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved