ผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกล ของรอยต่ออลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

โดย

เฉลิมพล คล้ายนิล

สนับสนุนงบประมาณโดย

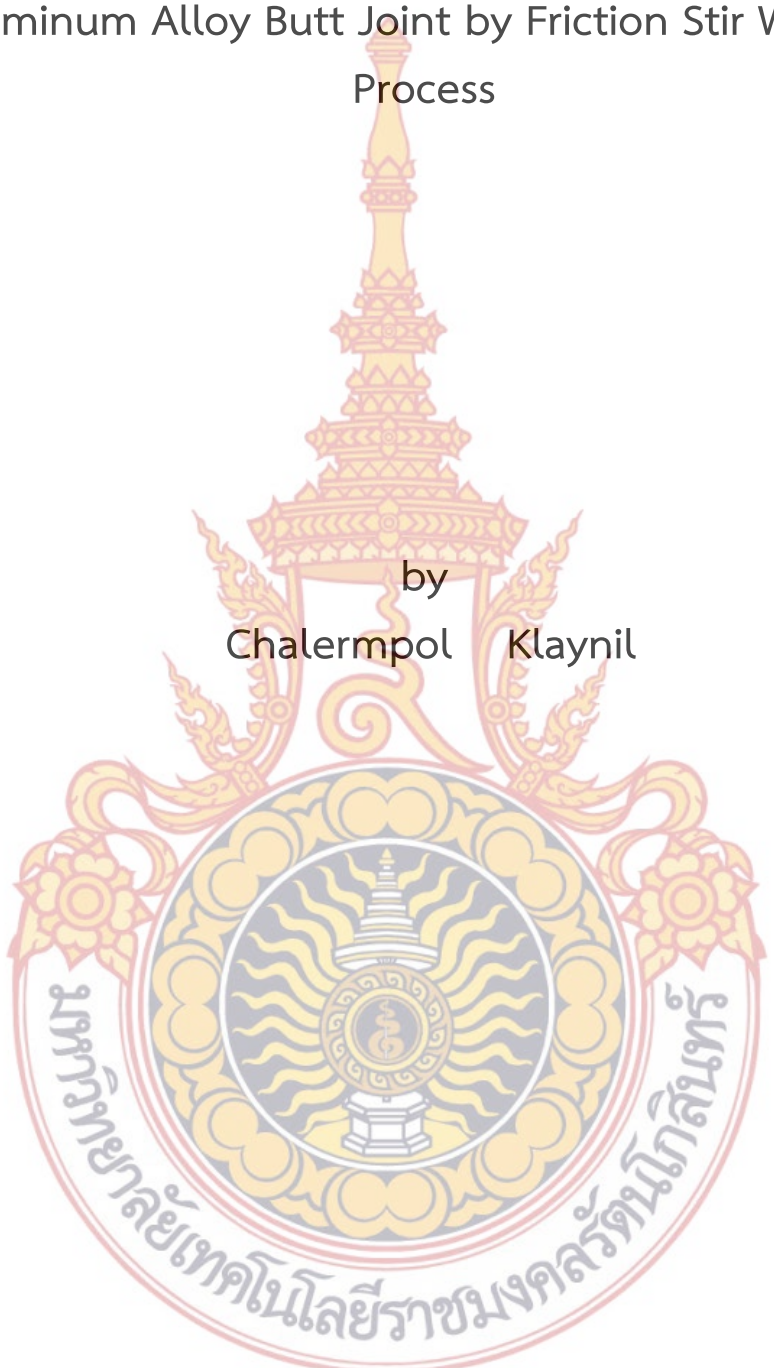
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Aluminum Alloy Butt Joint by Friction Stir Welding Process

by

Chalermpol Klaynil



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal Year 2013

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ.2556 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัย เนื่องจากงานวิจัยเป็นภารกิจหลักของอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าอาจารย์ทุกท่านจะเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

เฉลิมพล คล้ายนิล และคณะ

ตุลาคม 2556

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A-28 / 2556

ชื่อโครงการ : ผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

ชื่อนักวิจัย : นายเฉลิมพล คล้ายนิล และ ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียมเกรด 6061 เกรด 6063 และเกรด 7075 เครื่องมือหมุนกวนทำด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS SKD11 สลักแกนหมุนเป็นผิวเกลียว ใช้เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง กำหนดให้ความเร็วรอบมีค่า 985 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมมี 2 ระดับ คือ 74 มิลลิเมตรต่อนาที และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการเชื่อมกวนแบบต่อชนและนำไปผ่านการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง

ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการเดินเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 4 ชั่วโมงให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด 193.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความเร็วในการเดินเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งสูงสุด 124.7 Hv เป็นค่าความแข็งสูงสุด และความเร็วในการเดินเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 2 ชั่วโมงให้ค่า % Elongation สูงสุดที่ 27.7 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน / อลูมิเนียมผสม / กรรมวิธีทางความร้อน / คุณสมบัติทางกล

E-mail Address: chalermpol1@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

Abstract

Code of project: A-28 / 2013
Project name: Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Aluminum Alloy Butt Joint by Friction Stir Welding Process
Researcher name: Chalermpol Klaynil and Chaiya Dumkum

The objective of this research is to effect of heat treatment on mechanical properties of butt joint of aluminum alloy AA 6061, AA6063, AA7075 by friction stir welding. Tools made from JIS SKD11 steel. The round speed is 985 RPM. The 2 levels of welding speed; 74 mm/min and 89 mm/min, are welded by welding stir butt joint and annealing at 150, 200, 300 and 350 °C for 2 and 4 hours.

The result of the experiment shows that the welding speed 89 mm/min of aluminum alloy 6061, and 7075 with annealing temperature is 150 °C for 4 hours will make 193.16 N/mm^2 which is the maximum tensile strength. The welding speed 89 mm/min of aluminum alloy 6061, and 6063 with annealing temperature is 150 °C for 4 hours will make 124.7 Hv which is the maximum hardness and the welding speed 74 mm/min of aluminum alloy 6061, and 6063 with annealing temperature is 350 °C for 2 hours will make 27.7% of Elongation which is the highest.

Keyword: Friction stirs welding / Aluminum alloy / Heat treatment / mechanical properties

---

E-mail Address: chalermpol1@hotmail.com
Period of project: September 2012 to October 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
1. อลูมิเนียม (Aluminum)	4
2. ชนิดและหน้าที่ของอุปกรณ์จับยึด	7
3. กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน	8
4. กรรมวิธีทางความร้อนของอลูมิเนียม	11
5. การทดสอบคุณสมบัติทางกล	13
6. ข้อดีของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน	16
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	**20**
1. แผนการดำเนินงาน	20
2. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	22
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย	22
4. การออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	23
5. ขั้นตอนการเชื่อมความเสียดทานแบบกวน	26
6. การทดสอบคุณสมบัติของแนวเชื่อม	28
7. การบันทึกผลการทดลอง	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	**34**
1. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061	34
2. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063	41
3. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075	48
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	**55**
1. สรุปผลงานวิจัย	55
2. ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	**57**
ภาคผนวก ก. บันทึกผลการทดลอง	58
ภาคผนวก ข. ชิ้นงานก่อนทดสอบและหลังทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิต่างๆ	62
ประวัติผู้วิจัย	**93**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข	5
2	อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน 6061	5
3	อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน 6063	6
4	อลูมิเนียมผสมสังกะสี 7075	7
5	ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสมเกรด 6061	22
6	ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสมเกรด 6063	22
7	ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสม AA7075	23
8	บันทึกผลการทดลองค่าความต้านทานแรงดึง	31
9	บันทึกผลการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	32
10	บันทึกผลการทดลองค่าความแข็ง	33
11	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง	59
12	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบความแข็ง	60
13	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเชื่อมเสียดทานแบบกวน	2
2	รอยต่อในการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน	9
3	ส่วนประกอบของเครื่องมือ	10
4	ขั้นตอนการเชื่อมด้วยความเสียดทานหมุนกวน	11
5	เครื่องทดสอบแรงดึง	13
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	14
7	ตัวกวนทรงกระบอกที่เป็นเกลียว	24
8	อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ	25
9	การออกแบบชิ้นงานที่ใช้เชื่อม	25
10	การจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อม	26
11	การกดตัวกวนลงในเนื้ออลูมิเนียมลึก 6 มิลลิเมตร แช่ไว้ประมาณ 12-15 วินาที	27
12	การเชื่อมความเสียดทานแบบกวนบนอลูมิเนียมผสม	27
13	ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมความเสียดทานแบบกวน	27
14	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	28
15	ชิ้นงานทดสอบแรงดึงมาตรฐาน	28
16	การจับยึดชิ้นงานแรงดึง	29
17	การทดสอบแรงดึงจนชิ้นงานขาด	29
18	ลักษณะของรอยกดบนชิ้นงานทดสอบ	30
19	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที (1)	34
20	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับ เกรด 6061 ที่ F74	35
21	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F74	36
22	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F74	37
23	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F89	38
24	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F89	39
25	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 6061 ที่ F89	40
26	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที (2)	41
27	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F74	42
28	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F74	43
29	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 6063 ที่ F74	44
30	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89	45
31	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89	46
32	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

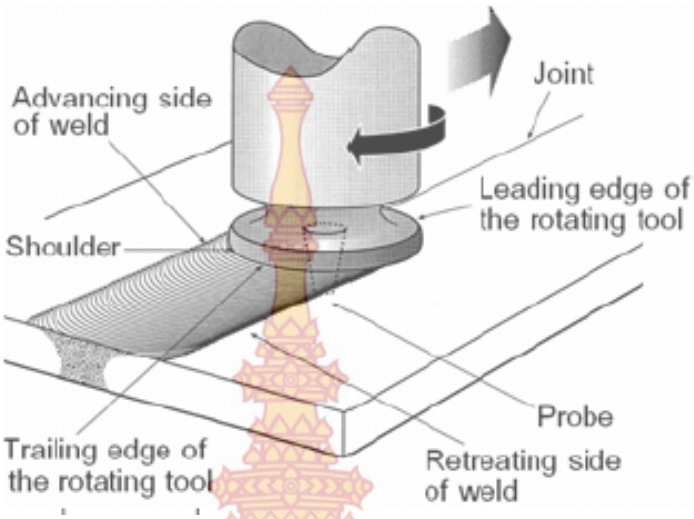
ภาพที่		หน้า
33	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที (3)	48
34	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F74	49
35	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F74	50
36	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F74	51
37	ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F89	52
38	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F89	53
39	ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F89	54

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีให้มีความทันสมัยเที่ยงตรง เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นต้องมีกรรมวิธีการผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่นการเชื่อมเพื่อการประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ เป็นการให้ความร้อนและทำให้สภาพของชิ้นงานเกิดการหลอมละลายประสานติดกัน โดยอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้ชิ้นส่วนจากอลูมิเนียมผสม เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องบิน และชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เป็นต้น เกิดรูพรุน เกิดการแตกร้าวของรอยเชื่อม และเสียขนาดรูปร่างได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมในรูปแบบใหม่ เรียกว่าการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) [1] ดังภาพที่ 1 ถูกพัฒนาโดยสถาบันการเชื่อม (The Welding Institute: TWI) ประเทศอังกฤษ ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งแบบไม่หลอมละลาย ความร้อนที่ได้จะเกิดจากการเสียดทานสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของแกนหมุนกวนที่หมุนรอบแกนและบ่าของเครื่องมือกับผิวหน้าของแผ่นอลูมิเนียม ทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาพพลาสติก ส่งผลให้เกิดรอยต่อและการรวมตัวกัน โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่ำกว่าจุดหลอมละลาย กระบวนการเชื่อมดังกล่าวมีข้อดี คือไม่มีการแพร่ของรังสี ไม่เกิดควันพิษ ชิ้นงานรับแรงทางกลได้สูง เกิดรูพรุนน้อย ไม่เกิดการแตกร้าวรอยเชื่อม และลดต้นทุนในการผลิตเพราะไม่เกิดการสิ้นเปลืองในการใช้ลวดเชื่อมเติม สามารถประยุกต์ใช้ได้กับเครื่องจักรกลพื้นฐานและเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) กับวัสดุอลูมิเนียม 3 เกรด คืออลูมิเนียมผสมเกรด 6061 เกรด 6063 และเกรด 7075 ด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเกลียว กำหนดให้ความเร็วรอบที่ (Rotation Speed) 985 รอบต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) มีค่าแตกต่างกัน และนำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิ และเวลาในการอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของรอยต่อชน ของอลูมิเนียมผสมแต่ละเกรด



ภาพที่ 1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวน [1]

2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาแตกต่างกัน

2. เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. การเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด 6061 เกรด 6063 และเกรด 7075 ในท่าราบเป็นแนวเส้นตรงด้วยกระบวนการเชื่อมต่อชนด้วยการเสียดทานแบบกวน

2. แผ่นอลูมิเนียมที่มีขนาดความกว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความหนา 6.3 มิลลิเมตร โดยนำมาต่อชนกันสองแผ่นตามแนวยาว และทำการยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึด (Fixture) ที่ได้ออกแบบไว้

3. เครื่องมือหมุนกวนทำด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS SKD 11 และสลักแกนหมุนเป็นผิวเกลียวใช้เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง

4. เครื่องจักรที่ใช้ทดลองในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เป็นเครื่อง Milling Machine

5. กำหนดให้ความเร็วรอบ (Rotation Speed) มี 1 ระดับ คือ 985 รอบต่อนาที

6. กำหนดให้ความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) มี 2 ระดับ คือ 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที

7. นำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเสร็จเรียบร้อยแล้วไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส โดยการอบแช่ไว้ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

8. ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมแต่ละเกรดที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงคุณสมบัติทางกลจากกระบวนการเชื่อมต่อชนด้วยการเสียดทานแบบกวน และเมื่อชิ้นงานผ่านการอบที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน

2. สามารถทราบถึงความเหมาะสมของการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

3. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเชื่อมอลูมิเนียมที่เหมาะสม

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันงานเชื่อมได้พัฒนาจนสามารถเชื่อมวัสดุต่างชนิดกันได้ด้วยกระบวนการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์ (Friction Stir Welding) สามารถใช้ในการเชื่อมเหล็กกับอลูมิเนียมเข้าด้วยกันได้โดยมีหลักการที่ไม่ยุ่งยาก เทคโนโลยีงานเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความเสียดทานแบบกวนนี้ได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาอุตสาหกรรมงานเชื่อมให้มีการพัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่งเนื่องจากการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ได้โดยการนำอลูมิเนียมเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตโครงสร้างของรถยนต์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) กับวัสดุอลูมิเนียม 3 เกรด คืออลูมิเนียมผสมเกรด 6061 เกรด 6063 และเกรด 7075 ด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเกลียว กำหนดให้ความเร็วรอบ (Rotation Speed) และความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) มีค่าแตกต่างกัน และนำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิ และเวลาในการอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของรอยต่อชน

1. อลูมิเนียม (Aluminum)

คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (เนื่องจากปรากฏการณ์ passivation) แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมายและอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคารซึ่งต้องการน้ำหนักเบาความทนทานและความแข็งแรง

คุณสมบัติทั่วไป

- ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	อะลูมิเนียม, Al, 13
- อนุกรมเคมี	โลหะ
- หมู่, คาบ, บล็อก	13, 3, p
- ลักษณะ	มันวาว
- มวลอะตอม	26.9815386(8) กรัมต่อโมล
- การจัดเรียงอิเล็กตรอน	$[Ne]\ 3s^2\ 3p^1$

อลูมิเนียม (Aluminum) สามารถจำแนกกลุ่ม ตามมาตรฐานของ ASM (American Society of Metals) ซึ่งเป็นการจำแนกตาม ระบบตัวเลข 4 หลัก ดังนี้ตัวเลขหลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์แสดงกลุ่มธาตุที่ผสม ธาตุหนึ่งเป็นหลัก ตาม ตาราง (ข้างล่าง) เช่น 2XXX เป็นกลุ่มธาตุผสมของอลูมิเนียมที่มีทองแดงเป็นธาตุผสมหลัก เป็นต้น

ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข

สัญลักษณ์	ธาตุที่ผสมหลักในอลูมิเนียม
1xxx	อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99%
2xxx	ทองแดง (Copper, Cu)
3xxx	แมงกานีส (Manganese, Mn)
4xxx	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5xxx	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
6xxx	ซิลิกอนกัลป์แมกนีเซียม (Magnesium, Mg and Silicon, Si)
7xxx	สังกะสี (Zinc, Zn)
8xxx	ธาตุอื่นๆ (Other Element)
9xxx	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

- ตัวเลขตัวที่สองและสามเป็นสัญลักษณ์แสดงอลูมิเนียมผสมที่มีธาตุผสมชนิดอื่นผสมเข้าไป หรือแสดงอลูมิเนียมบริสุทธิ์

- ตัวเลขตัวที่สี่ เป็นสัญลักษณ์ซึ่งเป็นการแบ่งตามการผลิตอย่างอื่นโดยจะใช้จุดทศนิยมแสดงการผลิตเป็นต้น เช่น การหล่อ หรือ จากแท่งอินกอทการปรับปรุงจากธาตุผสมเดิมหรือ จำนวนสิ่งที่ปนเข้าไป แสดงโดยตัวอักษรก่อนตัวเลข ตัวอักษร X ใหญ่ ใช้สำหรับธาตุผสมที่ทดลองอยู่ อย่างไรก็ตาม อลูมิเนียมหล่อผสมทั่วไปจะใช้ตัวเลข 3 หลัก

ตารางที่ 2 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน 6061

ส่วนผสมทางเคมี			
ซิลิกอน (Si)	0.40-0.80	แมกนีเซียม (Mg)	0.80 - 1.20
เหล็ก (Fe)	0.70	สังกะสี (Zn)	0.25
ทองแดง (Cu)	0.15 - 0.40	แมงกานีส (Mn)	0.15
ไทเทเนียม (Ti) 0.15		โครเมี่ยม (Cr)	0.04 - 0.35
		อื่นๆ	0.05
สมบัติทางอุณหภูมิ			
อุณหภูมิหลอมเหลว		652 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิแข็งตัว		582 องศาเซลเซียส	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส		23.6 um/m.K	
ความร้อนจำเพาะ		960 J/kg.K	
ความหนาแน่น		2.70g/cm^3	

สมบัติทางกล				
Temper	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Shear strength (MPa)
O	124	55	25	83
T4, T451	214	145	22	165
T6, T651	310	276	12	207

ตารางที่ 3 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน 6063

ส่วนผสมทางเคมี			
ซิลิกอน (Si)	0.02-0.06	แมกนีเซียม (Mg)	0.45 - 0.90
เหล็ก (Fe)	0.35	สังกะสี (Zn)	0.10
ทองแดง (Cu)	0.10	โครเมียม (Cr)	0.0
แมงกานีส (Mn)	0.10	อื่นๆ	0.05
สมบัติทางอุณหภูมิ			
อุณหภูมิหลอมเหลว		655 องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิแข็งตัว		615 องศาเซลเซียส	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส		23.4 um/m.K	
ปริมาตร		69×10^{-6} $m^3/m^3.K$	

สมบัติทางกล					
Temper	Tensile strength (MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear strength (MPa)
O	90	48	-	25	69
T1	152	90	20	42	97
T4	172	90	22	-	-
T5	168	145	12	60	117
T6	241	214	9	82	152

ตารางที่ 4 อลูมิเนียมผสมสังกะสี 7075

ส่วนผสมทางเคมี			
ซิลิกอน (Si)	0.40	แมกนีเซียม (Mg)	2.10 - 2.90
เหล็ก (Fe)	0.50	สังกะสี (Zn)	5.10 - 6.10
ทองแดง (Cu)	1.20 - 2.00	โครเมียม (Cr)	0.18 - 0.28
แมงกานีส (Mn)	0.30	ไททาเนียม (Ti) 0.20	
		อื่น	0.05

สมบัติทางอุณหภูมิ	
อุณหภูมิหลอมเหลว	635 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิแข็งตัว	477 องศาเซลเซียส
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	23.4 um/m.K
ปริมาตร	$68x10^{-6}$ $m^3/m^3.K$
ความร้อนจำเพาะ	960 J/kg.K
ความหนาแน่น	2.80 g/cm^3

สมบัติทางกล					
Temper	Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear strength(MPa)
O	228	103	17	60	152
T6,T651	572	503	11	150	331
T73	503	434	-	-	-

2. ชนิดและหน้าที่ของอุปกรณ์จับยึด

อุปกรณ์จับยึดเป็นเครื่องมือสำหรับงานในอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่เที่ยงตรงเหมือนกันทุกๆชิ้นความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างอุปกรณ์จับยึดกับชิ้นงานจะต้องถูกรักษาให้คงเดิมอยู่ตลอดเวลาอุปกรณ์จับยึดถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึดจับรองรับและกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกๆ ชิ้นเพื่อให้แน่ใจว่าในการเจาะรูหรือการตกแต่งด้วยวิธีอื่นๆจะได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการอุปกรณ์จับยึดนี้จะมีความหมายเกี่ยวกันใกล้เคียงกันมากบางทีก็อาจจะเกิดสับสนในการในไปใช้ได้บ้างอย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์จับยึดก็ขึ้นอยู่กับแนวทางของเครื่องมือที่จะนำไปใช้กับชิ้นงาน

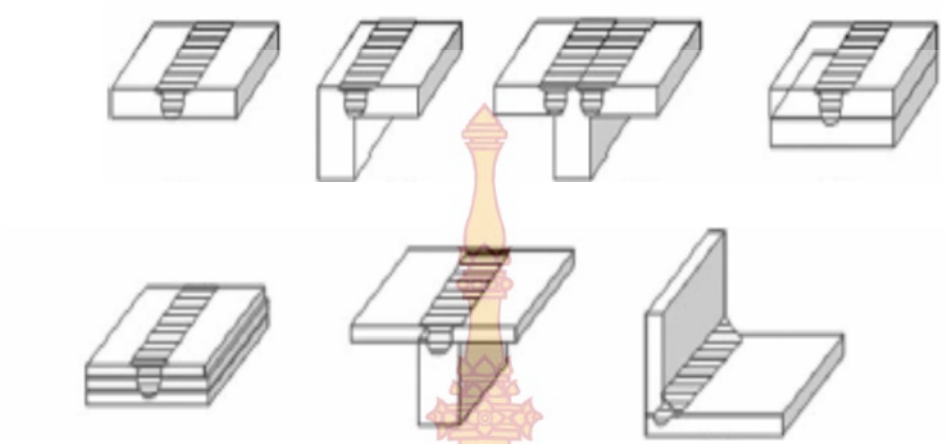
อุปกรณ์จับยึดเป็นเครื่องมือพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่งจับยึดชิ้นงาน และยังเป็นตัวนำทางของเครื่องมือตัด (Cutting Tools) เช่น ในการเจาะรูหรือคว้านรู โดยปกติแล้วอุปกรณ์จับยึดจะมีปลอกนำทางซึ่งอัดติดแน่นอยู่เสมอปลอกนำทางนี้จะทำด้วยเหล็กพิเศษที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วและจะเป็นตัวที่ใช้สำหรับนำทางในการเจาะรูของดอกสว่านหรือนำทางเครื่องมือตัดอื่นๆตามกฎที่ใช้กันอยู่นี้ถ้าอุปกรณ์จับยึดที่ใช้มีขนาดเล็กๆก็ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกจับยึดให้ติดแน่นอยู่บนแท่นเจาะ เราใช้มืออุปกรณ์จับยึดเองก็ได้แต่ถ้ารูปที่เจาะโตกว่า 6 มิลลิเมตรแล้วอุปกรณ์จับยึดที่ใช้ก็จำเป็นที่จะต้องถูกจับยึดให้ติดแน่นอยู่กับแท่นของเครื่องเจาะ

อุปกรณ์จับยึดนี้จะมีแท่งตั้งระยะและไดอัลเกจเป็นตัวช่วยให้ตั้งระยะของเครื่องมือตัดอยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องที่จะกระทำต่อชิ้นงาน อุปกรณ์จับยึดนี้จะต้องถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับเทเบิลของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำอยู่และแม้ว่าสำหรับงานใหญ่ๆ เช่น ใช้กับเครื่องกัด (Milling Machine) อุปกรณ์จับยึดก็จะถูกออกแบบให้จับยึดชิ้นงานได้แปรเปลี่ยนไปตามการทำงานแบบต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐานต่างๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องกลึงฯลฯ อุปกรณ์จับยึดจะแปรเปลี่ยนไปตามการออกแบบให้สัมพันธ์กับเครื่องมือต่างๆตั้งแต่แบบธรรมดาๆไปจนถึงแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง อุปกรณ์จับยึดช่วยให้การทำงานโลหะต่างๆมีความง่ายขึ้นและสามารถใช้งานได้กับเครื่องมือพิเศษได้อย่างดีเหมือนดังเช่นการทำงานกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐาน

3. กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

3.1 การออกแบบรอยต่อ (Joint design)

ในการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนที่จะทำการเชื่อมชิ้นงานที่ให้เกิดความเหมาะได้นั้นจะต้องเป็นการเชื่อมแบบรอยต่อชน (Butt joint) และรอยต่อเกย (Lap joint) โดยที่การเชื่อมนั้นจะต้องมีความหนาและผิวหน้าของรอยเชื่อมเรียบเสมอกันทั้งสองแผ่นสิ่งต้องสำคัญต้องมีแผ่นรองหลังชิ้นงานขณะที่ทำการเชื่อมเนื่องด้วยการเชื่อมในกระบวนการนี้อาศัยการเกิดเสียดทานของผิววัสดุกับบ่าของแกนหมุนกวนที่กดลงบนผิวของชิ้นงานดังนั้นแผ่นรองหลังจะเป็นตัวทำหน้าที่รองรับแรงที่กดลงของแกนหมุนกวนจนกระทั่งทำการเชื่อมเสร็จในการเชื่อมจะต้องจับยึดแผ่นของชิ้นงานติดกับแผ่นรองหลังให้แน่นจนไม่เกิดรอยแยกของรอยต่อในขณะทำการเชื่อมซึ่งหากยึดไม่แน่นจะส่งผลต่อการประสานติดกันของเนื้อวัสดุที่บริเวณแนวเชื่อมรอยต่อนั้นและในการเชื่อมนี้ยังสามารถประยุกต์ตามงานได้ ดังภาพที่ 2



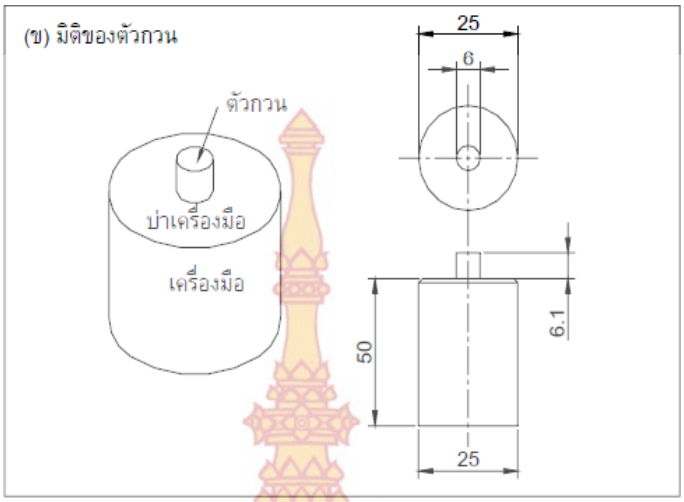
ภาพที่ 2 รอยต่อในการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน [2]

3.2 เครื่องมือ (Tool)

เครื่องมือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับในการเชื่อมด้วยความเสียดทาน เพราะเป็นตัวกลางในการเสียดสีเพื่อให้เกิดความร้อนขึ้นระหว่างชิ้นงานสองชิ้น ดังนั้นเครื่องมือต้องทนความร้อนสูงกว่าโลหะชิ้นงานเชื่อม และมีความสามารถในการต้านทานแรงอัดและแรงเฉือนสูงเนื่องจากเครื่องมือต้องได้รับแรงอัดและแรงเฉือนในขณะทำการเชื่อมตลอดเวลา

ลักษณะของเครื่องมือจากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมา มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลมโดยมีบ่าของเครื่องมือ (Tool Shoulder) เป็นตัวสัมผัสกับผิวชิ้นงานด้านบน และมีตัวกวน (Pin) ที่เข้าไปอยู่ในเนื้อของชิ้นงานทำให้เกิดการเสียดสีของวัตถุ ดังภาพที่ 3

ลักษณะของแกนหมุนที่นิยมใช้อยู่ 3 ลักษณะ คือแบบเป็นทรงกระบอกกลมหน้าตัดฉาก แบบทรงกระบอกตรงหน้าตัดโค้งและแบบเป็นเกลียว ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏแน่ชัดว่าเครื่องมือลักษณะใด มีความสามารถในการเชื่อมดีกว่าหรือด้อยกว่ากัน



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องมือ

3.3 ขั้นตอนในการเชื่อมด้วยความเสียดทานหมุนกวน

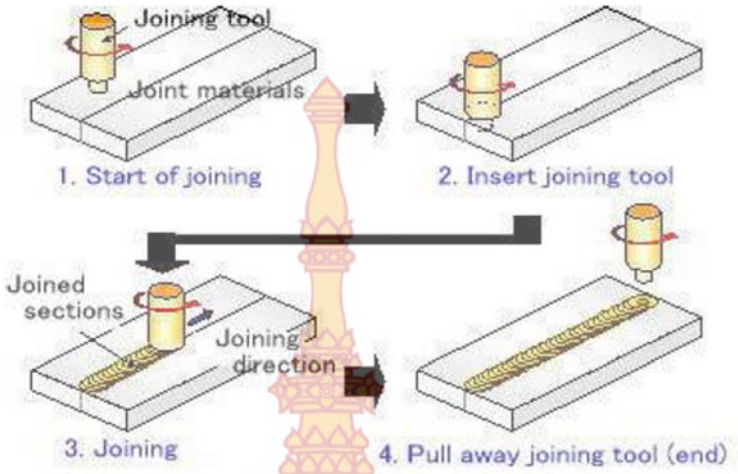
ในกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนที่ได้กล่าวมานี้สามารถแสดงขั้นตอนของการทำงานออกเป็นแต่ละขั้นได้ดังต่อไปนี้ ดังภาพที่ 4

ขั้นตอนที่ 1 จับยึดแผ่นชิ้นงานเชื่อมด้วยอุปกรณ์จับยึดโดยให้แผ่นชิ้นงานต่อชนสนิทกันและหมุนแกนหมุนกวนด้วยความเร็วรอบแกนหมุนตามที่กำหนดค่าในการเชื่อม

ขั้นตอนที่ 2 เคลื่อนที่แกนหมุนกวนลงโดยแกนหมุนจะเอียงหัวตามมุมที่กำหนดไว้จนสลักแกนหมุนสัมผัสกับผิวของชิ้นงานตรงกลางรอยต่องานเชื่อมซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะช้าทำให้วัสดุเกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนพอที่จะให้สลักแกนหมุนเคลื่อนที่ลงสู่ผิวชิ้นงานจนบ่าแกนหมุนสัมผัสกับผิวชิ้นงานเต็มหน้าสัมผัสของบ่าแกนหมุนดัง

ขั้นตอนที่ 3 การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเมื่อแกนหมุนกวนกดลงจนทำให้บ่าแกนหมุนสัมผัสกับผิวชิ้นงานในระหว่างนั้นจะเกิดการเสียดสีระหว่างชิ้นงานกับบ่าแกนหมุนจนเกิดความร้อนและแพร่สู่เนื้อวัสดุรอบๆแกนหมุนโดยความร้อนสูงพอเพียงต่อการทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปพลาสติกซึ่งในช่วงนี้เนื้อวัสดุของชิ้นงานเกิดการประสานติดกัน

ขั้นตอนที่ 4 แกนหมุนเคลื่อนที่เกิดแนวเชื่อมเมื่อวัสดุสองชิ้นเกิดการประสานติดกันจากนั้นทำการเคลื่อนที่แกนหมุนกวนในทิศทางของรอยต่อที่ทำการเชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมที่กำหนดไว้จนเสร็จการเชื่อมเป็นแนวเชื่อมที่ต้องการ



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเชื่อมด้วยความเสียดทานหมุนกวน [2]

4. กรรมวิธีทางความร้อนของอลูมิเนียม [3]

F ชิ้นงานจะใช้งานในสภาพภายหลังการหล่อ (As-Cast) กล่าวคือหลังจากแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อแล้วปล่อยให้เย็นในบรรยากาศปกติจนถึงอุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพใดๆด้วยความร้อน

O จุดประสงค์หลักเพื่อลดความเครียดด้วยความร้อน (Thermal Stress Relieving) หรือการอบอ่อน (Annealing) นั่นเอง โดยทั่วไปเรียกว่า T2 วัตถุประสงค์หลักของการทำ T2 เพื่อลดความเครียดและป้องกันการขยายตัวในขณะใช้งานชิ้นงานที่ผ่านการทำ T2 จะมีความอ่อนเหนียวดี (Ductility) แต่ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) จะลดลงมากโดยนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 343 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนาชิ้นงานออกมาเย็นตัวในบรรยากาศปกติจนถึงอุณหภูมิห้องข้อพึงระวังคือต้องควบคุมให้มีอัตราการเย็นตัวที่ช้ามากพอที่จะป้องกันการเกิด Thermal Stress ในชิ้นงาน

T1 คือการปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในบรรยากาศปกติจนถึงอุณหภูมิห้อง (หลังจากแกะออกจากแบบหล่อ) แล้วนาชิ้นงานไปทา Natural Aging เป็นเวลา 21 วันซึ่งจะทาให้ได้สมบัติทางกลที่ดีกว่าวิธี F และ O

T3 คือการอบละลายและการแปรรูปเย็นเป็นภาวะโลหะภายหลังการทำอบละลายต่อจากการทำแปรรูปเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ให้แก่วัสดุ

T4 คือการทำ Solution Heat Treatment + Quenching หลังจากนั้นปล่อยให้เกิด Natural Aging เพื่อให้ได้สมบัติทางกลที่ดีขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความต้านทานแรงดึง

T5, T51, T551 เป็นการทำ Solution Heat Treatment + Quenching + Artificial Aging โดยเน้นการทา Solution Heat Treatment ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักเพื่อปูองกันการขยายตัวของเกรนและเพิ่มความมีเสถียรภาพขนาด (Dimension Stability) ของชิ้นงานหล่อ 84

T6, T61, T62, T65 ทำ Solution Heat Treatment + Quenching + Artificial Aging ซึ่งจะทาให้ได้สมบัติทางกลสูงสุดโดยเฉพาะค่า Tensile Strength และ Yield Strength ขณะเดียวกันยังรักษา Elongation ไว้ได้

T7, T71, T75, T755 ทำ Solution Heat Treatment + Quenching + Artificial aging + Over aging ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลอย่างมากกล่าวคือค่า Tensile Strength และ Yield Strength จะลดลงอย่างมากในขณะที่ค่า Elongation เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งต่างจากการทา T6

T8 การอบละลายแล้วแปรรูปเย็นและอบบ่มตัวแข็งใช้กับโลหะที่ผ่านการอบละลายเพื่อให้โลหะเหนียวขึ้นจากนั้นจึงทำการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงวัสดุขึ้นอีกโดยการบ่มตัวแข็ง

T9 การอบละลายแล้วอบบ่มตัวแข็งและแปรรูปเย็นใช้กับโลหะที่ผ่านการอบละลายแล้วทำการอบบ่มแข็งจากนั้นจึงทำการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุ

T10 การอบบ่มตัวแข็งแล้วทำการแปรรูปเย็นใช้กับโลหะที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนให้เกิดการบ่มแข็งโดยไม่ผ่านการอบอ่อนมาก่อนต่อจากนั้นทำการแปรรูปเย็นอีกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุ

การทำกรรมวิธีการให้ความร้อน (Heat Treatment) ในการทำให้เนื้ออลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไปในทางที่แข็งแรงขึ้น เพราะอลูมิเนียมกลุ่ม 2XXX, 5XXX บางตัว (ส่วนมากไม่นิยมทำ), 6XXX และ 7XXX สามารถทำ ให้แข็งแรง โดยการให้ความร้อน ดังนั้นอลูมิเนียมกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เป็นพวกที่ทำกรรมวิธีทางความร้อนได้ (Heat Treatment Alloys)

อลูมิเนียมกลุ่มที่เหลือ คือ 1XXX, 3XXX, 4XXX บางตัว และ 5XXX เป็นพวกที่ไม่อาจจะปรับปรุง คุณสมบัติทางกลให้แข็งแรงเด่นชัด โดยการทำกรรมวิธีทางความร้อน (Non Heat Treatment Alloys) แต่สามารถทำให้แข็งแรง โดยการทำแปรรูปเย็น

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกล

5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึง (Tensile Test) [4]

การทดสอบโดยการดึงเป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุและนิยมทดสอบกันมากเพราะสามารถที่จะให้ข้อมูลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควรเช่นความต้านทานแรงดึงความยืดตัวและความเปราะซึ่งนับได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปโดยทั่วไปการทดสอบก็ต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอดึงชิ้นทดสอบให้ยืดออกและขาดในที่สุดสำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นนิยมทดสอบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะเพราะวัสดุที่เหนียวมีลักษณะการใช้งานที่มากกว่าโดยตัวอย่างของเครื่องที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงแสดง ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 เครื่องทดสอบแรงดึง

ความเค้น (Stress) ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายในโดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

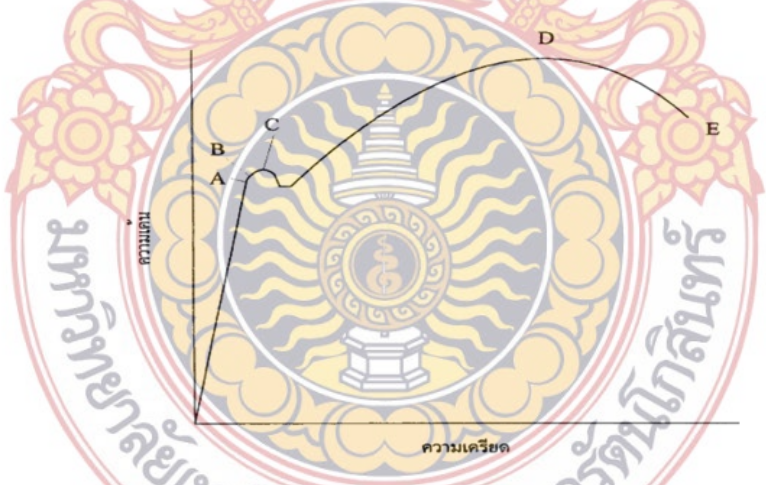
ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อให้อะตอมของวัสดุเคลื่อนออกจากกันมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

ความเครียด (Strain) คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำการเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอะตอมภายในเนื้อวัสดุซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆคือ

การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำอะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิมทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ตัวอย่างได้แก่พวกยางยืด,สปริงถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้นโดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้นความเครียดซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลักโดยจะพลอตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน ดังภาพที่ 6 การทดสอบแรงดึงนอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดแล้วยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุความเปราะเหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ(Formability) ได้อีกด้วย



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้นความเครียดเราพบว่าเมื่อเราเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆชิ้นทดสอบจะค่อยๆยืดออกจนถึงจุดๆหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรงตามกฎของฮุค (Hook's Law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้น

เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดที่จุด A นี้เราเรียกว่าจุดพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมและเมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วนเส้นกราฟจะค่อยๆโค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุดๆหนึ่ง (จุด B) ที่เรียกว่าจุดพิกัดการยืดหยุ่น (Elastic Limit) ซึ่งที่จุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปอย่างถาวร (Permanent Deformation) กับวัสดุนั้นแต่เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิดเช่นพวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจะเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการเพิ่มความเค้นและที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกที่จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความเค้นจุดคราก (Yield Stress) ซึ่งค่านี้มีประโยชน์กับวิศวกรมากเพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูปและในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหายในวัสดุหลายชนิด เช่น อะลูมิเนียมทองแดงจะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจนแต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.20 เปอร์เซ็นต์ แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นโค้งของกราฟค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress)

5.2 การทดสอบความแข็ง

ความแข็งเป็นคุณสมบัติทางกลของวัสดุอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญโดยความแข็งของวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือ และชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุนั้นมีอยู่ 2 ปัจจัยคือ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาและส่วนผสมทางเคมีภายในวัสดุ โดยค่าความแข็งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านอื่นด้วย ได้แก่ค่าความต้านแรงดึงความเหนียวและความต้านทานต่อการขูดขีด โดยการทดสอบความแข็งของวัสดุมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้ได้แก่

1. การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Testing)
2. การวัดความแข็งแบบรอคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)
3. การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Testing)

การทดสอบความแข็งระดับจุลภาคนิยมใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกดซึ่งแรงที่ใช้จะเป็นแรงกดคงที่โดยความแข็งของวัสดุจะมีผลต่อความลึกของรอยกดหัวกดที่ใช้จะเป็นหัวกดที่ทำด้วยเพชรรูปทรงปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสทุกด้านทำมุม 136องศาโดยแรงที่ใช้กดมีตั้งแต่ 1-1000 กรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุโดยค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์จะได้จากการวัดความกว้างของรอยกดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากนั้นนำมาคำนวณค่าความแข็ง

วิธีการวัดค่าความแข็งวิธีนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กพื้นที่การวัดความแข็งน้อยแต่ที่นิยมมากที่สูดคือการนำไปวัดความแข็งของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุการวัดชั้นความแข็งลึกของงานชุบผิวแข็งและการวัดความแข็งของแนวเชื่อมโดยค่าความแข็งที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น HV (Hardness of Vickers Hardness Testing)

6. ข้อดีของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน

ความสำคัญของการเชื่อมอลูมิเนียมด้วยกระบวนการนี้คือการที่สามารถเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นด้วยความร้อนจากความเสียดทานที่ผิวได้โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนักโดยส่วนใหญ่ต่ำกว่าจุดหลอมละลาของวัสดุหรือที่เรียกว่าการเชื่อมในสภาวะของแข็งซึ่งวิธีการเชื่อมแบบนี้สามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตแบบอัตโนมัติได้โดยสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดีของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนคือ

ก) เกิดการเสียรูป (Distortion) ที่ต่ำในแนวยาวตามแนวการเชื่อม
ข) ให้คุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าการเชื่อมที่ใช้ความร้อนสูง
ค) ไม่ต้องมีการเติมเนื้อจากลวดเชื่อม
ง) ใช้พลังงานความร้อนต่ำ
จ) ไม่ต้องใช้ก๊าซคลุมผิวระหว่างทำการเชื่อม
ฉ) ไม่เกิดควันและรังสีจากการอาร์คไม่ต้องตกแต่งผิวภายหลังการเชื่อม
ซ) ไม่เกิดรูพรุน (Porosity) ภายในแนวเชื่อม
ฌ) ไม่มี Spatter ระหว่างการเชื่อม

ข้อเสียของกระบวนการเชื่อมเสียดทานหมุนกวนคือ

ก) ต้องมีการเตรียมผิวรอยต่อแนวเชื่อมที่ดี
ข) ชิ้นงานต้องมีการจับยึดที่แข็งแรงโดยต้องมีแผ่นรองรับที่แข็งแรง
ค) จะเกิดรูที่ปลายแนวเชื่อมเสมอ
ง) การเชื่อมในท่าเชื่อมต่างๆต้องใช้อุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบเฉพาะ
จ) ลงทุนในครั้งแรกสูง
ฉ) ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงได้

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ [5] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวกวนรูปแบบต่างๆ เช่น ตัวกวนทรงกระบอก ตัวกวนทรงกรวย และตัวกวนเกลียว ของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อ ชนอลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 ผลการทดลองที่ได้พบว่า รอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปแบบต่างๆ ให้ค่าความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่แตกต่างกัน ค่าความแข็งแรงสูงสุดได้จากรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min และความเร็วรอบ 500 rpm ที่ ค่าประมาณ 165MPa หรือร้อยละ 78 ของความแข็งแรงของอลูมิเนียมหลัก ผลที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องจากตัวกวนทรงกระบอกแสดงการเพิ่มขึ้นของผิวเสียดทานระหว่างเหล็กและผิวตัวกวน และส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มผิวกระตุ้นที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ ในการสร้างการเกาะยึดระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก นอกจากนั้นการเกิดช่อง ว่างจุดบกพร่องขนาดต่างๆ ที่มุมล่างของตัวกวนด้านแอดวานซิ่งของรอยต่อมีขนาดลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น

บรรเจิด ดอนเนตร และสมนึก วัฒนศรีกุล [6] ได้ศึกษากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ด้วยการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมผสม AA6063-T1 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยการใช้ตัวกวนทรงกระบอกผิวเรียบกับตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียว ตัวแปรคงที่ส่วนความเร็วตัวกวน 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาทีเอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา พบว่า ตัวกวนทรงกระบอกผิวเรียบให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุดโดยมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ประมาณ 163 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียวให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุดโดยมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ประมาณ 163 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียวให้แนวเชื่อมีความสมบูรณ์และความแข็งแรงดึงสูงสุด โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ประมาณ 169 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

Liu, Fujii, Maedaa, and Nogi [7] ทำการศึกษาวิจัยคุณสมบัติด้านการรับแรงดึง และการแยกตำแหน่ง ของรอยต่อกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนของอลูมิเนียมเจือ AA 2017-T351 ตีพิมพ์ใน Journal of Materials Processing Technology ในปี 2003 การทดลองทำการศึกษาอลูมิเนียมเจือ AA 2017-T351 ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ความกว้าง 80 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร โดยทำการเชื่อมแบบต่อชนด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน ที่ใช้ขนาดของแกนหมุนกวน ที่บ่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สลักแกนหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 4.7 มิลลิเมตร เอียงแกนหมุน 3 องศา ใช้ค่าพารามิเตอร์ ในการเชื่อมประกอบด้วย ความเร็วรอบแกนหมุน 1500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 25 ถึง 600 มิลลิเมตรต่อ โดยได้กำหนดค่า Revolutionary pitch ที่ 0.02 ถึง 0.4 มิลลิเมตรต่อรอบ และทำการทดสอบโครงสร้าง ทดสอบการรับแรงดึงและทดสอบค่าแข็งของแนวเชื่อมผลที่ได้จากการทดสอบ สรุปได้ว่าบริเวณที่เป็นจุดอ่อนจากการเชื่อมคือบริเวณ HAZ ที่มีความชัดเจนเกิดจาก การเชื่อมความเสียดทาน

หมุนกวนของอลูมิเนียมเจือ AA 2017-T351 ดังนี้ คุณสมบัติรับแรงดึงที่รอยต่อจาการเชื่อมมีค่าต่ำกว่าชนิดเดิมที่ยังไม่ผ่านการเชื่อม (Base metal) ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมมีอิทธิพลที่สำคัญในเรื่องคุณสมบัติต้านรับแรงดึงและตำแหน่ง การแยกของรอยต่อเมื่อ Revolutionary pitch มากเกินค่าที่เหมาะสม เช่น 0.13 มิลลิเมตรต่อรอบ ไม่เกิดผลต่อการมีอยู่ของข้อบกพร่องในรอยต่อ คุณสมบัติต้านรับแรงดึงที่รอยต่อค่อนข้างต่ำและการแยกเกิดขึ้นที่จุดกึ่งตรงกลาง และเมื่อ Revolutionary pitch มีค่าที่เหมาะสม หรือน้อยกว่าจะไม่ เกิดข้อบกพร่องในรอยต่อคุณสมบัติต้านการการรับแรงดึงของรอยต่อใกล้เคียงกับระดับสูง และก้อนที่เกิดการเชื่อม (Weld nugget) และ TMAZ ที่เลื่อนไปด้านข้างและภายใต้สภาพของ Revolutionary pitch ที่ 0.07 มิลลิเมตรต่อรอบ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 82% ของเนื้อเดิม

M. Ericsson [8] ทำการศึกษาวิจัยในเรื่อง อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อความต้านทานการล้าตัวของกระบวนการเชื่อม FSW ที่เปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อม MIG และTIG ตีพิมพ์ใน International Journal of Fatigue ปีที่ 2003 ทำการการศึกษากับวัสดุอลูมิเนียมเจือ AA6082-T6 ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมแบบต่อชน กำหนดการเชื่อมด้วยการกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน โดยกำหนดให้ใช้ความเร็วรอบแกนหมุนที่ 2200 ถึง 2500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 700 ถึง 1400 มิลลิเมตรต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของบ่าให้ความร้อน 14 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของสลักแกนหมุน 6 มิลลิเมตร สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG-pulse และ TIG ตามที่ใช้งานจริงคือที่ทำการเชื่อมแบบรอยต่อชนบากร่อง ใช้ลวดเติมชนิด AlSi5 ใช้ก๊าซคลุมอาร์กอน ความเร็วเดินเชื่อม 120 ถึง 140 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับการกระบวนการเชื่อม TIG และที่ความเร็วเดินเชื่อม 525 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับการเชื่อม MIG-pulse และ TIG โดยทั้งสองกระบวนการมีการให้ความร้อน (Heat Input) 0.46 kJ/mm และ 2.4 kJ/mm ตามลำดับและจากผลการวิจัยที่ทำการทดสอบ25ความแข็งแรงดึง การทดสอบความแข็งที่บริเวณ HAZ และความต้านการล้าตัวโดยจะกำหนดให้ค่า R = 0.5 ควบคุมภายใต้ภาระงานคงที่จะมีรูปแบบคลื่นความถี่เป็นแบบ Sine ที่ 9 ถึง 15 Hz พบว่าค่าความแข็งบริเวณ HAZ ของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน มีค่าความแข็งลดลงและจะลดลงมาเมื่อทำการเชื่อมแบบ MIG-pulse และ TIG เมื่อเทียบกับเนื้อวัสดุเดิมส่วนที่กระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน ที่ความเร็วเดินเชื่อมทั้งสองค่าจะไม่มีผลแตกต่างกันในบริเวณ HAZ และที่ค่าความแข็งแรงดึงจะพบว่าการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนนี้ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 245 MPa ซึ่งมีค่าที่มากกว่าในการเชื่อม MIG-pulse และการเชื่อม TIG ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 221 MPa และ 219 Mpa ตามลำดับ โดยที่เนื้อของอลูมิเนียมเจือAA6082-T6 เดิม มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 317 MPa และใน ด้านของค่าความต้านการล้าตัวเมื่อพิจารณาที่รอบวัฏจักร 500,000 รอบ จะพบว่าการเชื่อมการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนจะให้ค่าวามแข็งแรงด้านความล้ามากสุดโดยจะเกิดความเสียหายที่ค่าความเค้น 90 MPa โดยที่

การเชื่อม MIG-pulse และ TIG มีค่าวามแข็งแรงด้านความล้าน้อยกว่า และเกิดความเสียหายที่ค่าความเค้น 60 MPa และ 70 MPa ตามลำดับ

P. Ulysse [9] ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองสามมิติของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน ตีพิมพ์ใน International Journal of Machine Tools & Manufacture Design, Research and Application ในปี 2002 โดยในการทดลองนี้จะเป็นแบบจำลองของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน ที่ใช้แบบจำลองในด้านความเหนียวและพลาสติก 3 มิติ (Three-dimensional visco-plastic modeling) ซึ่งการทดลองนี้จะทำการเชื่อมแผ่นอลูมิเนียม AA7050 T7451 แบบต่อชนที่มี ความหนา 19.1 มิลลิเมตร ที่จะใช้แกนหมุนกวนมีสลักแกนหมุนเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร ยาว 6.4 มิลลิเมตร หรือประมาณ 1/3 ของความหนาแผ่นอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า 19 มิลลิเมตร ความเร็วเดินเชื่อม และความเร็วรอบแกนหมุนตามตารางของเครื่องกัด โดยในการหาอิทธิพลของอุณหภูมิที่เกิดจากแกนหมุนกวน จะใช้แบบจำลองในการคำนวณหาโดยจะใช้หลักการของไฟไนเอลิเมนต์ในการแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของแกนหมุน ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองจริงกับชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับการเกิดอุณหภูมิโดยการฝังใส่เทอร์โมคับเปิล ตามแนวยาวของรอยต่อจำนวน 6 เส้นที่ความลึก 13.7 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาในการกระจายอุณหภูมิ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

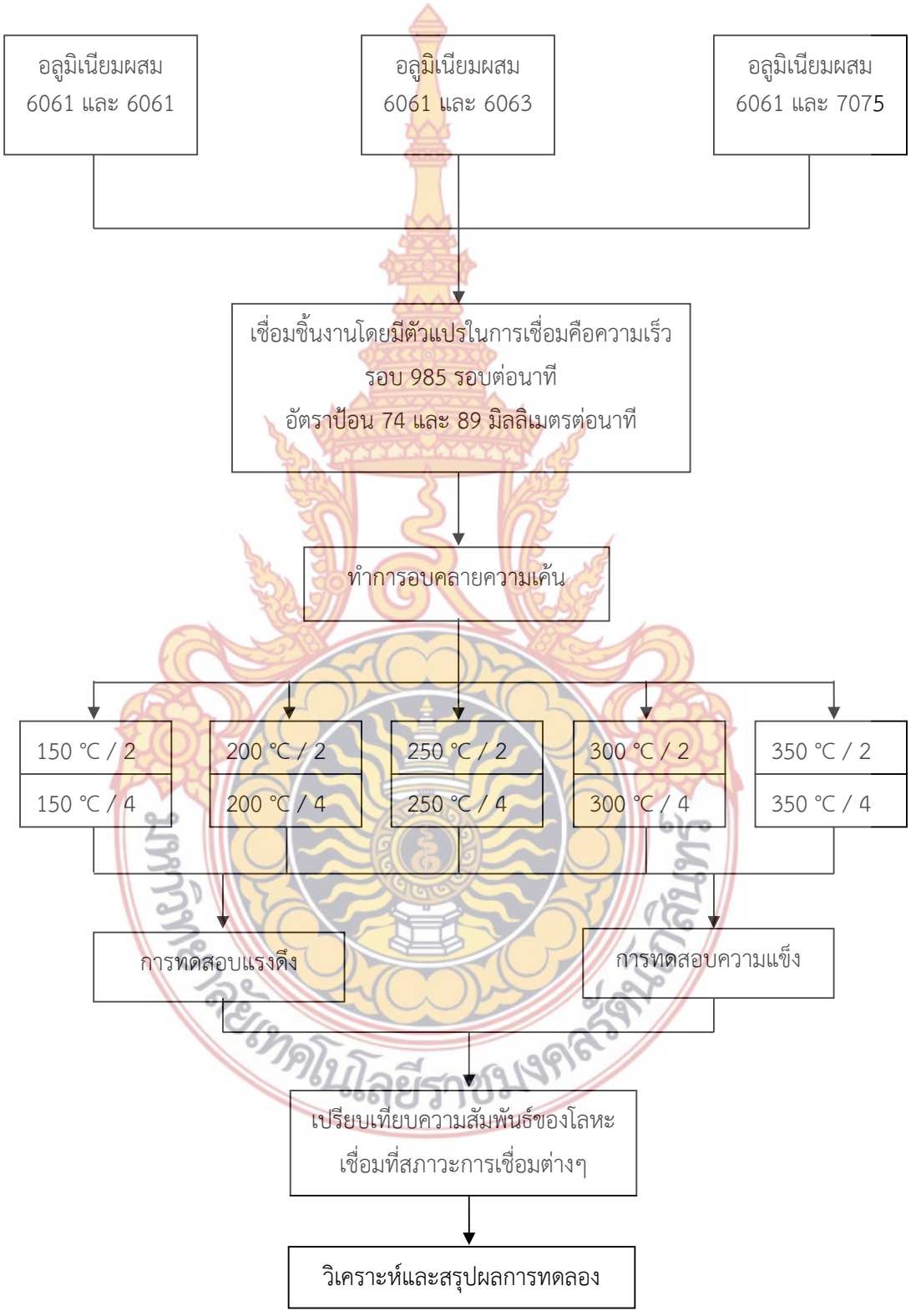
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสม ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาแตกต่างเพื่อให้บรรลุตามจุดประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัยนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลในงานวิจัยและทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปงานวิจัย

1. แผนการดำเนินงาน

1) วางแผนและเตรียมการ
2) ออกแบบเครื่องมือ และชุดจับยึดชิ้นงาน
3) ดำเนินการสร้างเครื่องมือ และชุดจับยึดชิ้นงาน
4) การทดลองเชื่อมเพื่อหาข้อมูล
5) ปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม
6) ทำการทดลองเชื่อมเพื่อบันทึกผลการทดลอง
7) ทำการอบคลายความเค้น
8) ทดสอบคุณสมบัติแนวเชื่อม
9) สรุปผลงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



2. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

เงื่อนไขในการทดลองนี้จะกำหนดจากตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมอันได้แก่ชนิดของสลักแกนหมุนความเร็วรอบในการหมุนความเร็วในการเดินเชื่อมการอบให้ความร้อนและมุมเอียงของบ่าเครื่องมือเชื่อมโดยจะเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

2.1 หัวสลักแกนหมุน (Pin) เป็นแบบทรงกระบอกผิวเกลียว โดยบ่าของเครื่องมือเชื่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หัวสลักแกนหมุนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีความยาว 6 มิลลิเมตร

2.2 ความเร็วรอบ (Rotational Speed) จะใช้ความเร็วรอบที่ 985 รอบต่อนาทีในการเชื่อม

2.3 ความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) จะใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที

2.4 การอบคลายความเค้น 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส โดยการอบแช่ไว้ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานเชื่อม

วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานเชื่อมเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คืออลูมิเนียมผสมเกรด 6061 อลูมิเนียมผสมเกรด 6063 และอลูมิเนียมผสม เกรด 7075 โดยในการทดลองเชื่อมจะนำชิ้นงานมาทำการเชื่อมแบบต่อชน (Butt Joint) อลูมิเนียมที่ใช้มีความหนา 6.3 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาดกว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 5 ตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสมเกรด 6061 [5]

ส่วนผสมทางเคมี	Si	Fe	Cu	Mg	Al
6061	0.4	0.7	0.15	0.8	Bal.

ตารางที่ 6 ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 [5]

ส่วนผสมทางเคมี	Si	Fe	Cu	Mg	Al
6063	0.35	0.25	0.1	0.45	Bal.

ตารางที่ 7 ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสม AA7075 [5]

ส่วนผสมทางเคมี	Zn	Mg	Cu	Cr	Al
7075	5.1	2.1	1.2	0.18	Bal.

3.2 เครื่องมือเชื่อม

เครื่องมือเชื่อม ผู้ทำการวิจัยกำหนดให้ใช้วัสดุเป็นชนิดเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอลูมิเนียมผสมเกรด 6061 เกรด 6063 และ เกรด 7075 ตามที่กำหนดในการทดลองประกอบด้วย

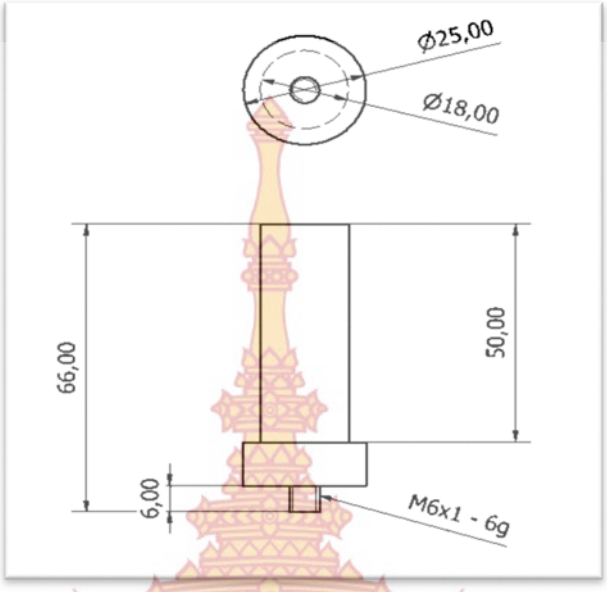
1) เครื่องกัด (Milling Machine) ใช้สำหรับเชื่อมชิ้นงานในการทำการวิจัย
2) เครื่องกลึงโลหะ สำหรับผลิต Tool
3) เครื่อง Machining Center ใช้สำหรับกัดชิ้นงานทดสอบแรงดึง
4) เครื่องตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค
5) เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Testing)
6) เครื่องทดสอบความแข็ง ไมโครวิกเกอร์
7) เตาอบโลหะไฟฟ้า

4. การออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

ในขั้นตอนของการออกแบบนี้ จะเป็นการศึกษารายละเอียดของการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของชิ้นส่วนชุดเชื่อมฟิกชั่นสเตอร์ที่จำเป็นในการออกแบบ ต้องอำนวยความสะดวกในการเชื่อมและสามารถจับยึดได้อย่างมั่นคง และเป็นการใช้ข้อมูลทางทฤษฎีเพื่อเป็นการออกแบบให้ถูกต้องและเหมาะสม

4.1 การออกแบบตัวกวน

การออกแบบตัวกวนจะต้องมีขนาดความโตพอที่จะจับยึดเข้ากับหัวจับของเครื่องกัดได้ โดยมีบ่าสัมผัสชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวกวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ได้แก่ทรงกระบอกที่เป็นเกลียว ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวกวนทรงกระบอกที่เป็นเกลียว

4.2 สลักแกนหมุน ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเสียดทานแบบหมุนกวน สลักแกนหมุน ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนและกวนเนื้อวัสดุให้เชื่อมติดกันโดยทั่วไปสลักแกนหมุนมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนคือ

- ลำตัวหรือก้านจับยึด มีหน้าที่ในการจับยึดกับหัวจับของหัวเครื่องกัดเพื่อส่งผ่านแรงในการหมุน

- บ่าให้ความร้อน (Tool Shoulder) มีหน้าที่ในการหมุนทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดทานเพื่อส่งผ่านความร้อนที่ได้ไปสู่ชิ้นงานจนทำให้ภายในเนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นพลาสติก

- สลักแกนหมุน (Pin) มีหน้าที่ในการหมุนอยู่ภายในเนื้อวัสดุเพื่อทำการกวนเนื้อวัสดุที่มีสภาพเป็นพลาสติกให้เกิดการเคลื่อนที่มารวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว

4.3 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ

เนื่องจากกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัดในการทดลองเชื่อมถูกวางอยู่ในตำแหน่งเดียวกันทุกๆตัวอย่างจึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบการเชื่อมในลักษณะ ดังภาพที่ 8

รูปที่ 8 อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ

อุปกรณ์จับยึดสองส่วนนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงพอสามารถรับแรงกดในขณะทำการเชื่อมได้ดีโดยที่ไม่เกิดการเลื่อนตัวของชิ้นงานทดลองวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์จับยึดทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำขึ้นรูปให้เหมาะสมกับชิ้นงานทดสอบ

4.4 การออกแบบชิ้นงานที่ใช้เชื่อม

การออกแบบชิ้นงานที่ใช้เชื่อม เมื่อเชื่อมต่อกันแล้วจะต้องมีความยาวพอที่จะทำเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึง และนำไปจับที่เครื่องทดสอบแรงดึงได้ ชิ้นงานจะต้องมีความหนามากกว่าความยาวของตัวกวน และมีความยาวพอที่จะสะสมความร้อนขณะที่เชื่อมได้ ซึ่งจะมีขนาดความกว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และหนา 6.3 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 9

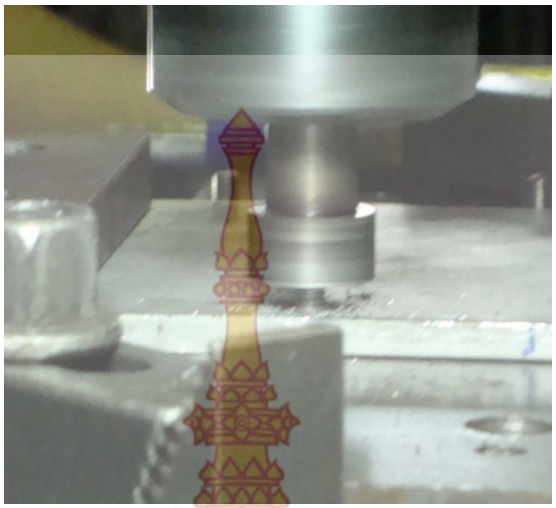
ภาพที่ 9 การออกแบบชิ้นงานที่ใช้เชื่อม

5. ขั้นตอนการเชื่อมความเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding)

ในการเชื่อมจะให้อลูมิเนียมผสมเกรด 6061 อลูมิเนียมเกรด 6063 อยู่ด้านขวามือ อลูมิเนียมผสม 7075 อยู่ด้านซ้ายมือ ในทุกๆ การทดลองโดยหลักการในการเชื่อม Friction Stir Welding ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดอุปกรณ์จับยึดและชิ้นงาน
2. นำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานวางบนโต๊ะจับชิ้นงานของเครื่องกัดที่จะทำการเชื่อม
3. นำชิ้นงานอลูมิเนียมวางบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
4. ประกอบชิ้นงานเป็นรอยต่อชน (Butt Joint) ทำการปรับตั้งชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและล็อคชิ้นงานให้แน่น
5. ทำการปรับตั้งความเร็วรอบและอัตราป้อน ตามตัวแปรที่กำหนดไว้
6. นำตัวกวนมาสัมผัสกับผิวของชิ้นงานเพียงเล็กน้อย
7. ทำการกดตัวกวนลงในระหว่างเนื้ออลูมิเนียมโดยกดลึกลงไป 6 มิลลิเมตร
8. เมื่อกดตัวกวนลงไปในชิ้นงานให้แช่ทิ้งไว้ประมาณ 12-15 วินาที ก่อนทำการเดินเชื่อมแนวเชื่อม
9. ทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 985 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ให้เกิดรอยเชื่อมขึ้นที่ชิ้นงาน
10. เตรียมการหยุดเดินหัวกวน
11. ยกหัวกวนขึ้นจากชิ้นงาน
12. ทำการหยุดหัวกวน
13. ทำการถอดชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึด

ภาพที่ 10 การจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อม



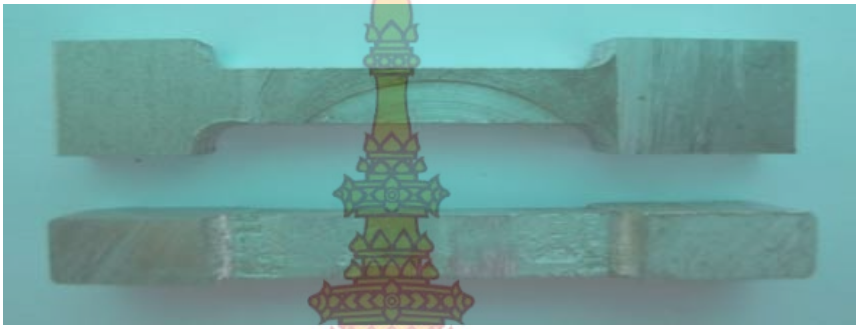
ภาพที่ 11 การกดตัวกวนลงในเนื้ออลูมิเนียมลึก 6 มิลลิเมตร แช่ไว้ประมาณ 12-15 วินาที

ภาพที่ 12 การเชื่อมความเสียดทานแบบกวนบนอลูมิเนียมผสม

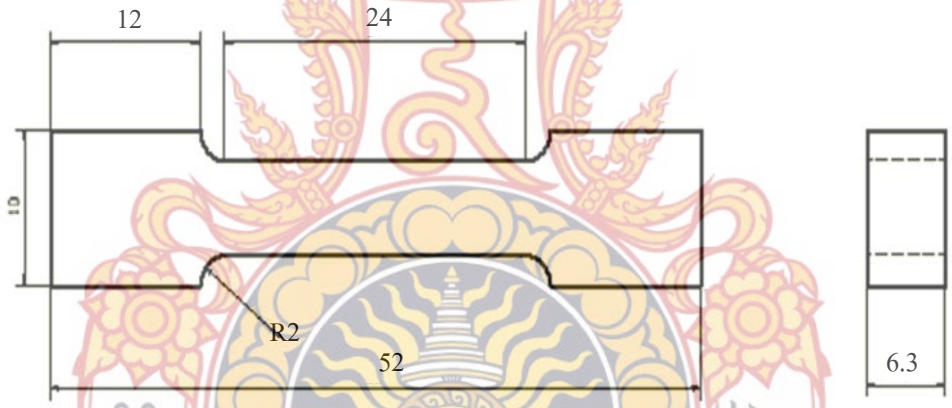
ภาพที่ 13 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมความเสียดทานแบบกวน

6. การทดสอบคุณสมบัติของแนวเชื่อม

6.1 การทดสอบแรงดึง เพื่อหาคุณสมบัติความเค้นแรงดึง หาขีดจำกัดความยืดหยุ่น และนำไปวิเคราะห์ผลงานวิจัย ดังภาพที่ 14 และภาพที่ 15 แสดงขนาดชิ้นทดสอบมาตรฐาน



ภาพที่ 14 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง



ภาพที่ 15 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงมาตรฐาน

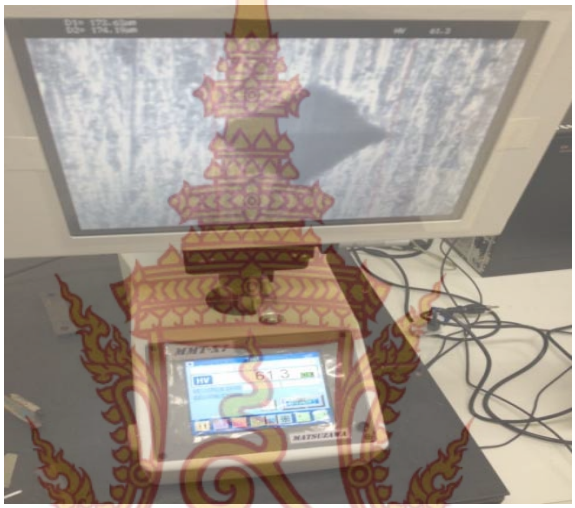
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาพที่ 16 การจับยึดชิ้นงานแรงดึง

ภาพที่ 17 การทดสอบแรงดึงจนชิ้นงานขาด

6.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็ง

เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดกระทำลงบนชิ้นงานทดสอบ โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ กดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อมระยะห่างรอยกด 5 มิลลิเมตร แรงกดที่ใช้ 9807 เมตรต่อนิวตัน กดเป็นเวลา 10 วินาที และกดทั้งหมด 3 จุดหัวกด เพชรมีลักษณะเป็นปีรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ค่าความแข็งคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว ดังภาพที่ 18



รูปที่ 18 ลักษณะของรอยกดบนชิ้นงานทดสอบ

7. การบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 8 บันทึกผลการทดลองค่าความต้านทานแรงดึง

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง)		ค่าความต้านทานแรงดึง(N/mm^2)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr						
	4Hr						
200	2Hr						
	4Hr						
250	2Hr						
	4Hr						
300	2Hr						
	4Hr						
350	2Hr						
	4Hr						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 9 บันทึกผลการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง)		Elongation (%)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr						
	4Hr						
200	2Hr						
	4Hr						
250	2Hr						
	4Hr						
300	2Hr						
	4Hr						
350	2Hr						
	4Hr						

ตารางที่ 10 บันทึกผลการทดลองค่าความแข็ง

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง)		ค่าความแข็ง(HV)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr						
	4Hr						
200	2Hr						
	4Hr						
250	2Hr						
	4Hr						
300	2Hr						
	4Hr						
350	2Hr						
	4Hr						

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการทดลองอบคลายความเค้นชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ตามตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด คือวัสดุที่ใช้คืออลูมิเนียมเกรดต่างๆ ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม อุณหภูมิในการอบและเวลาในการอบ

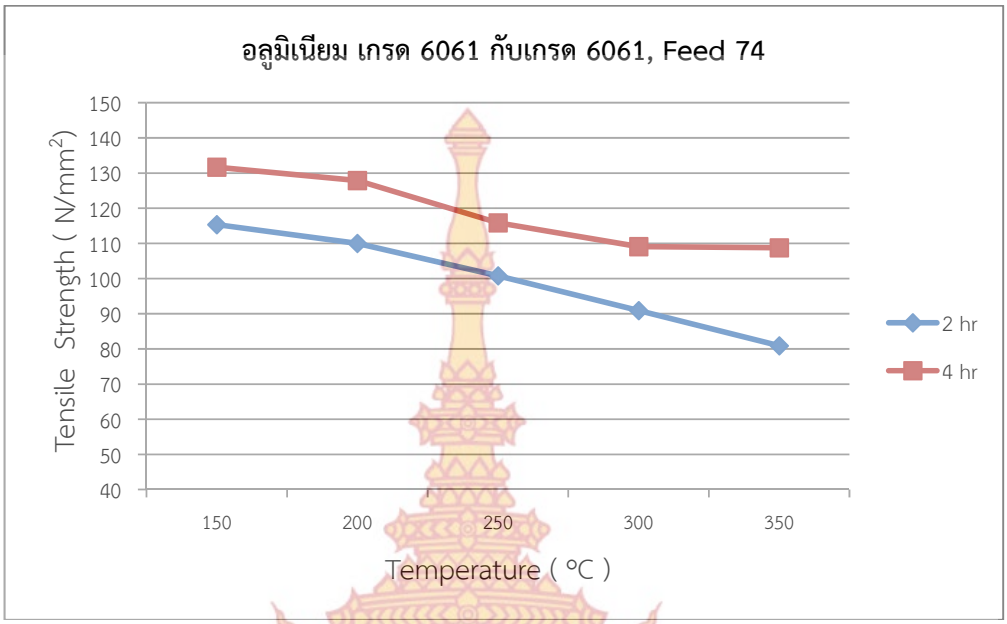
1. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับอลูมิเนียมเกรด 6061

อิทธิพลของความเร็วรอบในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิในการอบคลายความเค้น 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแช่ที่ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ที่มีผลต่อความต้านแรงดึงดังนี้

(ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที

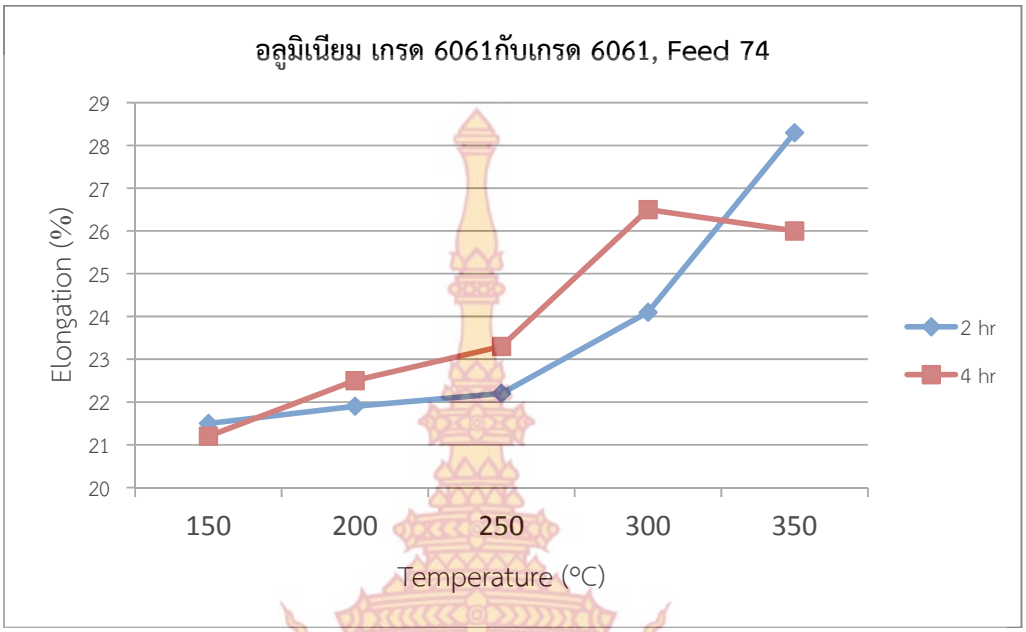
ภาพที่ 19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 19 แสดงลักษณะผิวหน้าของแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 985 รอบต่อนาที โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 19 (ก) และ (ข) ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้น ด้านรอยต่อเกิดจุดบกพร่องเล็กน้อย และจากการทดลองยังพบการเกิดครีบในทั้งสองวัสดุอลูมิเนียมที่ทำการเชื่อมที่มีขนาดไม่เท่ากัน เนื่องจากผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากบ่าของเครื่องมือเชื่อมกดลงในผิวหน้าแผ่นชิ้นงานไม่เท่ากัน และผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้นเกิดครีบไม่สม่ำเสมอบริเวณแนวเชื่อม สาเหตุการเกิดผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากขนาดความหนาของแผ่นชิ้นงานไม่สมดุลกัน



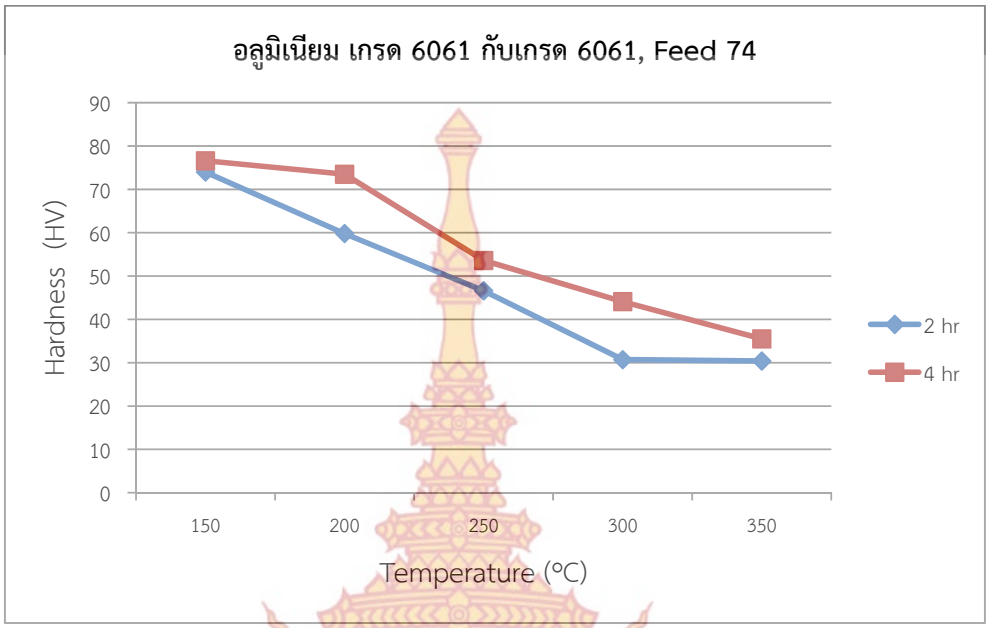
ภาพที่ 20 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับ เกรด 6061 ที่ F74

จากภาพที่ 20 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับ เกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 115.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 131.67 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมงพบว่า ที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ



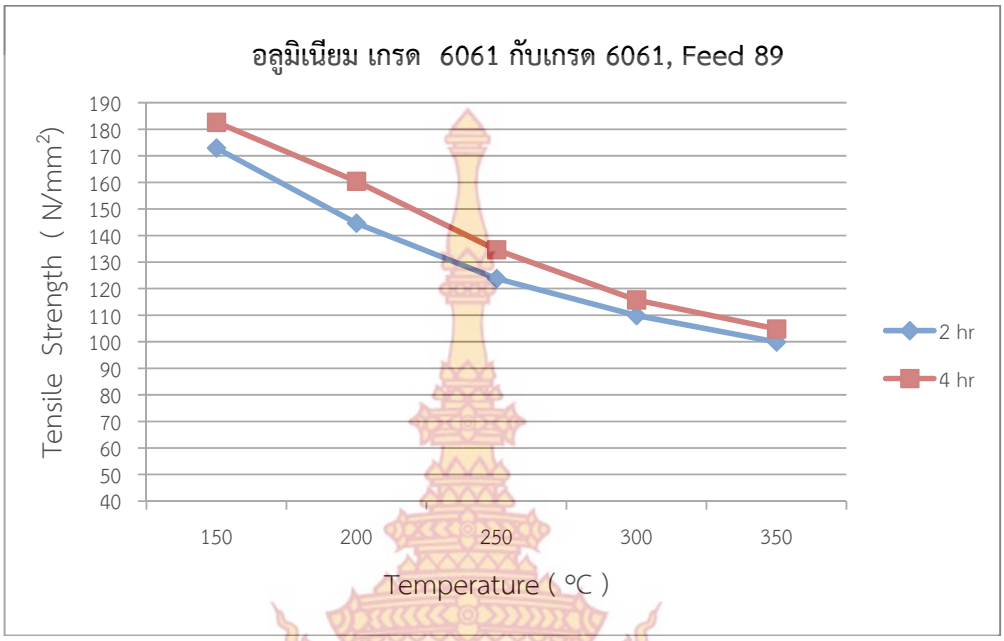
ภาพที่ 21 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F74

จากภาพที่ 21 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้พบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียสให้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 28.3 เปอร์เซ็นต์และพบว่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิในการอบลดลงผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้พบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 300 องศาเซลเซียสให้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 26.5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง



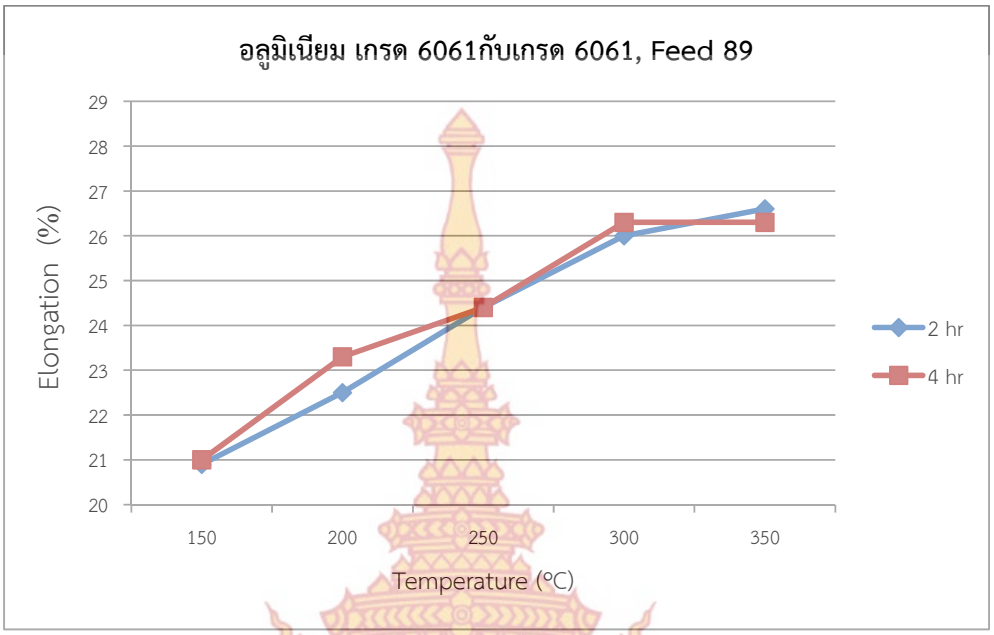
ภาพที่ 22 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F74

จากภาพที่ 22 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 74 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 76.6 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่า ที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมงให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ



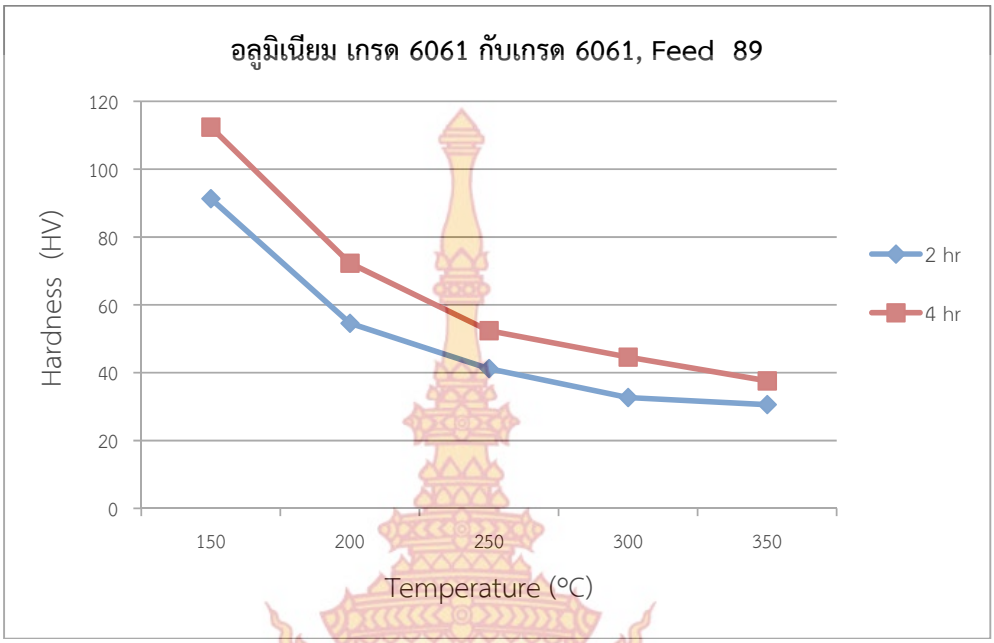
ภาพที่ 23 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F89

จากภาพที่ 23 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ350องศาเซลเซียสผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 172.92 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 182.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่า ที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ



ภาพที่ 24 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ที่ F89

จากภาพที่ 24 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 26.6 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว สูงสุดที่ 26.3 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง

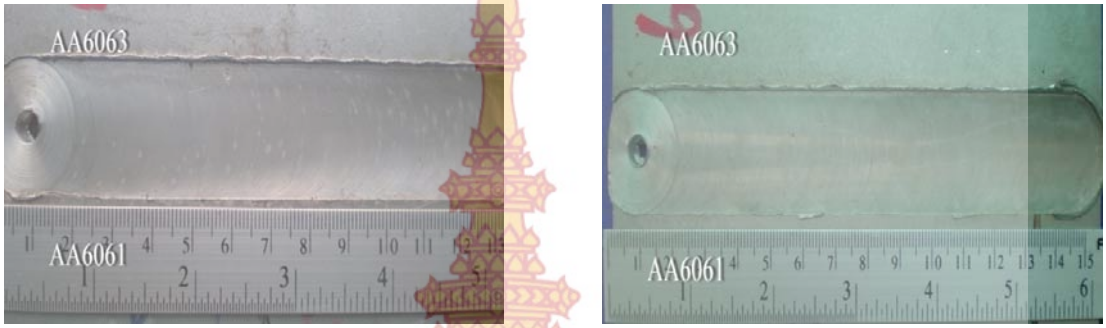


ภาพที่ 25 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 6061 ที่ F89

จากภาพที่ 25 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 91.3 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061กับเกรด 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 112.4 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ

2. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับอลูมิเนียมเกรด 6063

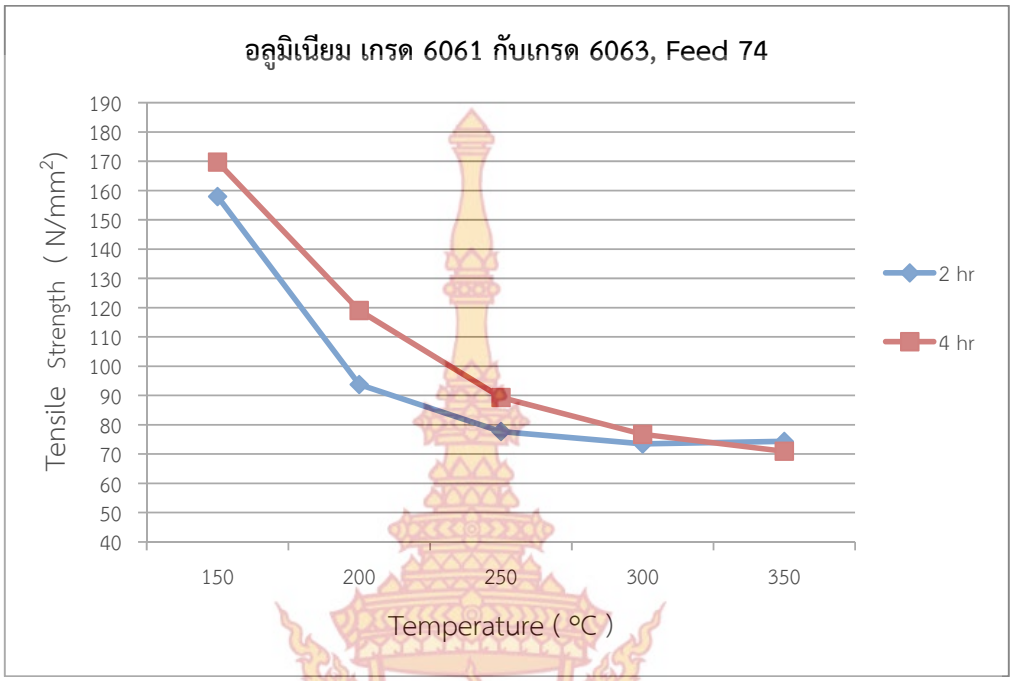
อิทธิพลของความเร็วรอบในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิในการอบคลายความเค้น 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบแช่ที่ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ที่มีผลต่อความต้านแรงดึงดังนี้



(ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที

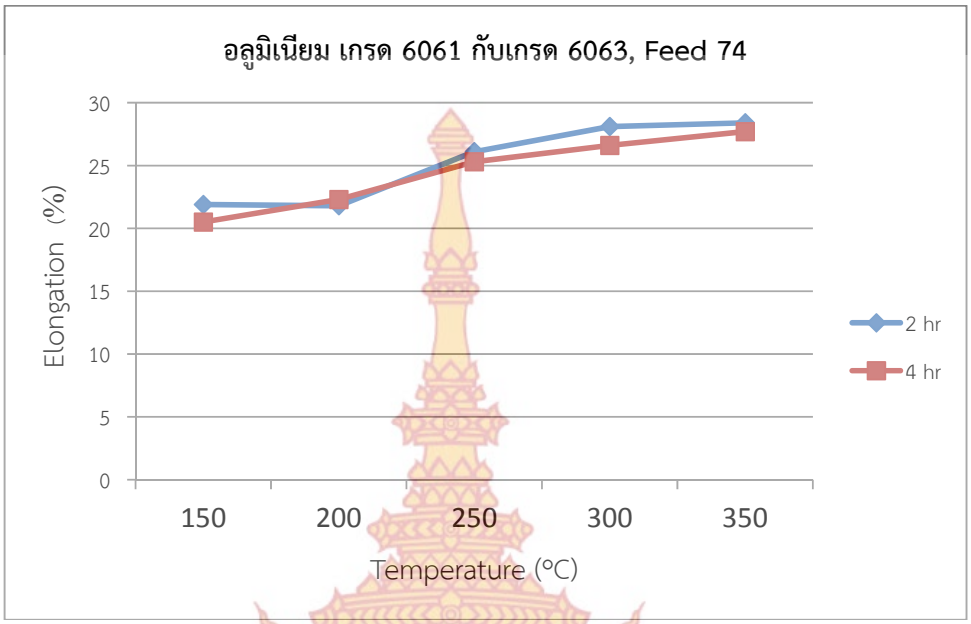
ภาพที่ 26 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที (2)

จากภาพที่ 26 แสดงลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 985 รอบต่อนาที ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ดังภาพที่ 26 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้น ผิวหน้าแนวเชื่อมคอนข้างเรียบ และจากการทดลองยังพบการเกิดครีบในทั้งสองวัสดุอลูมิเนียมที่ทำการเชื่อมที่ค่อนข้างหนา ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากบ่าของเครื่องมือเชื่อมกดลงในผิวหน้าของชิ้นงานไม่เท่ากัน ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้นจากการทดลองยังพบว่าการเกิดเป็นโพรงบริเวณด้านหลังแนวเชื่อมซึ่งมีขนาดเล็ก สาเหตุการเกิดผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากบ่าของเครื่องมือสัมผัสผิวหน้าของแผ่นชิ้นงานที่ไม่สมดุลทำให้เกิดความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ



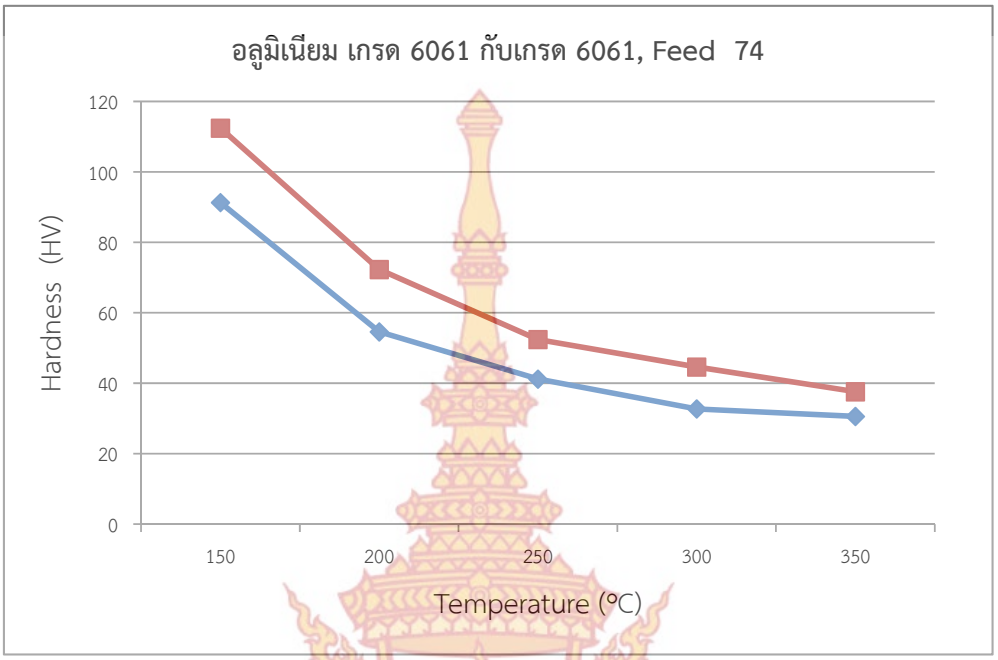
ภาพที่ 27 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F74

จากภาพที่ 27 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 157.96 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 169.71 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ



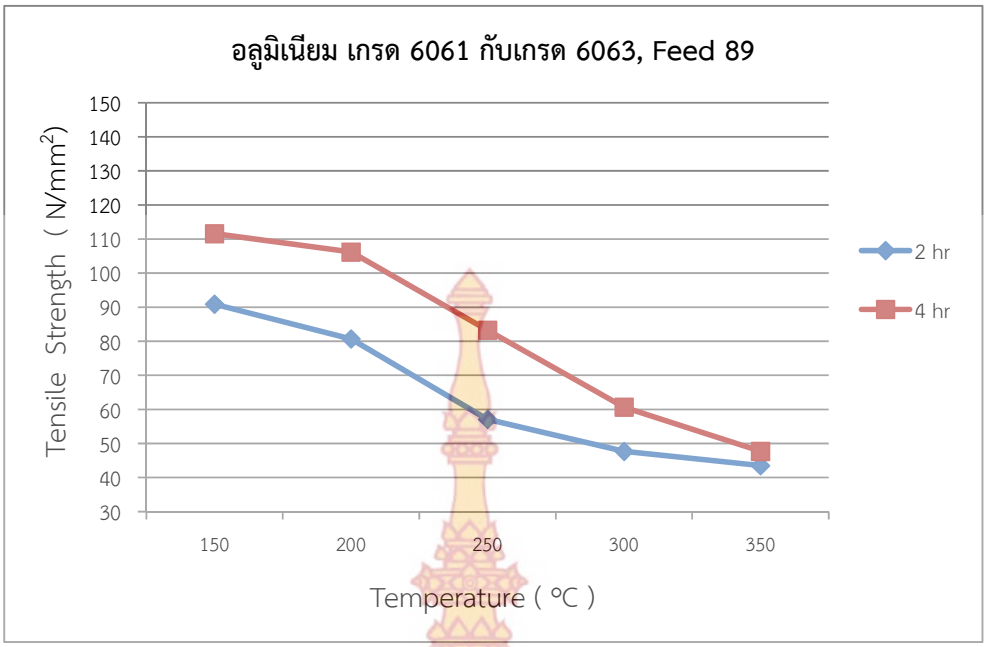
ภาพที่ 28 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F74

จากภาพที่ 28 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 28.4 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง ผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 300 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 27.7 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง



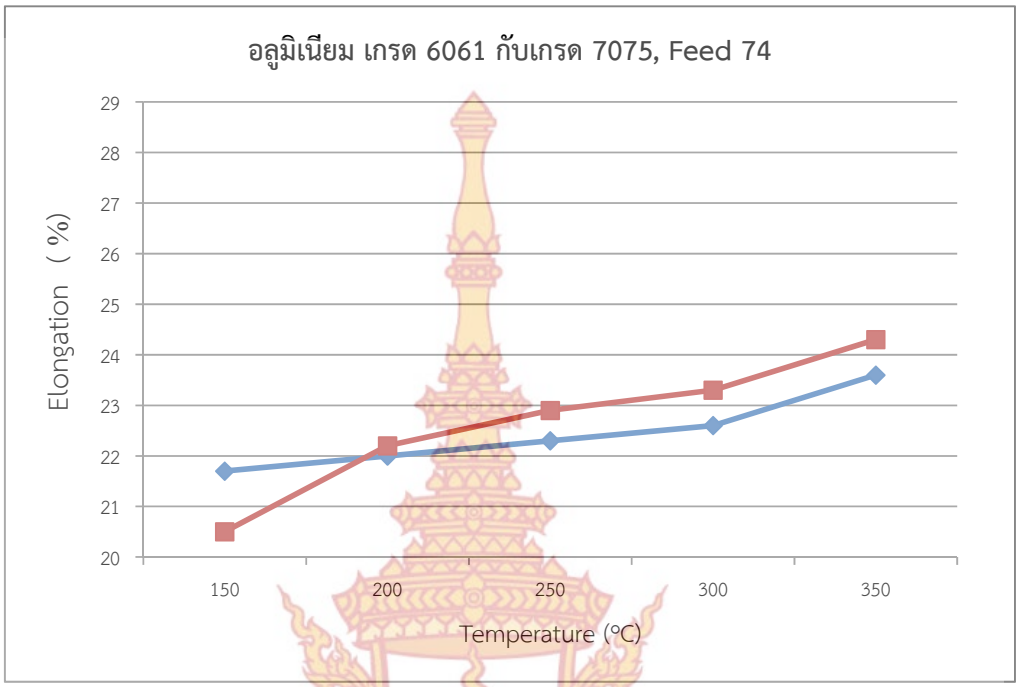
ภาพที่ 29 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 6063 ที่ F74

จากภาพที่ 29 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิ ในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 78.6 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 83.8 HV และจากการทดลองพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ



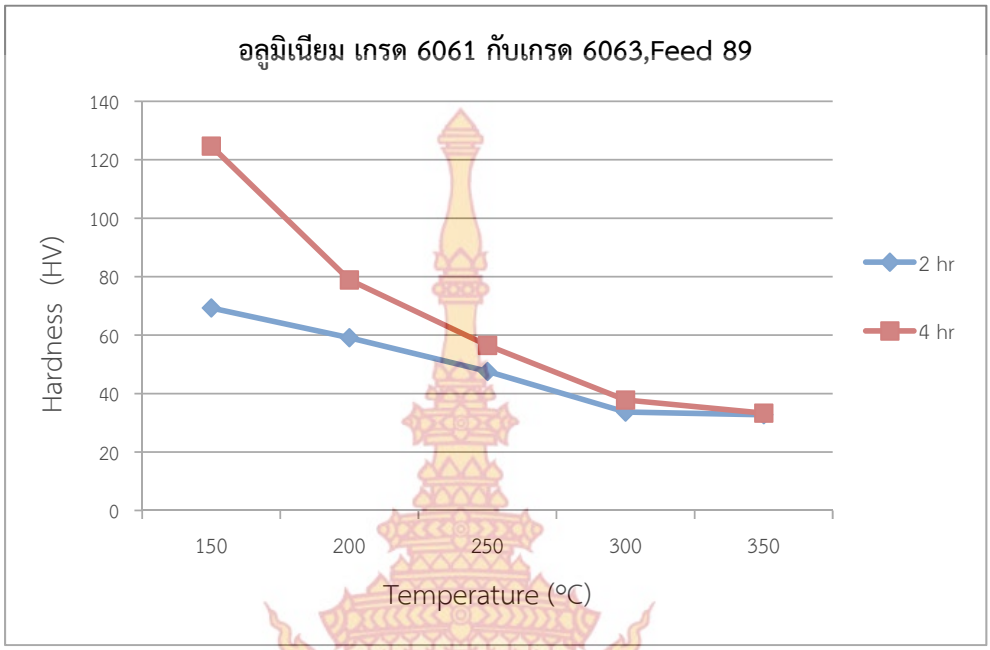
ภาพที่ 30 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89

จากภาพที่ 30 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 90.88 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 111.58 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ



ภาพที่ 31 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89

จากภาพที่ 31 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียสให้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 23.2 เปอร์เซ็นต์และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอ150องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียสและ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 300 องศาเซลเซียสให้ค่า เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 23.9 เปอร์เซ็นต์และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง

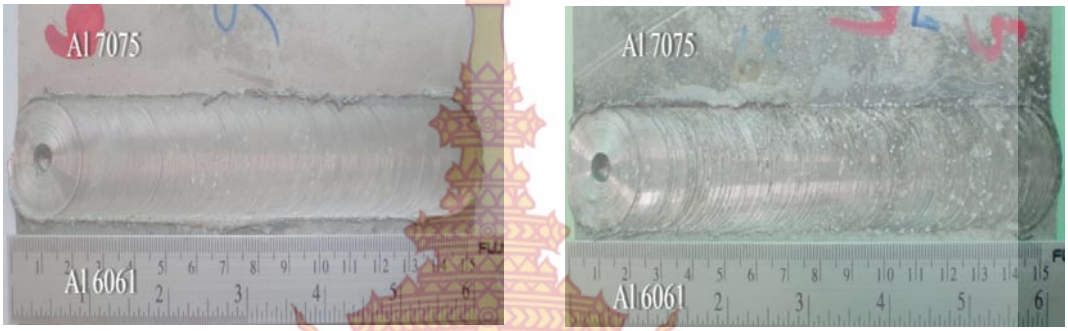


ภาพที่ 32 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ที่ F89

จากภาพที่ 32 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 69.3 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 124.7 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ

3. อิทธิพลของการอบคลายความเค้นของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับอลูมิเนียมเกรด 7075

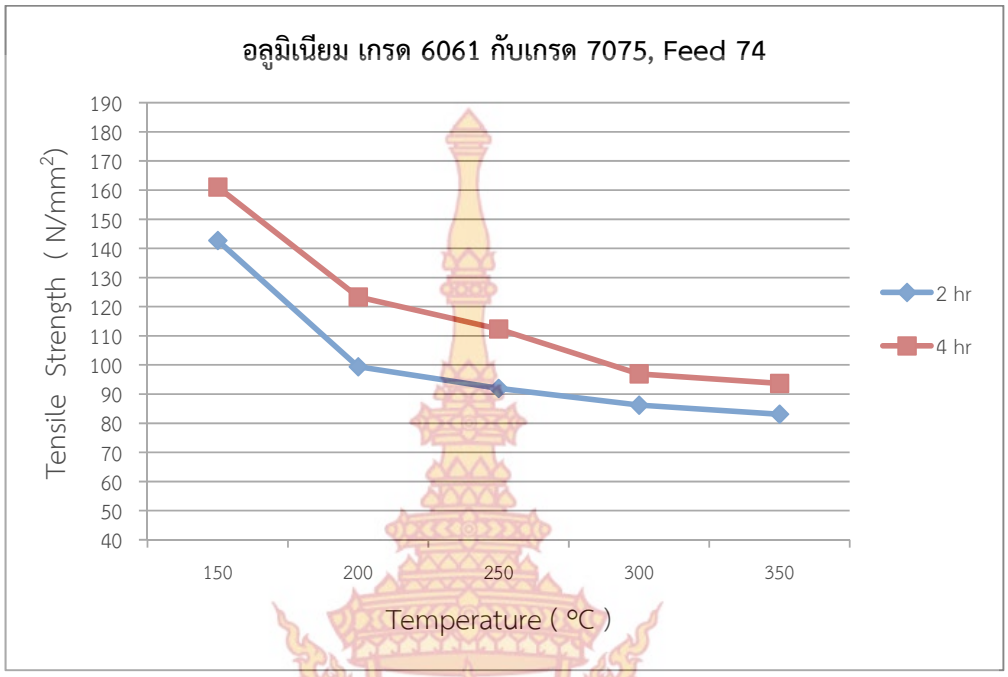
อิทธิพลของความเร็วรอบในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิในการอบคลายความเค้น 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบแช่ที่ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ที่มีผลต่อความต้านแรงดึงดังนี้



(ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที

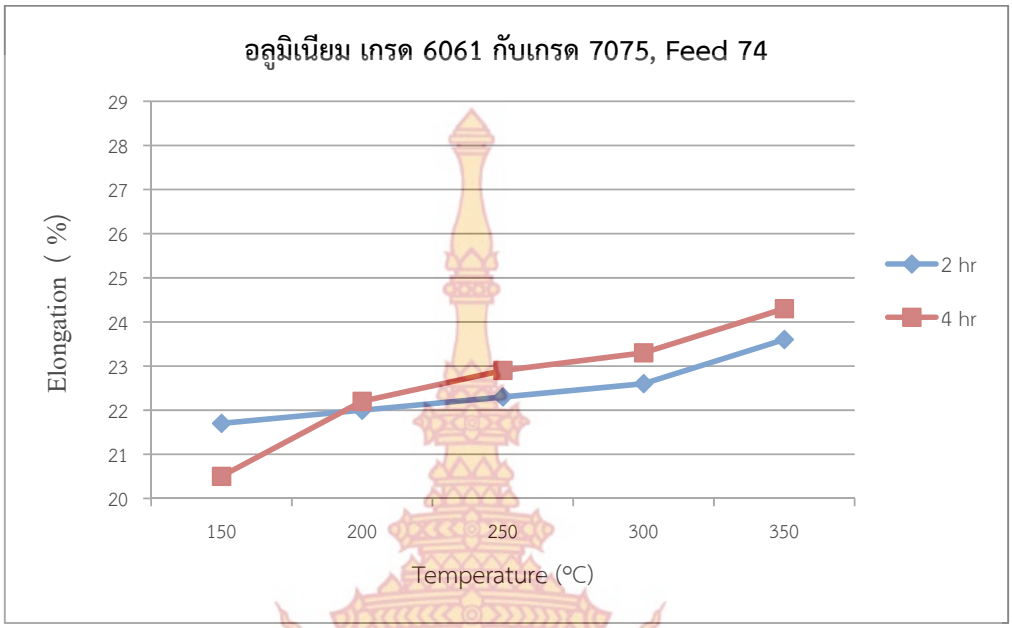
ภาพที่ 33 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที (3)

จากรูปที่ 33 แสดงผลจากการสังเกตผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 985 รอบต่อนาที ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 33 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้นหยาบและยังพบการเกิดครีบในทั้งสองวัสดุอลูมิเนียมที่ทำการเชื่อมที่หนาและแข็ง ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากบ่าของเครื่องมือเชื่อมกดลงในผิวหน้าของแผ่นชิ้นงานมากเกินไป ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที สิ่งที่สังเกตได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ดเป็นชั้นหยาบๆ บริเวณแนวเชื่อมสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทั้งสิ้นบนแนวเชื่อม



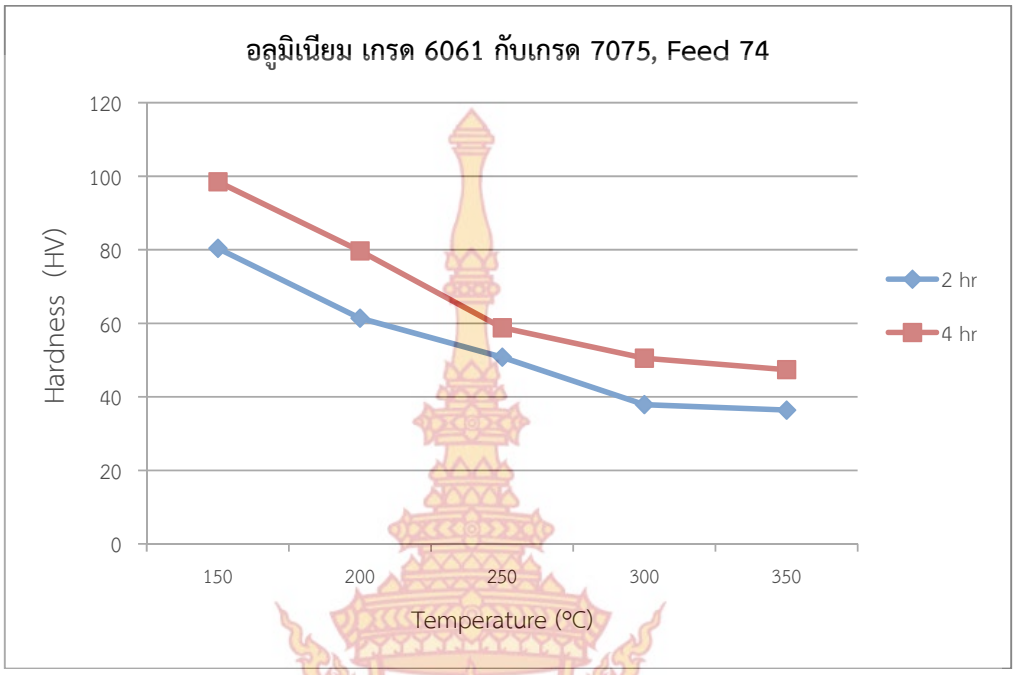
ภาพที่ 34 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F74

จากภาพที่ 34 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 142.74 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 161.08 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ



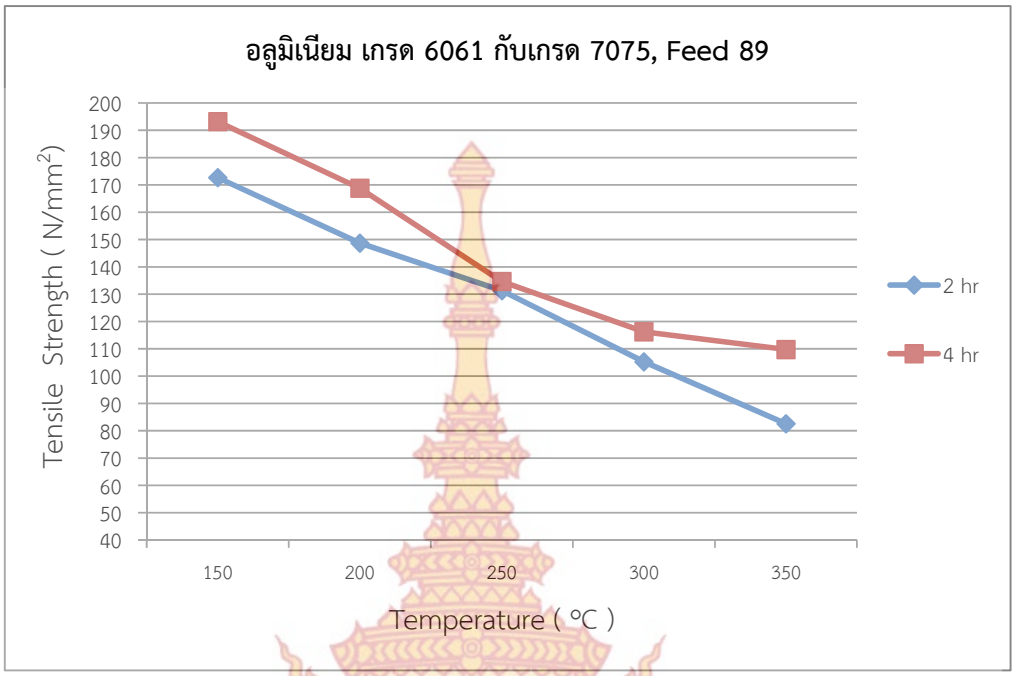
ภาพที่ 35 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F74

จากภาพที่ 35 แสดงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว สูงสุดที่ 23.6 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลงผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 300 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 24.3 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง



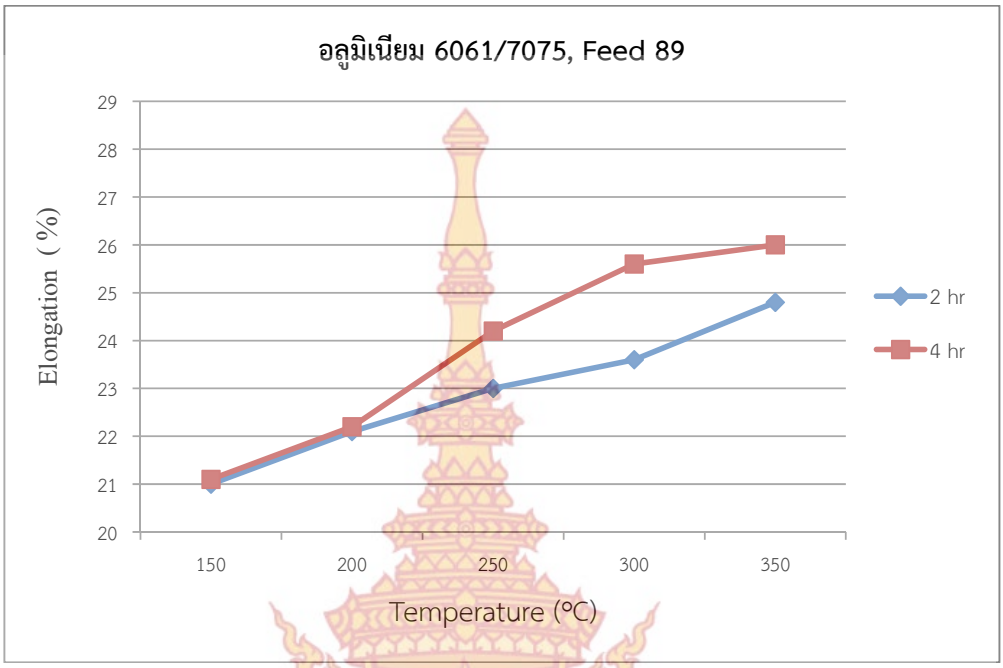
ภาพที่ 36 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F74

จากภาพที่ 36 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 80.4 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 98.5 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมงให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ



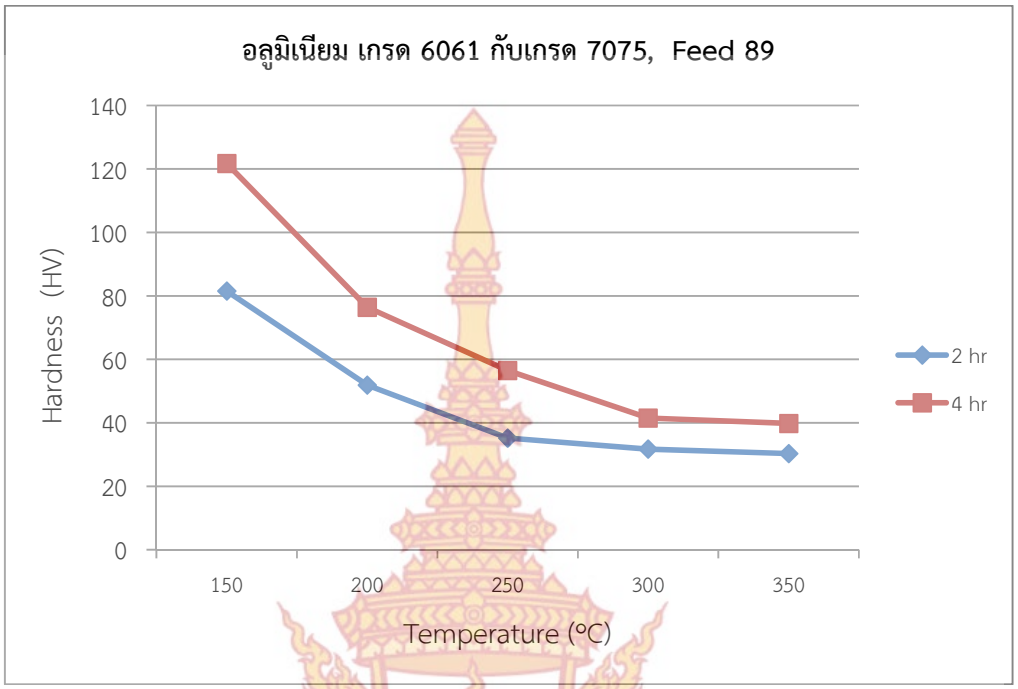
รูปที่ 37 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F89

จากภาพที่ 37 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 172.67 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานทดสอบวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรคือเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 193.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการทดลองยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่า ที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมงให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมงในทุกๆ อุณหภูมิ



ภาพที่ 38 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ที่ F89

จากภาพที่ 38 แสดงผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียส ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 24.8 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลงผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 350 องศาเซลเซียสให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 26 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองยังพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง



ภาพที่ 39 ความแข็งของอลูมิเนียมเกรด 6061กับเกรด 7075 ที่ F89

จากภาพที่ 39 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 2ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 81.5 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเพิ่มขึ้นผลการทดสอบความแข็งของวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรเวลาในการอบ 4 ชั่วโมงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250 องศาเซลเซียส 300 องศาเซลเซียส และ350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการอบ 4ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียสให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 121.7 HV และจากการทดลองยังพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็ง ที่เวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมงพบว่าที่เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งสูงกว่าเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ในทุกๆ อุณหภูมิ

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษาผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6061 กับเกรด 6063 และ 7075 ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอัตราความเร็วเดินเชื่อม 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการอบ 150 องศาเซลเซียส 200 องศาเซลเซียส 250องศาเซลเซียส, 300 องศาเซลเซียส และ 350 องศาเซลเซียส เปลี่ยนแปลงเวลาในการอบ 2 และ 4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ได้จากความเร็วในการเดินเชื่อมแต่ละขั้นตอนทำให้ทราบถึงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม คือความแข็งแรงของแนวเชื่อมมากที่สุด และเพื่อที่จะเพิ่มทางเลือกในการเชื่อมให้กับผู้ที่สนใจและนำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรม สามารถสรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. สรุปผลงานวิจัย

1. ความเร็วในการเดินเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที จะทำให้เกิดความแข็งแรงของแนวเชื่อมมากที่สุด เพราะเกิดความร้อนที่เหมาะสมระยะเวลาที่ผิวสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับตัวกวนมีเหมาะสม ซึ่งอลูมิเนียมจะถูกขัดและถูกดันเข้าหากันจนทำให้เกิดการเชื่อมติดที่แข็งแรงมากที่สุด ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมมีลักษณะคล้ายคลึงกันบางชิ้นมีลักษณะแนวเชื่อมเป็นเกล็ด มีความสม่ำเสมอของแนวเชื่อม และมีรูบ้างเล็กน้อย มีครีบหลุดออกจากรอยกดของบ่าเครื่องมือเชื่อมเนื่องจากความร้อนจากการเดินเชื่อมมากเกินไปทำให้เศษเนื้อวัสดุไหลออกมานอกแนวเชื่อม

2. คุณสมบัติทางกลด้านการรับแรงดึงของแนวเชื่อมการเดินเชื่อมโดยความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อมที่ 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วนำไปอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนถึง 350 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าที่อัตราเดินเชื่อมที่ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ของวัสดุเกรด 6061 กับเกรด 7075 อุณหภูมิในการอบ 250 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความต้านแรงดึงที่เหมาะสมที่ 134.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นค่าความต้านทานแรงดึงที่เหมาะสมกับการทดลองครั้งนี้

3. คุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของแนวเชื่อมการเดินเชื่อมโดยความเร็วรอบเครื่องมือ 985 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อมที่ 74 และ 89 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วนำไปอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนถึง 350 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าที่อัตราเดินเชื่อมที่ 89 มิลลิเมตรต่อนาที ของวัสดุเกรด 6061 กับเกรด 7075 อุณหภูมิในการอบ 250 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งที่เหมาะสมที่ 56.5HV เป็นค่าความแข็งที่เหมาะสมของการทดลองครั้งนี้

2. ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อมควรเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อที่จะสามารถควบคุมความลึกของบ่าเครื่องมือที่กดลงไปในชิ้นงานได้เท่าๆกัน

2. การศึกษาขั้นต่อไปควรศึกษาถึงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม

3. การศึกษาขั้นต่อไปควรศึกษาลักษณะของแกนหมุนแบบต่างๆ

บรรณานุกรรม

[1] M. F. Zah and D. Eireiner, 2004, **“Welding and Cutting”** 3 No. PP. 223

[2] W. M. Thomas and E. D. Nicholas, 1997, **“Friction Stir Welding for the Transportation Industries”** Mat. & Des, 18: 269-273.

[3] ธนาภรณ์ โกราษณ์ และคณะ, 2543, **“เทคโนโลยีและโลหะวิทยาของอะลูมิเนียมหล่อ”,** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ

[4] ชูชาติ ด้วงสงค์, 2550, **“การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ”**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ

[5] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ, 2551, **“อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI1015”** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551

[6] บรรเจิด ดอนเนตร และสมนึก วัฒนศรีกุล, 2550, **“การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมเสียดทาน หมุนกวนอลูมิเนียมเจือ AA 6063T6 ระหว่างสลักแกนหมุนทรงกระบอกหัวตัดตรงกับหัวโค้ง”,** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 24-26 ตุลาคม 2550, โรงแรม Royal Phuket City, จ.ภูเก็ต

[7] H.J. Liu , H. Fujii , M. Maedaa, and K. Nogi, 2003, **“Tensile Properties and Fracture Locations of Friction-Stir - Welded Joints of 2017-T351 Aluminum Alloy”** Journal of Materials Processing Technology, 142:692–696.

[8] M. Ericsson, R. Sandstro, 2003, **"Influence of Welding Speed on the Fatigue of Friction Stir Welds and Comparison with MIG and TIG."** International Journal of Fatigue, 25:1379–1387.

[9] P. Ulysse, 2002 **“Three-Dimensional Modeling of the Friction Stir-Welding Process”** International Journal of Machine Tools & Manufacture 42:1549–1557.

ภาคผนวก ก

บันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)		ค่าความต้านทานแรงดึง(N/mm^2)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr	115.33	172.92	157.96	90.88	142.74	172.67
	4Hr	131.67	182.64	169.71	111.58	161.08	193.16
200	2Hr	109.99	144.62	93.76	80.69	99.38	148.72
	4Hr	127.87	160.38	119.02	106.2	123.36	168.81
250	2Hr	100.79	123.8	77.68	57.08	91.96	131.3
	4Hr	115.84	134.61	89.32	83.25	112.34	134.64
300	2Hr	90.89	109.87	73.43	47.7	86.22	105.25
	4Hr	109.08	115.73	76.74	60.66	96.94	116.23
350	2Hr	80.88	99.89	74.31	43.51	83.09	82.6
	4Hr	108.75	104.83	70.95	47.7	93.65	109.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบความแข็ง

อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)		ค่าความแข็ง (HV)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr	74	91.3	78.6	69.3	80.4	81.5
	4Hr	76.6	112.4	83.8	124.7	98.5	121.7
200	2Hr	59.8	54.6	46.2	59.1	61.4	51.9
	4Hr	73.5	72.3	65.8	78.9	79.7	76.4
250	2Hr	46.6	41.2	41.8	47.6	50.8	50.8
	4Hr	53.6	52.4	48.8	56.5	58.8	56.5
300	2Hr	30.7	32.7	34.6	33.7	37.9	31.7
	4Hr	44.1	44.6	45.6	37.8	50.5	41.5
350	2Hr	30.4	30.6	33.1	32.8	36.4	30.3
	4Hr	35.5	37.6	39.8	33.3	47.4	39.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

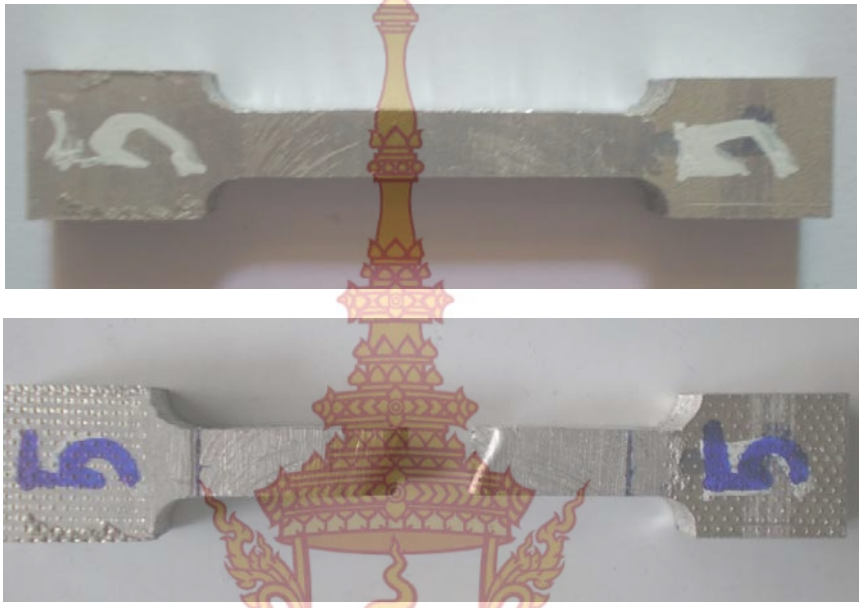
อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส)		Elongation (%)					
		6061/6061		6061/6063		6061/7075	
		F74	F89	F74	F89	F74	F89
150	2Hr	21.5	20.9	21.9	21	21.7	21
	4Hr	21.2	21	21.8	20.8	20.5	21.1
200	2Hr	21.9	22.5	26.1	21.4	22	22.1
	4Hr	22.5	23.3	22.3	21.4	22.2	22.2
250	2Hr	22.2	24.4	26.1	22.2	22.3	23
	4Hr	23.3	24.4	25.3	22.3	22.9	24.2
300	2Hr	24.1	26	28.1	22.9	22.6	23.6
	4Hr	26.5	26.3	26.6	23.8	23.3	25.6
350	2Hr	28.3	26.6	28.4	23.2	23.6	24.8
	4Hr	26	26.3	27.7	23.9	24.3	26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ภาคผนวก ข

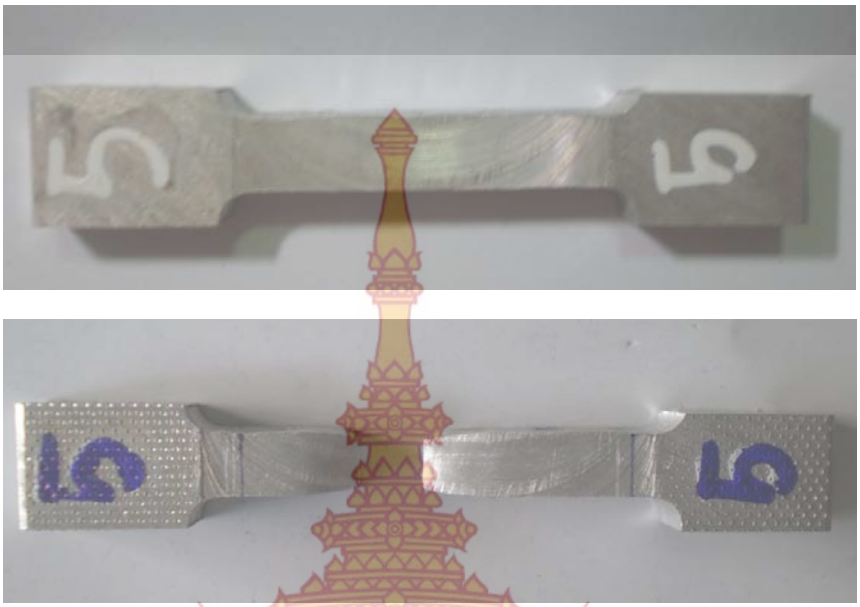
ชิ้นงานก่อนทดสอบและหลังทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิต่างๆ

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6061 ความเร็วในการเดิน
แนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



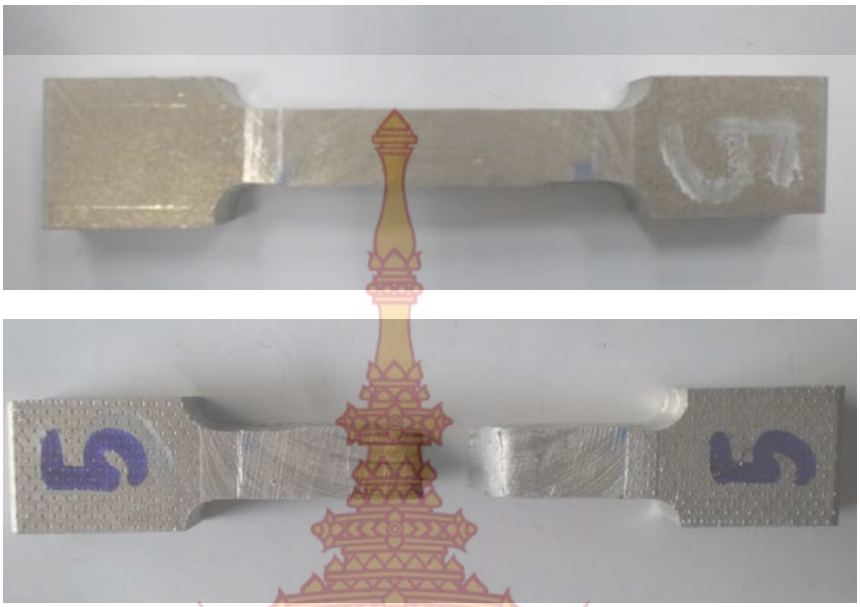
อุณหภูมิในการอบ 150 ℃

อุณหภูมิในการอบ 200 ℃



อุณหภูมิในการอบ 250 ºC

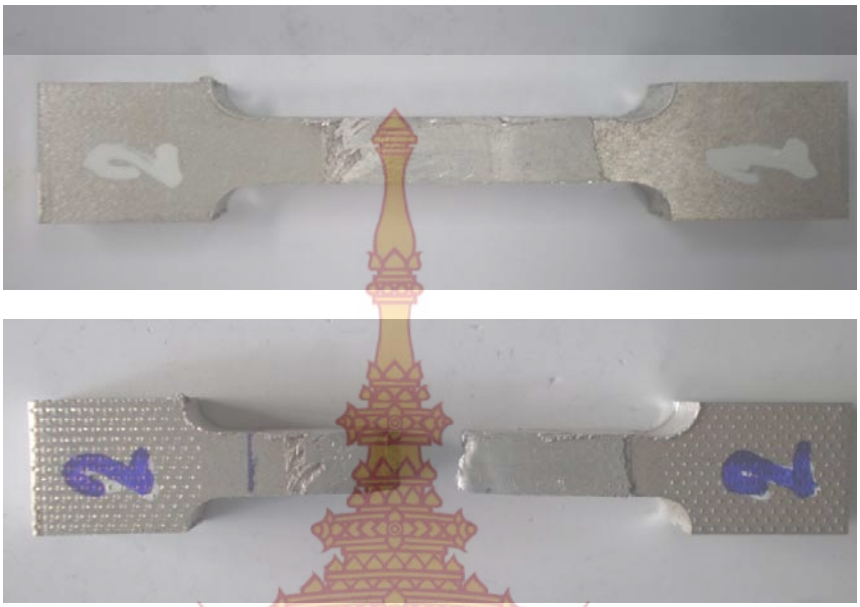
อุณหภูมิในการอบ 300 ºC



อุณหภูมิในการอบ 350°C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด6061, 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

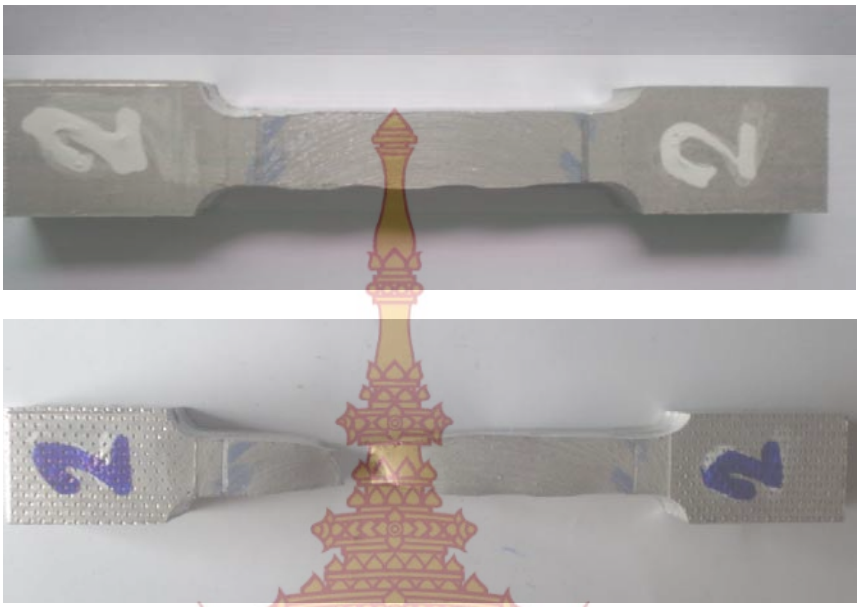
อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 ℃

อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

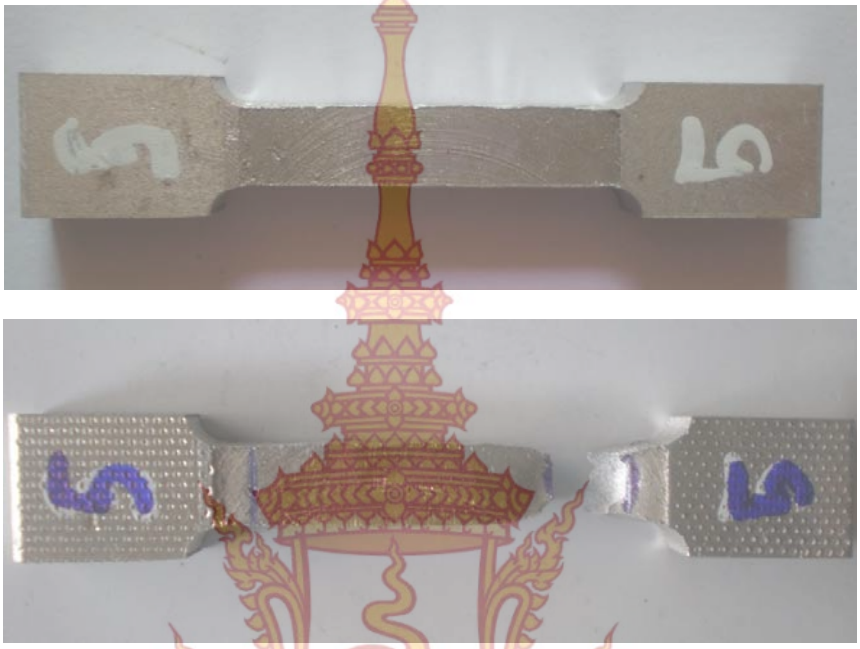
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



อุณหภูมิในการอบ 300 °C

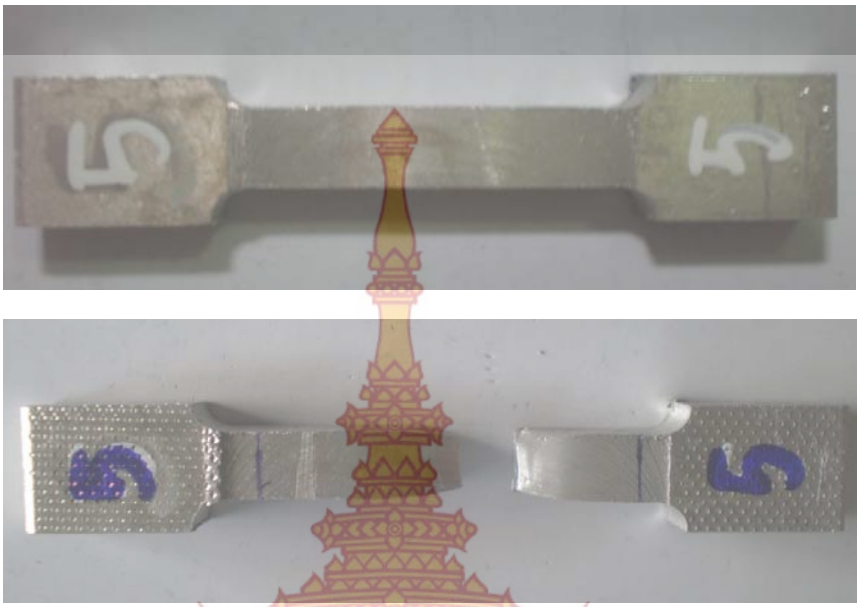
อุณหภูมิในการอบ 350 °C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



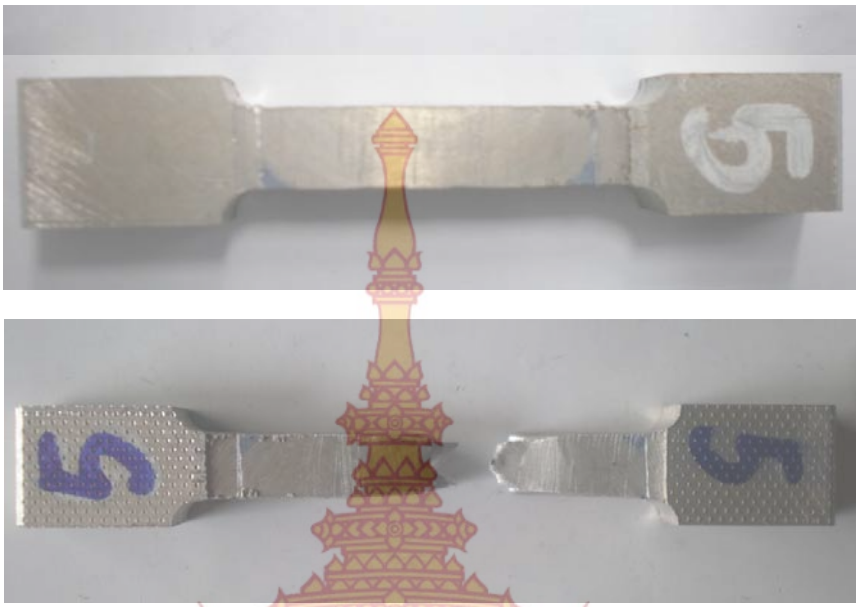
อุณหภูมิในการอบ 150 °C

อุณหภูมิในการอบ 200 °C



อุณหภูมิในการอบ 250 ºC

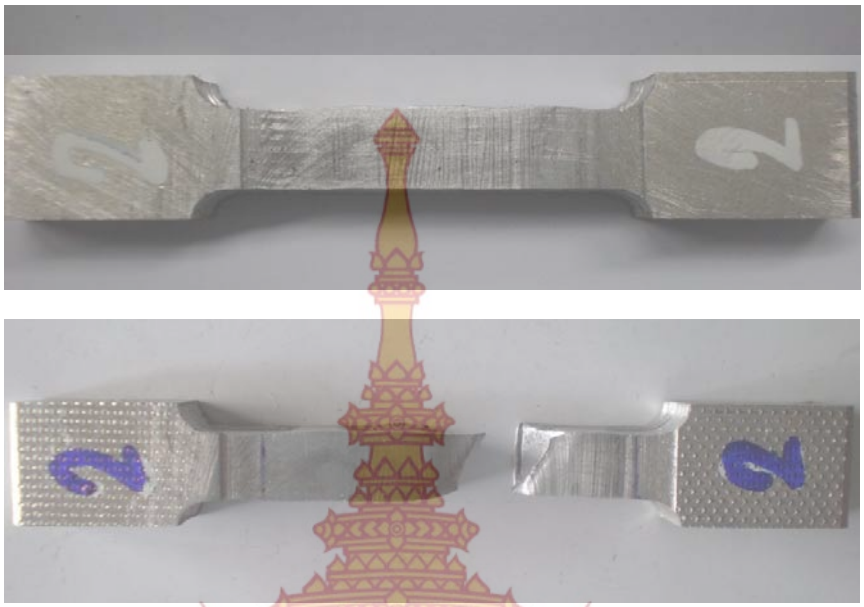
อุณหภูมิในการอบ 300 ºC



อุณหภูมิในการอบ 350 °C

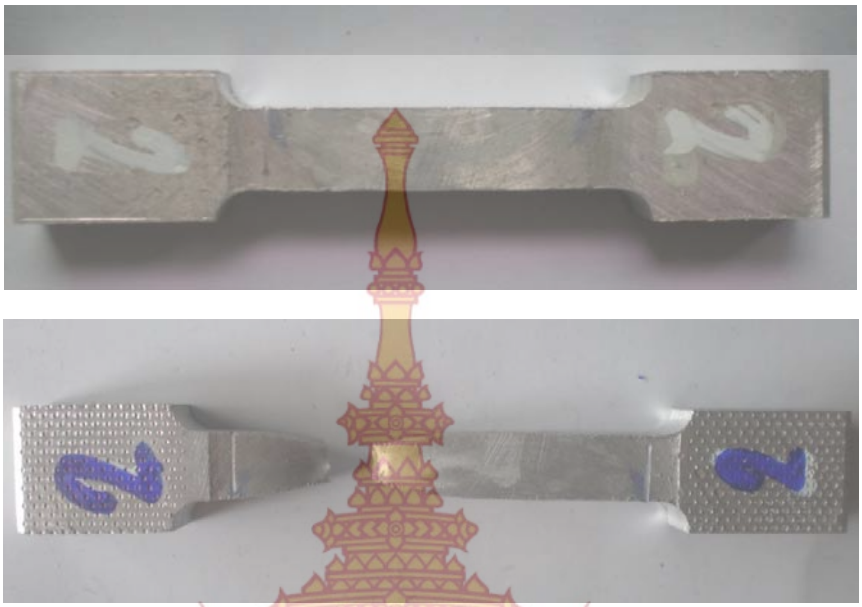
การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6061 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 ℃

อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

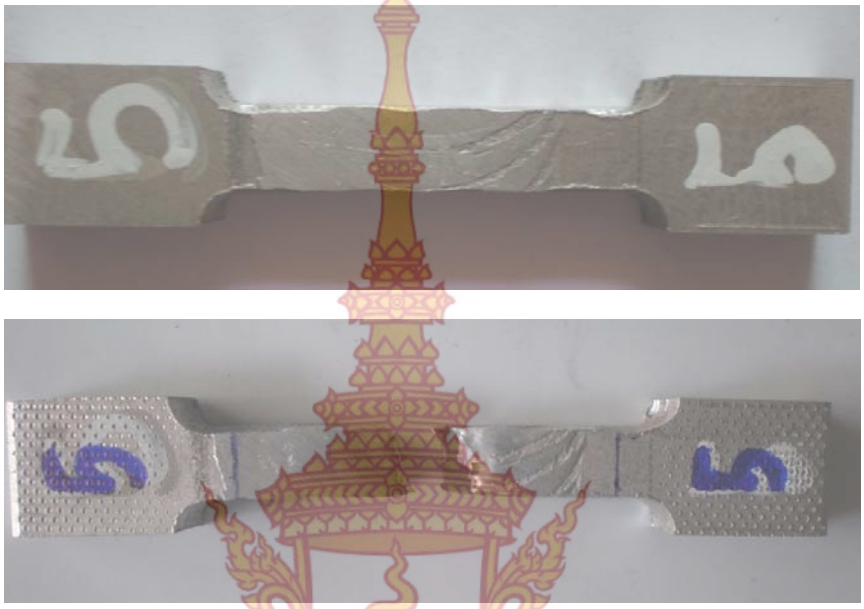


อุณหภูมิในการอบ 300 ℃

อุณหภูมิในการอบ 350 ℃

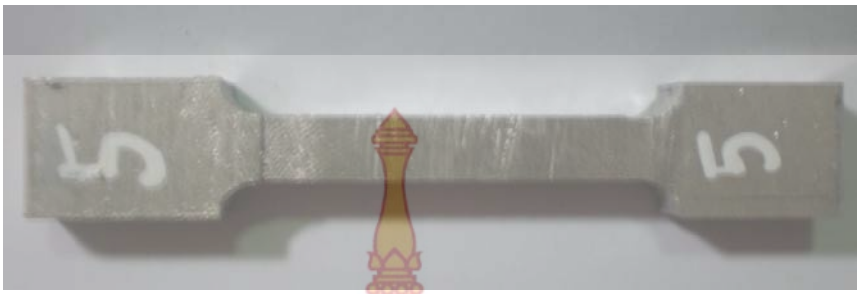
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



อุณหภูมิในการอบ 150 ℃

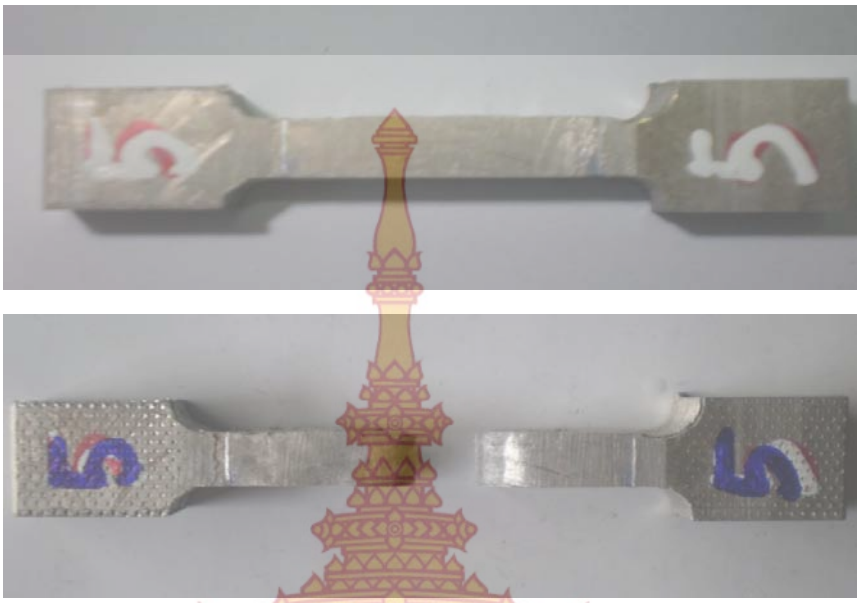
อุณหภูมิในการอบ 200 ℃



อุณหภูมิในการอบ 250 °C

อุณหภูมิในการอบ 300 °C

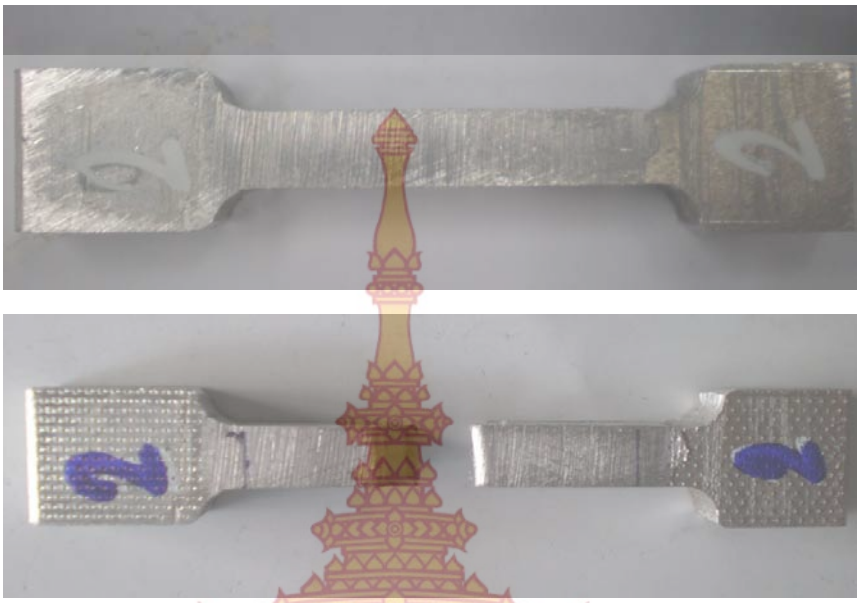
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



อุณหภูมิในการอบ 350 °C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

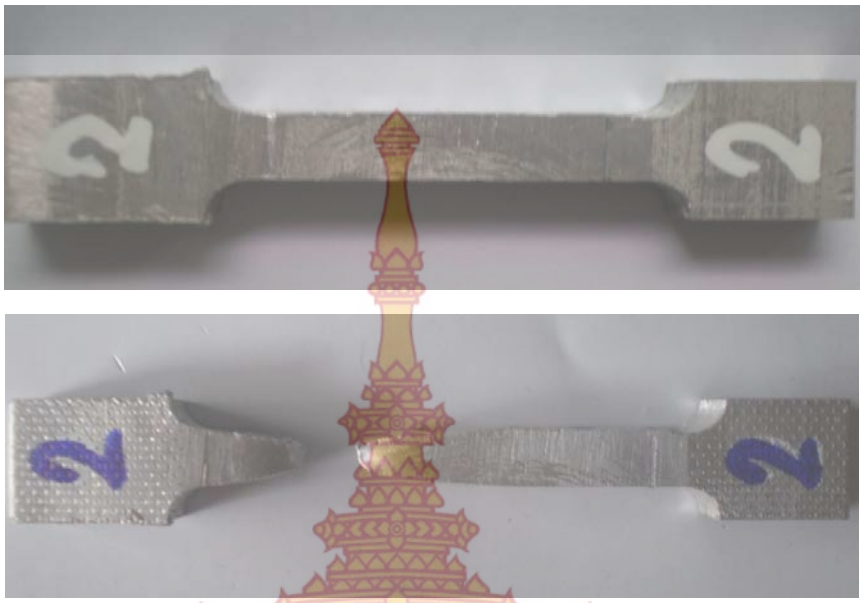
อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 °C

อุณหภูมิในการอบ 250 °C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

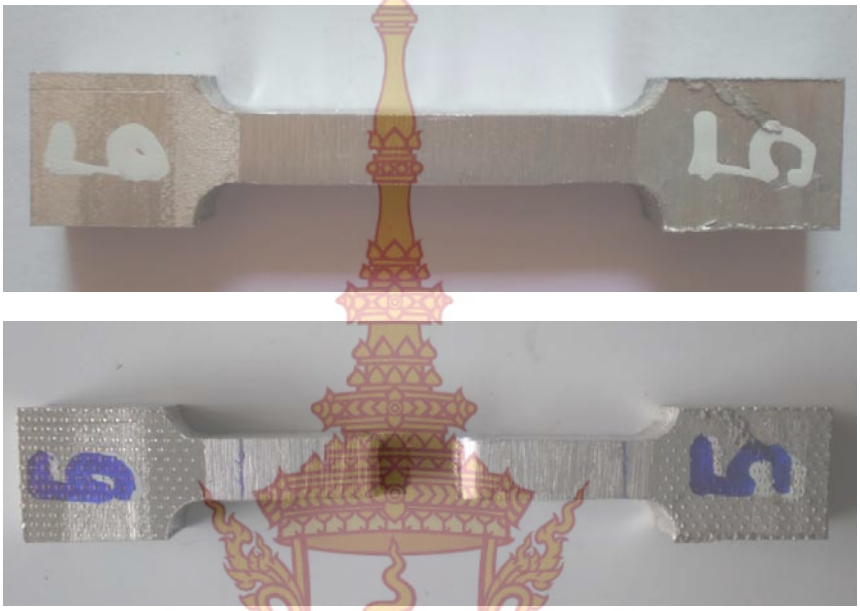


อุณหภูมิในการอบ 300 ℃

อุณหภูมิในการอบ 350 ℃

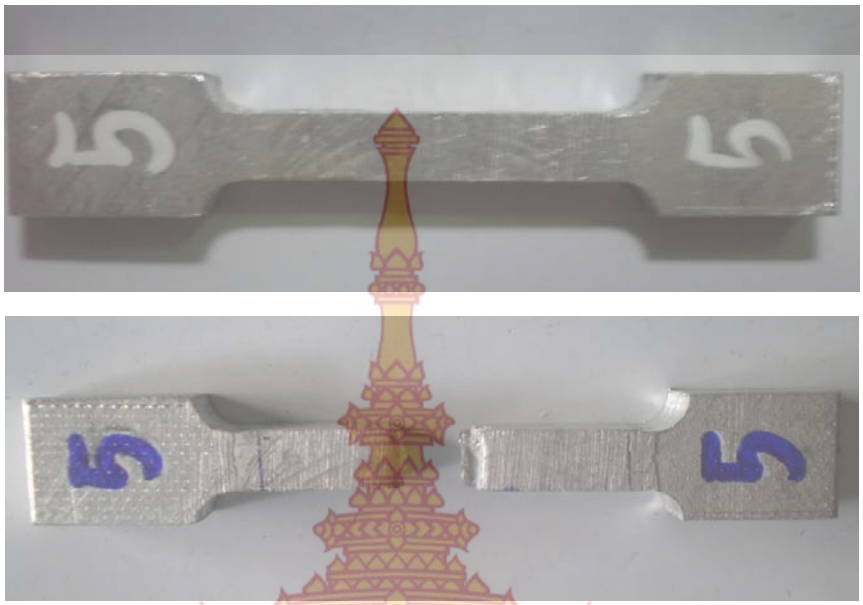
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



อุณหภูมิในการอบ 150 °C

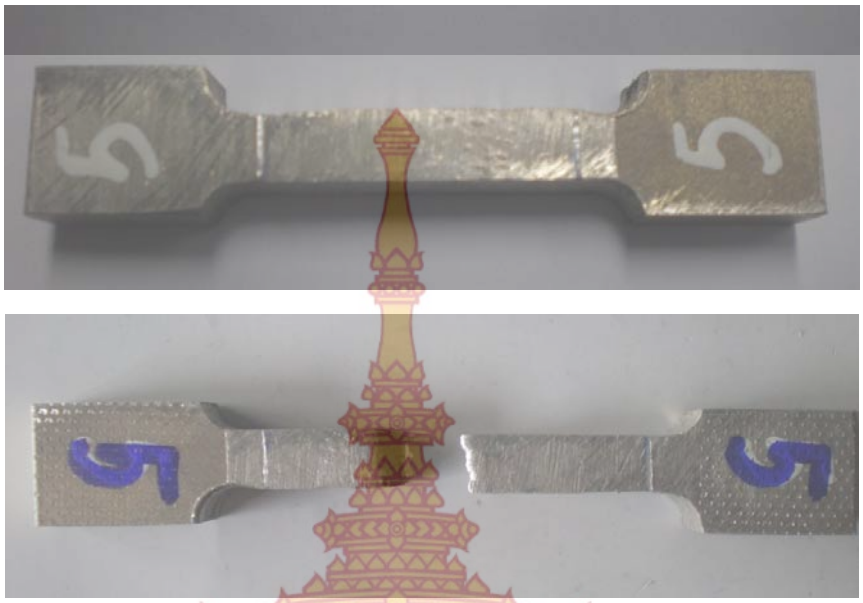
อุณหภูมิในการอบ 200 °C



อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

อุณหภูมิในการอบ 300 ℃

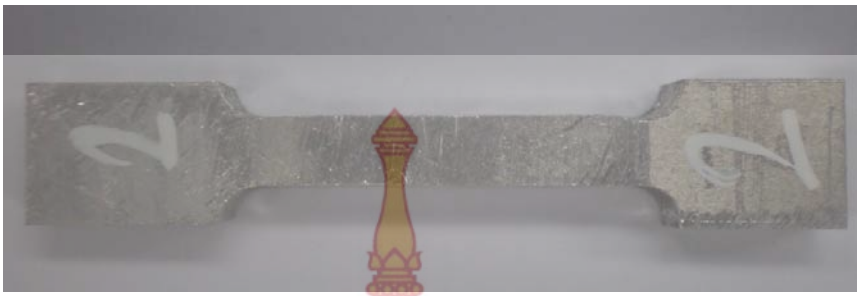
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



อุณหภูมิในการอบ 350 °C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 6063 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

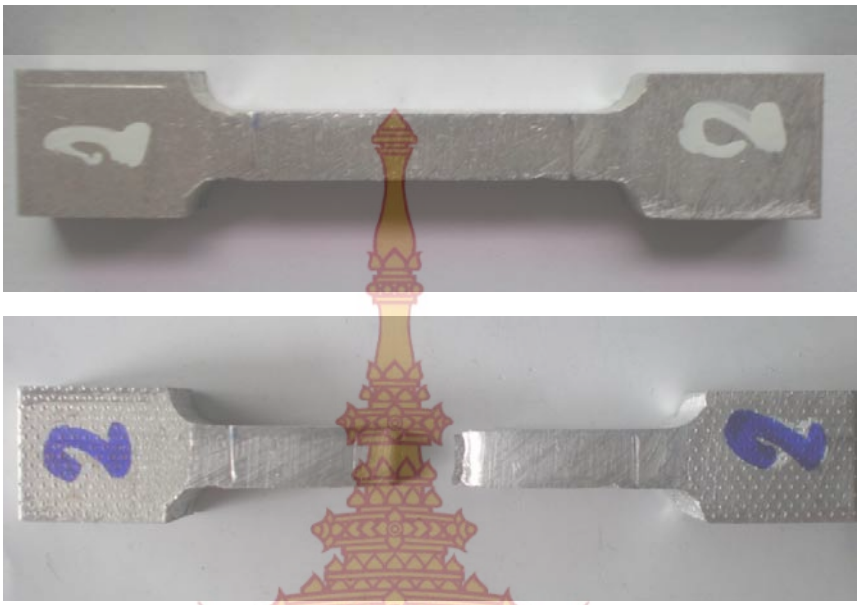
อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 ℃

อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

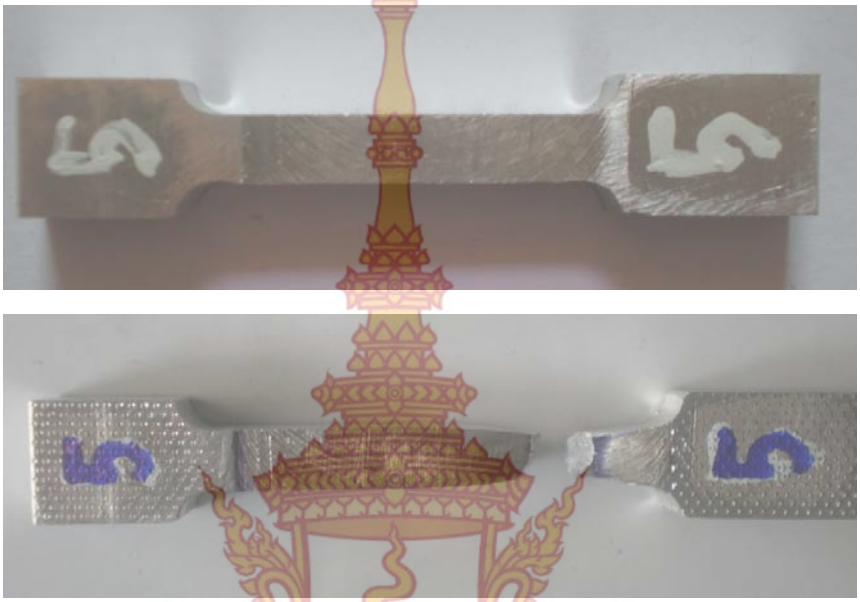


อุณหภูมิในการอบ 300 ℃

อุณหภูมิในการอบ 350 ℃

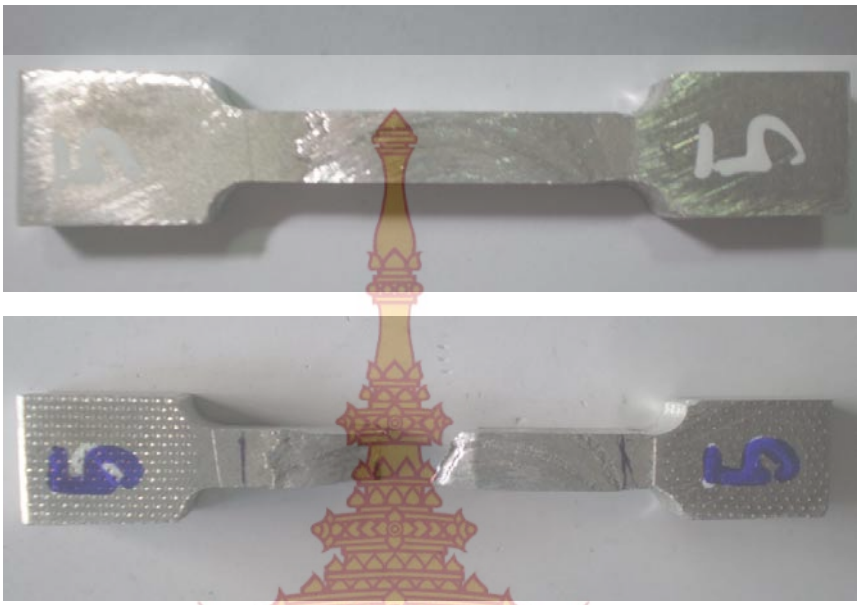
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 7075 ความเร็วในการเดิน
แนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



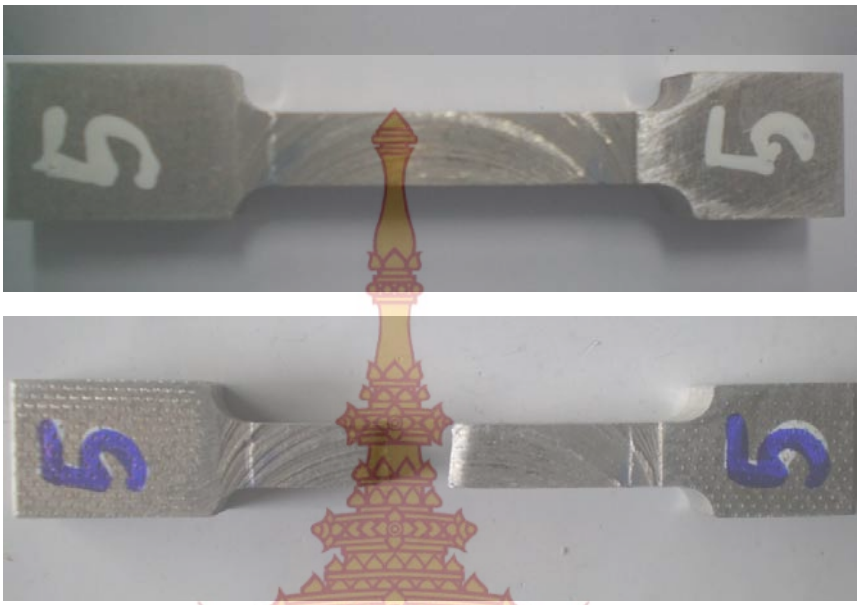
อุณหภูมิในการอบ 150 °C

อุณหภูมิในการอบ 200 °C



อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

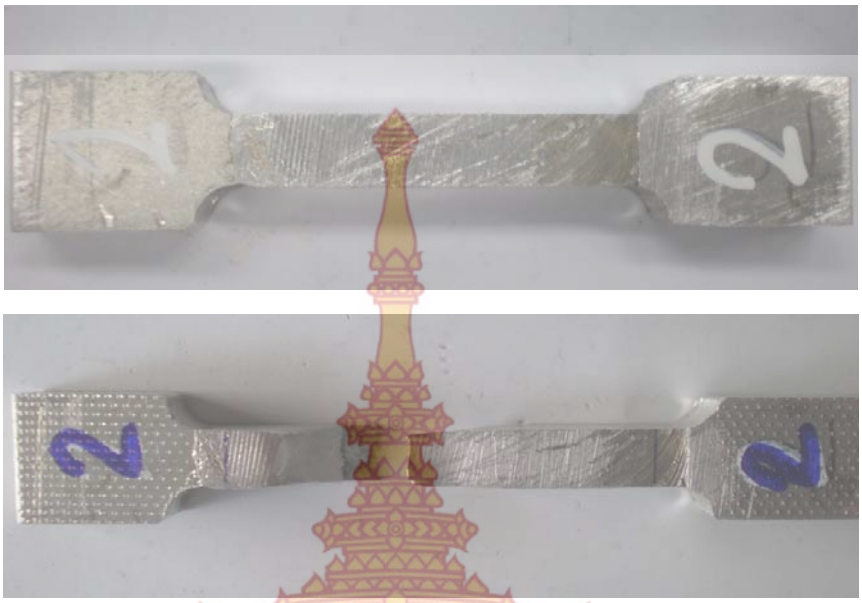
อุณหภูมิในการอบ 300 ℃



อุณหภูมิในการอบ 350 °C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 7075 ความเร็วในการเดิน แนวเชื่อม 74 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

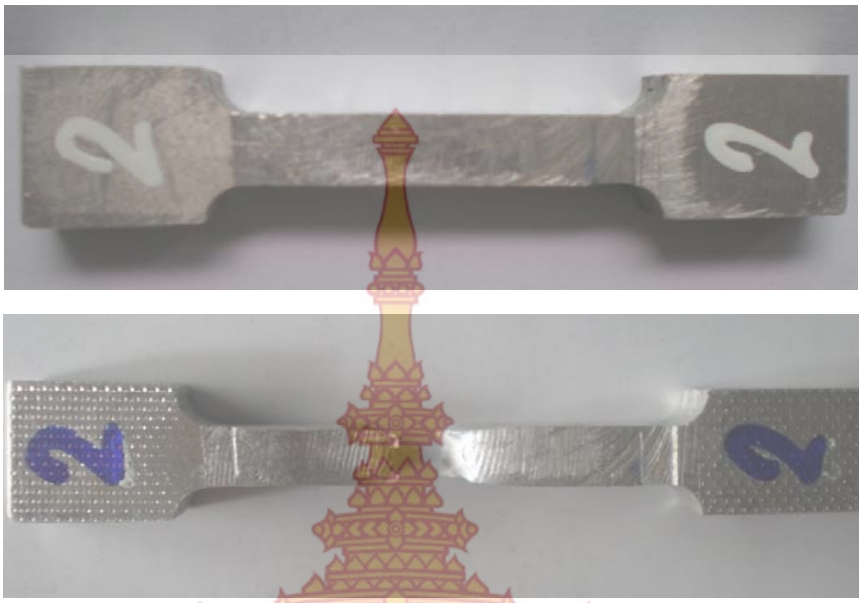
อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 °C

อุณหภูมิในการอบ 250 °C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

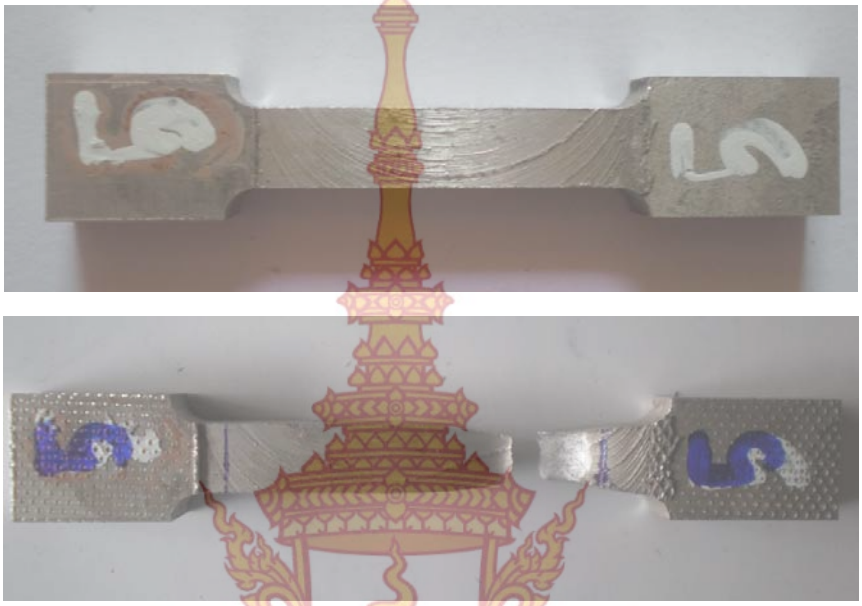


อุณหภูมิในการอบ 300 ℃

อุณหภูมิในการอบ 350 ℃

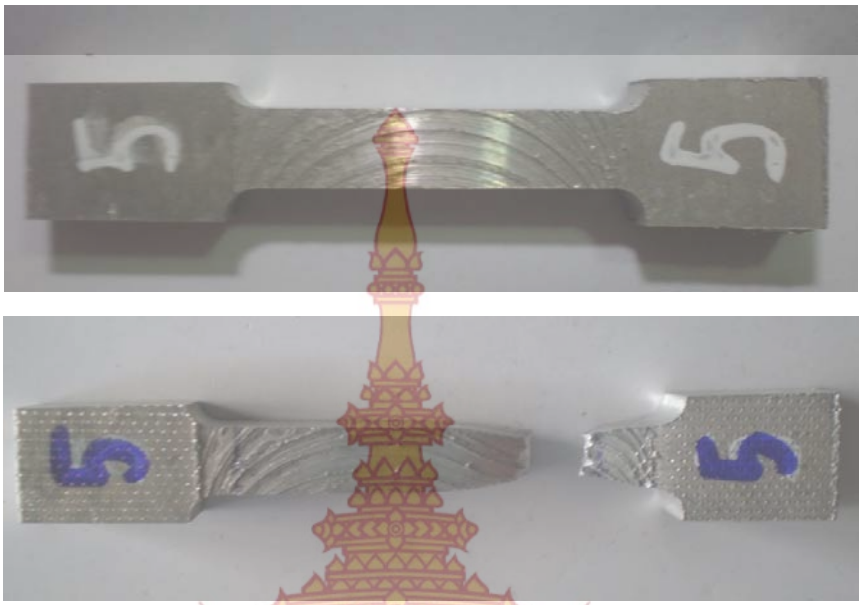
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 7075 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 2 ชั่วโมง



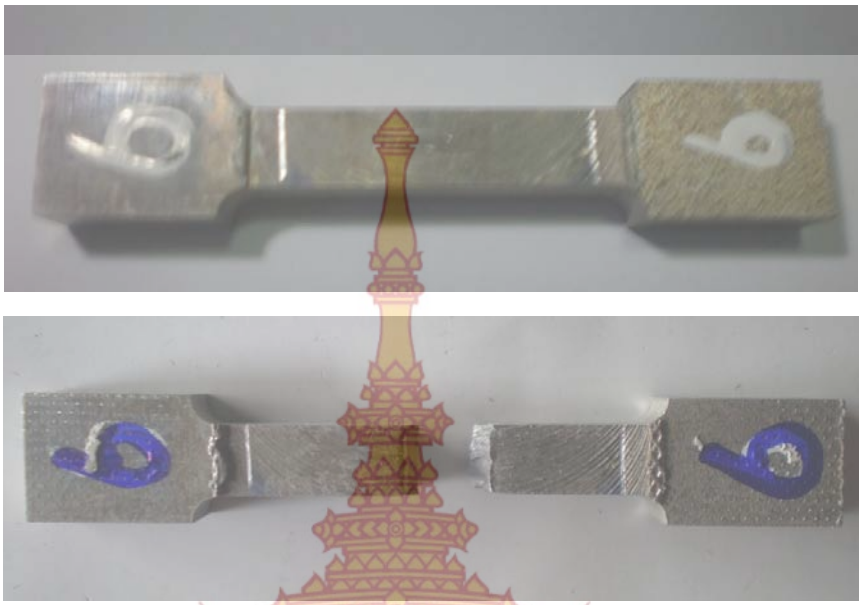
อุณหภูมิในการอบ 150 °C

อุณหภูมิในการอบ 200 °C



อุณหภูมิในการอบ 250 ℃

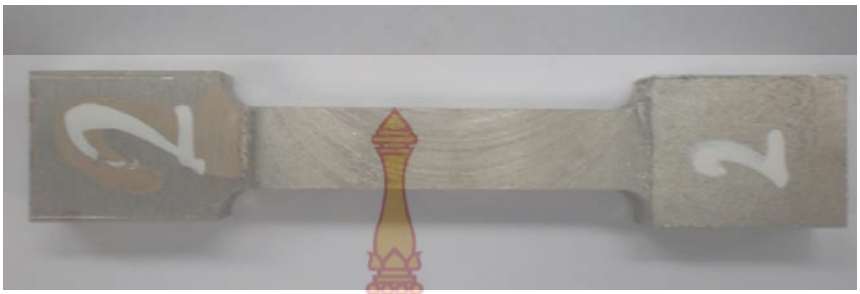
อุณหภูมิในการอบ 300 ℃



อุณหภูมิในการอบ 350 °C

การพังทลายของชิ้นงานทดสอบ อลูมิเนียม เกรด 6061 กับ 7075 ความเร็วในการเดิน แนวเชื่อม 89 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาในการอบแช่ 4 ชั่วโมง

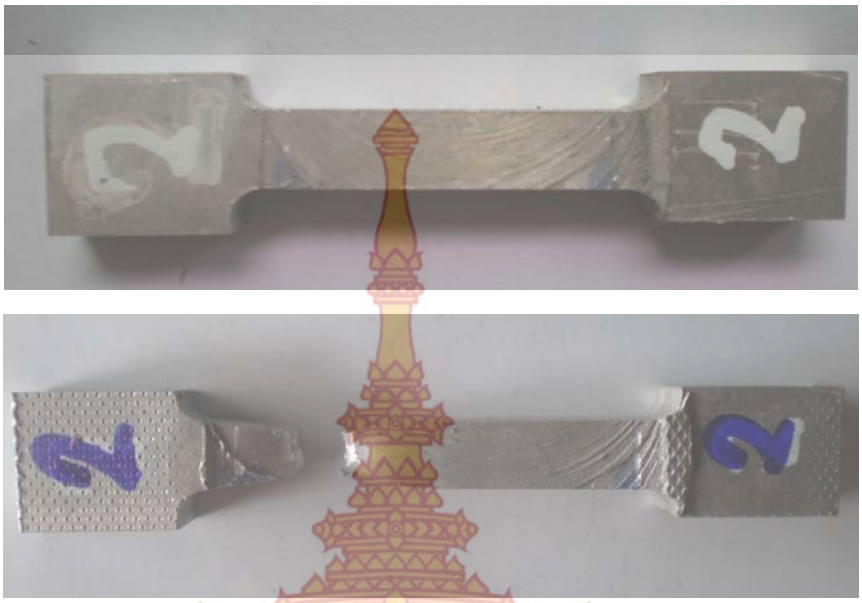
อุณหภูมิในการอบ 150 °C



อุณหภูมิในการอบ 200 °C

อุณหภูมิในการอบ 250 °C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



อุณหภูมิในการอบ 300 °C

อุณหภูมิในการอบ 350 °C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายเฉลิมพล คล้ายนิล

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถานศึกษา	ปีที่จบ
โท	วิศวกรรมโลหการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2549
ตรี	วิศวกรรมอุตสาหการ	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2540

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Manufacturing Process, Metallurgical Engineering, Tool Wear

6. รายงานการประชุมทางวิชาการ

เฉลิมพล คล้ายนิล, พิมพ์มาศ กาละวงศ์, จิณกมล ลุยจันทร์, 2556, **“การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์และคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน”** การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ, 17 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมรามา การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล, 2556, **“การศึกษาผลของศูนย์รวมความเค้นในเหล็กกล้า AISI1045 ภายใต้แรงแบบ cyclic”,** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 16-18 ตุลาคม 2556, โรงแรมเอวัน เดอะ รอยัลครูซ พัทยา ชลบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์, พิมพ์มาศ กาละวงศ์, 2555, **“การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, 2555, **“การประมาณการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงด้วยโครงข่ายประสาทเทียม”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2555, **“การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิชิ้นงานชนิดความหนาสูงในงานแม่พิมพ์ตัด”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, 2554 **“ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นในแนวเชื่อมเหล็กกล้า SS400 ภายใต้แรงดึง”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, เฉลิมพล คล้ายนิล, กุลชาติ จุลเพ็ญ, 2554 **“การศึกษาอิทธิพลของรัศมีลูกกลิ้งหัวกดที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียมโดยกระบวนการหมุนรีดขึ้นรูป”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, ทศพร เงินเนตร, 2554 **“ผลกระทบของการชุบผิวแข็งเหล็กกล้า AISI1020 ที่มีผลต่ออายุของความล้า”** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9, 2-3 พฤษภาคม 2554, โรงแรมเมอร์ลิน บิช รีสอร์ท จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล, ทศพร เงินเนตร, 2553, **“อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม** AISI 304 **ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล”** การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 3, 24 - 26 พฤศจิกายน 2553, ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ

เฉลิมพล คล้ายนิล, 2552, **“เครื่องอัดถ่านแท่งจากแกลบด้วยระบบไฮดรอลิกส์”** การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล, 2552, **“เครื่องอบแห้งเนื้อมะพร้าวด้วยพลังงานทดแทน”** การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล, ทศพร เงินเนตร, 2552, **“การประเมินอายุความล้าของเหล็กกล้าจากกระบวนการ Surface Treatment แบบต่างๆ”** การประชุมสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 2, 23 - 28 สิงหาคม 2552, โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ จ.เชียงใหม่

พงษ์พันธ์ ราชภักดี, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2551, **“การพัฒนาเครื่องปอกมะพร้าว”** การประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1, 27-29 สิงหาคม 2551, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา, จ.ตรัง

พงษ์พันธ์ ราชภักดี, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2551, **“การพัฒนากรรมวิธีการผลิตเส้นใยใบสับปะรด”** การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1, 27-29 สิงหาคม 2551, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา, จ.ตรัง

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, 2550, **“อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสเตนเลส AISI 316”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 24-26 ตุลาคม 2550, โรงแรม Royal Phuket City, จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล, ไชยา ดำคำ, 2549, **"การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสเตนเลสด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว"**, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ธันวาคม 2549, โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, กรุงเทพฯ