

|                            |  |               |
|----------------------------|--|---------------|
| ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์      | การกัดกร่อนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน |               |
| ชื่อผู้เขียน               | นางสาวปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์                                  |               |
| วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต     | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล                                      |               |
| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ : | รศ.ดร. ประดิษฐ์ เทอดพูล  | ประธานกรรมการ |
|                            | ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์                              | กรรมการ       |
|                            | ผศ.ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ   | กรรมการ       |
|                            | บทคัดย่อ   |               |

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการกัดกร่อนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้กับระบบดึงความร้อนสูญเสีย โดยศึกษาจากท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากอะลูมิเนียม ทองแดง เหล็กชนิดที่ผิวภายในเรียบ และทองแดงกับสแตนเลสชนิดที่ผิวภายในเป็นร่องแบบ Spiral ทำการป้องกันการกัดกร่อนด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C ที่เวลาต่างๆ กัน และเติมสารยับยั้ง ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) ลงในสารทำงานด้วยความเข้มข้นต่างๆ หรือรวมทั้ง 2 วิธีเข้าด้วยกัน ทดสอบเทียบกับท่อธรรมดา ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิใช้งาน 150°C, 250°C และ 350°C ตามลำดับ โดยทำการศึกษาอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยซึ่งหาได้จากน้ำหนักของท่อที่หายไปหลังการทดสอบ อัตราการกัดกร่อนสูงสุดที่ได้จากค่าความลึกของร่องสูงสุดในภาคตัดขวางของท่อ สารที่เคลือบบนผิวภายในท่อจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer และเครื่อง Infra-red spectroscopy ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในท่อซึ่งตรวจวัดจากเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี และค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนรวมของเทอร์โมไซฟอนซึ่งคำนวณจากอุณหภูมิที่สวนต่างๆ ของเทอร์โมไซฟอนที่ได้รับการจัดบันทึกในระหว่างทำการทดสอบทุกๆ 240 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ได้มีการนำแบบจำลองอาร์เรนีย์สและแบบจำลอง fouling ของ Kern and Seaton มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลเหล่านี้ ผลการทดลองพบว่าอัตราการ

กัฏกร่อนเฉลี่ยมีค่าแปรผกผันกับเวลาการทดสอบและแปรผันตรงกับอุณหภูมิใช้งานตามสมการ  $Cr = At^{(B)}$  และ  $Cr = Ce^{(D/T)}$  ตามลำดับ โดยค่า A, B, C และ D เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับชนิดโลหะและวิธีการป้องกันการกัดกร่อน ส่วน t คือเวลา และ T คืออุณหภูมิการใช้งาน อัตราการกัดกร่อนสูงสุดก็มีค่าแปรผกผันกับเวลาและแปรผันตรงกับอุณหภูมิเช่นเดียวกันตามสมการ  $Cr_{max} = At^{(B)}$  และ  $Cr_{max} = Ce^{(D/T)}$  ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจะมีค่าแปรผันตรงกับเวลาและอุณหภูมิตามสมการ  $V = A \ln(t) + B$  และ  $V = C/T + D$  ตามลำดับ โดยที่ A, B, C และ D เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับชนิดโลหะและวิธีการป้องกันการกัดกร่อน สำหรับสารที่เคลือบบนผิวภายในท่ออะลูมิเนียมจะมีลักษณะของพันธะคือ O-H, SiO และ OSiO ส่วนท่อทองแดง ท่อเหล็ก ท่อทองแดงที่มีผิวภายในเป็นร่อง และท่อสแตนเลสที่มีผิวภายในเป็นร่องจะเป็นพันธะ SO และ OSO และพบว่าวัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นเทอร์โมไซฟอนในระบบดึงความร้อนสูญเสียในช่วงอุณหภูมิ 150 - 350°C คือ ท่อทองแดงที่มีผิวภายในเป็นร่อง โดยที่การป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสมกับวัสดุนี้ คือ การเติมสารยับยั้ง  $Na_2HPO_4$  ลงในสารทำงานด้วยความเข้มข้น 20 ppm นอกจากนี้ยังพบว่าความต้านทานความร้อนของ fouling จะแปรผันตรงกับเวลาตามสมการ

$$Z_{fouling} = 177.78(1 - e^{-0.0001t})$$

โดยที่  $Z_{fouling}$  คือ ความต้านทานความร้อนของ fouling  
t คือ เวลาการทดสอบ

|                       |   |          |
|-----------------------|---|----------|
| Thesis Title          | Internal Corrosion of Thermosyphon Heat Exchanger |          |
| Author                | Miss Piyanun Charoensawan                         |          |
| M.Eng.                | Mechanical Engineering                            |          |
| Examining Committee : | Associate Prof. Dr. Pradit Terdtoon               | Chairman |
|                       | Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat                 | Member   |
|                       | Assistant Prof. Dr. Sumpun Chaitep                | Member   |

#### Abstract

The purpose of this study was to study an internal corrosion of a thermosyphon heat exchanger which used for waste heat recovery. The thermosyphon tubes were made of aluminium, copper and iron with plain internal surface, and copper and stainless with spiral grooved internal surface. The corrosion protection methods were varied by burning tubes with temperature of 550°C at specified times or adding an inhibitor ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) to working fluid at several concentrations, or the combination of these two methods. The results were then compared with those from the normal tubes. The test was continued for 4000 hours at temperature about 150°C, 250°C and 350°C respectively. The aimed results were the average corrosion rate which defined from lost weight of tube after testing, the maximum corrosion rate which obtained from maximum pit depth in the cross section of tube, the coated substances on internal surface of tube which could be analysed by X-ray diffractometer and Infra-red spectroscopy, the amount of hydrogen in tube which obtained from Gas chromatography and the total heat transfer resistance of thermosyphon which calculated from surface temperature recorded every 240 hours at any sections of thermosyphons. Arrhenius model and

Fouling model of Kern and Seaton were employed to analyse these data. It was found from experiments that, the average corrosion rate is an inversed proportion to time and depends on temperature with the correlations :  $Cr = At^{(B)}$  and  $Cr = Ce^{(D/T)}$  respectively, where  $t$  is time,  $T$  is temperature and  $A$ ,  $B$ ,  $C$  and  $D$  are constants depend on tube material and corrosion protection. The maximum corrosion rate is an inversed proportion to time and depends on temperature with the correlations :  $Cr_{max} = At^{(B)}$  and  $Cr_{max} = Ce^{(D/T)}$  respectively. The amount of hydrogen in the tube is proportional to time and temperature with the correlations :  $V = A\ln(t) + B$  and  $V = C/T + D$  respectively, where  $A$ ,  $B$ ,  $C$  and  $D$  are constants depend on tube material and corrosion protection. For aluminium tubes, the coated substances on internal surface are bonds of O-H, SiO and OSiO. For copper tubes, iron tubes, copper tubes with internal grooved and stainless tubes with internal grooved, the coated substances are found to be bonds SO and OSO. It was seen that, the appropriate material for thermosyphon in waste heat recovery system is copper tube with grooved internal surface. The appropriate corrosion protection for this material is by adding 20 ppm of inhibitor  $Na_2HPO_4$  in working fluid. It can be concluded that, the fouling thermal resistance is proportional to time and can be obtained from the following correlation;

$$Z_{fouling} = 177.78(1 - e^{-0.0001t})$$

Where  $Z_{fouling}$  is fouling thermal resistance

$t$  is time