



ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของ
อลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075



โดย
วิชัย พุ่มจันทร์

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประจำปีงบประมาณ 2558

Study on parameters that affect the Friction Stir
Welding of 6063 aluminum alloy and 7075 aluminum
alloy



By

Wichai Pumchan

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคข้อมูลสนับสนุน ที่ให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิชัย พุ่มจันทร์

30 กันยายน 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A50/2558

ชื่อโครงการ : ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075

นักวิจัย : นายวิชัย พุ่มจันทร์

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นโดย สถาบันงานเชื่อมของ ประเทศอังกฤษ เพื่อทำการเชื่อมวัสดุที่เชื่อมแบบหลอมละลายได้ยาก เช่น อลูมิเนียม ในปัจจุบันได้มี งานวิจัยและการประยุกต์ ในอลูมิเนียมเกรดต่างๆ แต่ยังไม่มีการศึกษาตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบ กวนกับอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ทำให้ผู้วิจัยสนใจการทำวิจัยนี้

ในการวิจัยใช้เครื่องมือเชื่อมแบบทรงกระบอกเกลียวขวา M6x1 ในการเชื่อมเครื่องมือจะ หมุนตามเข็มนาฬิกา ทำการเอียงเครื่องมือ 0-3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000- 2000 รอบ ต่อนาที และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการ เชื่อมในตัวแปรต่างๆ ทำการสังเกตจุดบกพร่องบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ทำการตรวจสอบความ ต้านทานแรงดึง ทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน และตรวจสอบความแข็งของรอย เชื่อม

ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า ความเร็วรอบเครื่องมือ การเอียงเครื่องมือและอัตราความเร็ว ดินเชื่อมสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม โครงสร้างมหภาคในแนวเชื่อม ของชิ้นงานที่สมบูรณ์ มีการรวมตัวของเนื้อวัสดุได้ดี แต่ไม่แสดงลักษณะที่คล้ายหัวหอมเหมือนกับการ เชื่อมวัสดุเดียวกัน สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง การเอียงเครื่องมือที่ 3 องศา ความเร็ว รอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความ ต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในการทดสอบความแข็งพบว่าที่ ความเร็ว รอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที เอียงเครื่องมือ 1.5 องศา ให้ค่าความแข็งสูงสุด 185 HV

คำสำคัญ : งานเชื่อม, เชื่อมเสียดทานแบบกวน, อลูมิเนียม

E-mail Address : wichai.pum@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 ตุลาคม 2557- 30 กันยายน 2558

Abstract

Code of project: A50/2558

Project name : Study on parameters that affect the Friction Stir Welding of 6063 aluminum alloy and 7075 aluminum alloy

Researcher name: Mr.Wichai Pumchan

The friction stir welding [FSW] was invented by The Welding Institute of England. For welding material were difficult to fusion welding such as aluminum. Currently, there is research and application for many aluminum alloys but there is no research a friction stir welding with aluminum alloy 6063 and 7075 cause interest to do research.

The tool in the experiments was designed to be M 6 right screw cylinder stirrer. The tools rotated clockwise tools were tilted tool at 0-3 degree. The rotation speeds of the tools were 1000-2000 rpm. The welding speeds were 50-160 mm/min. The welded examined. The joint defect, joint tensile strength, microstructure and the hardness of welded area were investigated.

The summarized results are as follows. The variation of welding parameter such as the rotating speed, the welding speed affected to completion of the welding surface. The onion ring structure that was observed in the similar aluminum joint could not be observed in this AA 6063 and AA 7075 sound joint. The optimum condition that indicated the tensile strength of 110 N/mm^2 was tools tilt angle of 3° , rotating speed of 1000 rpm and welding speed of 100 mm/min. The highest hardness of the weld of 185 HV could be found when the joint was produced by rotation of 1600 rpm welding speed of 100 mm/min and tools tilt angle of 1.5° .

Keywords : Welding, Friction Stir Welding, Aluminum

Email Address : wichai.pum@rmutr.ac.th

Period of Project : October 1, 2014 - September 30, 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
3.ขอบเขตของการวิจัย	1
4.นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย	2
5.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.อุลุมิเนียม	4
2.กระบวนการเชื่อม	7
3.การทดสอบ	13
4.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
1.การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม	20
2.การเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม	23
3.กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	25
4.การทดสอบบรอยเชื่อม	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	30
1 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	30
2 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 1.5 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	45
3 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	55
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	77
1 สรุปผล	77
2 ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	80
ประวัติผู้วิจัย	95



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข	5
2 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน AA6063	6
3 อลูมิเนียมผสมสังกะสี AA7075	7
4 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง	20
5 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุที่ใช้ทดลอง	81
6 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ	81
7 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	82
8 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที	82
9 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	83
10 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	83
11 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	84
12 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	84
13 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	85
14 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	85
15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	86
16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	86
17 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	87
18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	87
19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	88
20 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	88
21 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	89
22 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	89
23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	90
24 ค่าขนาดโครงสร้างจุลภาค	90
25 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	92
26 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	92
27 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	92

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
28	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	93
29	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	93
30	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	93
31	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	94
32	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	94
33	ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	94



สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
1 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	8
2 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในอุตสาหกรรมรถยนต์	8
3 ขั้นตอนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	8
4 กลไกการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	9
5 เครื่องจักรในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	10
6 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน	11
7 การเอียงเครื่องมือเชื่อม	12
8 รอยต่อต่างๆในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	12
9 ขั้นตอนทดสอบแรงดึง	13
10 ลักษณะห้วงกุดเพชรรูปพีระมิด มุม 136 องศา	14
11 ลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ	14
12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ	15
13 ลักษณะลำแสงสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยายทำให้เกิดโครงสร้างของชิ้นตรวจสอบ	15
14 ลักษณะการหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน	16
15 แผนภาพการไหลกระบวนการการทดลอง	21
16 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ	22
17 ลักษณะการวางแบบรอยต่อชน	22
18 รูปแบบของการจัดวางชิ้นงาน	23
19 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ทำการเชื่อม	24
20 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW	24
21 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	25
22 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	26
23 ลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึง	23
24 การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค	27
25 เครื่องขัดดูโครงสร้าง	28
26 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	28
27 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	30

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
28 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อ นาที	31
29 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	32
30 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	32
31 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	34
32 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	34
33 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	35
34 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อ นาที	36
35 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	37
36 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	37
37 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	38
38 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที	39
39 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	40
40 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อ นาที	41
41 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	41
42 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	42
43 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	43
44 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	44
45 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	45
46 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อ	46
47 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	46
48 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	47
49 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	48

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
50 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	49
51 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	50
52 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	51
53 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	51
54 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	52
55 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	53
56 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	54
57 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	55
58 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	56
59 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	56
60 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	57
61 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	58
62 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	59
63 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	60
64 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	61
65 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	62
66 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	62
67 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	63
68 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	64

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
69 ผิวน้ำแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	65
70 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	66
71 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	66
72 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	67
73 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	68
74 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที	69
75 ผิวน้ำแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	70
76 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	71
77 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	71
78 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	72
79 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	73
80 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	74



บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อลูมิเนียม เป็นวัสดุหนึ่งที่มีกระทำการเชื่อมได้ยาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมด้วย กระบวนการทางความร้อน (Fusion Weld) ซึ่งได้แก่กระบวนการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) หรือเรียกว่า การเชื่อม MIG และกระบวนการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ซึ่งเรียกว่า การเชื่อม TIG ซึ่งกระบวนการเชื่อมเหล่านี้ต้องใช้ช่างฝีมือผู้ชำนาญงาน และอีกทั้งระหว่าง การเชื่อมยังมีการแพร่รังสีบางชนิด รวมถึงควันพิษระหว่างการผลิตของอลูมิเนียมเป็นอันตราย ต่อผู้ปฏิบัติงาน[1] การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นโดย TWI (The Welding Institute) ของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีของอังกฤษ ในปี ค.ศ.1991[2] นำมาใช้เชื่อมวัสดุที่กระทำการเชื่อมได้ยากเช่น อลูมิเนียม ทองแดง เป็นต้น ในการเชื่อมวัสดุ เมื่อเชื่อมติดกันแล้ววัสดุจะเกิดความเค้นตกค้างกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่สามารถลดความเค้นตกค้างระหว่างการเชื่อมได้ ซึ่งอยู่ในงานวิจัยของ[2]ในปัจจุบันได้มีการงานวิจัยออกมาอย่างแพร่หลายที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบหมุน ดังนั้นเพื่อหาวิธีการและทางเลือกที่ดีเพื่อให้การเชื่อมอลูมิเนียม ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพจากการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเสียดทานแบบกวน จึงได้เกิดแนวคิดที่จะศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่มีผลต่ออลูมิเนียม AA6063 และ AA7075

2. วัตถุประสงค์ของวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การเชื่อมแรงเสียดทานแบบกวนต่ออลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงานทดลองที่ผ่านการเชื่อมแรงเสียดทานแบบกวน
3. เพื่อศึกษาโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมอลูมิเนียม ของแต่ละตัวแปร
4. เพื่อศึกษาความแข็งของแนวเชื่อม ของแต่ละตัวแปร

3. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบเสียดทานอลูมิเนียมเกรด AA6063 และ AA7075 ในทำ ราบเป็นเส้นตรง ด้วยเครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ

2. ทำการเชื่อมบนอลูมิเนียมเกรด A6063 และ AA7075 กำหนดให้ชิ้นงานทดลองมีขนาด 30x150x6.3 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นทดลองสองชิ้นมาต่อชนกันและทำการเชื่อม
3. ทำการเชื่อมด้วย สลักแกนหมุนแบบทรงกระบอก
 - 3.1. เครื่องมือเอียง 0-3 องศา
 - 3.2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า 25 มิลลิเมตร
 - 3.3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักแกนหมุนโต 6 มิลลิเมตร แบบเกลียวขวา
 - 3.4. ความเร็วรอบของสลักแกนหมุนโดยทดลองที่ 1,000-2000 รอบ/นาที
 - 3.5. ความเร็วเดินเชื่อมโดยทดลองที่ 50-160 มิลลิเมตร/นาที
5. ศึกษาและทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง
6. ศึกษาโครงสร้างมหภาคบริเวณแนวเชื่อม
7. ศึกษาและทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมด้วยการทดสอบความแข็ง

4. นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. การเชื่อมเสียดทานแบบกวน หมายถึง การเชื่อมวัสดุในสภาวะกึ่งแข็ง
2. เครื่องมือเชื่อมเสียดทานแบบกวน หมายถึง เครื่องมือที่ประกอบด้วย ตัวกวน (Probe), บ่าเครื่องมือ (Shoulder), ด้ามจับ (Shank)
3. ตัวกวน (Probe) หมายถึง ส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ใช้ในการกวนชิ้นงานสองชิ้นให้เชื่อมต่อกัน
4. บ่าเครื่องมือ (Shoulder) หมายถึง ส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ทำให้เกิดความร้อนกับชิ้นงาน
5. ด้ามจับ (Shank) หมายถึง ส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ทำให้หัวจับเครื่องมือจับยึดเครื่องมือเชื่อม
6. ความเร็วรอบ หมายถึง จำนวนรอบของการหมุนในหนึ่งนาที
7. ความเร็วเดินเชื่อม หมายถึง ระยะทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือหรือโต๊ะงานเชื่อมในเวลาหนึ่งนาที
8. Heat Affected Zone คือพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนทำให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนแปลงไปโดยหลังจากนี้จะใช้คำนี้หรือจะใช้ตัวย่อภาษาอังกฤษ HAZ
9. Thermo Mechanically Affected Zone คือพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเชิงกลโดยหลังจากนี้จะใช้คำนี้หรือจะใช้ตัวย่อภาษาอังกฤษ TMAZ

5.ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.นำไปสู่การพัฒนาการใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อแบบกวน
- 2.ผลสำเร็จของงานวิจัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อแบบกวน
- 3.งานวิจัยสามารถนำไปเสนอในเวทีวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติ
- 4.หน่วยงานที่จะนำมาผลการวิจัยมาใช้ประโยชน์หน่วยงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์คือโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับภาคการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

1. อลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) อลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ต่างๆดังนี้

สมบัติทางไฟฟ้า

- การต้านทานไฟฟ้าที่ 20°C 2.6548 u -cm
- การนำไฟฟ้า 94.94 %IACS

สมบัติทางฟิสิกส์

- หมายเลขอะตอม 13
- น้ำหนักอะตอม 26.97
- วาเลนซ์ 3
- โครงสร้างผลึก f.c.c
- มิตินของแลตทิซ 4.049 oA
- ความหนาแน่นที่ 20°C 2.6989 g/mm³
- จุดหลอมเหลว 660.2 oC
- จุดเดือด 2450 oC
- การหดขณะแข็งตัว 6.6 %
- ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย 94.5 cal/g
- ความร้อนแฝงของการเป็นไอ 2260 cal/g
- ความร้อนจำเพาะที่ 100°C 0.224 cal/g
- การนำความร้อนที่ 20°C 0.57 cal/g
- การสะท้อนแสง

แสงจากหลอดทั้งสแตน 90 %

แสง 2000 - 2500 ๐A 86-87 %

แสง 10000 ๐A 96 %

- สี ขาวเงิน

อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นและอลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม (Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys) สามารถจำแนกออก โดยใช้ ระบบตัวเลข 4 หลัก ดังนี้

ตัวเลขหลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุด ในการแสดงกลุ่มของอลูมิเนียมผสม ซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.1 เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99% โดยน้ำหนัก เป็นต้น

ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดของอลูมิเนียมตามระบบตัวเลข [10]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอลูมิเนียม
1XXX	อลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
2XXX	ทองแดง (Copper , Cu)
3XXX	แมงกานีส (Manganese , Mn)
4XXX	ซิลิกอน (Silicon , Si)
5XXX	แมกนีเซียม (Magnesium , Mg)
6XXX	แมกนีเซียมกับซิลิกอน (Magnesium , Mg and Silicon , Si)
7XXX	สังกะสี (Zinc, ZN)
8XXX	ธาตุอื่นๆ (Other Element)
9XXX	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

ตัวเลขหลักที่สอง เป็นสัญลักษณ์ใช้สำหรับกำกับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนผสมของโลหะ ให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม เช่น ตัวเลข 0 แสดงว่า เป็นโลหะผสมดั้งเดิม ส่วนตัวเลข 1-9 แสดงว่า เป็นโลหะที่ผสมเข้าไปเปลี่ยนแปลงจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่สองคือ 0 (4.5%Cu , 1.5%Mg , 0.5%Si , 0.1%Cr) เมื่อเทียบกับหมายเลข 2218 ตัวเลขหลักที่สองคือ 2 (4.0%Cu , 2.0%Ni , 1.5%Mg , 0.2%Si) ซึ่งสังเกตได้ว่า หมายเลข 2218 มีนิกเกิล(Ni)ผสมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สาม และ สี่ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หมายเลข 2014 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 14 (4.4%Cu , 0.8%Si , 0.8%Mn , 0.4%Mg) และ หมายเลข 2017 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 17 (4.0%Cu , 0.8%Si , 0.5%Mn , 0.5%Mg , 0.1%Cr)

เฉพาะอลูมิเนียมในกลุ่ม 1XXX ตัวเลขหลักที่สาม และ หลักที่สี่ จะแสดงปริมาณของ อลูมิเนียมที่เป็น จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99% เช่น หมายเลข 1060 และ หมายเลข 1080 หมายถึง อลูมิเนียมขึ้นรูป ที่มีอลูมิเนียม 99.60% และ 99.80% ตามลำดับ

ตารางที่ 2 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน AA6063

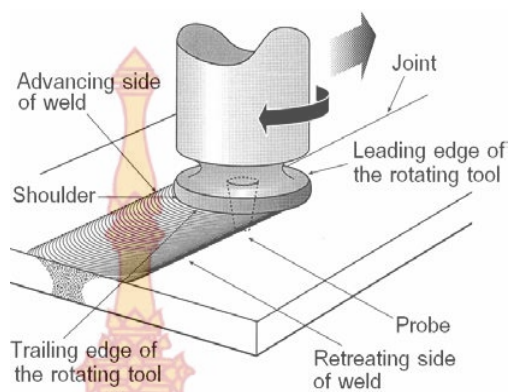
ส่วนผสมทางเคมี					
ซิลิกอน (Si)	:0.20-0.60	แมกนีเซียม (Mg)	:0.45-0.90		
เหล็ก (Fe)	:0.35	สังกะสี (Zn)	:0.10		
ทองแดง (Cu)	:0.10	โครเมียม (Cr)	:0.10		
แมงกานีส (Mn)	:0.10	อื่นๆ	:0.05		
สมบัติทางอุณหภูมิ					
อุณหภูมิหลอมเหลว	655 °C				
อุณหภูมิแข็งตัว	615 °C				
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	23.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$				
ปริมาตร	$69 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{K}$				
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	186	145	12	60	117
T6	241	214	9	82	152

ตารางที่ 3 อลูมิเนียมผสมสังกะสี AA7075 [10]

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	อื่นๆ	:0.05		
สมบัติทางอุณหภูมิ					
อุณหภูมิหลอมเหลว	635 °C				
อุณหภูมิแข็งตัว	477 °C				
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	23.4 um/m.K				
ปริมาตร	$68 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{K}$				
สมบัติทางกล					
Temper	Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear strength(MPa)
O	228	103	17	60	152
T6	572	503	11	150	331
T73	503	434	-	-	-

2. กระบวนการเชื่อม

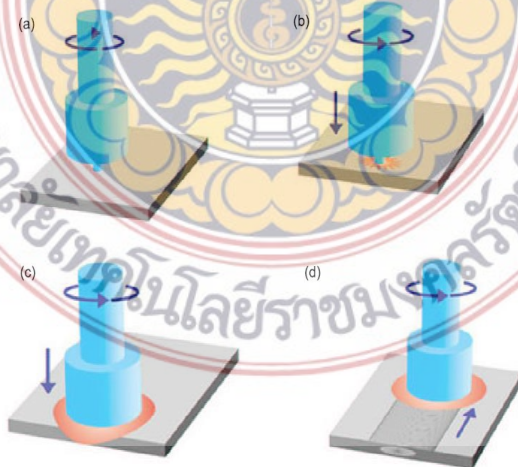
การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เป็นการแก้ปัญหาการเชื่อมสำหรับวัสดุที่ทำการเชื่อมแบบหลอมละลายได้ยาก [1] เช่น อลูมิเนียม ซึ่งวิธีดังกล่าวได้ถูกคิดค้นโดย TWI (The Welding Institute) ของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีของอังกฤษในปี ค.ศ.1991 [2,3] และได้มีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต เครื่องบิน การผลิตเรือเดินสมุทร การผลิตรถยนต์ [4] โดยหลักการและความหมาย ของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เป็นกระบวนการเชื่อมวัสดุในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) ซึ่งมีกรรมวิธีแสดงดังรูปที่ 1 และในปัจจุบันได้นำมาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมกับวัสดุหลายประเภท เช่น อลูมิเนียมต่างชนิดกัน เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ การเชื่อมเหล็กสแตนเลส หรือการเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับอลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมอลูมิเนียมกับสแตนเลส เป็นต้น



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [5]

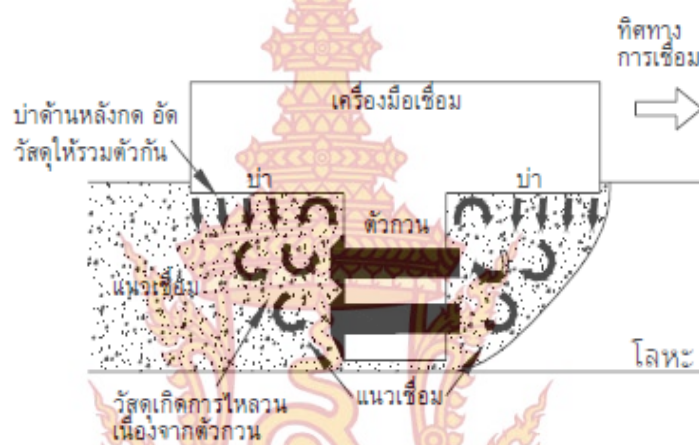


ภาพที่ 2 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในอุตสาหกรรมรถยนต์ [6]



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [7]

สำหรับขั้นตอนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนนั้น แสดงดังรูปที่ 3 เริ่มต้นด้วยการจับยึดชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมอย่างแน่นหนาในอุปกรณ์จับยึด บนเครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม จากนั้นเริ่มต้นหมุนเครื่องมือเชื่อม (Welding Tools) ดังรูปที่ 3 (a) จากนั้นทำการสอดเครื่องมือเชื่อมส่วนที่อยู่ปลายสุดของเครื่องมือซึ่งเรียกว่าตัวกวน (Probe) เข้าไปในเนื้อวัสดุดังรูปที่ 3 (b) จนกระทั่งบ่าเครื่องมือกดลงบนวัสดุ แชไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้วัสดุเกิดความร้อนและอ่อนตัว ดังรูปที่ 3 (c) จากนั้นทำการเดินเชื่อม ดังรูปที่ 3 (d) สำหรับกลไกการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนที่ทำให้วัสดุสองชิ้นสามารถเชื่อมติดกันได้นั้นแสดงดังรูปที่ 4



ภาพที่ 4 กลไกการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [1]

เมื่อเครื่องมือหมุนตัวกวนสอดเข้าไปในเนื้อวัสดุ และบ่าเครื่องมือกดลงบนเนื้อวัสดุทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานของบ่าเครื่องมือกับเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว ลักษณะคล้ายกับเมื่อเราทำการกลิ้งงานวัสดุอลูมิเนียมจะมีเศษอลูมิเนียมติดที่ปลายมีดกลิ้งสำหรับกรณีการเชื่อมนี้เราจะเรียกว่า สถานะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) เนื้อวัสดุจะเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าของเครื่องมือเชื่อม ดังรูปที่ 4 จากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งของวัสดุซึ่งทำให้เนื้อวัสดุที่ต้องการเชื่อมยึดติดกัน

2.1 ตัวแปรในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ประกอบด้วยกันแปรต่างๆที่สำคัญในการเชื่อมดังนี้

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม
2. ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินเชื่อม ระยะเวลาในการกดแช่
3. เครื่องมือในการเชื่อม

4.การเอียงเครื่องมือ

5.รอยต่อ

6.วัสดุที่นำมาเชื่อม

2.2 เครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อมต้องเป็นเครื่องจักรที่มีความแข็งแรงที่สามารถรับแรงบิดที่เกิดขึ้นได้ไม่ทำให้เครื่องมือหยุดหมุนหรือหยุดเดินในระหว่างการเชื่อม โดยทั่วไปแล้วมักจะประยุกต์ใช้เครื่องกัดที่สามารถป้อนกัตเดินอัตโนมัติมาเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม แสดงดังรูปที่ 5 ในส่วนที่เพิ่มขึ้นยังได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี และได้มีการสร้างเครื่องเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนซึ่งมีขายในทางการค้า [8] การกำหนดลักษณะของเครื่องจักรเบื้องต้น ควรมีกำลังมอเตอร์อย่างน้อย 5 แรงม้า ความเร็วรอบที่ใช้อยู่ในช่วงอย่างน้อย 100-3000 รอบต่อนาที [8,9] สำหรับอัตราความเร็วในการเดินเชื่อมสามารถปรับได้ ให้เหมาะสมกับ Revolution Pitch ที่อยู่ในช่วง 0-0.2 มม.ต่อรอบ [10]



ภาพที่ 5 เครื่องจักรในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

2.3 ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินเชื่อม ระยะเวลาในการกดแช่

เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ความเร็วรอบมีผลทำให้เกิดความร้อนที่จะเพียงพอให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว การกดแช่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นหลังจากบ่า

เครื่องมือสัมผัสผิวด้านบนวัสดุ ความเร็วเดินเชื่อมทำให้วัสดุเชื่อมติดกันตามระยะทางที่ต้องการ ในสามตัวแปรนี้มีผลกระทบจากขนาดของเครื่องมือถ้าเครื่องมือมีขนาดเล็กความเร็วรอบก็จะสูง อัตราการเดินเชื่อมก็จะเพิ่มขึ้น และอัตราการเดินเชื่อมก็ทำได้ช้าลง ถ้าเพิ่มสูงเกินไปอาจทำให้เครื่องมือหรือชิ้นงานเกิดความเสียหาย ได้มีการเคยมีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนของอัตราเดินเชื่อมต่อความเร็วรอบ (Revolution Pitch) ได้กำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ที่ 0-0.2 มม./รอบ

2.4. เครื่องมือในการเชื่อม

เครื่องมือแสดงในรูปที่ 6 ในการเชื่อมประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เป็นด้าม (Shank) ใช้สำหรับจับยึด กับหัวเครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม ส่วนที่สองเป็นบ่าเครื่องมือ (Shoulder) เป็นส่วนที่เสียดทานผิวด้านบนชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว โดยทั่วไปแล้ว จะอยู่ที่ 2.5 เท่าของขนาดตัวกวน [11] ส่วนที่สามตัวกวน (Probe หรือ Pin) เป็นส่วนที่สอดเข้าไปในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุไหลวนรอบตัวมันทำให้เนื้อวัสดุเชื่อมติดกัน ขนาดโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน และความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมถ้าขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้แตกหักเกิดความเสียหายได้ วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องมือส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กเครื่องมือที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว

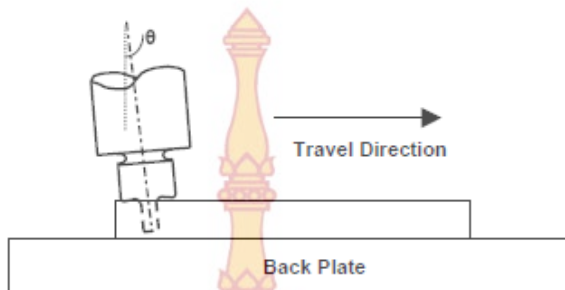


ภาพที่ 6 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

2.5 การเอียงเครื่องมือ

ในการทดสอบการเอียงเครื่องมือเชื่อมนั้น มีงานวิจัยอยู่หลายหัวข้อที่ได้ทดลองเอียงเครื่องมือเชื่อมแสดงดังรูปที่ 7 โดยคาดว่าสามารถแก้ปัญหาการเกิดจุดบกพร่องบริเวณส่วนล่างของแนวเชื่อมได้ จึงทำการเอียงเครื่องมือเชื่อมที่ 2-4 องศา [5] ซึ่งก่อนหน้าหลักการเบื้องต้นของการเชื่อม เมื่อบ่าของเครื่องมือกดอัดลงไปบนเนื้อวัสดุ โดยไม่มีการเอียงบ่าเครื่องมือ ส่งผลให้บ่าของเครื่องมือกดเนื้อวัสดุเอาไว้จนกระทั่งเนื้อวัสดุไม่สามารถไหลเข้าไปเติมเต็มบริเวณแนวเชื่อมและเนื้อวัสดุเมื่อถูกกดยังดันออกทางด้านข้างส่งผลเกิดครีบ และเมื่อทำการเอียงบ่าของเครื่องมือประมาณ 2-

4 องศา แล้วนั้นทำให้บ่าเครื่องมือสัมผัสเนื้อวัสดุน้อยลง ครีบจึงมีพื้นที่น้อยลงไปด้วย แต่ก็ไม่ควรเอียงเครื่องมือมากเกินไปทำให้ความร้อนในขณะเชื่อมลดน้อยลง จนไม่สามารถกวนเนื้อวัสดุได้



ภาพที่ 7 การเอียงเครื่องมือเชื่อม [5]

2.6 รอยต่อของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

ลักษณะของรอยต่อแบบต่างๆภายหลังทำการเชื่อมนั้นแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นรอยต่อแบบต่างๆที่สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานในปัจจุบันเช่น รอยต่อชน รอยต่อเกย เป็นต้น สำหรับงานอุตสาหกรรมและในหลายๆงานวิจัยนั้นจะกำหนดตามมาตรฐาน American Welding Society Standards [5] เพื่อเป็นมาตรฐานในการทดสอบในการออกแบบการเชื่อมนั้นจำเป็นที่จะต้องยึดชิ้นงานโดยการสร้างอุปกรณ์จับยึด (Fixture) ซึ่งผู้เชื่อมจะต้องสร้างขึ้นมาเพื่อจับยึดอย่างแน่นหนา เพื่อให้ชิ้นงานคงที่ไม่ขยับหรือหลุดระหว่างการเชื่อม



ภาพที่ 8 รอยต่อต่างๆในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [5]

2.7 วัสดุที่นำมาเชื่อม

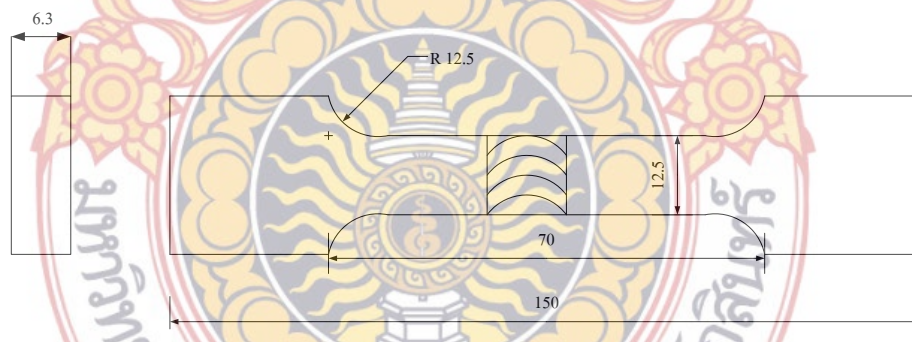
สำหรับวัสดุที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมและในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาส่วนมากทำการศึกษาการเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกัน เช่น เชื่อมระหว่างอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 2xxxx กับ อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 2xxxx , เชื่อมระหว่างอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 7xxxx กับอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 7xxxx

นอกจากนั้นยังมีการเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่างเกรดกันเช่น เชื่อมระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด 5xxx กับอลูมิเนียมผสมเกรด 7xxx และยังมีการเชื่อมวัสดุต่างกลุ่มกัน เช่น การเชื่อมระหว่างอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

3.การทดสอบ

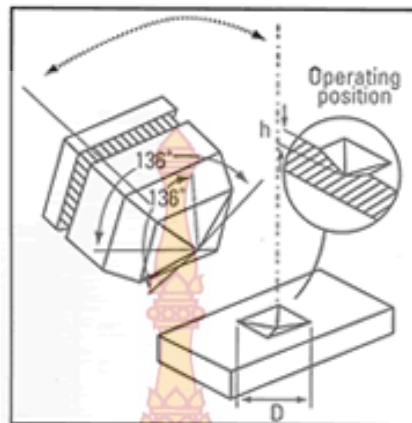
ก. การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมากเพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่น ให้ผลเกี่ยวกับ ความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป โดยทั่วไปการทดสอบก็ต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอถึงขั้นทดสอบให้ยืดออก และขาดในที่สุด สำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นนิยมทดสอบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ

● **ชิ้นทดสอบ (Specimens)** ชิ้นทดสอบโดยการดึงนั้น จะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบคือ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นได้ สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะส่วนมาก จะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดวงกลม หรืออาจเตรียมให้พื้นที่ภาคตัดขวาง สี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้



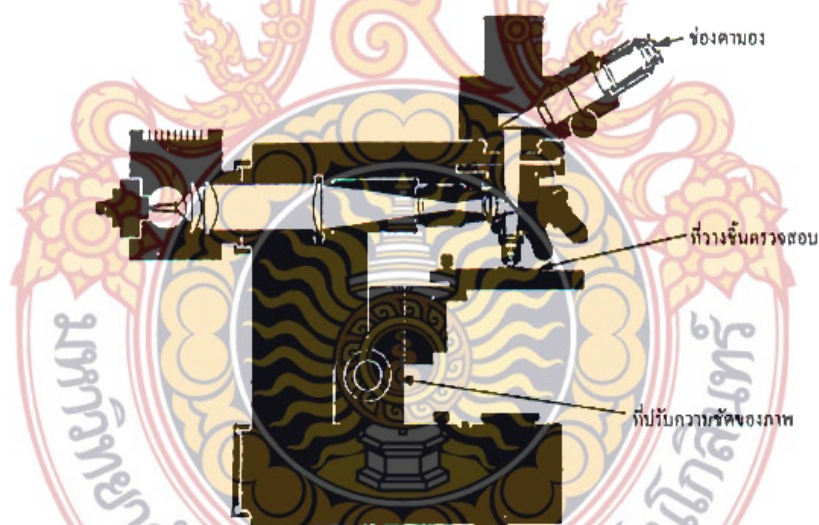
ภาพที่ 9 ชิ้นทดสอบแรงดึง (หน่วย: มิลลิเมตร) [12]

ข. การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Test) เป็นการใช้หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายของเพชร 136 องศา กดลงบนผิววัสดุชิ้นทดสอบด้วยแรงกดคงที่ขนาด 1 กรัมแรง ถึง 2 กิโลกรัมแรง หรือ 1 ถึง 2000 กรัมแรง จากนั้นวัดขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายระหว่าง 100X ถึง 500X โดยความลึกของรอยกดประมาณ 1/7 ของความยาวเส้นทแยงมุม แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ลักษณะหัวกดเพชรรูปพีระมิด มุม 136 องศา

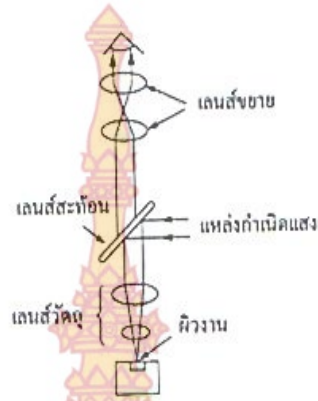
ค. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคกระทำได้ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2000 เท่า



ภาพที่ 11 ลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ

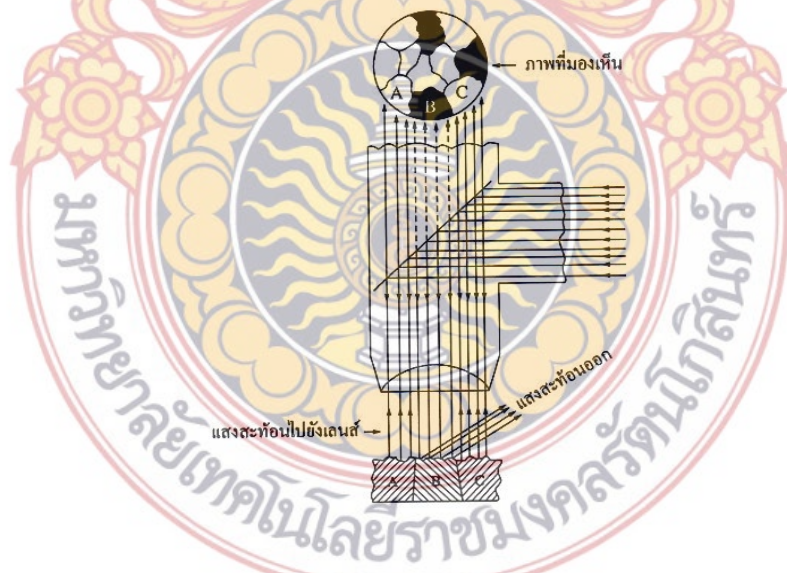
- หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์นั้นจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกันไม่ว่าจะเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใดก็ตาม โดยมีหลักการทำงานด้วยการปล่อยแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังชิ้นตรวจสอบทำให้แสงที่ตกกระทบลงบนผิวงานที่เรียบและตั้งฉากกับลำแสงจะ

สะท้อนแสงได้ดีกว่า โดยแสงจะสะท้อนเข้าไปยังเลนขยาย (Eye Piece) และเข้าสู่สายตาผู้ตรวจสอบ ทำให้เห็นภาพดังกล่าวมีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ [14]

แต่ถ้าลำแสงจากจุดกำเนิดแสงตกกระทบลงบนผิวงานที่ไม่เรียบและตั้งฉากกับลำแสง การสะท้อนจะไม่ดีเท่าที่ควร โดยจะมีแสงบางส่วนสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยายและเข้าสู่สายตาผู้ตรวจสอบหรือในบางครั้งอาจไม่มีการสะท้อนเข้าสู่สายตาผู้ตรวจสอบเลย จึงทำให้ผู้ตรวจสอบเห็นเป็นสีดำ ดังภาพที่ 13

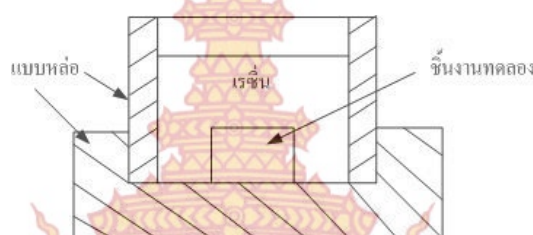


ภาพที่ 13 ลักษณะลำแสงสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยายทำให้เกิดโครงสร้างของชิ้นตรวจสอบ [14]

- การเตรียมชิ้นตรวจสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคนั้นควรตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดดังกล่าวต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อน

น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดการผิดพลาด

สำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร หรือ 1 นิ้ว และความสูงไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด 25 × 25 × 20 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้อย่างดี แต่ถ้าชิ้นตรวจสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรจะมีชิ้นตรวจสอบด้วยเรซินโดยให้หน้าตัดของชิ้นตรวจสอบอยู่ภายนอกเรซินและขนาดของเรซินนั้นก็ควรมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นตรวจสอบ



ภาพที่ 14 ลักษณะการหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน

หลังจากได้ชิ้นตรวจสอบที่มีขนาดตามต้องการแล้วจะต้องดำเนินการขั้นต่อไป เพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ ขั้นตอนในลำดับต่อไปนั้นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การขัดผิวชิ้นตรวจสอบ ควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 220, 320, 400 และจัดจนถึงเบอร์ 600 ตามลำดับ ในการขัด ควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทราย ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะ และซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย

อนึ่ง การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณ ไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาด

- การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) หรืออาจจะใช้กากเพชรขัดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งแรงสูงมากโดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน

- การขัดด้วยผงขัดนี้จะต้องขัดบนงานหมดที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาดโดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน
- การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ขึ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กจะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมแอลกอฮอล์

4.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พันธ์พงษ์ คงพันธ์ และคณะ [1] ทำการเชื่อมอลูมิเนียม AA 6063 แบบต่อชนด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินเชื่อมที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA6063-T1 การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทำให้ค่าความต้านทานแรงดึง และโครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกัน ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่า 110 MPa เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยต่อที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สูงกว่าทำให้จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมมีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตาม ความเร็วรอบที่สูงเกินไป ทำให้เกิดจุดบกพร่องบริเวณผิวหน้าและจุดบกพร่องขนาดใหญ่ที่บริเวณด้านแอดวานซ์ของรอยต่อและส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของความต้านทานแรงดึง

เขาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร และคณะ [2] ทำการเชื่อมอลูมิเนียม AA 6063 ด้วยกระบวนการเชื่อม MIG โดยศึกษาตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องกับการอบชุบ อลูมิเนียม AA 6063 ภายหลังจากการเชื่อม มีตัวแปรที่ต้องศึกษาดังนี้คือ อุณหภูมิในการอบและระยะเวลาหน่วงก่อนการบ่ม ซึ่งตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่สำคัญต่อโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งในบริเวณ HAZ ทั้งนี้ได้ออกแบบการทดลอง โดยทำการอบเย็น การอบแบบธรรมชาติ พร้อมกับเปรียบเทียบผลของรูปแบบค่าความแข็งในบริเวณ แนวเชื่อมและบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อนบริเวณแนวเชื่อม โดยใช้ผลของช่วงเวลาในการหน่วงก่อนการอบเป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าการอบเทียบทันทีโดยไม่ต้องหน่วงเวลาให้ผลค่าความแข็งสูงถึง 140 HV~ ซึ่งถือว่าสูงที่สุด และการหน่วงเวลามีผลทำให้ค่าความแข็งบริเวณ HAZ มีแนวโน้มลดลง

นาราธิป แสงชัย [3] เสนอผลของการศึกษาอิทธิพลรูปร่างตัวกวนของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เช่น ทรงกรับอก ทรงกรวย ทรงเกลียวซ้าย และเกลียวขวา ต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA 6063-T1 การเปลี่ยนรูปร่างตัวกวนส่งผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อมต่อชนอลูมิเนียม AA6063-T6 ตัวกวนทรงกรับอกและตัวกวนทรงกรวยทำให้เกิดจุดบกพร่องในการเชื่อมบริเวณด้านล่างและเป็นจุดกำเนิดของการพังทลายบริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมขณะการทดสอบแรงดึง ตัว

กวนทรงเกลียวซ้ายและเกลียวขวาทำให้ได้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลัก

Sato et al [4] ทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T6 ด้วยการเสียดทานแบบกวน ชิ้นงานเชื่อมถูกนำไปทำการบ่มแข็งเทียมที่อุณหภูมิ 448K เป็นเวลา 43.2 ks ทำการอบละลายและทำการอบละลาย+การบ่มแข็ง ผลการทดลองพบว่า โลหะเชื่อมของชิ้นงานที่ผ่านการอบละลายและบ่มแข็งแสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็ง โลหะหลัก และโลหะเชื่อมที่ไม่ผ่านการอบชุบตามลำดับ ค่าความแข็งตัดขวางแนวเชื่อมพบว่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการอบนั้นบริเวณโลหะเชื่อมที่ค่าความแข็งที่ต่ำกว่าโลหะหลัก โครงสร้างจุลภาคบริเวณที่แสดงค่าความแข็งสูง(โลหะหลัก) แสดงการกระจายตัวของเฟสเสริมแรงไม่แสดงเป็นระเบียบขมที่บริเวณที่มีความแข็งต่ำนั้นเฟสเสริมแรงมีการละลายเข้าสู่โครงสร้างได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นโดย TWI (The Welding Institute) ของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีของอังกฤษในปี ค.ศ.1991[2] พบว่าสามารถทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนได้สำเร็จ โดยการเชื่อมเชื่อมต่อบทต่อชน ใช้เครื่องมือเชื่อมลักษณะทรงกระบอก พบว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรงแต่ยังมีจะบกพร่องของแนวเชื่อมอยู่ต่อมาได้มีหลายงานวิจัยทำการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่จะทำการเชื่อม

I.Shigematsu,Y.J.Kwon,K.Suzuki,T.Imai,N.Saito [3] ได้ทำการเชื่อมการเสียดทานหมุน กวน ระหว่าง อลูมิเนียม 5083 และ อลูมิเนียม 6061 โดยการเชื่อมแบบต่อชน ทำการเปรียบเทียบกับ การเชื่อม อลูมิเนียม 5083 ในวัสดุชนิดเดียวกันกับ อลูมิเนียม 6061 ในวัสดุชนิดเดียวกัน ด้วยการเปรียบเทียบความแข็งวัสดุแบบ Vickers hardness พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเชื่อม อลูมิเนียม อลูมิเนียม 5083 และ 6061 มีค่าความแข็งที่ 110 HV เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมใน วัสดุชนิดเดียวกัน

L.Karthikeyan,V.S.Senthinkuman,D.Viswanathan and S.Natarajan [4] ทำการวิจัย ในส่วนของ อัตราป้อนในการเดินเชื่อมการเสียดทานแบบกวน ที่ต่ำ จะมีผลกับสมบัติทางกลและ โครงสร้างอย่างไรกับ อลูมิเนียม 2285 จากการทดลองพบว่าโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมของ อลูมิเนียมเปลี่ยนไป คือเกรนละเอียดขึ้น และมีผลทำให้ความแข็งแรงดึงสูงขึ้น อยู่ที่ 230 N/mm^2 เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุพื้นฐาน เพิ่มขึ้นถึง 50 % P,Cavaliere,E.Cerri [5] นำเสนอกลไกการ ทอสนองของอลูมิเนียม 2024 และ อลูมิเนียม 7075 ต่อการเชื่อมการเสียดทานแบบกวน พบว่าใน การเชื่อมวัสดุต่างชนิดนี้ แสดงความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ตามทิศทางแนวยาวของการรีด

อนุชา ขวัญสุข และสมนึก วัฒนศรีกุล [6] ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างเครื่องมือแบบเรียบ และแบบเกลียว ทำการเชื่อมอลูมิเนียม AA6063-T1 พบว่าที่อัตราเร็วเดินเชื่อมที่ 500 มิลลิเมตรต่อ

นาที่ ความเร็วเดินเชื่อมที่ 1000 รอบต่อนาที ให้ความต้านทานแรงดึง 172 MPa แต่แนวเชื่อมไม่มี ความสมบูรณ์ และยังมีอีกหลายงานวิจัยที่พยายามคิดค้นด้วยเปลี่ยนวัสดุ และเครื่องมือในการเชื่อม ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในแต่ละวัสดุ ซึ่งตัวแปรในการ เชื่อมสำหรับวัสดุที่แตกต่างกันนี้ ทำให้เกิดแนวทางที่จะทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะคิดค้น เครื่องมือเชื่อมที่เหมาะสมกับวัสดุ AA7075 กับ AA6063 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน



บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

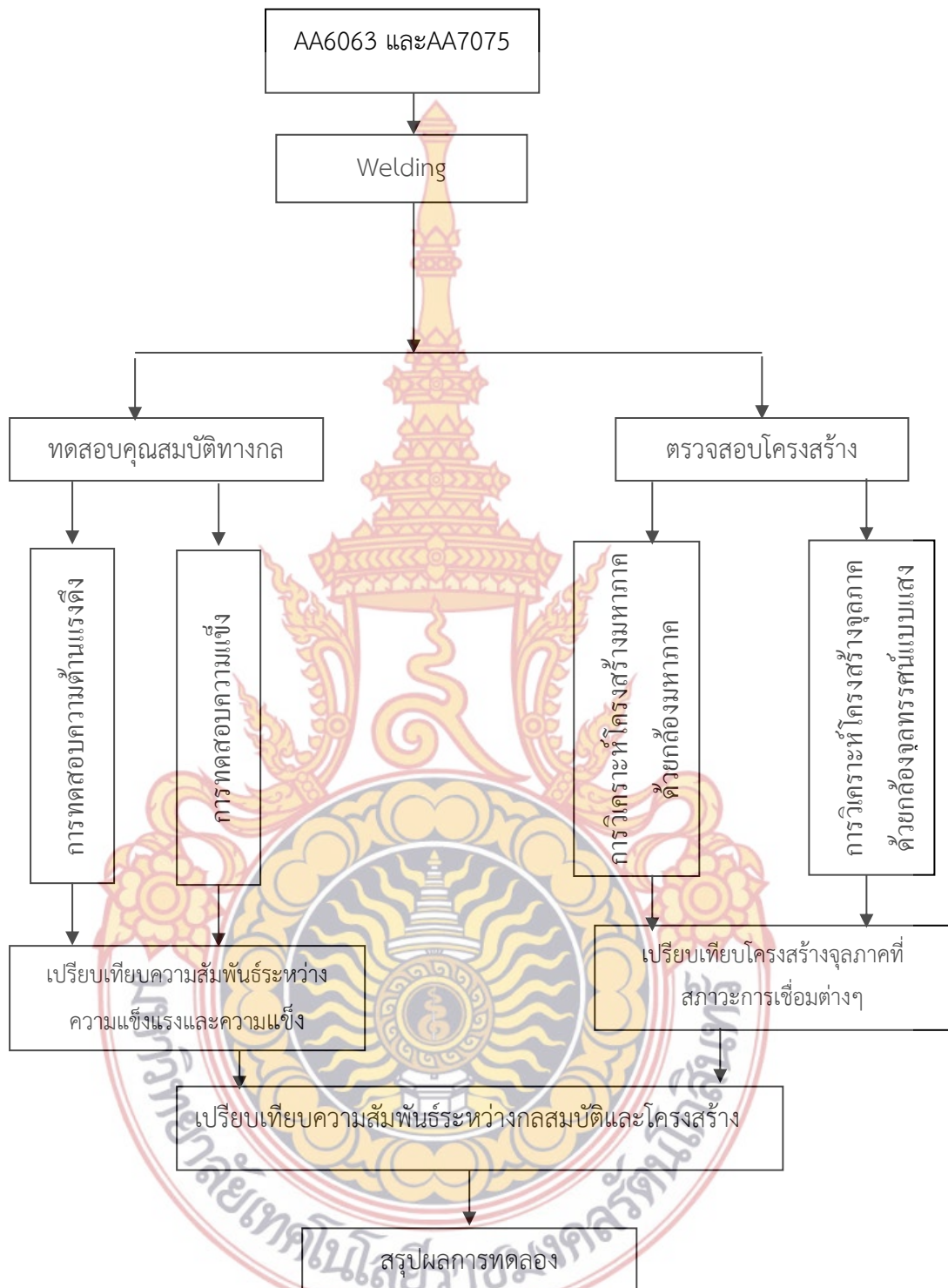
งานวิจัยนี้ได้วางแผนการดำเนินการเพื่อ ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบท่อการเชื่อม ด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดย ศึกษาสมบัติทางกล ด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) และตรวจสอบโครงสร้างมหภาครอยเชื่อม ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ตรวจสอบข้อบกพร่องของรอยเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบลักษณะผลกระทบที่เกิดขึ้นพื้นที่ที่เกิดการเชื่อม โดยเนื้อหาสำคัญในการดำเนินการวิจัยจะกล่าวตั้งแต่การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การเลือกกระบวนการ การกำหนดตัวแปรการเชื่อมและการทดสอบสมบัติของรอยเชื่อม ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้จะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อได้ศึกษาหลักการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นอย่างดีพอสมควร ซึ่งรายละเอียดของการวางแผนการดำเนินงานโดยมีแผนภาพการไหลกระบวนการในการทำงานวิจัยดังแสดงไว้ในภาพที่ 15 และแผนภาพการไหลกระบวนการการทดลองดังแสดงไว้ในภาพที่ 15

1.การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

1.วัสดุ

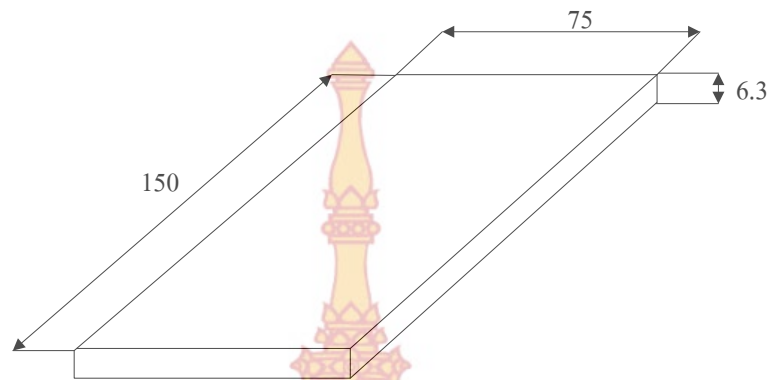
สำหรับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานเชื่อมเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติในงานวิจัยฉบับนี้ คือ อลูมิเนียม AA6063 และอลูมิเนียม AA7075 แผ่นหนา 6.3 มม. ซึ่งในการเชื่อมรอยต่อระหว่างวัสดุทั้งสองนี้เป็นวัสดุที่มีการใช้มากในโครงสร้างเครื่องบิน เช่น บริเวณโครงสร้างกล่องที่เป็นปีก] โดยที่วัสดุทั้งสองได้แสดงส่วนผสมทางเคมีไว้ดังตารางที่ 4 ตารางที่ 4 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง

อะลูมิเนียมผสม 6063								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn
0.752	0.184	<0.002	0.056	0.404	0.003	0.011	<0.001	0.010
Ti	Pb	Bi	-	-	-	-	-	-
0.002	<0.003	<0.002						
อะลูมิเนียมผสม 7075								
Zn	Si	Fe	Cu	Mn	Ti		-	-
7.15	>0.500	0.449	1.529	0.091	0.073			



ภาพที่ 15 แผนภาพการไหลกระบวนการทดลอง

ในการเตรียมขนาดชิ้นทดสอบซึ่งต้องนำวัสดุมาตัดตามขนาดดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ (หน่วย:มม.)

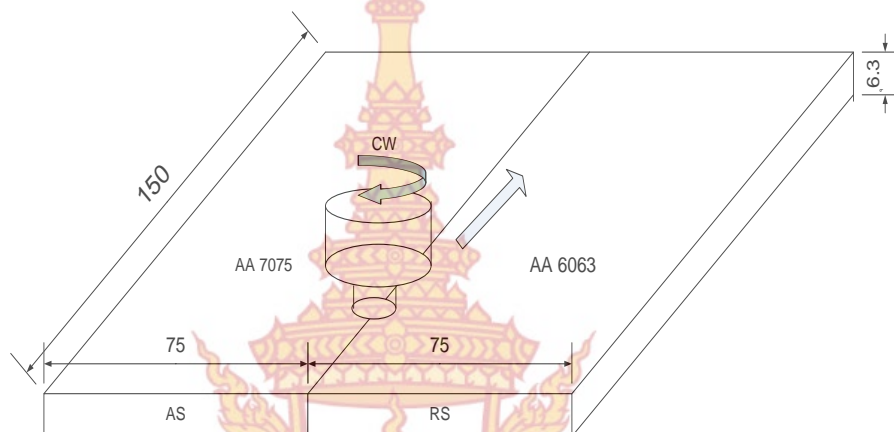
หลังจากที่ได้ขนาดของชิ้นทดสอบดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อม โดยการนำอะลูมิเนียมผสม 6063 และอะลูมิเนียมผสม 7075 มาตัดตามแนวขวางแนวรีดเพื่อไปทดสอบแรงดึงโดยผลการทดสอบทำให้ทราบว่า การตัดชิ้นงานขวางแนวรีดจะให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าตัดตามแนวรีด จึงได้มีการออกแบบและเตรียมชิ้นงานที่จะทำการเชื่อมโดยการตัดขวางแนวรีด โดยตัดชิ้นงานความกว้าง 75 มิลลิเมตร และความยาว 150 มิลลิเมตร นำมาทำการขัดให้มีผิวเรียบและตั้งฉากโดยกระดาษทรายเบอร์ 240 และทำความสะอาดด้วยอะซิโตนซึ่งชิ้นทดสอบสำหรับการเชื่อม FSW ถูกนำมาวางต่อชนตามลักษณะการเชื่อมดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลักษณะการวางแบบรอยต่อชน

2. การเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

ขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษารอยต่อชนชั้นทดสอบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางชิ้นทดสอบในการศึกษา FSW ได้แสดงไว้ในภาพที่ 13 ต่อไปนี้

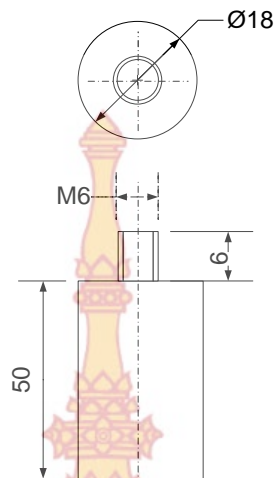


ภาพที่ 18 รูปแบบของการจัดวางชิ้นงาน

สำหรับการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีดังนี้

ก. เครื่องมือเชื่อม

ในการออกแบบเครื่องมือเชื่อมโดยเฉพาะการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน รอยต่อชนชั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความหนาของวัสดุที่ถูกออกแบบให้วางทางด้านบนของรอยต่อ ทั้งนี้เพื่อให้ปลายของตัวกวน (Pin) สัมผัสที่บริเวณอินเทอร์เฟซของการเชื่อมได้อย่างเหมาะสม โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมมีปลายตัวกวนเป็นรูปทรงกระบอกเกลียว ทำจากด้ามจับของดอกกัด ถูกเตรียมให้มีมิติดังแสดงในภาพที่ 19 ตัวกวน (Pin) รูปทรงกระบอกเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง M6x0.8 มิลลิเมตร และบ่า (Shoulder) ของเครื่องมือเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 มีขนาดเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็ง



ภาพที่ 19 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ทำการเชื่อม

ข. อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ

เนื่องจากกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัดในการทดลองเชื่อม เพื่อให้ชิ้นทดสอบการเชื่อมถูกวางอยู่ในตำแหน่งเดียวกันทุกๆ ตัวอย่าง จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบการเชื่อมในลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW

อุปกรณ์จับยึดทั้งสองส่วนนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงพอสามารถรองรับแรงกด ในขณะที่ทำการเชื่อมได้ดีโดยที่ไม่เกิดการเลื่อนตัวของชิ้นงานทดลอง วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์จับยึดทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำขึ้นรูปให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นทดสอบ

3.กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

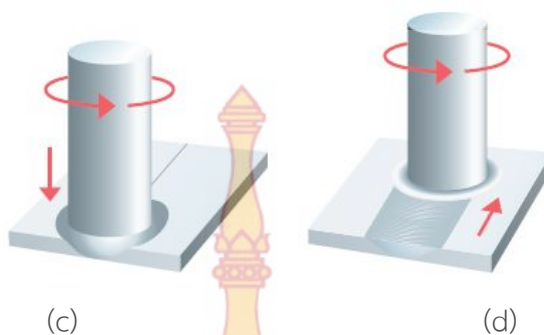
กระบวนการเชื่อม FSW เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัด (Milling Machine) ในการเชื่อม โดยจะควบคุมตัวแปรต่างๆ อันได้แก่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม ความเร็วรอบของเครื่องมือเชื่อม ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการติดตั้งเครื่องมือเชื่อมพร้อมด้วยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้ากับ Table ของเครื่องจักร เมื่อเตรียมองค์ประกอบของการเชื่อมพร้อมแล้ว ต่อจากนั้นก็เริ่มต้นทำการเชื่อม FSW และทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 อันประกอบด้วย

- ความเร็วรอบตัวกวนที่ 1000-2000 รอบ/นาที
- อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตร/นาที
- เอียงองศาตัวกวน 0-3 องศา

ในการเชื่อมจะให้อลูมิเนียมผสม 6063 อยู่ด้านขวามือและอลูมิเนียมผสม 7075 อยู่ด้านซ้ายมือ ในทุกๆการทดลองโดยหลักการในการเชื่อม FSW ประกอบด้วยขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 21 ตัวกวนที่หมุน แสดงใน ภาพที่ 21 (a) จากนั้นตัวกวนสอดลงไปใ้เนื้อวัสดุจนกระทั่งปลายของตัวกวนถูกสอดเข้าไปในระยยะความลึกที่กำหนดแสดงในภาพที่ 21 (b) จากนั้นความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวตัวกวน และป่าเครื่องมือจะทำให้เกิดความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว และเกิดการเคลื่อนที่ไหลวนรอบตัวกวนดังภาพที่ 21 (c) เดินเชื่อมตามอัตราเดินเชื่อมที่กำหนด การรวมตัวของวัสดุจะเกิดขึ้น ดังภาพที่ 21 (d) และทำให้เกิดรอยต่อขึ้น



ภาพที่ 21 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [20]



ภาพที่ 22 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (ต่อ) [20]

4. การทดสอบรอยเชื่อม

1. การทดสอบกลสมบัติของรอยเชื่อม

เมื่อทำการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์ ชิ้นงานเชื่อมจะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 23 และชิ้นงานเชื่อมจะถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน การเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 [21] โดยทำการดึงรอยเชื่อมในลักษณะแรงดึง จนแนวเชื่อมขาดหรือฉีกออกจากกัน และวัดค่าแรงดึงสูงสุด



ภาพที่ 23 ลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึง

2. การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม (Macrostructure)

การทดสอบโครงสร้างมหภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมา ทำการตัดแบ่งชิ้นงานส่วนที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โดยใช้เครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะที่ทำการตัด เพื่อศึกษาความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ซึ่งขั้นตอนกระทำโดยการ หล่อตัวเรือนอลูมิเนียมด้วยเรซิน จากนั้นนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทราย

น้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1000 จากนั้นขัดมันด้วย ผ้าขัด เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวทำการกัดกรด ที่มีส่วนของกรดผสมประกอบด้วย น้ำกลั่น 55 เปอร์เซ็นต์กรดไฮโดรฟลูอริก 30 เปอร์เซ็นต์กรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์ และกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ใช้เวลาในการแช่นาน 8 ถึง 10 วินาที จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอล เป่าแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาถ่ายรูปโครงสร้างมหภาคและตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

3.การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม (Microstructure)

การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ในขั้นตอนนี้ชิ้นงานตรวจสอบจะถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทำเรือน (Mounting) หุ้มชิ้นงานด้วยเรซิน ที่มีลักษณะดังภาพที่ 24 ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการจับถือและการเตรียมชิ้นงานในขั้นตอนการขัดดูโครงสร้างก็จะสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว



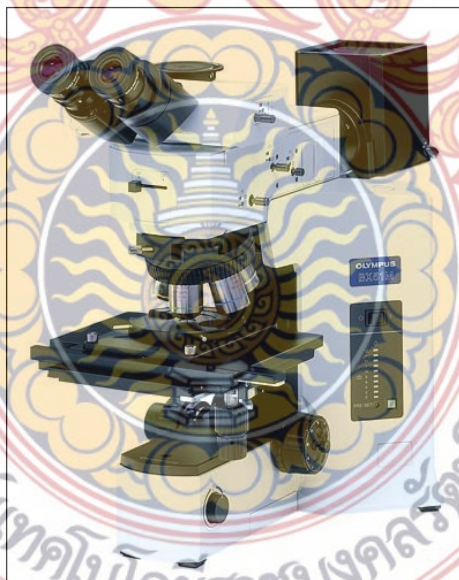
ภาพที่ 24 การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค

หลังจากนั้นก็นำไปขัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ในการขัดควรขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1000 จากนั้นตามลำดับ และควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะ และซิลิโคนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดขึ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับเป็นแนวตั้งฉากตารางกับแนวเดิม [5] ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้าย จากนั้นจะนำไปขัดผิวด้วยผงขัด

(Polishing) ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) การขัดด้วยผงขัดนี้ จะทำบนเครื่องที่แสดงในภาพที่ 25 ที่มีจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน



ภาพที่ 25 เครื่องขัดผิวโครงสร้าง



ภาพที่ 26 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะนำไปกัดด้วยน้ำยา (Etching) Al m1 ผสมด้วยน้ำกลั่น 100 ml และกรดไฮโดรฟลูออริก (40%) 0.5

m ในเวลา 10-60 วินาที โดยน้ำยาจะกัดตามขอบเกรนรุนแรงกว่าส่วนอื่นเนื่องจากขอบเกรนเป็นส่วนที่บกพร่องที่สุด [22] ชิ้นตรวจสอบที่ถูกกัดด้วยน้ำยาเรียบร้อยแล้วไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ดังแสดงในภาพที่ 26 โดยวางชิ้นตรวจสอบให้อยู่ตรงกลางบริเวณที่แสงผ่านและให้ลำกล้องเลื่อนมาอยู่ใกล้ชิ้นตรวจสอบมากที่สุด ลำแสงไฟที่ส่องผ่านตกกระทบกับผิวชิ้นทดสอบจะสะท้อนผ่านเลนส์วัตถุและเลนส์ตาของกล้องแล้วทำการบันทึกผลเพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์เปรียบเทียบพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดต่อไป



บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ในการประยุกต์ใช้ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนโดยการเชื่อมต่อแบบต่อชนระหว่างวัสดุสองชนิดที่มีสมบัติทางกล และเคมีต่างกัน คือ อลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ในการเชื่อมทำการแปรเปลี่ยนตัวแปรดังนี้ คือ แปรเปลี่ยนองศาของตัวกวน แปรเปลี่ยนความเร็วรอบของตัวกวน และแปรเปลี่ยนอัตราความเร็วเดินเชื่อม ที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของสิ่งที่แปรเปลี่ยนนั้นมีผลต่อรอยเชื่อม และสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ อลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 โดยการศึกษาโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม ทำการศึกษากลสมบัติของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม และศึกษาโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกัน ผลการทดลองต่างๆที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมจะถูกรวบรวม และวิเคราะห์ผลเป็นลำดับดังต่อไปนี้

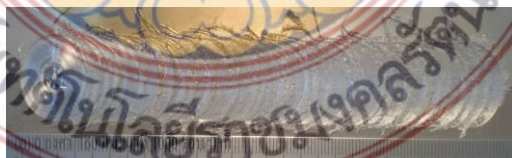
1 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

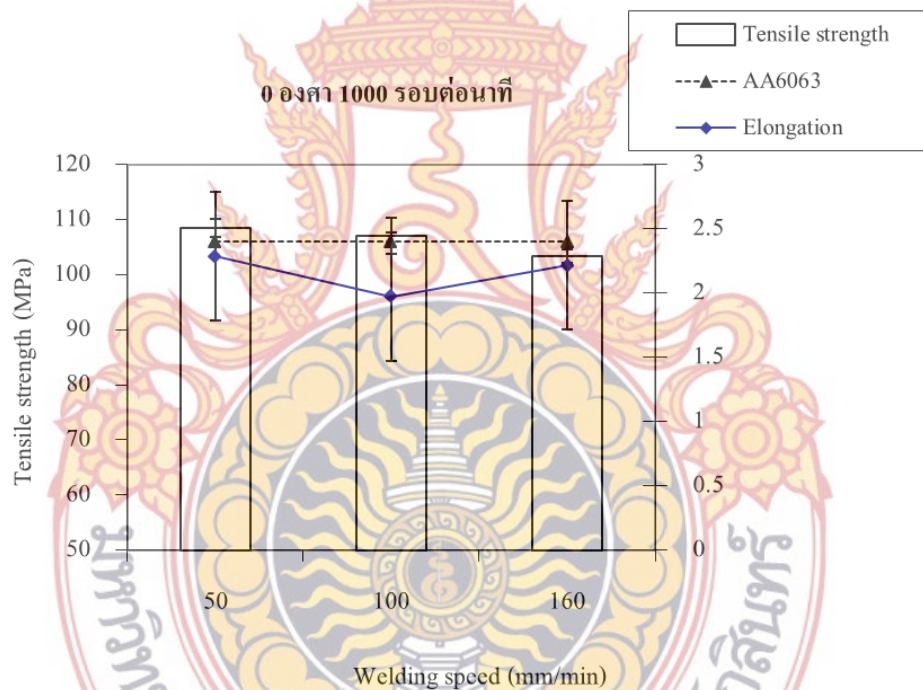
(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



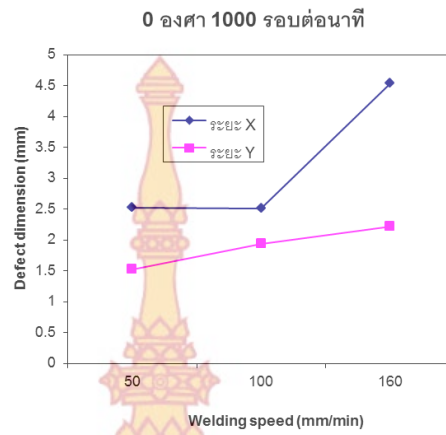
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

ภาพที่ 27 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ภาพที่ 27 แสดงผลจากการสังเกตผิวหน้าการเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงได้ดังภาพที่ 27 (ก)-(ค) ตามลำดับ สิ่งที่สังเกตเห็น พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกความเร็วรอบมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้นตามอัตราความเร็วเดินเชื่อม และที่สังเกตเห็นอีกอย่างหนึ่งคือการเกิดครีบในทั้งสองวัสดุอลูมิเนียมที่ทำการเชื่อม ส่วนที่เป็นครีบเกิดเป็นคม ภาพที่ 27 (ข) ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที เกิดในด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งเป็นด้านรีทริทติ้ง ซึ่งในบางงานวิจัย การเกิดครีบจะเกิดด้านรีทริทติ้ง มากกว่าด้านแอดวานซ์ ครีบที่เกิดขึ้นนี้ ผู้ทดลองคาดว่าเกิดจาก การกดอัดลงของบ่าเครื่องมือเข้าไปในชิ้นงานทดลอง เมื่อวัสดุอ่อนตัวไม่สามารถอัดลงไปส่วนด้านในได้หมดจึงดันออกด้านข้าง เกิดเป็นครีบ และจะเกิดด้านที่วัสดุอ่อนกว่ามากกว่าด้านที่เป็นวัสดุแข็ง ซึ่งจะเกิดน้อยกว่าสำหรับจุดบกพร่องอื่น ไม่พบสำหรับทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือนี้



ภาพที่ 28 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

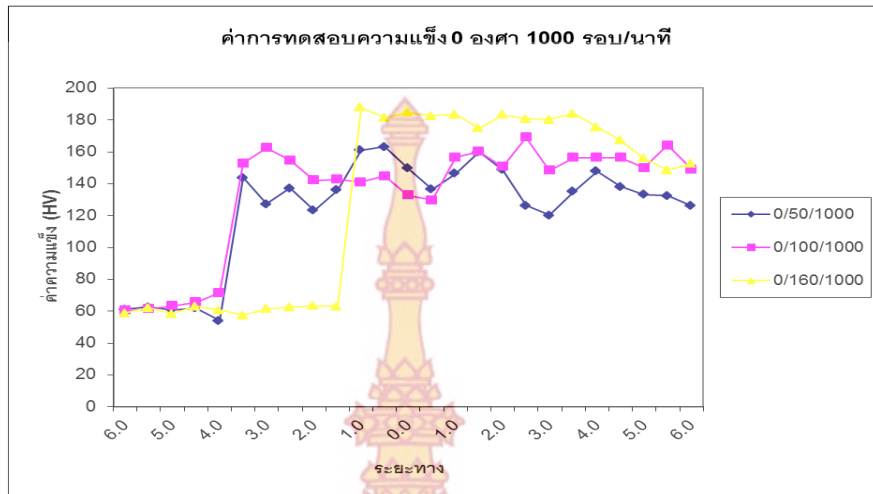


ภาพที่ 29 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



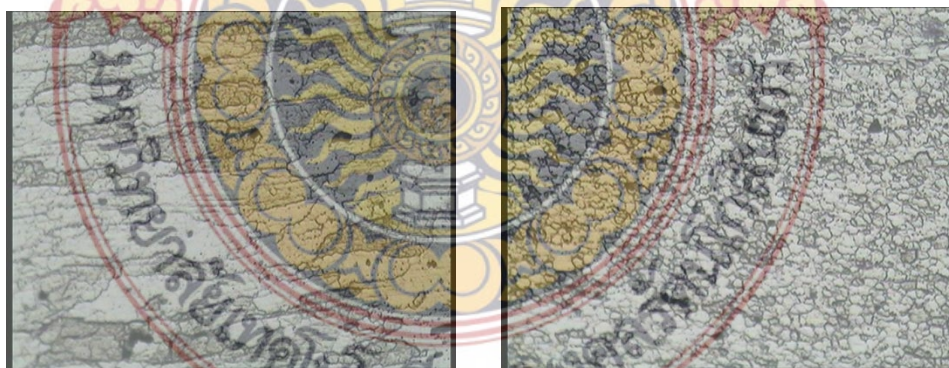
ภาพที่ 30 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดงในภาพที่ 28 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาทีให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปทิศทางเดียวกับขนาดของการวัดขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมตามแกน X และ แกน Y พบว่าขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาดวัดตามแนวแกน X ได้ 2.5 มิลลิเมตร และแกน Y ได้ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดที่ต่ำกว่าอัตราความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆที่วัดได้ แสดงดังภาพที่ 29 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในอัตราความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ที่อัตราความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และความต้านทานแรงดึง ต่ำสุดของความเร็วเครื่องมือที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งการที่ทำให้ผลของความต้านทานแรงดึง ต่ำนี้คาดว่าเกิดจากขนาดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่ วัดจุดบกพร่องตามแนวแกน X ได้ 4.5 มิลลิเมตร และ แกน Y ได้ 2 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 29 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในอัตราความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ที่อัตราความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที จากขนาดของจุด ที่เกิดขึ้นมีผลต่อการพังทลายของแนวเชื่อม ที่สังเกตได้ ที่ในทุกอัตราความเร็วรอบเกิดจุดบกพร่อง แต่เมื่อเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ไม่เกิดในส่วนของวัสดุหลัก จุดบกพร่องนี้ทำให้แนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ ซึ่งจากการสังเกตผลที่ได้ ที่อัตราความเร็วเดิน เชื่อม 50 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที การพังทลายที่เกิดขึ้นจะเกิดที่เนื้อวัสดุหลัก ซึ่งเป็นเนื้อวัสดุลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งตามสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงแล้ว มีน้อยกว่าลูมิเนียมผสม 7075 จึงมีผลทำให้เกิดพังทลายทางด้านลูมิเนียมผสม 6063



ภาพที่ 31 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

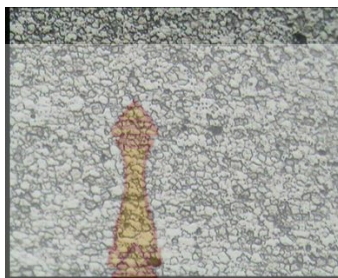
ภาพที่ 31 แสดงผลของการทดสอบความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ การเอียงองศาเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมค่าความแข็งที่เกิดขึ้นให้ค่าที่สูง และมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อการวัดค่าความแข็งออกจากกึ่งกลางแนวเชื่อมมาทางด้านซ้ายมือ ซึ่งเป็นด้านอลูมิเนียมผสม 6063 และทางด้านขวามือเป็นอลูมิเนียมผสม 7075 จากภาพที่ 31 สังเกตได้ว่า ค่าความแข็งสูงสุดที่วัดได้บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าสูงสุดที่ 184 HV ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆ มีแนวโน้มขึ้นลงเท่าๆ กัน



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075

ภาพที่ 32 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 32 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที (ต่อ)

จากภาพที่ 32 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 5 เท่า ภาพที่ 32 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีขนาดเกรน 69 ไมโครเมตรโตกว่าอลูมิเนียมผสม 7075 แสดงในภาพที่ 32 (ข) และบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ดังภาพที่ 32 (ค) ซึ่งจากผลการทดสอบแรงดึง ลักษณะการพังทลายของชิ้นงานทดลองทางด้าน อลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาดเกรนที่โตทำให้การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลักบริเวณดังกล่าว ส่วนทางด้านความแข็งแรงบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่แข็งแรงกว่ามีขนาดเกรนที่เล็ก มีผลทำให้ได้ค่าความแข็งแรงที่สูงและมีความแข็งแรง

2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดัง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

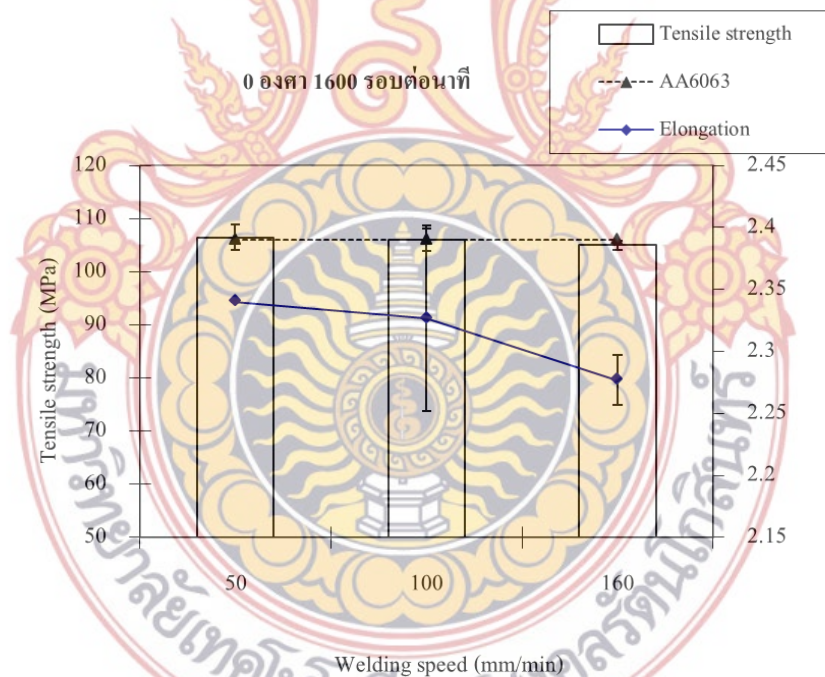
(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



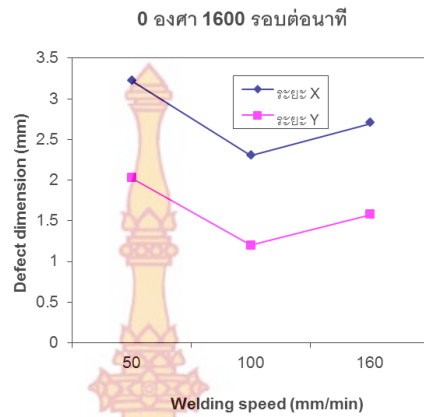
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

ภาพที่ 33 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ภาพที่ 33 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 33 (ก)-(ค) ตามลำดับ ผลที่สังเกตได้ว่าในทุกๆอัตราความเร็วเกิดเชื่อมมีลักษณะไม่เรียบเหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน แม้ว่าผิวหน้าแนวเชื่อมจะไม่เรียบแต่ก็ไม่เกิดจุดบกพร่องใดบนผิวหน้าแนวเชื่อม จากภาพที่ 33 (ก) และ ภาพที่ 33 (ข) ชิ้นงานจะเกิดครีบซึ่งเมื่อสังเกตใกล้จะมีลักษณะเป็นคม ไม่สามารถใช้มือดึงออกได้ ครีบนี้เกิดขึ้นทางด้านรีทริทติง ซึ่งอยู่ทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่า การเกิดครีบเช่นนี้เกิดจากการกดอัดของบ่าเครื่องมือขณะทำการเชื่อม และที่น่าสังเกตอีกอย่างที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ คาดว่าทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุค่อนข้างสูงกว่าอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งความร้อนนี้ทำให้วัสดุอ่อนตัวมากเกินไปที่ไม่ให้เกิดครีบ และเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ที่ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ครีบที่เกิดขึ้นลดลง และเกิดเป็นครีบที่ไม่มีคมแต่เป็นเส้นเล็กๆ สามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าที่ เกิดเช่นนี้ผลมาจากการกดอัดของบ่าและอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนที่เพียงพอจะทำให้เกิดครีบซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ



ภาพที่ 34 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

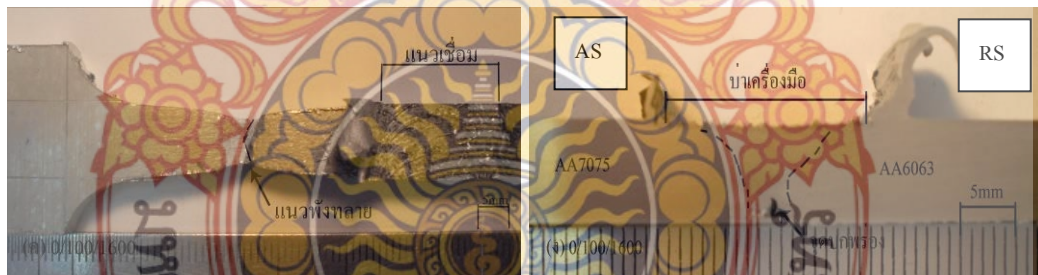


ภาพที่ 35 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



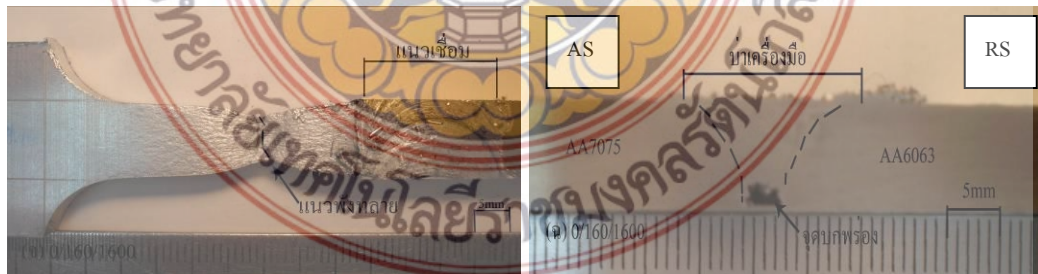
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที

(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที

(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที

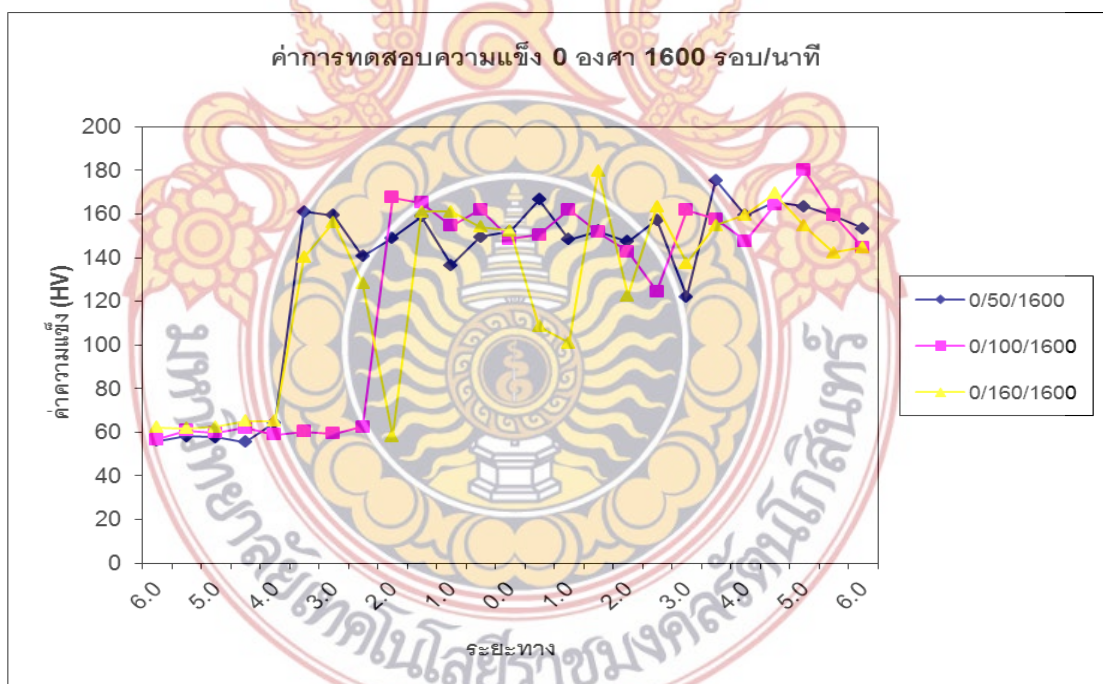


(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที

(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที

ภาพที่ 36 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 34 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ ตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที ตัวแปรอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ จากค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้พบว่าที่ ตัวแปรความเร็วเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อยู่ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที 104 นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้ จากภาพที่ 34 นำมาเปรียบเทียบกับผลของ โครงสร้างมหภาคภายในแนวเชื่อมและการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดง ได้ดังภาพที่ 36 และจากภาพที่ 35 แสดงการวัดขนาดจุดบกพร่องของชิ้นงานทดลอง ตามแนวแกน X และ Y พบว่าการพังทลายของชิ้นงานในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมเกิดการพังทลายทางด้านวัสดุ หลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งจากการพังทลายนี้คาดว่าแนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึง มากกว่า วัสดุหลักที่เป็นอลูมิเนียม 6063 คาดว่าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นขนาดใหญ่นี้เกิดจากการเดินอัตราความเร็ว เดินเชื่อมสูงเกินไปทำให้เนื้อวัสดุเข้าไปเติมเต็มในจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ได้ ซึ่งจากการวัดขนาดของ จุดบกพร่องที่ได้พบว่า ถ้าขนาดจุดบกพร่องขนาดไม่โตเกิน แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การ พังทลายจะเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก



ภาพที่ 37 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความแข็งของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 37 พบว่าความแข็งที่บริเวณแนวกึ่งกลาง และบริเวณทางด้านซ้าย ทางด้านขวาของแนวเชื่อมมีแนวโน้มใกล้เคียงกับ ซึ่งถ้าสังเกตผลค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อไม่คำนึงถึงขนาดจุดบกพร่องที่จะทำให้เกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อม ค่าความแข็งที่วัดได้สูงสุดเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าความแข็งได้ 166 HV



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 38 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที

ผลของการตรวจสอบสังเกตโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังภาพที่ 38 (ก) อลูมิเนียมผสม 6063 (ข) อลูมิเนียมผสม 7075 (ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม จากการสังเกตพบว่าบริเวณวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาดเกรน 63 ไมโครเมตร มีขนาดที่โตกว่า อลูมิเนียมผสม 7075 และ

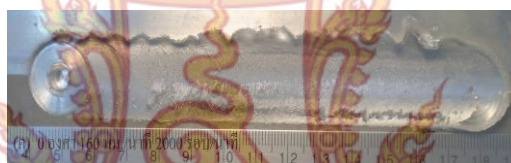
บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งมีผลทำให้การพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง พังทลายบริเวณอลูมิเนียมผสม 6063 และการแสดงผลความความแข็งแรงที่ต่ำกว่าบริเวณแนวเชื่อม และอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโครงสร้างเกรนที่ละเอียด ทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง มีความต้านทานแรงดึงที่สูง

3 อิทธิพลของความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที

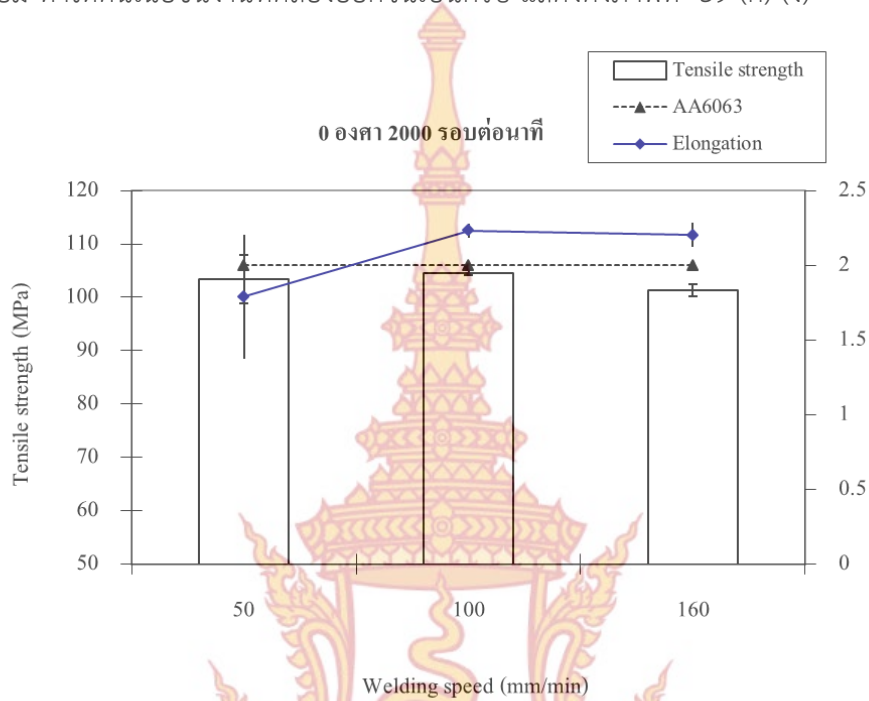


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

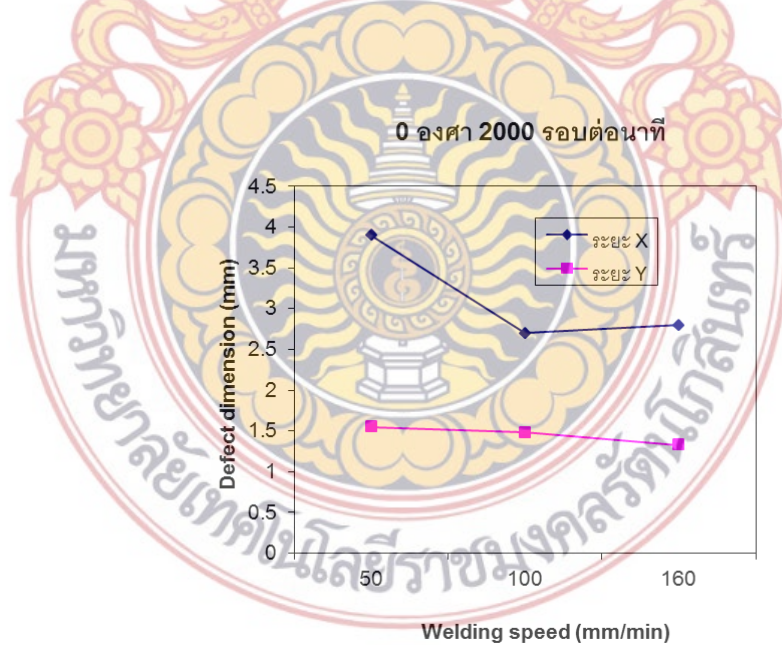
ภาพที่ 39 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 39 เป็นรูปที่แสดงผลของผิวหน้าแนวเชื่อมที่ การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ตามภาพที่ 39 (ก)-(ค) ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดความเรียบ เหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน และมีลักษณะเป็นเกล็ด ส่วนนี้ผู้ทดลองคาดว่าผลจากสมบัติทางกลของวัสดุต่างกัน ทำให้เนื้อวัสดุไม่สามารถรวมกันทำให้เกิดผิวหน้าที่เรียบได้ จากการสังเกตจุดบกพร่องที่เกินขึ้นบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ไม่ตรวจพบ แต่พบว่าบริเวณด้านข้างแนวเชื่อม ในทุกๆ อัตราความเร็วเดินเชื่อมมีลักษณะเป็นครีบคมเกิดขึ้น ซึ่งมีความแข็งแรงไม่สามารถใช้มือดึงออกได้ อยู่ทางด้านรีทริคตัง ซึ่งเป็นด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ความสูงต่ำของครีบแตกต่างกัน คาดว่าเกิดการการที่กดอัดป่าของเครื่องมือเข้าไปในเนื้อวัสดุ เนื้อวัสดุไม่สามารถกลับไปเติมในแนวเชื่อมทำให้เกิดครีบ ในสภาวะนี้ อีกเหตุผลหนึ่งที่ผู้ทดลองคาดว่าเกิดลักษณะครีบขนาดใหญ่และมีคมเกิดจาก ความเร็รรอบเครื่องมือที่สูง ประกอบกับองศาเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ทำให้ป่าเครื่องมือสัมผัส

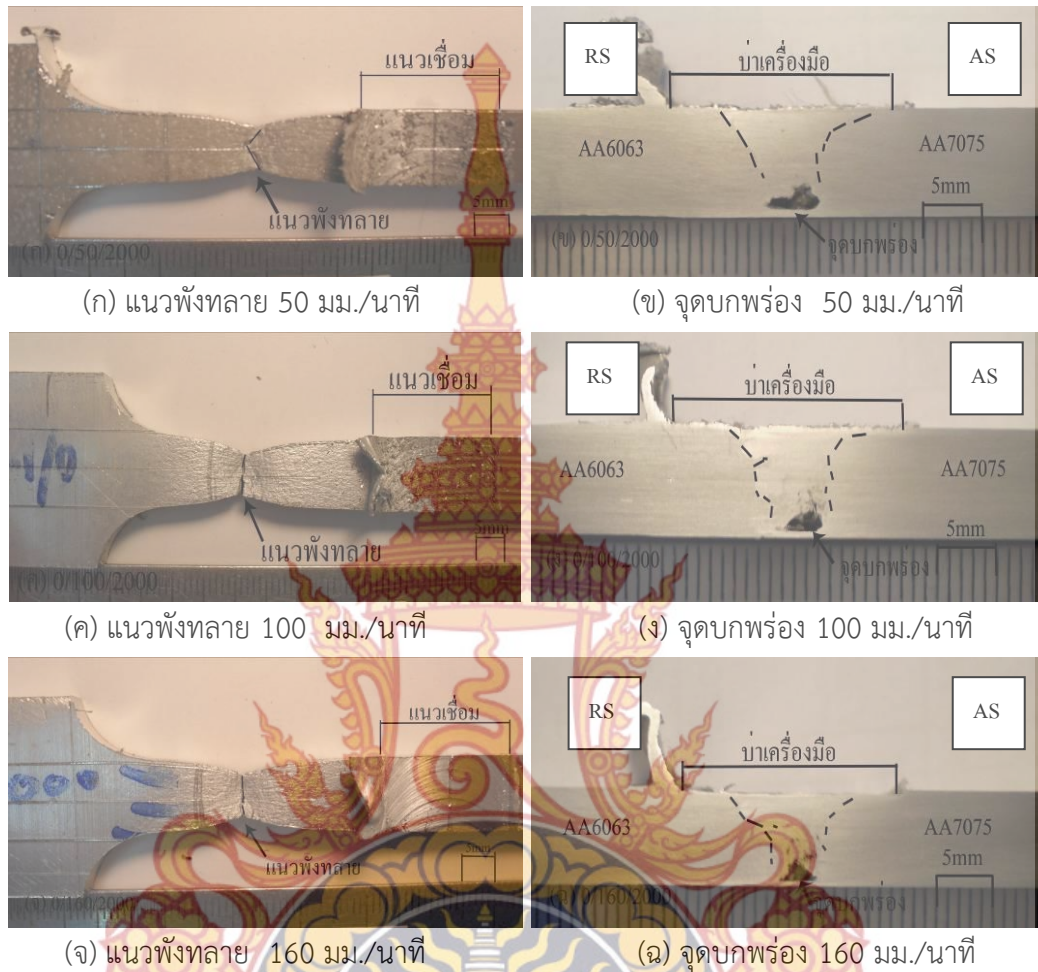
กับชิ้นงานเต็มผิวสัมผัสของบ่า ทำให้เกิดความร้อน วัสดุเกิดการอ่อนตัว เกิดการรกดอัดระหว่างการเดินเชื่อม ทำให้ด้นเนื้อชิ้นงานทดลองออกจนเป็นครีบ แสดงดังภาพที่ 39 (ก)-(ง)



ภาพที่ 40 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 ingsa ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



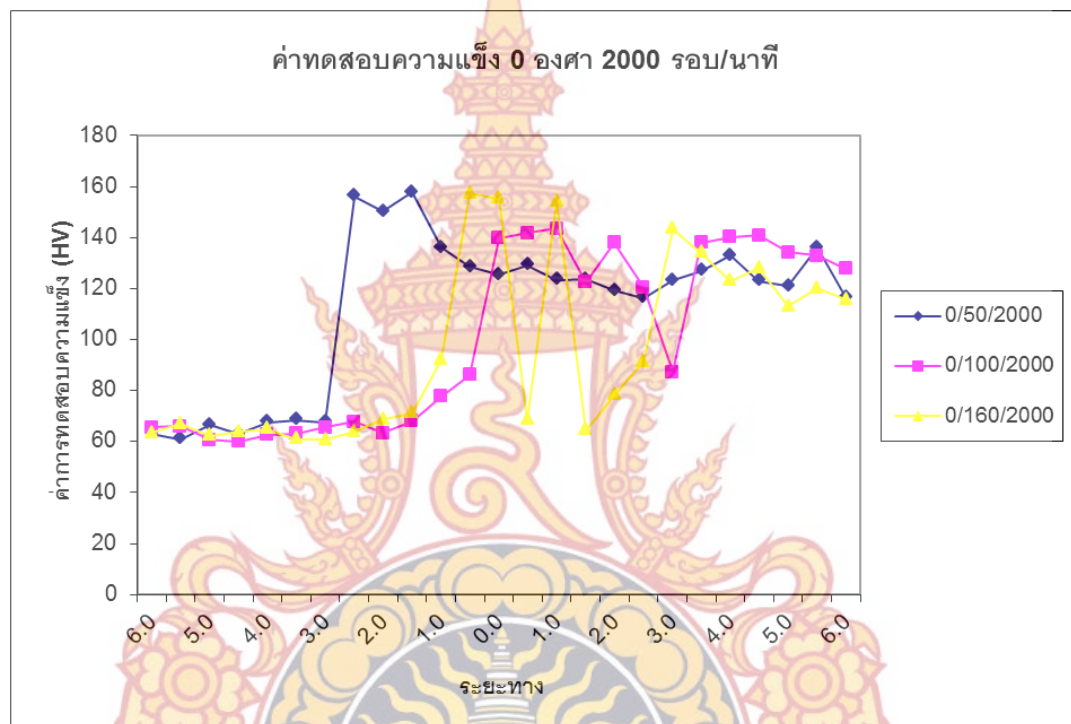
ภาพที่ 41 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 ingsa ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



ภาพที่ 42 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

ภาพที่ 40 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ความต้านทานแรงดึง 104 นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดของตัวแปรนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับโครงสร้างมหภาค การพังทลาย ของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง ดังภาพที่ 42 และ ขนาดของจุดบกพร่องที่วัดได้ตาม แนวแกน X และ Y แสดงในภาพที่ 41 ขนาดจุดบกพร่องที่มีขนาดใหญ่เป็นของอัตราความเร็วเดิน เชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดขนาดจุดบกพร่องตามแนวแกน X ได้ 4 มิลลิเมตร วัดขนาด จุดบกพร่องตามแนวแกน Y ได้ 1.5 มิลลิเมตร ถึงจะมีขนาดจุดบกพร่องขนาดใหญ่แต่ก็แนวเชื่อม

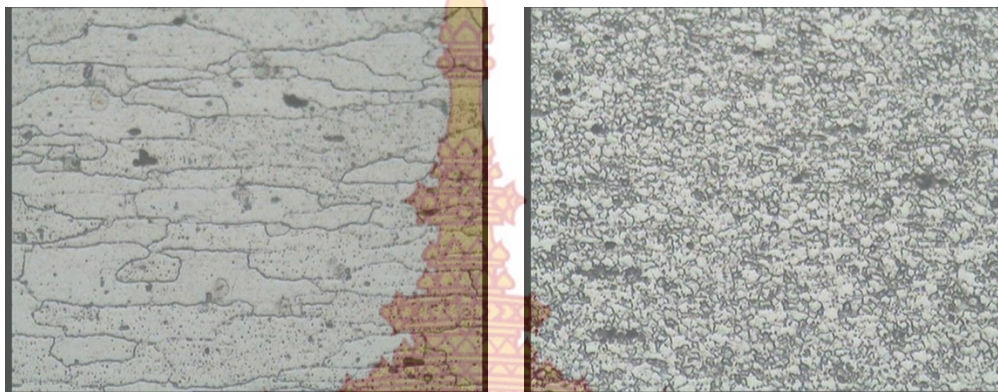
ยังคงมีความแข็งแรง ซึ่งสังเกตได้จากการพังทลายของแนวเชื่อมการพังทลายที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นที่วัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ และขนาดจุดบกพร่องที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดจุดอัตราเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผู้ทดลองคาดว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น มีการกระจายเป็นจุดเล็กๆ และจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอยู่สูงใกล้บริเวณผิวแนวเชื่อม ทำให้แนวเชื่อมเกิดความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ



ภาพที่ 43 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบค่าความแข็งแสดงได้ดัง ภาพที่ 43 แสดงค่าความแข็งของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าสูงสุดที่วัดได้บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม คือ 155 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากที่สังเกตในอัตราความเร็วเดินเชื่อมทั้งหมดความแข็งเริ่มต่ำที่ทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 เริ่มมาถึงระยะที่ 3 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางแนวเชื่อมค่าที่ได้มีแนวโน้มสูง และต่ำลงทางด้านขวามือซึ่งเป็นด้านวัสดุอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าบริเวณแนวเชื่อมเกิดการรวมตัวกันของเนื้อวัสดุทั้งสอง ทำให้เกิดความแข็งเพิ่มขึ้น และมี

บางส่วนต่ำลงเท่ากับวัสดุหลักทางด้านความแข็งแรงที่ต่ำ อลูมิเนียมผสม 6063 ผู้ทดลองคาดว่าเนื้อวัสดุดังกล่าวเป็นของอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งไม่สามารถรวมตัวกับอลูมิเนียมผสม 7075 ได้ ซึ่งถ้าอ้างถึงรูปร่างที่สมบูรณ์เป็นลักษณะหัวหอมแล้วไม่เกิดกับการเชื่อมกับอลูมิเนียมทั้งสองนี้ ทำให้เกิดความแข็งแรงได้ไม่เกิดเป็นลักษณะมีแนวโน้ม



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 44 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

โครงสร้างจุลภาคที่แสดงในภาพที่ 44 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ภาพที่ 44 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 ภาพที่ 44 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 และภาพที่ 44 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม จากการสังเกตจากภาพที่ 44 (ข) แล ภาพที่ 44 (ค) จะสังเกตได้ว่าลักษณะของโครงสร้างมีความใกล้เคียงกันและมีโครงสร้าง

เกรนที่ละเอียด ซึ่งเมื่อเทียบผลการทดสอบความแข็งจะเห็นได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีความแข็ง และความต้านทานแรงดึงที่สูง สำหรับภาพที่ 44 (ก) ซึ่งแสดงขนาดโครงสร้างเกรนที่โตของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดได้ 61 ไมโครเมตร มีผลทำให้มีความแข็ง และความแข็งแรงต่ำกว่าบริเวณแนวเชื่อม ทำให้การพังทลายเมื่อทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงทำให้ขาดบริเวณอลูมิเนียมผสม 6063

2 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 1.5 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

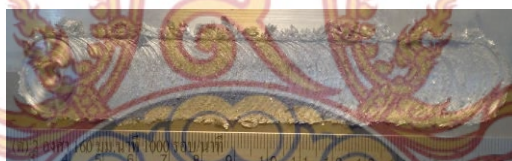
1 อิทธิพลของความเร็รรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที



(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที

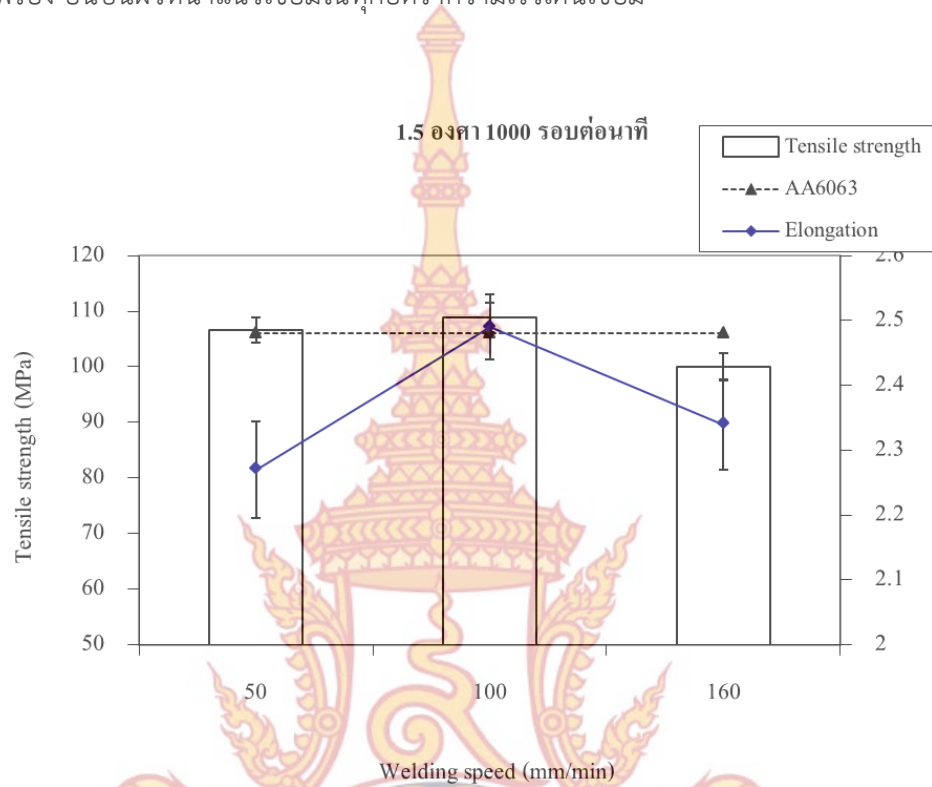


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

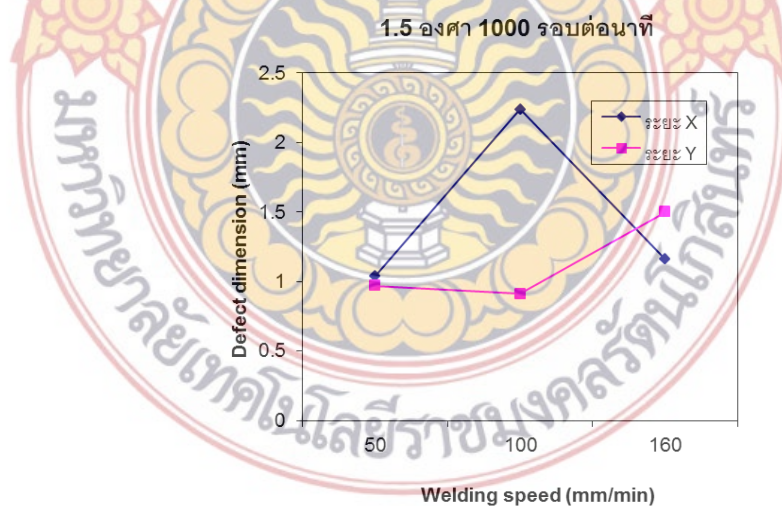
ภาพที่ 45 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ภาพที่ 45 แสดงผลการทดลองของตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือ 1.5 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากการทดลองสามารถสังเกตผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า ในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดความเรียบหลังผ่านการเชื่อม มีความเป็นชั้นเกล็ด มีความหยาบ ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเป็นเกล็ดของผิวหน้าเชื่อมปรากฏให้เห็นน้อยกว่าอัตราเดินเชื่อมอื่นๆ และค่อยเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น สำหรับทั้งสองฝั่งของแนวเชื่อมจะสังเกตพบครีบทั้งสองฝั่งของแนวเชื่อม แต่ทางฝั่งของรีทริคติ้ง ซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 6063 จะเกิดมากกว่าด้านอลูมิเนียมผสม 7075 และครีบทั้งที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นครีบทั้งยาวต่อเนื่อง คาดว่าเกิดจากการเอียงองศาเครื่องมือที่ 2 องศา ทำให้ป่าเครื่องมือสัมผัสกดอัดเข้าไปบริเวณวัสดุเชื่อมได้น้อย ทำให้เกิดครีบทั้ง

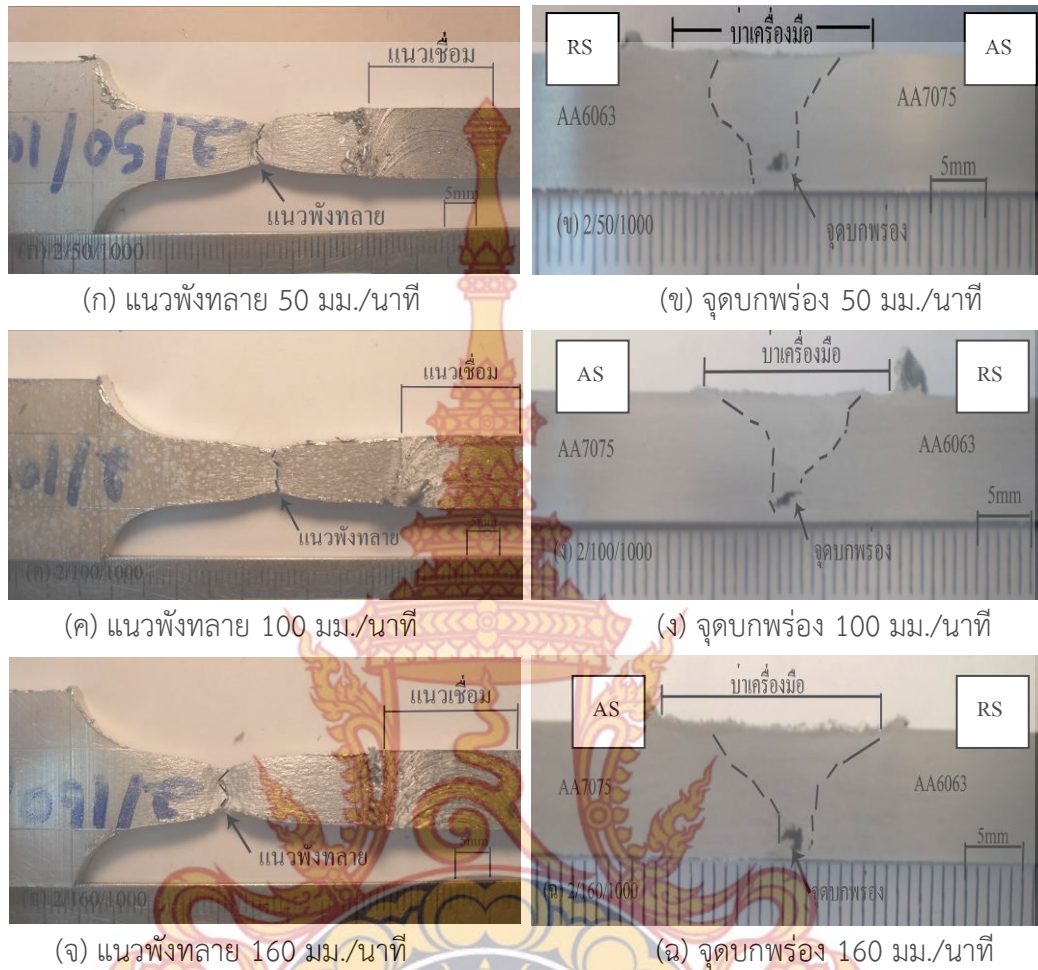
ดังแสดงในภาพที่ 45 (ก)-(ข) จากจุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นเกล็ดที่พบบนผิวหน้าแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่อง อื่นบนผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม



ภาพที่ 46 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



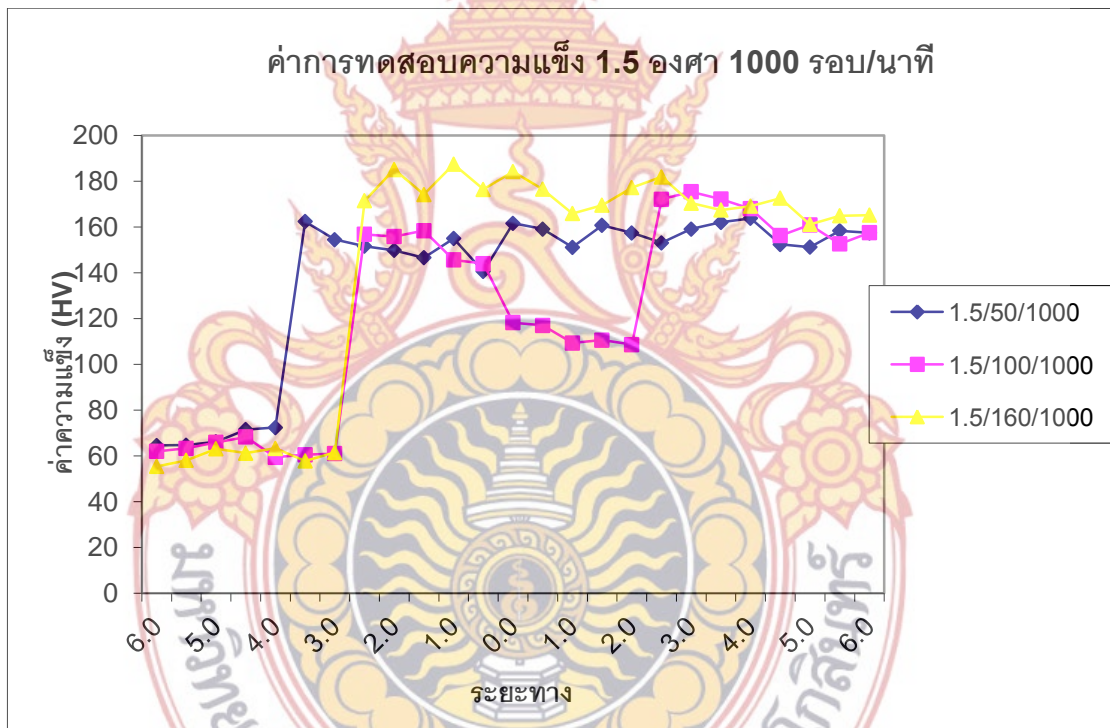
ภาพที่ 47 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



ภาพที่ 48 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงองศาเครื่องมือที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 46 แสดงความต้านทานแรงดึงในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมของ ตัวแปรนี้ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้สูงสุด 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และต่ำสุด 100 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากผลการทดลองที่ได้ความต้านทานแรงดึงจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน คาดว่า เพราะการพังทลายของวัสดุเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก จากผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับขนาดจุดบกพร่องที่ตรวจพบภายในแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 47 และโครงสร้างมหภาคกับการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง พบว่า ขนาด

จุดบกพร่องที่วัดตามแนวแกน X และแกน Y ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาดจุดบกพร่องขนาดโตที่สุด ที่วัดขนาดตามแกน X เท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร วัดตามแกน Y เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร ถึงจะมีขนาดจุดบกพร่องที่ขนาดใหญ่ แต่ก็ยังคงให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูง ถ้าสังเกตประกอบกับภาพที่ 48 (ง) จะเห็นว่าขนาดแนวเชื่อมถึงจะขนาดใหญ่ รูปร่างจุดบกพร่องแตกต่างจาก ภาพที่ 48 (ฉ) ซึ่งเป็นจุดบกพร่องที่วัดขนาดตามแกน X และแกน Y แล้ว มีขนาดใกล้เคียงกัน จุดนี้อาจทำให้แนวเชื่อมได้ไม่มีความสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม การที่เกิดจุดบกพร่องในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ที่ตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที นี้ แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การพังทลายที่เกิดขึ้นยังคงเกิดกับทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 สังเกตได้จากภาพที่ 48 (ก) (ค) และ (จ) ตามลำดับ



ภาพที่ 49 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

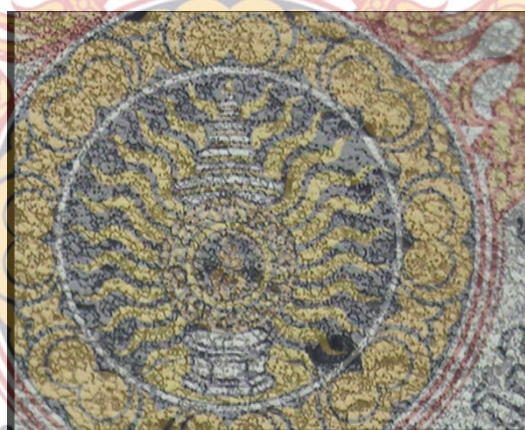
สำหรับผลการทดสอบความแข็งของตัวแปรการเอียงเครื่องมือเชื่อม 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 49 ผลที่ได้ความแข็งสูงสุดวัดที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อม 184 HV ของอัตราความเร็วเดินเชื่อม

160 มิลลิเมตรต่อนาที ต่ำสุดที่อัตราเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็ง ที่กึ่งกลางแนวเชื่อม 118 HV ที่ได้ค่าที่ต่ำผู้ทดลองคาดว่าเกิดการรูปร่างของแนวเชื่อมซึ่งไม่เป็นลักษณะหัวหอม ซึ่งเป็นลักษณะของการรวมตัวของเนื้อวัสดุที่ทำการเชื่อมได้ดี ไม่เกิดขึ้นกับการเชื่อมอลูมิเนียมทั้งสองชนิดนี้ ทำให้บางส่วนยังคงเป็นเนื้อวัสดุเดิมเข้ามารวมตัวบริเวณแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมบริเวณดังกล่าวมีแนวโน้มได้ค่าความแข็งที่ต่ำ และความแข็งของอัตราเดินเชื่อม 50 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาทีมีความแข็งกว่าวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 และอลูมิเนียมผสม 6063 จากที่สังเกตได้



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 50 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ซึ่งคาดว่าเมื่อผลต่อความต้านทานแรงดึง และความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ภาพที่ 50 แสดงผลการตรวจสอบ

โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบที่มีความต้านทานแรงดึงสูงสุดจากการพังทลายที่เกิดขึ้นชิ้นงานพังทลายบริเวณเนื้อวัสดุหลักซึ่งเป็นอลูมิเนียมผสม 6063 จากการพังทลายนี้คาดว่าเกิดจากโครงสร้างเกรนของเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ขนาด 65 ไมโครเมตร มีโครงสร้างเกรนที่โต แสดงดังภาพที่ 50 (ก) แสดงโครงสร้างอลูมิเนียมผสม 6063 สังเกตได้ว่ามีขนาดโตกว่า ขนาดโครงสร้างเกรนของ อลูมิเนียมผสม 7075 แสดงดังภาพที่ 50 (ข) และบริเวณแนวเชื่อม แสดงดังภาพที่ 50 (ค) ขนาดเกรนที่โตและเล็กนี้ยังมีผลต่อค่าความแข็งที่สูงอีกด้วย

2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที

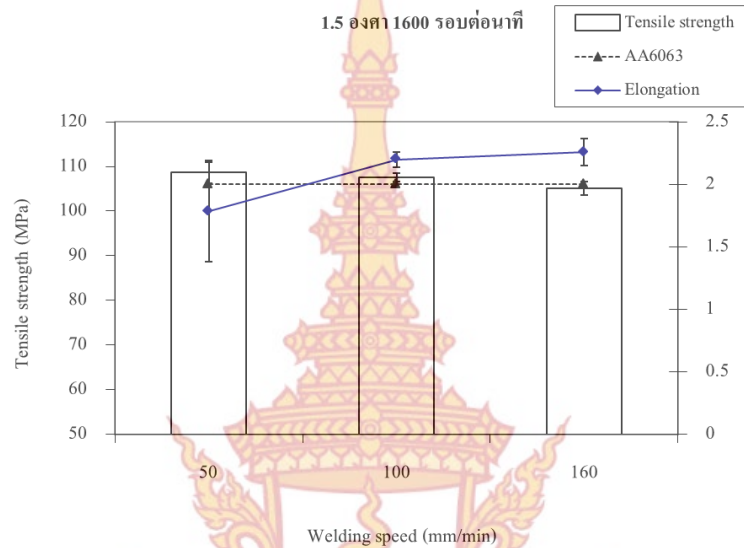


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

ภาพที่ 51 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 51 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงองศา เครื่องมือเชื่อม 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที ในภาพที่ 51 (ก)-(ค) ตามลำดับ ที่ตัวแปรนี้ผิวหน้าแนวเชื่อมยังคงไม่เรียบเหมือนกับการเชื่อมวัสดุเดียวกัน และผิวหน้าแนวเชื่อมที่สังเกตได้ยังคงเป็นชั้นเกล็ดในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ลักษณะเป็นเกล็ดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเท่าๆกัน ประกอบกับการเกิดครีบบริเวณด้านข้างแนวเชื่อมทั้งสองด้านแต่รีทริงติง ซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 6063 จะมีขนาดโตกว่าด้านแอดวานซิง ซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 7075 ครีบบ้างส่วนสามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ อย่างไรก็ตามที่ตัวแปรนี้ไม่สามารถทำให้ครีบบที่เกิดขึ้นให้หายไปแต่ก็สังเกตได้ว่ามีขนาดลดลง กว่าตัวแปรอื่นที่แสดงก่อน

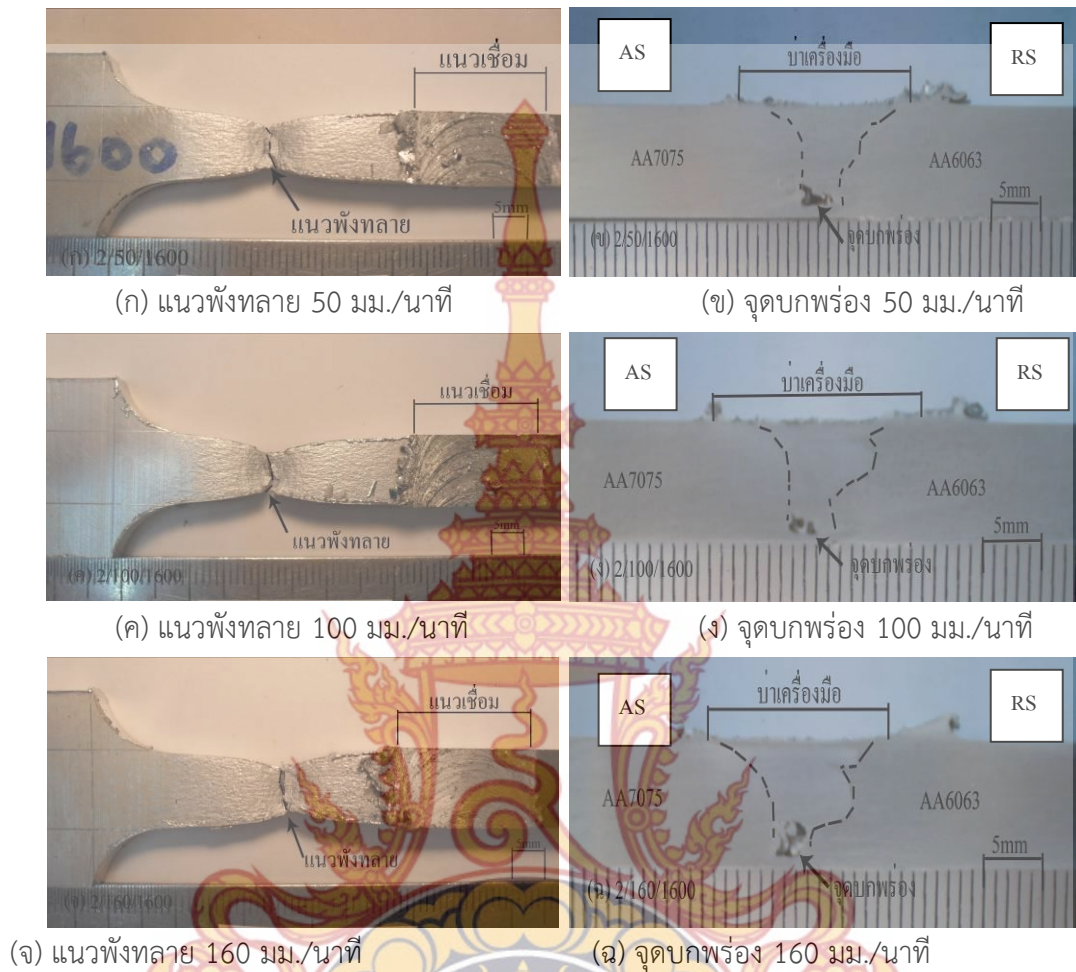
หน้านี้ ผู้ทดลองคาดว่า การเอียงมุมเครื่องมือ ประกอบกับความเร็วยรอบเครื่องมือเชื่อม และอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เหมาะสม สามารถลดขนาดของครีบ หรือเมื่อทำการเชื่อมในสภาวะที่เหมาะสม แล้วครีบที่เกิดขึ้นสามารถดึงให้ออกจากแนวเชื่อมได้



ภาพที่ 52 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วยรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



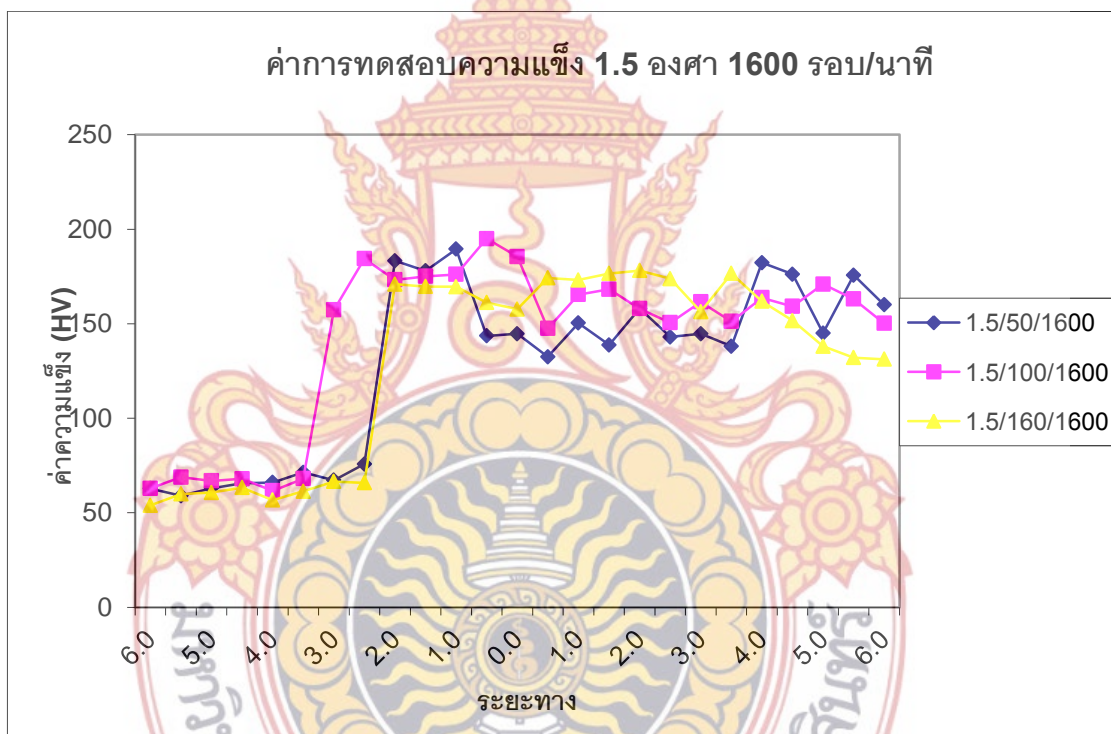
ภาพที่ 53 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศา ความเร็วยรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



ภาพที่ 54 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ผลของการทดสอบความต้านทานแรงดึงแสดงในภาพที่ 52 เป็นการแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากผลที่ได้ แสดงในภาพที่ 52 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลง เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้มาเปรียบเทียบกับขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมที่วัดตามแนวแกน X และแกน Y และตรวจสอบโครงสร้างสมภาคของแนวเชื่อม การพังทลายที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง พบว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ขนาดที่วัดตามแนวแกน X และ แกน Y มีขนาดโตที่สุด คือวัดตามแนวแกน X ได้ 2.8 มิลลิเมตร วัดตามแนวแกน

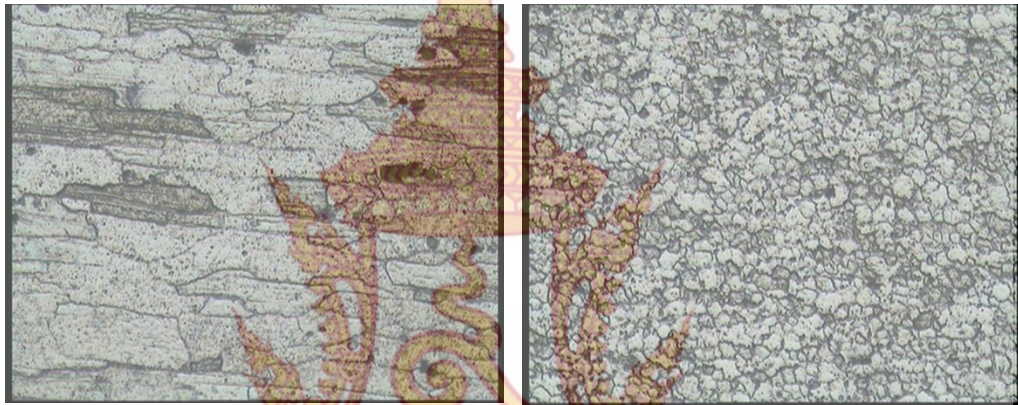
Y ได้ 1.2 มิลลิเมตร จากจุดบกพร่องขนาดใหญ่นี้แทนที่จะทำให้แนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงต่ำ แต่ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน สาเหตุอาจเกิดจากการพังทลายในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม การพังทลายเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก ยังคงทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง แม้ว่าจะมีขนาดใหญ่ก็ตาม สังเกตได้ในภาพที่ 54 (ข) เปรียบเทียบกับ ภาพที่ 54 (ฉ) ซึ่งจุดบกพร่องมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำให้มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง ทำให้ได้ค่าที่ได้ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเกิดจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง สังเกตได้จากการพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในทุกๆอัตราความเร็วเดินเชื่อมชิ้นงานทดสอบจะขาดทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าด้านอลูมิเนียมผสม 7075



ภาพที่ 55 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ภาพที่ 55 แสดงค่าการทดสอบความแข็งของการเชื่อมที่ตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือเชื่อม 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่แสดงเริ่มจากจุดกึ่งกลางแนวเชื่อม ความแข็งสูงขึ้นเมื่อมาทางด้านซ้ายมือ ซึ่งเป็นทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 จนถึงระยะ ประมาณ 3 มิลลิเมตร ค่าความแข็งลดลง

เมื่อเข้าสู่เนื้อวัสดุเดิม เช่นเดียวกันกับทางด้านขวามือเป็นของอลูมิเนียมผสม 7075 เมื่อเข้ามาในพื้นที่เนื้อวัสดุเดิมความแข็งมีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังคงสูงกว่าอลูมิเนียม 6063 สำหรับค่าความแข็งสูงสุดที่วัดได้ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม 185 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับค่าความแข็งที่แตกต่างกันนี้ผู้ทดลองคาดว่า การรวมตัวของเนื้อวัสดุ เมื่อการรวมตัวกันได้ดี เกิดสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม ทำให้ได้ค่าความแข็งที่สูง ส่วนที่ได้ค่าที่ต่ำกว่าคาดว่า การรวมตัวของเนื้อวัสดุรวมตัวกันในภาวะที่ไม่เหมาะสม แต่ก็ยังคงแข็งกว่าเนื้อวัสดุหลักเมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะเดียวกัน



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075

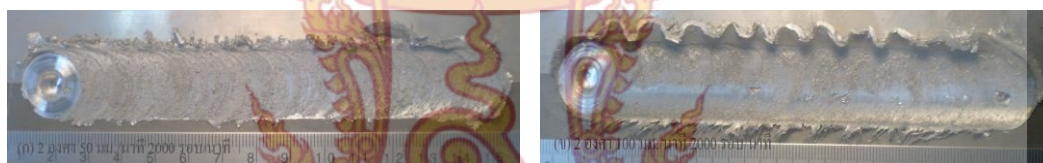


(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 56 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังภาพที่ 56 เป็นโครงสร้างของชิ้นงานที่มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดของการเอียงเครื่องมือ ที่ 2 องศา ภาพที่ 56 แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 จากการสังเกตโครงสร้างพบว่ามีความหนา 71 ไมโครเมตร มีโครงสร้างขนาดที่โตกว่าขนาดของโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม แสดงดังภาพที่ 56 (ข) และโครงสร้างของอลูมิเนียมผสม 7075 คาดว่าผลของโครงสร้างเกรนที่โตนี้ มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม หลังการทดสอบความต้านทานแรงดึง ทำให้การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 และแสดงค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งมีโครงสร้างเกรนที่ละเอียดกว่าทำให้การพังทลายไม่เกิดขึ้นบริเวณนี้

3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที

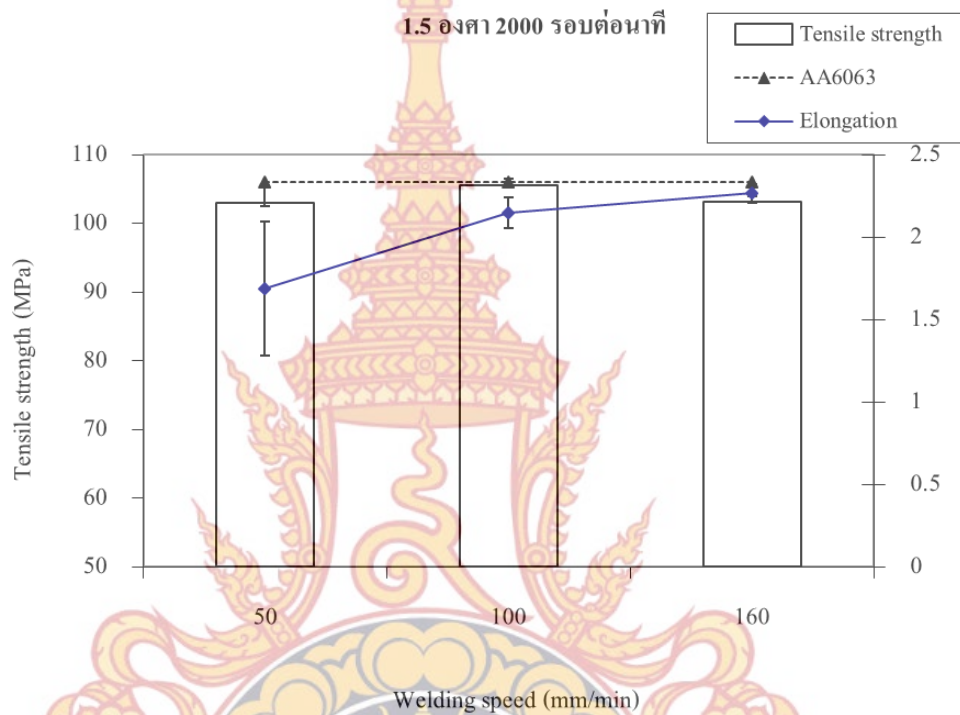


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

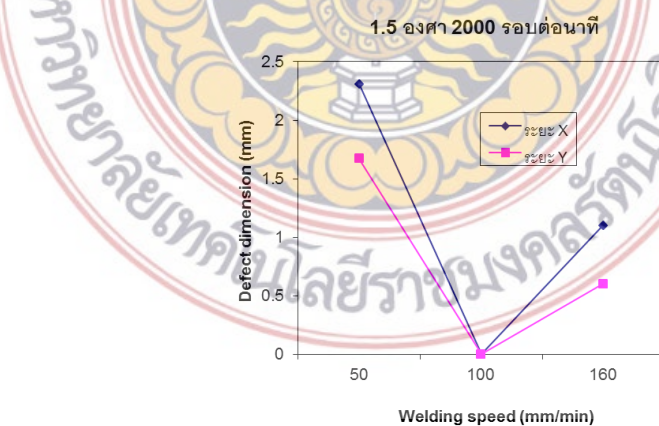
ภาพที่ 57 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

จาก ภาพที่ 57 ผลของการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากการสังเกตพบว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ บริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที เกล็ดเล็กๆ ที่เกิดขึ้นลดลงแต่ยังคงอยู่บริเวณด้านข้างแนวเชื่อม และแนวเชื่อมมีความเรียบปรากฏให้เห็นเล็กน้อย แต่ไม่ทั้งหน้าแนวเชื่อม เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมสูง ขึ้นที่ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ความเรียบไม่ปรากฏให้เห็น กลับมาเป็นเกล็ดเต็มบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม คาดว่า

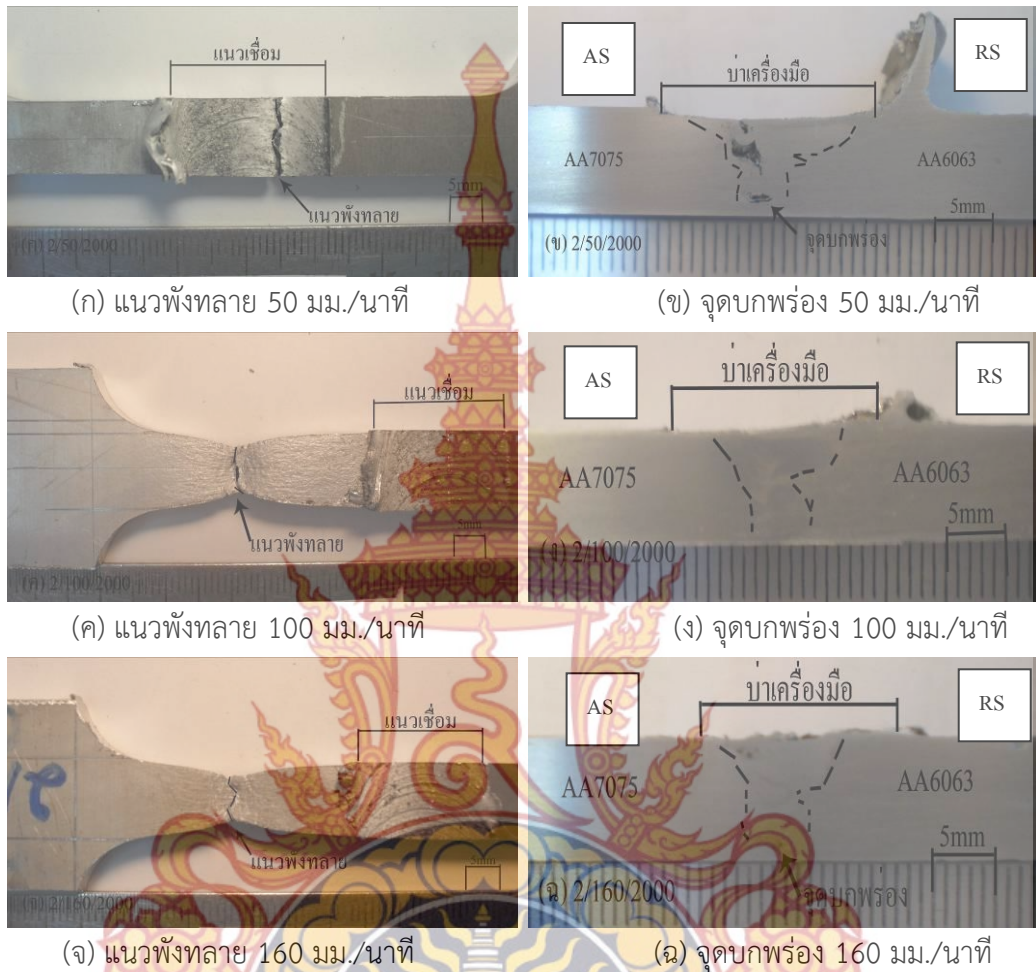
สิ่งที่เกิดขึ้นนี้สภาวะการเชื่อม ทางด้านตัวแปร ความเร็วเครื่องมือเชื่อม อัตราความเร็วเดินเชื่อม ทำให้เกิดความร้อนไม่เพียงพอ ที่จะทำให้นิวส์ต่ออ่อนตัว สมบัติทางกลที่แตกต่างกันของอลูมิเนียมทั้งสอง ทำให้ไม่สามารถอ่อนตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้



ภาพที่ 58 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อ นาที



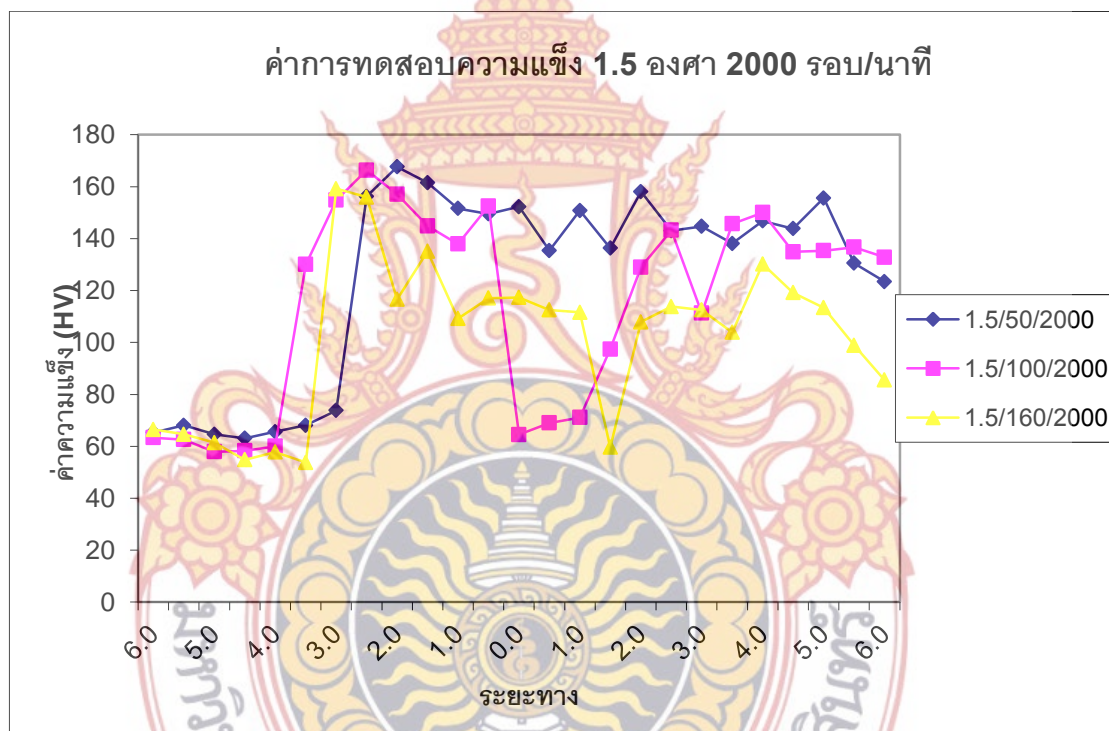
ภาพที่ 59 ขนาดจุดบกพร่องของ 1.5 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



ภาพที่ 60 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 58 ผลที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 105 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำลงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ในอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่แตกต่างกัน สังเกตได้จากภาพที่ 60 (ง) แสดงความสมบูรณ์ภายในแนวเชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่เกิดจุดบกพร่องใดบริเวณแนวเชื่อม สังเกตได้จากภาพที่ 59 การวัดขนาดของจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อม แต่แนวเชื่อมที่ได้ยังคงไม่เป็นรูปหัวหอม ซึ่งเป็นรูปแบบของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ของการเชื่อมการเสียดทานแบบ

กวน สำหรับการพังทลายที่เกิดขึ้น ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ทางด้านอลูมิเนียม 7075 สังเกตเปรียบเทียบกับภาพที่ 59แสดงขนาดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X และแกน Y วัดได้ตามแกน X เท่ากับ 2.4 มิลลิเมตรตามแกน Y เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ตัวแปรความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และการเอียงเครื่องมือ 1.5 องศา เมื่อสังเกตประกอบกับ ภาพที่ 60 (ก) จะสังเกตได้ว่าจุดบกพร่องมีขนาดใหญ่ เริ่มจากด้านล่าง จนถึงด้านบนบริเวณแนวเชื่อม คาดว่าสิ่งที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก อัตราความเร็วเดินเชื่อม และความเร็วรอบเครื่องมือ กับการเอียงองศาเครื่องมือ ไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เนื้อวัสดุทั้งสองรวมกันได้



ภาพที่ 61 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

การทดสอบความแข็งที่เกิดขึ้นกับตัวแปรการเอียงเครื่องมือเชื่อม 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าค่าความแข็งสูงสุดวัดที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อม คือ 152 HV อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ได้ค่าที่สูง ถ้าสังเกตจากภาพที่61 มาทางด้านขวามือซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 7075 จะ

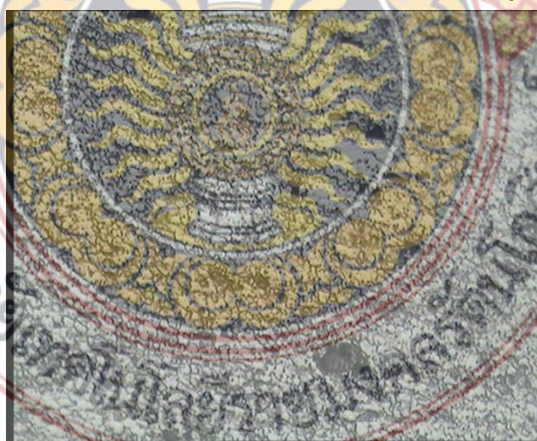
ค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกัน คาดว่าส่วนบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นส่วนของอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับอลูมิเนียมผสม 6063 ได้ ซึ่งถ้าสังเกตทางด้านซ้ายมือเป็นด้านของอลูมิเนียม 6063 จะให้ค่าที่สูงกว่าจุดกึ่งกลางบริเวณแนวเชื่อมคาดว่าบริเวณดังกล่าว ขณะเชื่อมเครื่องมือพาเนื้อวัสดุอลูมิเนียม 7075 เข้ามารวมกับอลูมิเนียม 6063 ทำให้ค่าที่ได้แสดงค่าความแข็งที่สูงกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม สำหรับค่าความแข็งต่ำสุด สังเกตจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อ

วัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 คาดว่าการเชื่อมเครื่องมือเชื่อมพาเนื้อวัสดุอลูมิเนียมผสม 6063 เข้ามาบริเวณนี้ปริมาณมากกว่าที่จะพาเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 เข้ามารวมในบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมนี้ ทำให้ค่าความแข็งที่ได้ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 62 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 62 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ภาพที่ 62 (ก) แสดงโครงสร้างของอลูมิเนียมผสม 6063 จากรูปที่แสดงสังเกตได้ว่ามีโครงสร้างเกรนที่โต ซึ่งโครงสร้างเกรนที่โตนี้มีผลต่อความต้านทานแรงดึง การพังทลายของชิ้นงานทดสอบจะพังทลายบริเวณเนื้อวัสดุหลักด้านนี้ สำหรับ ภาพที่ 62 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะสังเกตได้ว่าพื้นที่บางส่วนเป็นสีขาวบนพื้นที่สีดำ พื้นที่สีขาวที่มีอยู่เล็กน้อยนั้นคาดว่าเป็นพื้นที่ส่วนของอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับอลูมิเนียมผสม 7075 ที่บริเวณแนวเชื่อม ทำให้มีผลต่อค่าความแข็งแรงที่เกิดขึ้น เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงบริเวณนี้ทำให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับบริเวณเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063

ภาพที่ 62 (ค) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งสังเกตได้ว่าโครงสร้างเกรนมีความละเอียดกว่า โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาด 66 ไมโครเมตร โครงสร้างที่ละเอียดกว่านี้คาดว่ามีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการทดสอบความแข็งแรง ทำให้ได้ค่าการทดสอบที่สูง

3 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

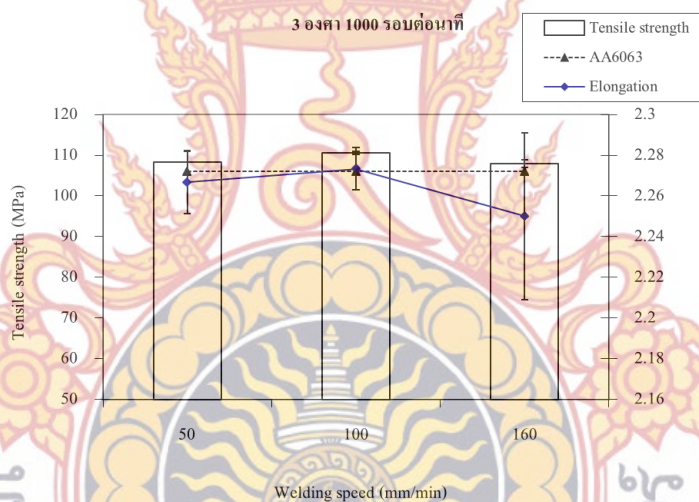
(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

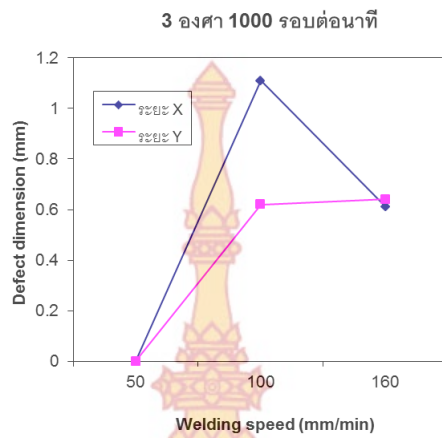
ภาพที่ 63 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ผลการทดลองการตรวจดูผิวหน้าแนวเชื่อม ของตัวแปร การเอียงองศาเครื่องมือเชื่อม 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1,000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 63 (ก)-(ค) ตามลำดับ จากการสังเกตผลที่เกิดขึ้น อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 63 (ค) แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่เรียบเป็นมัน เหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน แต่ในส่วนท้ายของแนวเชื่อม ยังคงเป็นวงเกล็ด ตามขนาดของบ่าเครื่องมือ สำหรับผิวหน้าแนวเชื่อม 50, 100 และ 160 ผิวหน้าแนวเชื่อมแสดงลักษณะผิวแนวเชื่อมที่หยาบ เกิดเกล็ดเล็กตลอดผิวหน้าแนวเชื่อม การเกิดครีบก้นยังคงเกิดทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ที่สามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ อยู่ทางด้านรีทริคตัง ด้านที่เป็นอลูมิเนียมผสม 6063 ส่วนด้านแอดวานซิ่ง ครีบก้นที่สังเกตได้มีขนาดโต กว่าบริเวณทางด้านแอดวานซิ่งเล็กน้อย สำหรับจุดบกพร่องอื่นบนผิวหน้าแนวเชื่อมไม่สังเกตว่าตรวจพบในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมนี้

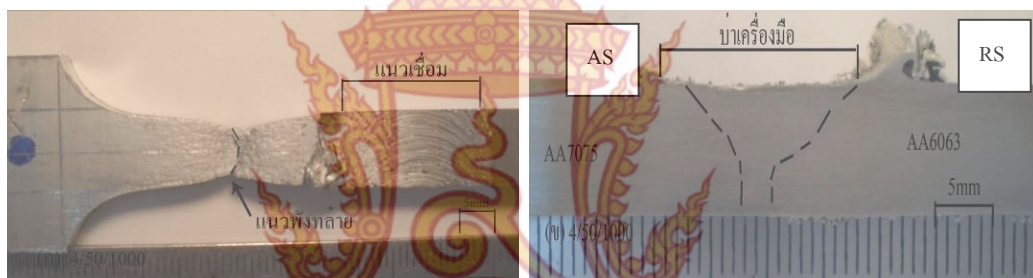


ภาพที่ 64 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อ นาที

จากภาพที่ 64 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของตัวแปรการเอียงมุมเครื่องมือ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับความต้านแรงดึงสูงสุดได้มาจาก อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อ นาที 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากภาพที่ 64 สังเกตได้ว่าเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อม ลดลงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อม เพิ่มขึ้น หรือลดลง ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดที่ 106 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

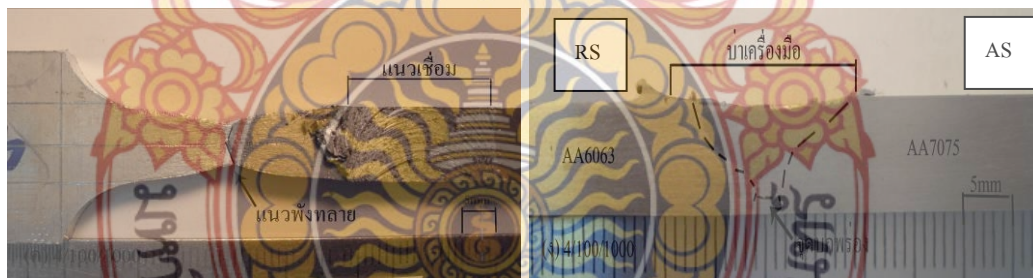


ภาพที่ 65 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



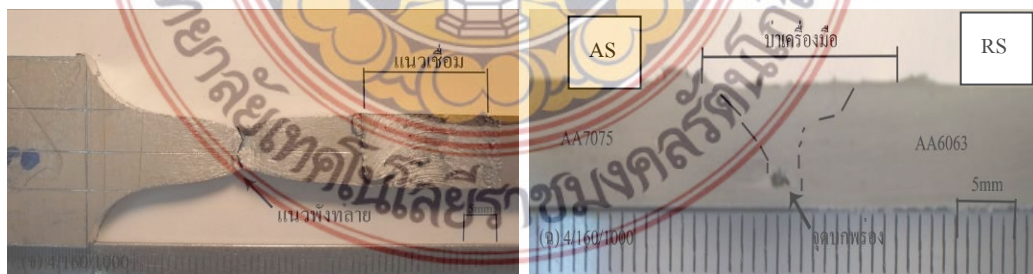
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที

(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที

(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที

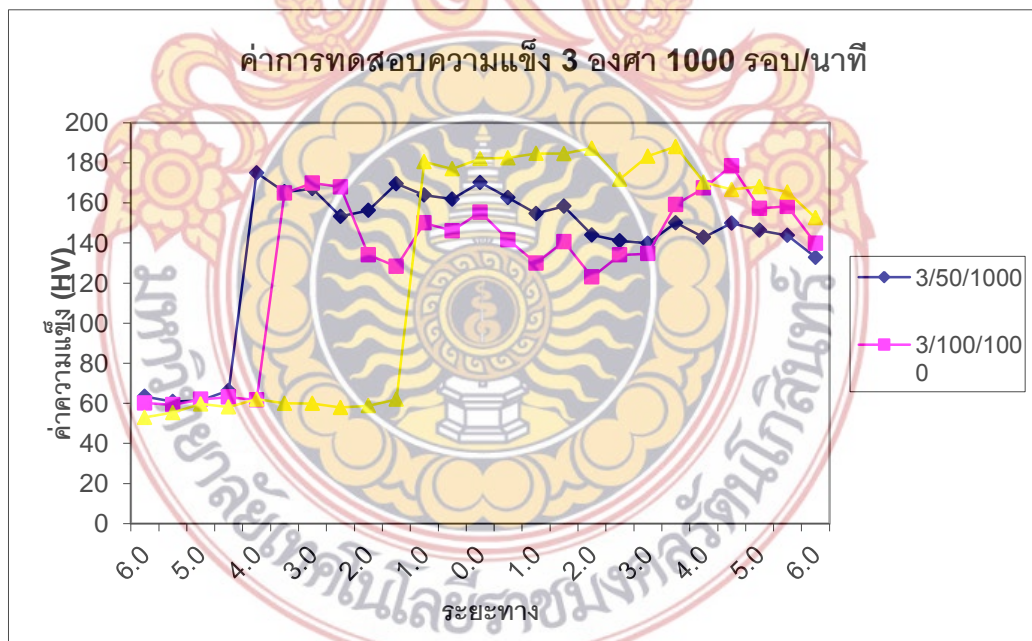


(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที

(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที

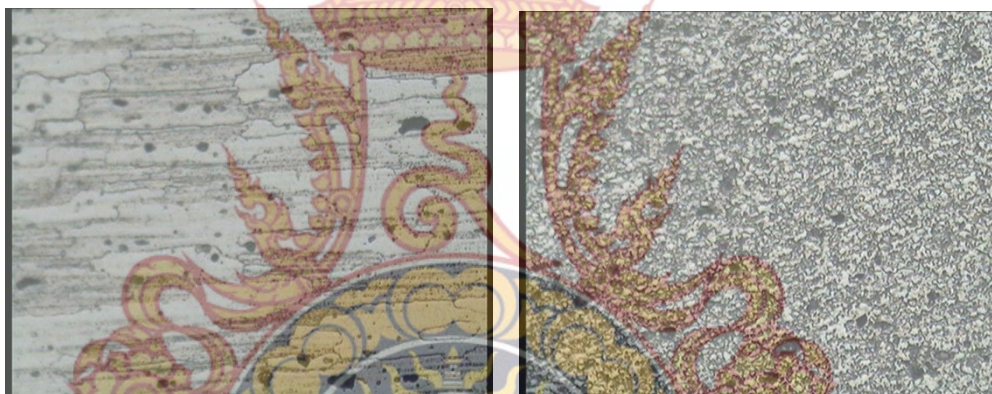
ภาพที่ 66 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

จากภาพที่ 65 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม ของตัวแปรการเอียงองศา เครื่องมือ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่เกิดจุดบกพร่อง ภายในแนวเชื่อม ขนาดจุดบกพร่องที่โตสุดที่วัดได้ ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y พบที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ขนาดที่วัดได้ตามแนวแกน X ขนาด 1.8 มิลลิเมตร ตามแนวแกน Y วัดได้ 1.5 มิลลิเมตร สังเกตภาพที่ 66 (ข) จะเห็นว่าลักษณะแนวเชื่อมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าผืนด้านยาวทิศทางตามแนวแกน Y ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำ แม้ว่าจะเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่ การพังทลายของแนวเชื่อม เกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลัก ทางด้านอลูมิเนียม 6063 จากการสังเกตจุดบกพร่องที่เกิด ที่ตัวแปรเอียงเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที จะพบว่าจุดบกพร่องจะมีแนวโน้มขนาดโต ขึ้นเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น คาดว่าที่เกิดจุดบกพร่องเช่นนี้ เนื่องจากอัตราความเร็วเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ไม่มีเวลาเพียงพอที่เครื่องมือจะเติมเนื้อวัสดุเข้าไปในแนวเชื่อมได้ทันทำให้เกิดจุดบกพร่องดังแสดงดังภาพที่ 66 (ข) (ง) (ฉ) (ช) ตามลำดับ



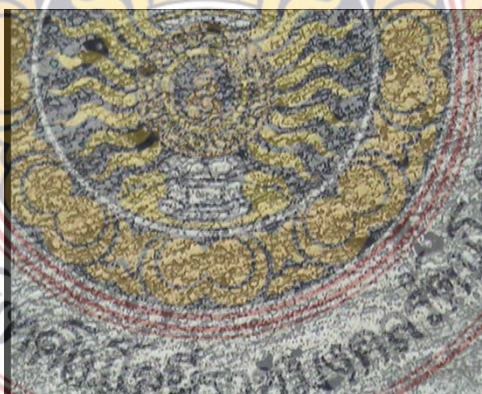
ภาพที่ 67 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความแข็ง ภาพที่ 67 แสดงค่าการทดสอบความแข็ง ของตัวแปรการเอียงมุม เครื่องมือ 3 องศา ความเร็วเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่ได้ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที วัดความแข็งที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อมได้ค่าสูงสุดที่ 182 HV ลักษณะความแข็งที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าสู่วัสดุหลัก ทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ที่น่าสังเกตที่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมให้ค่าความแข็งที่ต่ำ คาดว่าเกิดจากเครื่องมือเชื่อมไม่สามารถทำให้เนื้อวัสดุอูมิเนียมผสม 6063 รวมตัวเข้ากันได้กับอูมิเนียมผสม 7075 บริเวณดังกล่าวได้ ซึ่งคาดว่าเนื้อวัสดุบริเวณที่ให้ค่าความแข็งที่อ่อนนี้ เป็นเนื้อวัสดุส่วนของอูมิเนียมผสม 6063 ที่เครื่องมือเชื่อม นำมาจากเนื้อวัสดุหลักอูมิเนียมผสม 6063 ไม่เกิดสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการรวมตัวกับอูมิเนียมผสม 7075 จึงทำให้ความแข็งที่ได้ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 68 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานเชื่อม อลูมิเนียมผสม 6063 และ อลูมิเนียมผสม 7075 ที่ตัวแปรความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังภาพที่ 68 สำหรับภาพที่ 68 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดขนาดได้ 69 ไมโครเมตร ภาพที่ 68 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ภาพที่ 68 (ค) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 ทำการตรวจสอบที่กำลังขยาย 50 เท่า ในทุกรูปที่แสดง เมื่อสังเกตเปรียบเทียบจากผลที่ได้ จะเป็นได้ว่า ภาพที่ 68 (ก) แสดงโครงสร้างอย่างชัดเจน และมีขนาดโครงสร้างเกรนที่โต กว่าภาพที่ 68 (ข) และภาพที่ 68 (ค) ซึ่งมีขนาดโครงสร้างเกรนใกล้เคียงกัน ผลของโครงสร้างเกรนที่โตนี้มีผลต่อความต้านทานแรงดึง เพราะว่าการพังทลายของชิ้นงานทดสอบพักหลายทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งเป็นเนื้อวัสดุหลัก ไม่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม นอกจากนั้นยังมีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานที่ทดสอบ พบว่าบริเวณแนวเชื่อมและวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 7075 มีค่าความแข็งที่สูงกว่าอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีโครงสร้างที่โตกว่า

2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาทีก

(ข) 100 มิลลิเมตร/นาทีก

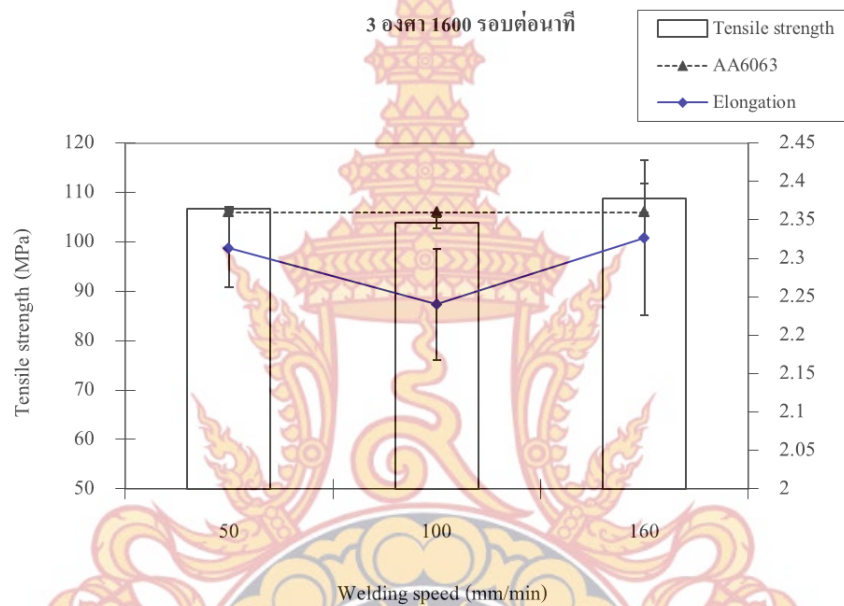


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาทีก

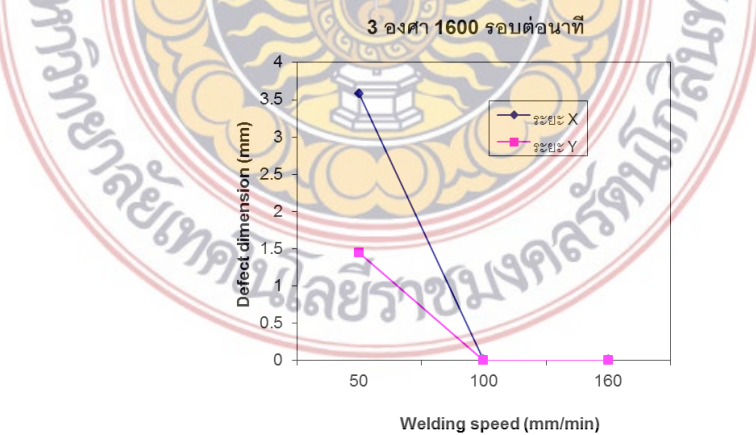
ภาพที่ 69 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ผิวหน้าแนวเชื่อมซึ่งมีลักษณะเรียบไม่เป็นเกล็ด ดังภาพที่ 69 (ก) เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 1600 รอบต่อนาที เอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ดขยายสู่ด้านข้าง ส่วนตรงกลางปรากฏให้

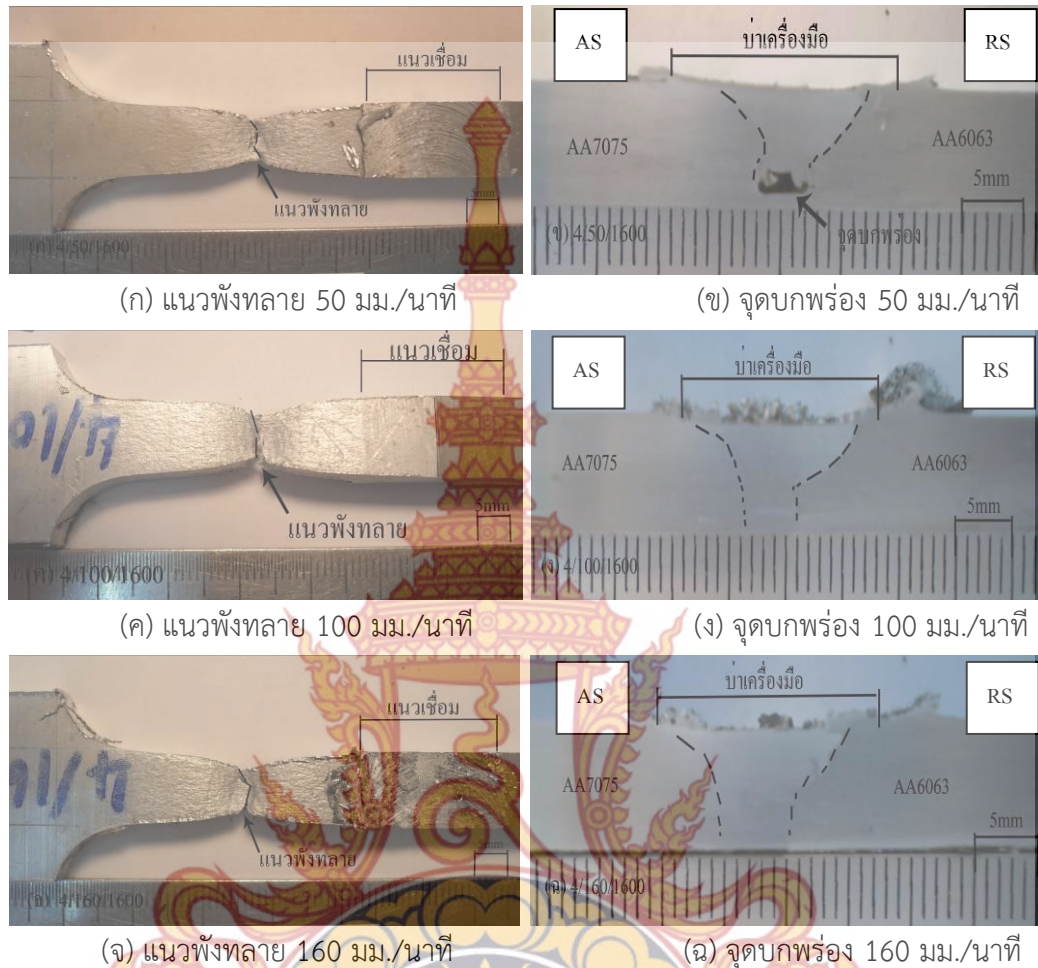
เห็นความเรียบแต่ก็ไม่เรียบทั้งหมด ดังภาพที่ 69 (ข) (ค) ซึ่งเป็นของอัตราเดินเชื่อม 100, 160 และ มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ อีกทั้งที่สังเกตเห็นได้ด้านข้างของบริเวณแนวเชื่อมเกิดครีปที่มีความคม แต่สามารถใช้มือดึงให้หลุดออกจากแนวเชื่อมได้ อยู่ทางด้านรีทริคติง ซึ่งเป็นด้านอลูมิเนียมผสม 6063 คาดว่าเกิดจากเมื่อป่าของเครื่องมือกดอัดลงในเนื้อวัสดุแต่ไม่สัมผัสเต็มผ่านเครื่องมือ เมื่อทำการเดินเชื่อมป่าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุที่ไม่ได้รับการกดอัดลงไปเนื้อแนวเชื่อมออกมาทำให้เกิดครีปดังแสดง ดังภาพที่ 69



ภาพที่ 70 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อ นาที



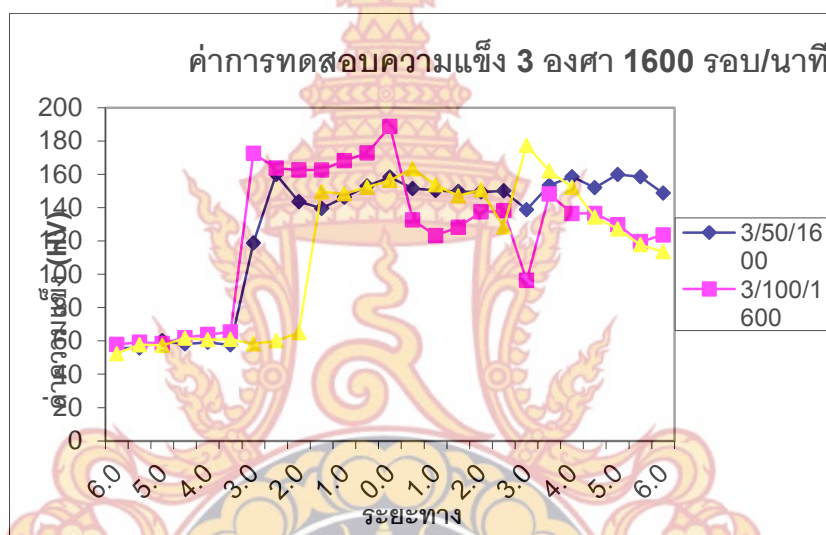
ภาพที่ 71 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



ภาพที่ 72 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

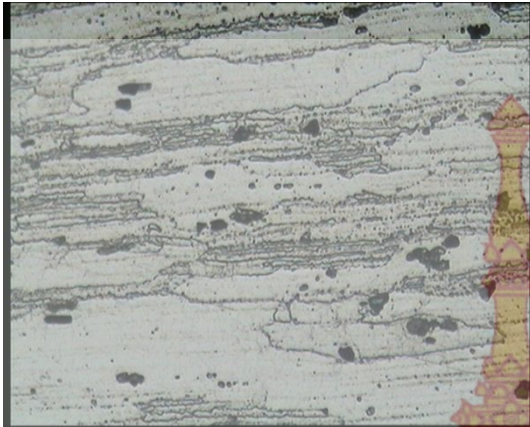
ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น ของการเอียงเครื่องมือ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 70 ผลที่ได้พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึง 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่ำสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 103 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการสังเกตจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยการวัดขนาดจุดบกพร่องตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y ดังภาพที่ 71 ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่ปรากฏจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม สำหรับขนาดจุดบกพร่องโตสุดที่วัดได้ ตามแนวแกน X วัดได้ 3.5 มิลลิเมตร ตามแนวแกน Y วัดได้ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ดูภาพที่ 72 (ข)

ประกอบเป็นโครงสร้างมหภาคของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผลจากขนาดจุดบกพร่อง ที่โต แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง ยังคงพังทลายที่เนื้อวัสดุหลักทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 จากผลที่ได้แม้ว่าขนาดของแนวเชื่อมจะมีขนาดใหญ่แต่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อม ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ยังคงที่ค่าสูง นั้นแสดงว่าจุดบกพร่องไม่ใช่เหตุผลเดียวที่ทำให้ความต้านทานแรงดึงต่ำ อาจเกิดจากความร้อนระหว่างการเชื่อม ที่จะทำให้เนื้อวัสดุรวมตัวหรือการเย็นตัวของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 73 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ภาพที่ 73 แสดงค่าความแข็งของการเอียงองศาเครื่องมือ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งที่ได้มีแนวโน้มของค่าใกล้เคียงกัน มีความแข็งที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ค่าสูงสุดที่วัดได้ 189 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ต่ำสุดคือ 156 HV ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งที่เกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่เนื้อวัสดุหลักทั้งสองด้านค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม



(ก) อลูมิเนียม 6063



(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 74 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของตัวแปร ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์แบบแสง 50 เท่ากัน แสดงดังภาพที่ 74 เมื่อสังเกตจะพบว่า ภาพที่ 74 (ก) ซึ่งเป็นรูปที่แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาด 71 ไมโครเมตร สังเกตได้ว่าจะมีโครงสร้างเกรนที่โตกว่า ภาพที่ 74 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม และภาพที่ 74 (ค) ซึ่งเป็นรูปที่แสดงโครงสร้างวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 จากโครงสร้างเกรนที่มีขนาดโต ซึ่งผู้ทดลองคาดว่า มีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 73 แสดงค่าการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน ทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ให้ค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม หรือทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075

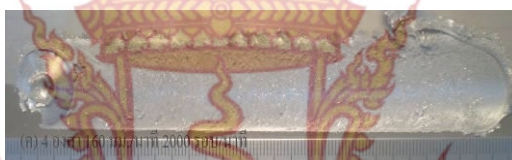
ซึ่งจากรูปแสดงโครงสร้างเกรนที่ละเอียดให้ค่าความแข็งที่สูง อีกด้านหนึ่งการพังทลายของชิ้นงาน แสดงความแข็งแรงของแนวเชื่อมโดยการพังทลายที่เกิดขึ้นหลังผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากโครงสร้างเกรน ที่โต ทำให้ความการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณนี้

3 อิทธิพลของความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

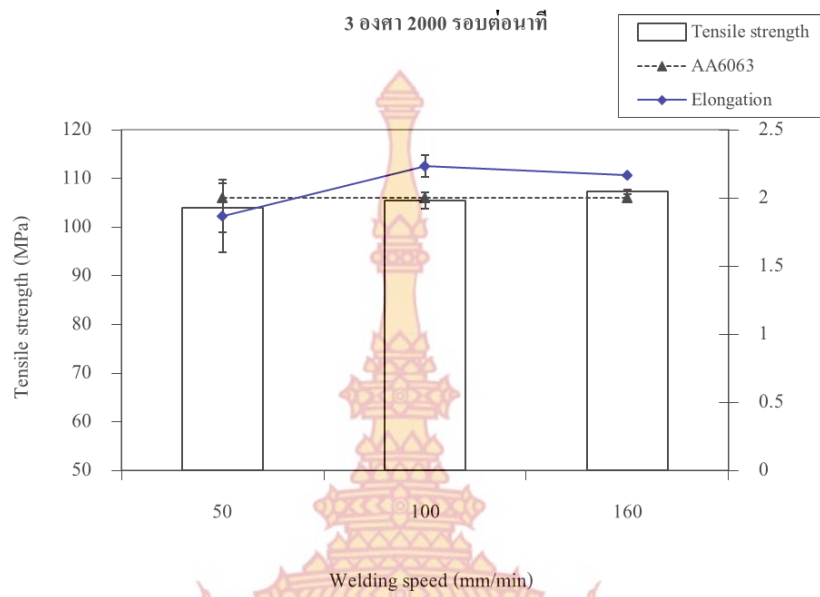
(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



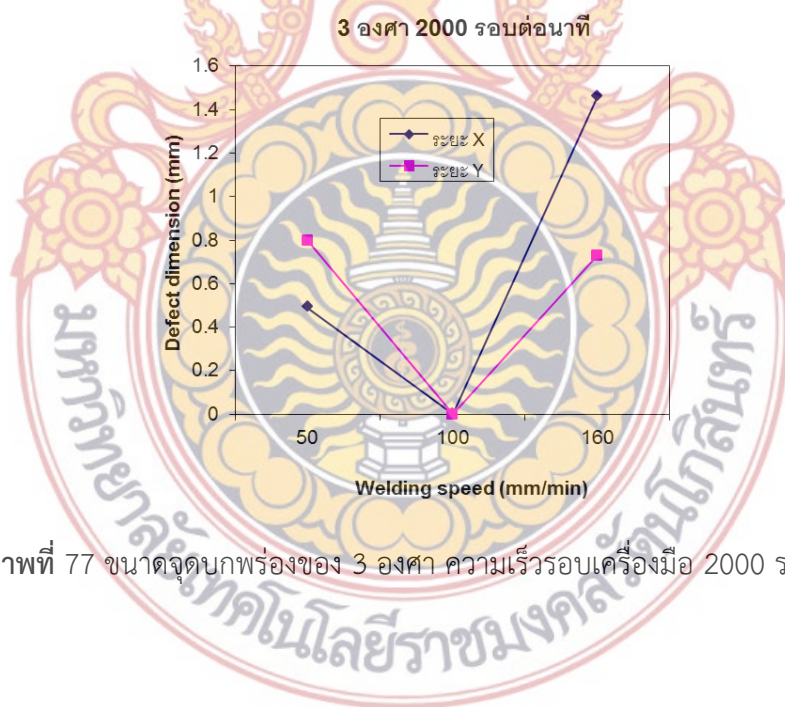
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

ภาพที่ 75 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 3 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

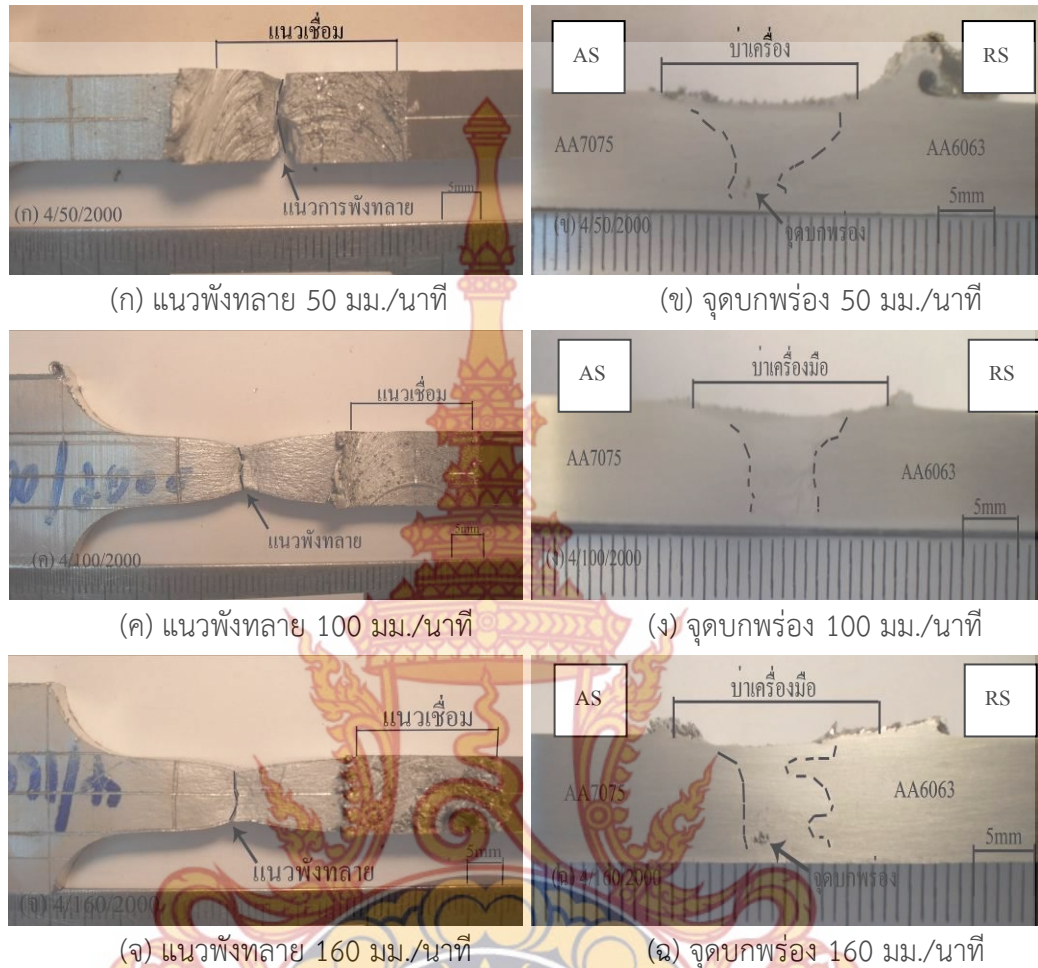
ภาพที่ 75 แสดงผลของผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงองศา 3 องศา ความเร็รรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ภาพที่ 75 (ก) พบว่ามีลักษณะเป็นร่องตรงบริเวณตรงกลางแนวเชื่อมคาดว่าเกิดจากการดึงเนื้อวัสดุให้ติดไปของบ่าเครื่องมือ เช่นเดียวกับกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ภาพที่ 75 (ข) เกิดขึ้นเล็กน้อย คาดว่าเกิดจากการเอียงองศาของเครื่องมือ และ อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่สูงเกินไปเมื่อ เครื่องมือเดินเชื่อมทำให้เกิดการดันของบ่าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุ เนื่องจากอัตราความเร็วเดินเชื่อมสูงทำให้ไม่สามารถกดอัดเนื้อวัสดุกลับลงไปได้ทันจึงเป็นการดึงเนื้อวัสดุออกจนทำให้เกิดจุดบกพร่องดังกล่าว



ภาพที่ 76 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อ นาที



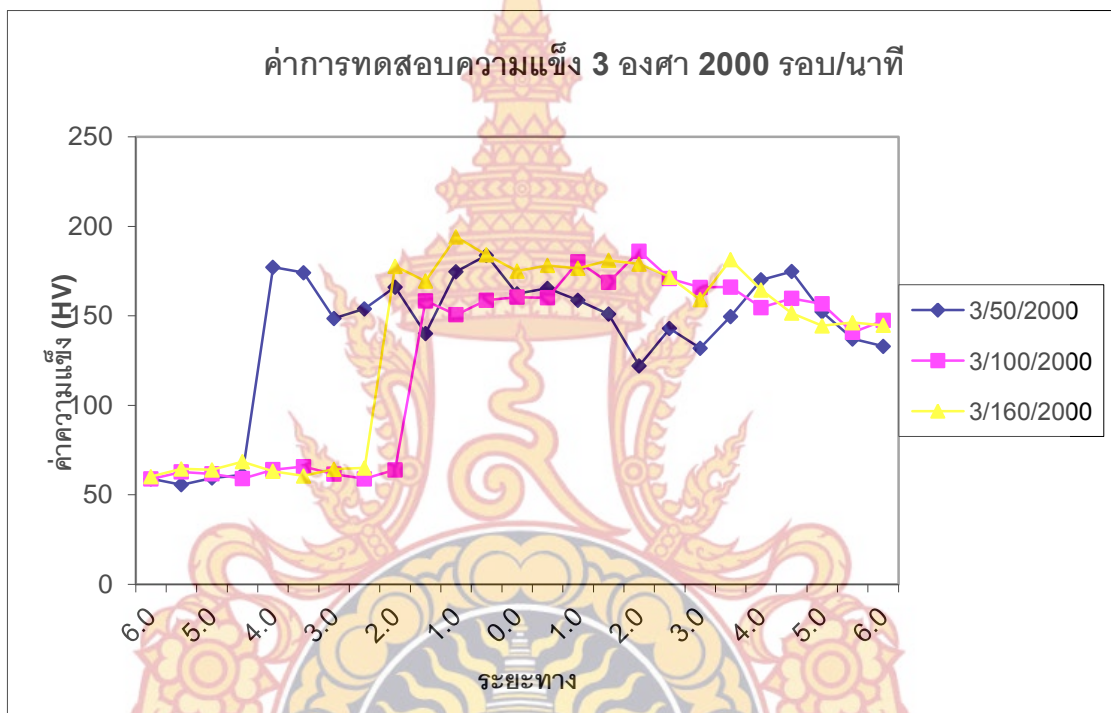
ภาพที่ 77 ขนาดจุดบกพร่องของ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



ภาพที่ 78 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

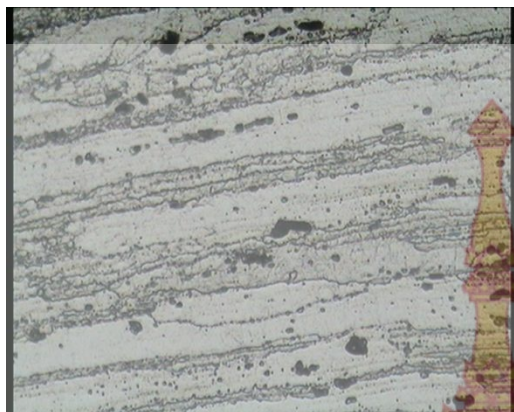
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 76 จากรูปแสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมต่างมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำลง ซึ่งที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด คือ 104 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้ นำผลที่ได้มาตรวจสอบการพังทลาย ดังภาพที่ 78 (ค) (จ) พบว่าการพังทลายที่เกิดขึ้นที่อัตราความเร็วเดิน 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที การพังทลายเกิดขึ้นทางด้านวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 6063 แสดงว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรง ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ดังภาพที่ 78 (ก) การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม เมื่อสังเกตจุดบกพร่อง ภาพ

ที่ 78 (ก) พบว่ามีขนาดเล็ก วัดตามแนวแกน X ได้ 0.5 มิลลิเมตร วัดตามแนวแกน Y ได้ 0.8 มิลลิเมตร สำหรับสาเหตุการพังทลายที่บริเวณแนวเชื่อมของอัตราความเร็วเดินเชื่อมนี้ ผู้ทดลองคาดว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำเกินไป ทำให้บ่าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุที่จะเดินเข้าไปในแนวเชื่อมออกมา สังเกตจากภาพที่ 78 (ข) เกิดครีบขนาดใหญ่ซึ่งคาดว่าเกิดจากบ่าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุที่อ่อนตัวออกมาและไม่สามารถนำไปเติมกลับลงไปได้ทำให้แนวเชื่อมไม่เกิดความแข็งแรง



ภาพที่ 79 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

ผลจากการทดสอบภาพที่ 79 เป็นของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าที่วัดได้สูงสุดของความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็ง 175 HV คาดว่าส่วนที่มีความแข็งที่ต่ำ บริเวณดังกล่าวเป็นวัสดุของอลูมิเนียมผสม 6063 ที่ไม่สามารถรวมตัวกับอลูมิเนียมผสม 7075 ที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมได้ทำให้ได้ค่าความแข็งที่ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063



(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

ภาพที่ 80 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 80 (ก) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 และภาพที่ 80 (ข) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ภาพที่ 80 (ค) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 ที่จากตัวแปร การเอียงหัวเครื่องมือที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที จากการสังเกตพบว่าโครงสร้างเกรนของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดได้ขนาด 69 ไมโครเมตร แสดงดังภาพที่ 80 (ก) เป็นโครงสร้างเกรนที่มีขนาดโต ทำให้มีผลต่อค่าความแข็ง ทำให้ได้ค่าความแข็งที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม และบริเวณอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งมีขนาดเกรนที่เล็กกว่า จะให้ค่าความแข็งที่สูง โครงสร้างที่ละเอียดบริเวณแนวเชื่อม ทำให้

บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งแรงสามารถต้านทานแรงดึงได้สูงกว่าบริเวณวัสดุหลักที่เป็นอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีโครงสร้างเกรนที่โตกว่า ทำให้การพังทลายเกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063



บทที่ 5

ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและทดลองถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนของอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0, 1.5 และ 3 องศา ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรความเร็วรอบของเครื่องมือเชื่อม 1000, 1600 และ 2000 รอบต่อนาที เปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อที่จะเพิ่มทางเลือกในการเชื่อมให้กับผู้ที่สนใจและนำไปประยุกต์ใช้กับงานในอุตสาหกรรม ที่จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานการระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับอลูมิเนียมผสม 7075 จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปผลการทดลอง และมีข้อเสนอแนะดังนี้

1 สรุปผลการวิจัย

1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีอัตราความเร็วสูงหรือต่ำเกินไป ก่อให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม เช่นเดียวกันกับความเร็วรอบ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสูงหรือต่ำเกินไปมีผลทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ส่วนการเอียงองศาเครื่องมือ เมื่อเอียงองศาเครื่องมือเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์

2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อโครงสร้างมหภาคและการพังทลายของชิ้นงาน โครงสร้างมหภาคภายในแนวเชื่อมของชิ้นงานที่สมบูรณ์ และไม่เกิดจุดบกพร่องแสดงการไหลเข้ามารวมกันของอลูมิเนียมทั้งสองชนิดได้อย่างดีเยี่ยม แต่ไม่แสดงการก้อนที่มีลักษณะคล้ายหัวหอม เหมือนดังการเชื่อมอลูมิเนียมเกรดเดียวกัน จุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจากด้านล่างกระจายขึ้นไปใกล้บริเวณผิวด้านบนแนวเชื่อม ทำให้การทลายที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม

3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าแรงดึงที่ดีที่สุด คือ ที่การเอียงมุมเครื่องมือ 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม สภาวะการเชื่อมที่ดีที่สุดที่ทำให้บริเวณรอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูง คือ ที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ในการเชื่อมเครื่องมือเอียงมุม 1.5 องศา ทำให้ได้ค่าสูงสุด 185 HV

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับ อลูมิเนียมผสม 7075 แบบรอบต่อชน ปัญหาที่พบจากการดำเนินงานและทำการเชื่อม ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับ อลูมิเนียมผสม 7075 สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงได้สรุปรวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ การเตรียมชิ้นงานเป็นส่วนที่สำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะถ้าเตรียมชิ้นงานไม่ดี อาจส่งผลกระทบต่อการยึดติดกันของรอยเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่มีความแข็งแรง และควรเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดความสูงที่เท่ากัน นอกจากนั้นอุปกรณ์จับยึดต้องมีความแข็งแรงสามารถจับยึดชิ้นงานได้มั่นคง ก่อนที่จะทำการเชื่อมต้องให้ชิ้นงานชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อมจะสัมผัสและแนบสนิทกัน เพราะถ้าชิ้นงานไม่ได้แนบสนิทกัน อาจจะทำให้การเชื่อมนั้นไม่เกิดการยึดติดกันของวัสดุ และก่อนที่จะทำการเชื่อมควรขัดด้วยกระดาษทราย และควรเช็ดทำความสะอาดด้วยอะซิโตน (Acetone) เพื่อความสะอาดของชิ้นงานที่จะช่วยให้การเชื่อมยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] บรรเจิด ดอนเนตรงาม. “อิทธิพลรูปร่างสลักแกนมุมนแบบหัวโค้งของการเชื่อมอลูมิเนียมเจือ AA6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนวน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [2] Z.Y. MA. “Friction Stir Processing Technology : A Review” Metall. Mater. Trans A ,2008, vol.39A ,pp.642-658.
- [3]I.Shigematsu,Y.-J.Kwon,K.Suzuki,T.Imai,N.Saito. “Joining of 5083 and 6061 aluminum alloys by friction stir welding” J. of Materials science letter 22 ,2003,pp. 353-356.
- [4] L.Karthikeyan,V.S.Senthikuman,D.Viswanathan and S.Natarajan. “Effect of low Feed Rate FSW on Microstructure and Mechanical Properties of Extruded Cast 2285 Aluminum Alloy” J.Mater. Sci. Technol. ,2007,vol.23 No.5,pp. 614-618
- [5] P,Cavaliere,E.Cerri .“Mechanical response of 2024-7075 aluminum alloy joined by Friction Stir Welding”, J. of Materials science 40, 2005,pp.3669-3676.
- [6] อนุชา ขวัญสุข ,สมนึก จิตนศรียกูล “เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมเจือ AA6063-T1 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนด้วยสลักแกนมุมนทรงกระบอกแบบผิวเรียบกับผิวเกลียว” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 2550





ภาคผนวก
ผลการทดลอง

1. ผลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทดลอง

1.1 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 5 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุที่ใช้ทดลอง

วัสดุ	ค่าความต้านทานแรงดึง	% Elongation	ความแข็ง
อลูมิเนียมผสม 6063	106 นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร	Elongation 4.01 %	49.5 HV
อลูมิเนียมผสม 7075	236 นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร	Elongation 2.84 %	85 HV

1.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	111.50	112.30	100.68
2	104.80	99.59	104.55
3	109.22	109.15	104.96
เฉลี่ย	108.50	107.01	103.3

1.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	111.16	115.05	94.42
2	102.28	105.17	102.32
3	106.28	106.50	103.32
เฉลี่ย	106.57	108.90	100.02

1.4 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	114.54	111.32	110.17
2	105.90	110.71	106.74
3	104.77	109.84	106.84
เฉลี่ย	108.40	110.62	107.91

1.5 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	103.94	110.95	102.92
2	111.94	103.12	105.89
3	103.50	104.12	106.18
เฉลี่ย	106.46	106.06	104.99

1.6 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	109.05	107.73	108.48
2	113.11	105.53	104.02
3	103.80	109.45	102.90
เฉลี่ย	108.65	107.57	105.13

1.7 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	106.65	105.96	115.22
2	105.85	101.60	107.34
3	107.55	103.90	103.79
เฉลี่ย	106.68	103.82	108.78

1.8 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	113.31	104.95	103.75
2	101.74	103.55	100.09
3	95.41	105.33	100.09
เฉลี่ย	103.48	104.61	101.31

1.9 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	96.77	107.67	104.93
2	105.90	104.24	102.19
3	106.13	104.69	102.19
เฉลี่ย	102.93	105.53	103.10

1.10 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	92.61	101.63	108.20
2	111.53	107.25	106.80
3	107.99	107.49	106.82
เฉลี่ย	104.04	105.45	107.27

2. ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยึดตัว

2.1 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.34	2.40	2.10
2	2.24	2.17	2.29
3	2.27	1.35	2.25
เฉลี่ย	2.28	1.97	2.21

2.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.44	2.59	2.50
2	2.21	2.49	2.25
3	2.16	2.39	2.27
เฉลี่ย	2.27	2.49	2.34

2.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.30	2.28	2.32
2	2.24	2.25	2.16
3	2.26	2.29	2.27
เฉลี่ย	2.26	2.27	2.25

2.4 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.34	2.50	2.32
2	2.34	2.24	2.24
3	2.34	2.24	2.27
เฉลี่ย	2.34	2.32	2.27

2.5 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.37	2.34	2.50
2	2.12	2.14	2.09
3	0.86	2.12	2.18
เฉลี่ย	1.78	2.2	2.25

2.6 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.43	2.40	2.56
2	2.25	2.12	2.21
3	2.26	2.20	2.21
เฉลี่ย	2.31	2.24	2.32

2.7 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวทวน 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.42	2.34	2.39
2	2.10	2.16	2.11
3	0.85	2.20	2.11
เฉลี่ย	1.79	2.23	2.20

2.8 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวทวน 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 1.5 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	0.75	2.36	2.40
2	2.15	2.02	2.20
3	2.16	2.06	2.20
เฉลี่ย	1.68	2.14	2.26

2.9 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 3 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที		
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)		
	50	100	160
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	1.25	2.41	2.17
2	2.16	2.19	2.17
3	2.19	2.10	2.16
เฉลี่ย	1.86	2.23	2.16

3.ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ตารางที่ 24 ค่าขนาดโครงสร้างจุลภาค (หน่วย: ไมโครเมตร)

ครั้งที่	ค่าตัวแปร (มุมเอียง/อัตราเดินเชื่อม/ความเร็วรอบ)								
	0/50/100	0/160/160	0/100/200	1.5/100/100	1.5/50/160	1.5/100/200	3/100/100	3/160/160	3/160/200
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	7.5	8.0	7.0	5.5	6.5	5.5	8.0	5.5	7.5
2	6.0	8.5	6.0	8.0	7.5	7.5	6.5	6.5	6.0
3	5.0	6.6	8.5	6.5	5.0	6.5	4.5	7.0	6.0
4	7.5	6.0	7.5	6.5	6.5	7.5	7.0	5.5	5.5
5	6.0	6.0	7.0	7.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0
ระยะทาง / เฉลี่ย	69.0	62.9	61.4	65.9	71.0	66.9	69.0	71.0	69.0



4.ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 25 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	61.3	62.5	61.0	61.8	54.0	143.8	127.3	137.2	123.0	136.0	161.0	163.2	149.7	136.6	146.5	159.8	148.8	126.0	120.2	135.1	147.9	138.2	133.0	132.5	126.1
100	60.4	61.5	63.4	65.8	71.5	152.8	162.6	154.6	142.0	142.7	141.0	144.9	132.7	129.6	156.5	160.1	150.6	169.0	148.4	156.3	156.4	156.3	150.0	164.1	149.1
160	58.8	62.1	58.3	63.1	60.7	57.3	61.4	62.7	63.4	63.1	188.0	181.4	184.8	182.5	183.5	174.9	183.4	181.0	180.2	184.0	175.5	167.2	156.0	148.6	152.5

ตารางที่ 26 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	55.9	58.1	57.7	55.5	64.4	161.0	159.4	140.7	149.0	158.8	137.0	149.6	151.9	166.5	148.4	152.3	147.4	157.0	122.0	175.5	159.5	165.3	163.0	159.1	153.3
100	56.7	60.8	59.7	62.0	58.9	60.3	59.3	62.4	168.0	165.2	155.0	162.0	148.6	150.5	162.0	151.6	142.8	125.0	161.9	157.7	147.5	164.3	180.0	159.6	144.4
160	62.3	61.8	62.5	65.1	65.2	140.2	156.3	128.2	58.0	161.0	161.0	154.1	152.4	108.4	101.0	179.6	122.5	164.0	137.6	154.9	159.6	169.5	155.0	142.2	144.7

ตารางที่ 27 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	63.2	60.8	66.5	62.9	67.6	68.4	67.5	156.2	150.0	157.8	136.0	128.4	125.4	129.2	123.4	123.5	119.1	116.0	123.1	126.9	132.9	122.9	121.0	136.1	116.4
100	65.6	66.1	60.6	60.1	62.7	63.1	65.6	67.8	63.4	67.9	77.7	86.2	139.8	141.7	143.5	122.5	137.9	121.0	87.3	138.0	140.2	140.8	134.0	132.8	127.9
160	63.4	66.8	62.3	63.8	64.8	60.8	60.6	63.7	68.6	71.0	92.2	157.2	155.3	68.4	154.2	64.5	78.1	91.3	143.2	133.9	122.9	128.1	113.0	120.1	115.7

ตารางที่ 28 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	64.6	64.7	66.2	71.5	72.4	162.4	154.5	151.6	149.8	146.6	155.0	140.6	161.6	159.1	151.1	160.7	157.4	153.1	159.0	162.0	163.8	152.4	151.2	158.3	157.4
100	62.0	63.3	65.9	68.3	59.4	60.5	61.0	156.8	155.8	158.4	146.0	144.0	118.2	117.0	109.3	110.6	108.6	172.1	175.0	172.2	168.0	156.2	160.9	152.6	157.5
160	55.4	58.1	63.1	61.2	63.3	57.8	61.5	171.5	185.1	174.2	187.0	176.4	184.2	176.5	165.9	169.5	177.2	181.9	170.0	167.4	169.1	172.6	161.1	164.9	165.2

ตารางที่ 29 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	62.8	59.0	63.0	65.7	66.0	71.4	67.2	75.8	183.3	178.0	190.0	143.6	144.7	132.5	150.4	138.8	158.1	143.0	145.0	138.1	182.3	176.2	145.0	175.7	160.0
100	62.9	68.8	66.9	68.0	61.6	68.1	157.3	184.4	173.2	175.1	176.0	195.0	185.5	147.5	165.4	168.2	158.0	150.5	162.0	151.2	163.7	159.2	170.9	163.1	150.2
160	53.9	59.9	60.7	63.3	56.7	61.4	66.5	65.9	170.9	169.7	170.0	161.2	157.7	174.2	173.1	176.6	178.1	173.8	156.0	176.6	161.9	151.6	138.1	132.1	131.2

ตารางที่ 30 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 1.5 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	65.3	68.1	64.6	63.1	65.6	68.1	73.8	156.2	167.6	161.5	152.0	149.5	152.3	135.4	150.8	136.3	158.1	143.0	145.0	138.1	146.8	143.8	155.6	130.5	123.4
100	63.3	62.6	57.9	58.3	60.0	130.0	154.8	166.3	157.1	144.9	138.0	152.5	64.5	69.0	71.1	97.4	129.0	143.2	111.0	145.7	150.0	134.9	135.3	136.7	132.8
160	66.5	64.6	61.4	54.8	57.8	53.8	159.2	156.0	116.6	135.1	109.0	117.1	117.3	112.5	111.6	59.6	107.9	113.8	113.0	103.9	130.2	119.2	113.4	98.9	85.5

ตารางที่ 31 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	63.4	60.9	61.5	66.4	175.0	165.5	167.1	153.3	156.2	169.6	163.9	161.9	170.0	163.0	155.0	158.3	144.0	141.1	139.9	150.1	142.8	150.0	146.0	144.0	132.8
100	60.2	59.3	62.0	63.1	61.7	164.9	169.9	168.0	134.1	128.3	150.0	146.1	155.0	142.0	130.0	140.7	123.0	134.0	134.7	159.2	167.4	179.0	157.0	158.0	139.8
160	53.0	55.4	59.7	58.2	62.1	60.0	59.9	57.9	58.8	62.0	180.5	177.0	182.0	183.0	185.0	184.6	187.0	171.8	183.3	188.1	170.3	167.0	168.0	165.0	152.6

ตารางที่ 32 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	55.6	55.8	60.1	58.2	59.1	57.6	118.7	159.9	143.6	139.5	146.2	153.0	158.0	151.0	150.0	149.6	149.0	150.0	138.8	153.4	158.6	152.0	160.0	159.0	148.7
100	57.9	59.1	58.5	61.9	63.8	65.4	172.5	163.7	162.5	162.6	168.2	172.7	189.0	133.0	123.0	128.2	137.0	138.1	96.2	148.1	136.5	137.0	130.0	120.0	123.6
160	52.3	57.7	57.3	61.6	60.7	61.0	58.2	60.1	64.9	149.5	148.3	152.2	156.0	163.0	154.0	147.0	151.0	128.4	177.4	161.9	152.2	134.0	127.0	118.0	113.5

ตารางที่ 33 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 3 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

feed	AA6063													AA7075											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
50	58.9	55.6	59.4	61.2	177.2	174.1	148.6	153.9	166.1	140.1	174.7	183.8	162.0	165.0	159.0	151.0	122.0	142.9	131.9	149.6	170.1	175.0	152.0	137.0	133.0
100	58.8	62.8	61.7	59.0	64.0	65.7	61.5	58.9	63.9	158.4	150.6	158.8	161.0	160.0	180.0	168.7	186.0	170.8	165.9	166.1	154.6	160.0	157.0	141.0	147.4
160	60.2	64.5	63.9	68.5	63.1	60.5	64.3	65.0	177.7	169.4	194.1	184.1	175.0	178.0	177.0	181.0	179.0	171.6	159.0	181.4	164.5	152.0	144.0	146.0	144.7



ชื่อ-นามสกุล	นายวิชัย พุ่มจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤศจิกายน 2516
ที่อยู่	39/6 ซ.หมู่บ้านทางรถไฟฝั่งตะวันตก ต.หัวหิน อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อ พ.ศ.2540
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2540 – ปัจจุบัน
	- อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบ แม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

-วิชัย พุ่มจันทร์ ,กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2551. การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน. การประชุมวิชาการข่ายการวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2551. ขอนแก่น. ประเทศไทย.

-วิชัย พุ่มจันทร์. 2554. อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมการเสียดทานแบบกวนต่ออลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075. การประชุมวิชาการข่ายการวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554. พัทยา. ประเทศไทย.

-วิชัย พุ่มจันทร์ .2553. อิทธิพลของความเร็วยรอบที่มีต่อการกะเทาะเปลือกและคัดแยกเมล็ดสบูดำ.การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการแห่งชาติ 2010. กรุงเทพฯ. ประเทศไทย

-วิชัย พุ่มจันทร์. 2554. เครื่องมือสำหรับงานเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 . พัทยา. ประเทศไทย

-วิชัย พุ่มจันทร์. 2554. หลักการเบื้องต้นของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน.วารสารการเชื่อมไทย. ฉบับที่ 54 . หน้า 5-10.

- วิชัย พุ่มจันทร์. 2554.การประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องกะเทาะ และ คัดแยกเมล็ดสบูดำ. การประชุมวิชาการข่ายการวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554. พัทยา. ประเทศไทย.

-Wichai Pumchan. 2010. The Influences of the Friction Stir Welding on the Microstructure and Hardness of Aluminum 6063 and 7075. International Conference on Advanced Materials Engineering. Singapore.