

วิเคราะห์ผลกระทบจากปัญหาความเสียหายทางความร้อนของเหล็กกล้าจับยึดชิ้นงาน(SKD11)

Analyze Effect of Thermal Failure Problem in Steel Jig (SKD11)

นางสาววิณะดา แม่นเหมือน 51054484 และ นางสาววิไลลักษณ์ ดิษประวงศ์ 51054500

ผศ. วิศิษฐ์ โส้เจริญรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2942-8555 ต่อ 2105 โทรสาร 0-29551811 E-mail: fengwsl@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีการศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการรับภาระทางความร้อนของตัวจับยึดชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ (SKD11) ในกระบวนการเชื่อมแก๊ส โดยตัวจับยึดชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 2 มิลลิเมตร และมีการใช้โปรแกรม SolidWorks 2010 ช่วยในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากโมเดลต้นแบบในกระบวนการผลิตจริง ทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวของตัวจับยึดชิ้นงานที่ค่าความเชื่อมั่น 95% ของข้อมูล และโปรแกรม CES EduPack 2005 คัดเลือกวัสดุโดยคำนึงถึงความสามารถในการรับภาระทางความร้อนและความสามารถในการตัดแต่งเป็นสำคัญ วัสดุที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวคือกลาสเซรามิก (MACOR[®]) จึงนำมาวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบการรับภาระทางความร้อนกับโมเดลต้นแบบโดยเพิ่มค่าเพื่อความปลอดภัยเป็น 1.5 เท่า พร้อมทั้งหาความหนาและเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้งานวัสดุ

คำสำคัญ ตัวจับยึดชิ้นงาน, การถ่ายเทความร้อน, อุณหภูมิ, ความหนา

Abstract

Study of heat transfer in failure jig problem in aluminum torch brazing process because of jig do not use for a long time. Jig must not expand more than two millimeters. In this study, the SolidWorks 2010 enables users to analyze. Analyze of the current model. Measure the surface temperature of the jig by 95% reliability and analyze of heat transfer. Then, use a CES EduPack 2005 to select the materials, taking into account thermal resistant and machinability. Glass ceramics (MACOR) accepted the condition and was analyzed in comparison with the sample model by adding safety factor is 1.5. Calculate the suitable thickness and life time for better performance.

Keywords: Jig, Heat transfer, Temperature, Thickness

1. บทนำ

ตัวจับยึดชิ้นงานคือ เครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่ง ยึดจับชิ้นงาน รองรับชิ้นงาน มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตเพราะเป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงาน และเนื่องจากตัวจับยึดชิ้นงานที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมผลิตภัณฑ์ท่ออลูมิเนียม (Aluminum pipe) ที่ปัจจุบันมีการใช้งานจริงเกิดความเสียหายจากการขยายตัวทางความร้อนเนื่องจากไม่สามารถรับภาระทางความร้อนที่ได้รับโดยตรงจากกระบวนการเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) ได้ จึงทำให้ชิ้นงานที่ต้องผ่านกระบวนการเชื่อมบนตัวจับยึดมีระยะที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อตัวจับยึดชิ้นงานเกิดการขยายตัวเนื่องจากภาระทางความร้อน ส่งผลให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม ณ จุดนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด

การทำโครงการวิจัยในครั้งนี้มีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายเชิงตัวเลข (Finite Element Method Analyzing) ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวจับยึดชิ้นงาน และคำนวณหาระยะขจัดที่เกิดขึ้นจากการรับภาระทางความร้อนในกระบวนการเชื่อมของตัวจับยึดชิ้นงาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยโดยใช้การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks 2010 ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัวจับยึดชิ้นงาน โมเดลต้นแบบที่ทำการศึกษา ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นบนผิวของตัวจับยึดชิ้นงาน โดยใช้วิธีการทางตัวเลขเพื่อคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัวจับยึดชิ้นงานโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ผลของโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณจากทฤษฎีในการถ่ายเทความร้อนเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวจับยึดชิ้นงานและนำมาวิเคราะห์หา รูปแบบของความเสียหายที่เกิดขึ้น

เนื่องจากบริษัท โซวา อลูมิเนียม (ประเทศไทย) จำกัด ได้มีแผนการจะเปลี่ยนโลหะที่จะนำมาใช้ทำเป็นตัวจับยึดชิ้นงานเป็นวัสดุใหม่และเปลี่ยนรูปร่างของตัวจับยึดชิ้นงานที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตใหม่จึงต้องทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการเชื่อมในตัวจับยึดชิ้นงานในโมเดลต้นแบบ แล้วใช้เงื่อนไขที่ทำการทดลองได้ในกระบวนการเชื่อมจริงมาเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของการ

วิเคราะห์วัสดุที่บริษัทมีแผนการที่จะนำมาเปลี่ยนแทนวัสดุเดิมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานของตัวจับยึดชิ้นงานเก่าและวัสดุใหม่ที่จะทำการเปลี่ยนแปลง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การนำความร้อน (Heat conductivity, k)

คือ การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ใน 3 มิติ จากสมการการถ่ายเทความร้อนในวัตถุที่ไม่มีการผลิตความร้อนภายในตัวเอง

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

ρ คือ ความหนาแน่น หน่วย kg/cm^3

C คือ ความจุความร้อน หน่วย $\text{J/kg}^\circ\text{C}$

K คือ ค่าการนำความร้อน หน่วย W/mK

2.2 การพาความร้อน (Heat convection, h)

การพาความร้อน เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปกับอุณหภูมิด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่มีอุณหภูมิไหลผ่านท่อ ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่พาความร้อนไปกับน้ำเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ส่วนอัตราการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วของการไหลของตัวกลาง และชนิดของของไหล แบ่งออกเป็น

2.2.1 การพาความร้อนโดยธรรมชาติ

2.2.2 การพาความร้อนเนื่องจากการบังคับ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณการพาความร้อนคือ

$$Q_s = hA(T - T_f) \quad (2)$$

โดยที่ Q_s คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิว

h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2\text{K}$)

A คือพื้นที่ผิว (m^2)

T_f คืออุณหภูมิตัวกลางที่เคลื่อนที่ (K)

2.3 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีทางไฟไนต์ดิฟเฟอเรนเชียลของชมิทท์ (Schmidt plot)

หลักการการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีทางไฟไนต์ดิฟเฟอเรนเชียลของชมิทท์ การวิเคราะห์จะต้องรู้เงื่อนไขขอบเขตที่จะทำการวิเคราะห์ (Boundary Condition) และเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) Schmidt plot สามารถหาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาในวัตถุที่จุดใดๆก็ได้ วิธีนี้ทำให้สามารถพลอตกราฟของ อุณหภูมิ

(T) กับ ระยะทาง (x) ได้ เมื่อรู้ค่าอุณหภูมิที่ริมวัตถุ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการแบ่งออกเป็นช่วงๆเท่าๆกัน แล้วให้เวลาผ่านไปทีละ Δt และแต่ละช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปอุณหภูมิที่จุดสัมผัสของแต่ละส่วนหลังจากที่เวลาผ่านไปแล้ว จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุทั้งสองด้าน

2.4 หลักการใช้โปรแกรม SolidWorks 2010 วิเคราะห์ปัญหา

2.4.1 ปัญหาการถ่ายเทความร้อน

ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้โปรแกรม SolidWorks 2010 นั้นจะใช้โหมด Thermal ในการวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนทั้งแบบคงที่และแบบไม่คงที่โดยจะต้องเลือกฟังก์ชันก่อนการ Simulate ซึ่งการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนค่าต่างๆที่จะใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นไปตามที่ผู้ทำการวิเคราะห์ป้อนข้อมูลลงไป โดยค่าของมุลต่างๆนั้นจะใช้ค่าที่เป็นค่าในสภาวะจริงหรือใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด

2.4.2 ปัญหาการวิเคราะห์แรงแบบ Static

การวิเคราะห์แบบ Static นั้นเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถวัดระยะการการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร (ยึดหรือหดตัว) ของวัสดุ ซึ่งสามารถวัดระยะการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรโดยนำภาระทางความร้อนที่วิเคราะห์จากการวิเคราะห์การรับภาระทางความร้อนมาวิเคราะห์ต่อเนื่องได้

3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11

3.1.2 กลาสเซรามิก (MACOR[®])

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง (Equipment)

3.2.1 อุปกรณ์ในการกระบวนการเชื่อมท่ออลูมิเนียม

3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล ผลิตโดย Fluke รุ่น TP-K01 type

3.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ ผลิตโดย IRTEK รุ่น IR80

3.2.4 เวอร์เนียคาลิเปอร์ ผลิตโดย Mitutoyo รุ่น 500-126-20

3.2.5 นาฬิกาจับเวลา ผลิตโดย Casio รุ่น HS-30W

3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

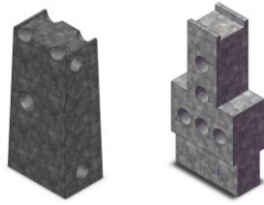
3.3.1 โปรแกรมเขียนแบบ Solidworks 2010

3.3.2 โปรแกรมช่วยในการคัดเลือกวัสดุ CES EduPack 2005

4. วิธีการดำเนินโครงการ

4.1 ทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงบนผิวของชิ้นงาน

4.2 เขียนแบบและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนบนตัวจับยึดชิ้นงานโมเดลต้นแบบ และโมเดลใหม่ที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SolidWorks เวอร์ชัน 2010 จำลองในสามมิติ



รูปที่ 1 ตัวจับยึดชิ้นงานโมเดลต้นแบบและโมเดลใหม่จากซ้ายไปขวา

4.2 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในตัวจับยึดชิ้นงานโมเดลต้นแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 โหมด Thermal โดยใช้เงื่อนไขในการวิเคราะห์ตามที่เก็บข้อมูลมาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

4.3 ใช้โปรแกรม CES EduPack2005 ช่วยในการคัดเลือกวัสดุที่จะสามารถผ่านเงื่อนไขในการวิเคราะห์คือสามารถรับภาระทางความร้อนและได้มีการคิดค่าเพื่อความปลอดภัยที่ 1.5 เท่าโดยเปรียบเทียบการขยายตัวทางความร้อนของวัสดุกับราคาต่อหน่วยของวัสดุ

4.4 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวจับยึดชิ้นงานใหม่ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 โหมด Thermal โดยใช้เงื่อนไขในการวิเคราะห์โมเดลต้นแบบเพื่อหาค่าความปลอดภัยในการรับภาระทางความร้อน 1.5 เท่า และวิเคราะห์ระยะยึดตัวที่เกิดจากการรับภาระทางความร้อนในวัสดุที่สนใจเพื่อคัดเลือกวัสดุมาทำการทดลองการใช้งานจริง

4.5 ทำการทดลองหาจำนวนรอบในการใช้งานของวัสดุเหล็กกล้า SKD11 และกลาสเซรามิก โดยใช้สภาวะในการเชื่อมแก๊สเดียวกับโมเดลต้นแบบ

4.6 เปรียบเทียบจุดคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุใหม่กับวัสดุเดิม

5. ผลการดำเนินโครงการ

5.1 ผลการเก็บข้อมูลเพื่อหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงบนผิวของชิ้นงาน

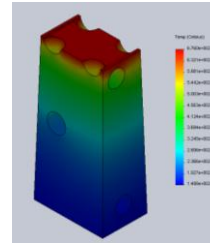
ตารางที่ 1 เวลาและอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองวัดบนผิวตัวจับยึดชิ้นงาน

	Welding time (s)	Welding temp(°C)	Stop time (s)	Stop temp (°C)	Base temp (°C)
Avg	24.50	675.90	25.24	228.5258	148.901
Max	36.24	936.00	62.13	308.0000	187.000
Min	17.38	551.00	14.04	138.0000	120.000
N	193	137	98	136	10

5.2 ผลวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวจับยึดชิ้นงานโมเดลต้นแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 โหมด Thermal

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในตัวจับยึดชิ้นงานโมเดลต้นแบบ โดยใช้ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงบนผิวของตัวจับยึด

ชิ้นงานที่ 676 °C อุณหภูมิพื้นฐาน 148 °C ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 64.5 W/m²K ผลการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนในโมเดลต้นแบบ

5.3 วัสดุที่คัดเลือกโดยการใช้โปรแกรม CES EduPack2005 3 วัสดุและวัสดุเดิมที่มีการใช้งานอยู่ ดังนี้

- ตัวจับยึดชิ้นงาน A คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11
- ตัวจับยึดชิ้นงาน B คือ อลูมิเนียม ไนไตรด์ (Aluminum Nitride)
- ตัวจับยึดชิ้นงาน C คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)
- ตัวจับยึดชิ้นงาน D คือ กลาสเซรามิก (Glass Ceramic)

5.4 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยโปรแกรม SolidWorks จากค่าอุณหภูมิเพื่อความปลอดภัยคือ 1014 °C ในวัสดุ A B C และ D ในโหมด Thermal และ Static

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและระยะการยึดตัวในวัสดุ A B C และ D

Materials	A	B	C	D
ความร้อนที่กระจายสู่ฐาน (°C)	179.20	798.181	359.821	64.1169
การขยายตัวบริเวณผิวที่สัมผัสไฟ(mm)	0.45	0.38	0.93	0.22
ความสามารถในการตัดแต่ง	ดี	-	ดี	ดี

5.5 ผลการทดลองหาจำนวนรอบในการใช้งานของวัสดุเหล็กกล้า SKD11 และกลาสเซรามิก โดยใช้สภาวะในการเชื่อมแก๊สเดียวกับโมเดลต้นแบบ

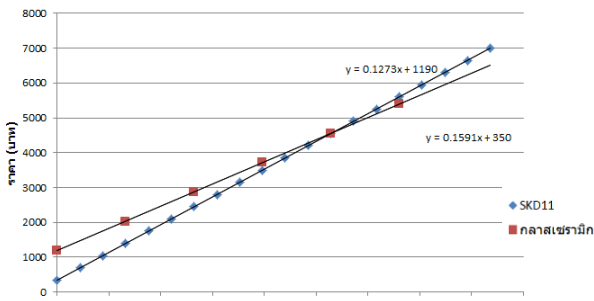
การทดสอบการรับภาระทางความร้อนระหว่างเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 และกลาสเซรามิก ที่เงื่อนไขเดียวกัน ความดันในการเชื่อมมากที่สุด 0.5 บาร์ เวลาในการเชื่อม 25 วินาที/รอบ และเวลาในการหยุดพัก 25 วินาที/รอบ แสดงผลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนรอบและระยะยึดในการรับภาระทางความร้อน

เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11		กลาสเซรามิก	
จำนวนรอบ (รอบ)	ระยะการยึดตัว (mm)	จำนวนรอบ (รอบ)	ระยะการยึดตัว (mm)
2200	2.16	6600	0.16

5.6 การเปรียบเทียบจุดคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุใหม่กับวัสดุเดิม

การทดลองรับภาระทางความร้อนของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 และกลาสเซรามิก เปรียบเทียบราคาของวัสดุโดยใช้ต้นทุนคงที่เท่ากัน และให้กลาสเซรามิกมีอายุการใช้งานที่ 6600 รอบเกิดความเสียหายได้ผลดังรูป



รูปที่ 3 กราฟแสดงจุดคุ้มค่าสำหรับการเลือกใช้งานกลาสเซรามิกเปรียบเทียบกับเหล็กกล้า SKD11

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเซรามิกที่จะนำมาใช้นั้นจะสามารถคุ้มค่าต่อการเปลี่ยนวัสดุได้เมื่อรับภาระทางความร้อนได้มากกว่า 26415 รอบการใช้งาน และในระยะยาวจากแนวโน้มของกราฟ วัสดุกลาสเซรามิกนั้นจะมีความคุ้มค่าต่อการใช้เป็นตัวจับยึดชิ้นงานมากกว่าเหล็กกล้า SKD 11 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

6. สรุปผลและวิจารณ์

- อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนผิวของตัวจับยึดชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยคือ 676 °C ภายใต้อุณหภูมิที่ 95% และค่าความคลาดเคลื่อน 1.5% ของค่าเฉลี่ย โดยค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ค่าอุณหภูมิเพื่อค่าความปลอดภัย 1.5 เท่า ซึ่งคิดเป็นอุณหภูมิ 1014 °C
- ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนวัสดุ จากการทดลองจำนวนรอบการรับภาระทางความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการขยายตัวทางความร้อนที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน 2 mm ของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 กับ กลาสเซรามิก ซึ่งเหล็กกล้าเครื่องมือมีจำนวนรอบการใช้งานที่ 2200 รอบ และให้กลาสเซรามิกมีการเสียหายที่ 6600 รอบ ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนวัสดุจาก

เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 เป็น กลาสเซรามิกนั้นสามารถคุ้มค่าที่รอบการใช้งานที่ 26415 รอบ

- โปรแกรมช่วยในการคำนวณและออกแบบ สามารถช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ได้ในเรื่องการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุที่สนใจศึกษาและสามารถนำค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไปวิเคราะห์แรงแบบ Static เพื่อดูระยะการยึดตัวของวัสดุที่ทำการวิเคราะห์ในการรับภาระทางความร้อนได้

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศศ.วิศิษฎ์ โฉมเจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท อ.ดร.ปริญญา จุ้ยเจิม และ อ.ดร. อัมพิกา บันสิทธิ์ กรรมการปริญญาโท เป็นอย่างสูงที่ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการให้คำปรึกษา ให้แนวคิดและข้อชี้แนะในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณบริษัท โขธา อลูมิเนียม (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับความเอื้อเฟื้อเรื่องสถานที่ในการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การเอื้ออำนวยความสะดวกและความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำการทดลอง และเก็บข้อมูลในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอแสดงความสำเร็จของโครงการปริญญาโทฉบับนี้แก่บิดา มารดา คณะอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้กำลังใจในทุกๆ เรื่อง พร้อมกันนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมวัสดุฉบับนี้ จะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศโดยส่วนรวมเบื้องต้นไป

เอกสารอ้างอิง

- รศ.มนตรี พิรุณเกตร (1998). การถ่ายเทความร้อนฉบับเตรียมสอบและเสริมสร้างประสบการณ์. วิทยาลัยพัฒนศึกษาศาสตร์.
- William F.Smith (1996). Foundation of Materials Science and Engineering(ลิขสิทธิ์ประเทศไทย).แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ อิง. กรุงเทพมหานคร
- ดร.นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย (1979). การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer).ฟิลิปปินส์. การพิมพ์กรุงเทพมหานคร.
- ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2004). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานคร.
- รศ.สุนันท์ ศรีพนิตย์ (1995). การถ่ายเทความร้อน(Heat Transfer).ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพมหานคร