

การเชื่อมอลูมิเนียม AA 6063 และอลูมิเนียม AA 7075
โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

JOINING OF AA 6063 AND AA 7075 ALUMINUM ALLOY
BY FRICTION STIR WELDING

วิชัย พุ่มจันทร์

WICHAI PUMCHAN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2553

การเชื่อมอคูมึเนียม AA 6063 และอคูมึเนียม AA 7075
โดยการเชื่อมด้วยการเลียดทานแบบกวน

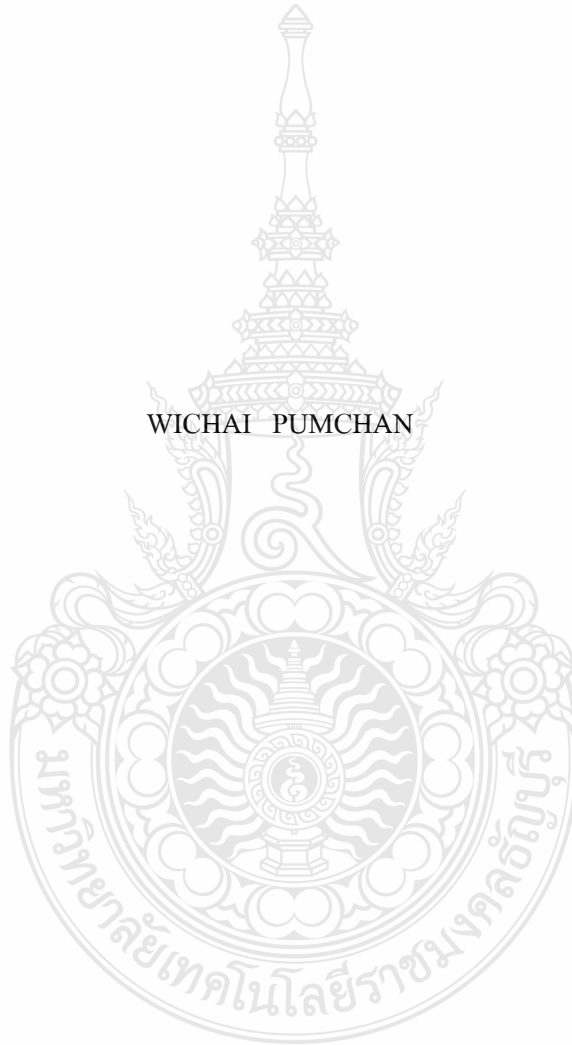
วึชัย พุ่มจันทร



วึทยานึพนันนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึษาตามหลักสูตรปริญญาวึศวกรรมศาสตรมหาบัณัฑิต
สาขาวิชาวึศวกรรมการผลิต ภาควึชาวึศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวึศวกรรมศาสตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมณฑลชัยบุรี
พ.ศ. 2553

**JOINING OF AA 6063 AND AA 7075 ALUMINUM ALLOY
BY FRICTION STIR WELDING**

WICHAI PUMCHAN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN MANUFACTURING ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า



นายวิชัย พุ่มจันทร์



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเชื่อมอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ด้วยการเชื่อม
การเสียดทานแบบกวน

JOINING OF AA 6063 AND AA 7075 ALUMINUM ALLOY BY
FRICTION STIR WELDING

ชื่อนักศึกษา

นายวิชัย พุ่มจันทร์

รหัสประจำตัว

115170440109-0

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

วัน เดือน ปี ที่สอบ

7 มีนาคม 2553

สถานที่สอบ

ห้อง E 405 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร. สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล)

..... กรรมการ

(ดร. ศิริชัย ต่อสกุล)

..... กรรมการ

(ดร. พิสุทธิ อาคม)

..... กรรมการ

(ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรคม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเชื่อมอลูมิเนียม AA 6063 และอลูมิเนียม AA 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน
นักศึกษา	นายวิชัย พุ่มจันทร์
รหัสประจำตัว	115170440109-0
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
ปีการศึกษา	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

บทคัดย่อ

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นโดย สถาบันงานเชื่อมของประเทศไทย เพื่อทำการเชื่อมวัสดุที่เชื่อมแบบหลอมละลายได้ยาก เช่น อลูมิเนียม ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยและการประยุกต์ ในอลูมิเนียมเกรดต่างๆ แต่ยังไม่มียานวิจัยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน กับอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ทำให้ผู้วิจัยสนใจการทำจะทำการวิจัยนี้

ในการวิจัยใช้เครื่องมือเชื่อมแบบทรงกระบอกเกลียวขวา M6x1 ในการเชื่อมเครื่องมือจะหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำการเอียงเครื่องมือ 0, 2 และ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000, 1600 และ 2000 รอบต่อนาที และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมในตัวแปรต่างๆ ทำการสังเกตจุดบกพร่องบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ทำการตรวจสอบความต้านทานแรงดึง ทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน และตรวจสอบความแข็งของรอยเชื่อม

ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า ความเร็วรอบเครื่องมือ การเอียงเครื่องมือและอัตราความเร็วเดินเชื่อมสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม โครงสร้างมหภาคในแนวเชื่อมของชิ้นงานที่สมบูรณ์ มีการรวมตัวของเนื้อวัสดุได้ดี แต่ไม่แสดงลักษณะที่คล้ายหัวหอมเหมือนกับการเชื่อมวัสดุเดียวกัน สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง การเอียงเครื่องมือที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในการทดสอบความแข็งพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที เอียงเครื่องมือ 2 องศา ให้ค่าความแข็งสูงสุด 185 HV

คำสำคัญ : การเชื่อม, การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, อลูมิเนียม, อลูมิเนียมผสม 6063, อลูมิเนียมผสม 7075, ความต้านทานแรงดึง, การทดสอบความแข็ง

Thesis Title : JOINING OF AA 6063 AND AA 7075 ALUMINUM ALLOY
BY FRICTION STIR WELDING

Student Name : Mr. Wichai Pumchan

Student ID : 115170440109-0

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Manufacturing Engineering

Academic Year : 2009

Thesis Advisor : Dr. Kittipong Kimapong

ABSTRACT

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, 2 and 4 degree. The rotation speeds of the tools were 1000, 1600 and 2000 rpm. The welding speeds were 50, 100, 160 and 200 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 4° , 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 2° .

Keywords: Welding, Friction Stir Welding, Aluminum, Aluminum Alloy 6063, Aluminum Alloy 7075, Tensile Strength, Hardness Test.

กิตติกรรมประกาศ

การทดลองในครั้งนี้ ผู้ทำการทดลองขอขอบพระคุณ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล และ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการแก้ไขปัญหา อันเป็นประโยชน์ต่องานทดลองนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคในการเตรียมชิ้นทดสอบและ อาจารย์คมกริช ละวรรณวงษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม การออกแบบแม่พิมพ์ ที่ให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุ ทุกท่าน ที่สนับสนุน ร่วมคิดร่วมสร้าง จนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

วิชัย พุ่มจันทร์

7 มีนาคม 2553



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม	14
3.2 กระบวนการเชื่อมด้วยการเลียดทานแบบกวนและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	20
3.3 การทดสอบรอยเชื่อม	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	25
4.1 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	25
4.2 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	40
4.3 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 4 องศา ที่มีต่อแนวเชื่อม	55
4.4 ผลสรุปการเอียงเครื่องมือ	71
4.5 ผลสรุปตัวแปรความเร็วรอบ	73
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	75
5.1 สรุปผล	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	79
ก ผลการทดลอง	80
ข ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่	94
ประวัติผู้เขียน	102



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการจำแนกชนิดของอคูมิเนียมตามระบบตัวเลข	4
2.2 อคูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน AA6063	5
2.3 อคูมิเนียมผสมสังกะสี AA7075	6
3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง	7



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเครื่องมือ	7
2.2 ลักษณะการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	7
2.3 ขั้นตอนทดสอบแรงดึง	9
2.4 ลักษณะหัวกดเพชรรูปพีระมิด มุม 136 องศา	9
2.5 ลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ	10
2.6 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ	10
2.7 ลักษณะลำแสงสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยายทำให้เกิดโครงสร้างของชิ้นตรวจสอบ	11
2.8 ลักษณะการหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน	11
2.9 ลักษณะแนวทางการจัดชิ้นงานตรวจสอบเป็นตาราง	12
3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์	15
3.2 แผนภาพการไหลกระบวนการทดลอง	16
3.3 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ	17
3.4 ลักษณะการวางแบบรอยต่อชน	17
3.5 รูปแบบของการจัดวางชิ้นงาน	18
3.6 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ทำการเชื่อม	19
3.7 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW	19
3.8 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	21
3.9 ลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึง	21
3.10 การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค	22
3.11 เครื่องขัดโครงสร้าง	23
3.12 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	23
4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	25
4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	26
4.3 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	26
4.4 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	27
4.5 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	28
4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	30
4.8 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	31
4.9 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	31
4.10 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	32
4.11 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	33
4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที	34
4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	35
4.14 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	36
4.15 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	36
4.16 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	37
4.17 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	38
4.18 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	39
4.19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	40
4.20 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	41
4.21 ขนาดจุดบกพร่องของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	41
4.22 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	42
4.23 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	43
4.24 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	44
4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	45
4.26 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	46
4.27 ขนาดจุดบกพร่องของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	46
4.28 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	48
4.30 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	49
4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	50
4.32 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อ นาที	51
4.33 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	51
4.34 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	52
4.35 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	53
4.36 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	54
4.37 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	55
4.38 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อ นาที	56
4.39 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	57
4.40 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	57
4.40 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที (ต่อ)	58
4.41 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที	59
4.42 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที	60
4.43 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	61
4.44 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อ นาที	62
4.45 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	62
4.46 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	63
4.47 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที	64
4.48 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตรา ความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	66
4.50 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	67
4.51 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	67
4.52 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	68
4.53 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที	69
4.54 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที	70
4.55 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา	71
4.56 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 2 องศา	71
4.57 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 4 องศา	72
4.58 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	73
4.59 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที	73
4.60 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อลูมิเนียม เป็นวัสดุที่มีกระทำการเชื่อมได้ยาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมด้วยกระบวนการทางความร้อน (Fusion Weld) ซึ่งได้แก่กระบวนการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) หรือเรียกว่า การเชื่อม MIG และกระบวนการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ซึ่งเรียกว่า การเชื่อม TIG ซึ่งกระบวนการเชื่อมเหล่านี้ต้องใช้ช่างฝีมือผู้ชำนาญงาน และอีกทั้งระหว่าง การเชื่อมยังมีการแผ่รังสีบางชนิด รวมถึงควันพิษระหว่างการหลอมละลายของอลูมิเนียมเป็นอันตราย ต่อผู้ปฏิบัติงาน [1]

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่คิดค้นโดย TWI (The Welding Institute) ของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีของอังกฤษในปี ค.ศ.1991[2] ในปัจจุบันมีงานวิจัยและการนำไปประยุกต์ใช้ FSW ในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรดต่างๆ มากมาย เช่น การศึกษาอิทธิพลของรูปร่างตัวกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนของอลูมิเนียม AA 6063-T1 [3] ศึกษาเครื่องมือในการเชื่อมที่มีลักษณะทรงกระบอกคดโค้งและตัดตรงที่มีผลต่อสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063-T6 [4] ขนาดของบ่าและขนาดของเครื่องมือเชื่อมก็ได้มีการศึกษาในอลูมิเนียมผสมเกรด AA6061 [5] สำหรับการประยุกต์ใช้ในลักษณะอื่นๆ เป็นการเชื่อมในอลูมิเนียมผสมต่างเกรด ซึ่งมีการเชื่อมในอลูมิเนียมผสมระหว่างเกรด EN AW 2024-0 และ EN AW 5754-H22 [6] การศึกษาสมบัติทางกลของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA 2024 และ AA 7075 [7] เป็นต้น การศึกษาเหล่านี้ได้มีรายงานความแข็งแรงของรอยต่อชน มีค่าสูงกว่าอลูมิเนียมที่ใช้เป็นวัสดุในการเชื่อม อย่างไรก็ตามในกรณีของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และ AA 7075 ยังไม่เคยมีรายงานไว้และเป็นฐานข้อมูลในการวิจัย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในการประยุกต์ใช้การเชื่อมการเสียดทานแบบกวน ในการเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่างเกรดกันนี้

สำหรับหลักการเชื่อมการเสียดทานเบื้องต้น คือการสอดเครื่องมือเข้าไปในรอยต่อ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการบ่งชี้ความแข็งแรงของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของเครื่องมือ ก็เป็นตัวแปรที่สำคัญเช่นกัน ที่ผ่านมามีการออกแบบเครื่องมือหลายแบบเพื่อทำการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม เช่น การออกแบบขนาดและรูปร่างของเครื่องมือ ที่ทำให้อลูมิเนียมผสมเกรด AA 6061 เชื่อมต่อกันได้ดีและเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ [5] การใช้เครื่องมือลักษณะเป็นเกลียวแบบวนขวา (Right Screw) ทำให้อลูมิเนียม 2024-T3 สามารถรวมตัวกับอลูมิเนียม 7075-T6 ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น [8] ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด AA 6063 และ AA 7075 ด้วยการเชื่อมการเสียดทานแบบกวน และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และสมบัติ

ทางกลของแนวเชื่อมเพื่อเตรียมข้อมูลในการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์วิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเชื่อมความเสียดทานแบบกวนที่มีต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม อลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075

1.2.2 ทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรง ของการเชื่อมความเสียดทานแบบ กวน อลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบเสียดทานอลูมิเนียมผสม AA6063 และ AA7075 ในท่า ราบเป็นเส้นตรง ด้วยเครื่องกัด

1.3.2 ทำการเชื่อมบนอลูมิเนียมผสม AA6063 และ AA7075 กำหนดให้ชิ้นงานทดลองมีขนาด 75x150x6.4 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นทดลองสองชิ้นมาต่อชนกันและทำการเชื่อม

1.3.3 ทำการเชื่อมด้วย สลักแกนหมุนแบบหัวทรงกลีวยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า 18 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักแกนหมุนโต 6 มิลลิเมตร

1.3.4 ความเร็วรอบของสลักแกนหมุนโดยทดลองที่ 1000, 1600 และ 2000 รอบต่อนาที

1.3.5 อัตราความเร็วเดินเชื่อมโดยทดลองที่ 50 -200 มิลลิเมตรต่อนาที

1.3.6 เียงมุมของเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม 0, 2 และ 4 องศา

1.3.7 ศึกษาและทดสอบหาสมบัติทางกลของแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง

1.3.8 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเพื่อเป็นพื้นฐานในการทำการวิจัยต่อไป

1.4.2 ทำให้ทราบถึงตัวแปรการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อกลสมบัติของงานเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

1.4.3 เพิ่มทางเลือกในการเชื่อมที่สามารถใช้งานได้ตรงตามความต้องการ

1.4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ

2.1.1 อลูมิเนียม (Aluminum) [9]

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) อลูมิเนียมมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

สมบัติทางไฟฟ้า

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

สมบัติทางฟิสิกส์

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| - หมายเลขอะตอม | 13 |
| - น้ำหนักอะตอม | 26.97 |
| - วาเลนซ์ | 3 |
| - โครงสร้างผลึก | f.c.c |
| - มิตของแลตทิซ | 4.049 °A |
| - ความหนาแน่นที่ 20°C | 2.6989 g/mm ³ |
| - จุดหลอมเหลว | 660.2 °C |
| - จุดเดือด | 2450 °C |
| - การหดรัดแข็งตัว | 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 °A | 86-87 % |
| แสง 10000 °A | 96 % |
| - สี | ขาวเงิน |

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

ตัวเลขหลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุด ในการแสดงกลุ่มของอลูมิเนียมผสม ซึ่งมี อยู่ 8 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.1 เช่น 1XXX แทน โลหะที่มีอลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99% โดยน้ำหนัก เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 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 ส่วนผสมของ โลหะ ให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม เช่น ตัวเลข 0 แสดงว่า เป็นโลหะผสมดั้งเดิม ส่วนตัวเลข 1-9 แสดงว่า เป็นโลหะที่ผสมเข้าไปเปลี่ยนแปลงจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่ สองคือ 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 มีนิเกิล(Ni)ผสมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สาม และ สี่ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่ม เดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หมายเลข 2014 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 14 (4.4%Cu , 0.8%Si , 0.8%Mn , 0.4%Mg) และ หมายเลข 2017 ตัวเลข หลักที่สามและสี่คือ 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 2.2 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน AA6063 [10]

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 um/m.K		
ปริมาตร			69x10 ⁻⁶ m ³ /m ³ .K		
สมบัติทางกล					
Temper	Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear strength(MPa)
O	90	48	-	25	69
T1	152	90	20	42	97
T4	172	90	22	-	-
T5	186	145	12	60	117
T6	241	214	9	82	152

ตารางที่ 2.3 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				68x10 ⁻⁶ m ³ /m ³ .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	-	-	-		

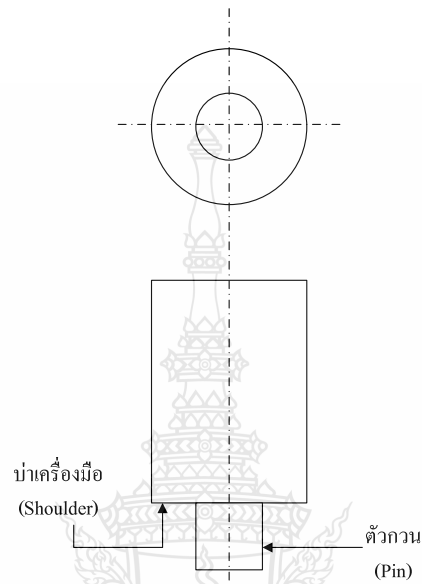
2.1.2 กระบวนการเชื่อม

ก. เครื่องมือ (Tool)

เครื่องมือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับการเชื่อมด้วยความเสียดทานเพราะเป็นตัวกลางในการเสียดสีเพื่อให้เกิดความร้อนขึ้นระหว่างชิ้นงานสองชิ้น ดังนั้นเครื่องมือต้องทนความร้อนสูงกว่าโลหะชิ้นงานเชื่อม และมีความสามารถในการต้านทานแรงอัดและแรงเฉือนสูงเนื่องจากเครื่องมือต้องได้รับแรงอัดและแรงเฉือนในขณะที่ทำการเชื่อมตลอดเวลา

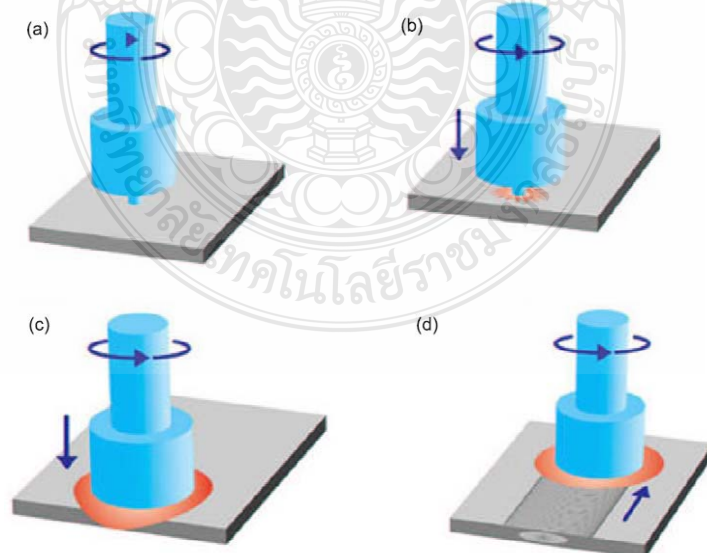
ลักษณะของเครื่องมือจากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมา มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลมโดยมีปากของเครื่องมือ (Tool Shoulder) เป็นตัวสัมผัสกับผิวชิ้นงานด้านบน และมีตัวกวน (Pin) ที่เข้าไปอยู่ในเนื้อของชิ้นงานทำให้เกิดการเสียดสีของวัตถุ

ลักษณะของแกนหมุนที่นิยมใช้อยู่ 3 ลักษณะ คือ แบบเป็นทรงกระบอกกลมหน้าตัดฉากแบบทรงกระบอกตรงหน้าตัดโค้งและแบบเป็นเกลียว ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมายังปรากฏว่าเครื่องมือลักษณะแบบเป็นเกลียวมีความสามารถในการเชื่อมดีกว่า [3]



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องมือ

ข. ลักษณะการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [11]

ค. อธิบายขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เครื่องมือที่กำลังหมุนลงไปในชิ้นงานที่วางแบบรอยต่อชนด้วยความเร็วรอบ (n) โดยจุดศูนย์กลางของตัวกวนจะตรงกับศูนย์กลางของชิ้นงานแบบรอยต่อชนแสดงในรูปที่ 2.2 (a)

ขั้นตอนที่ 2 ตัวกวนสอดลงไปใ้เนื้อวัสดุจนกระทั่งปลายของตัวกวนถูกสอดเข้าไปในระยะความลึกที่กำหนดแสดงในรูปที่ 2.2 (b)

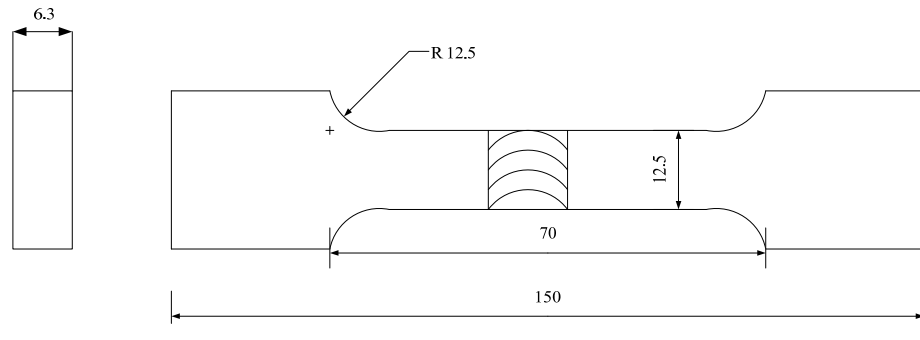
ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวตัวกวน และบ่าเครื่องมือจะทำให้เกิดความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว และเกิดการเคลื่อนที่ไหลวนรอบตัวกวน ดังรูปที่ 2.2 (c)

ขั้นตอนที่ 4 เดินเชื่อมตามอัตราเดินเชื่อมที่กำหนด การรวมตัวของวัสดุจะเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.2 (d) และทำให้เกิดรอยต่อขึ้น

2.1.5 การทดสอบ [9]

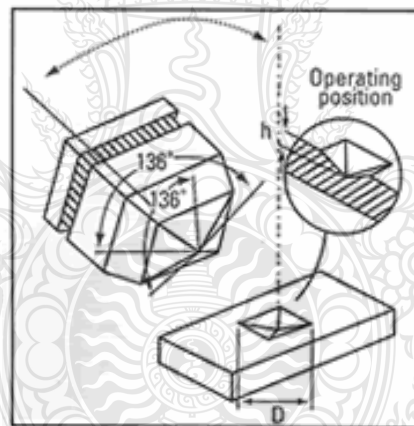
ก. การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมากเพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่น ให้ผลเกี่ยวกับ ความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไ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

- **ชิ้นทดสอบ (Specimens)** ชิ้นทดสอบโดยการดึงนั้น จะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบคือ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นได้ สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะส่วนมาก จะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดวงกลม หรืออาจจะเตรียมให้พื้นที่ภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้



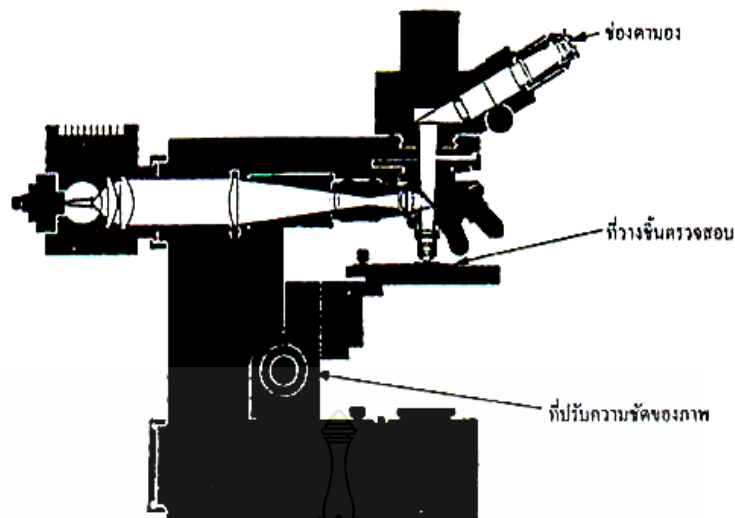
รูปที่ 2.3 ชิ้นทดสอบแรงดึง (หน่วย: มิลลิเมตร) [12]

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 แสดงดังรูปที่ 2.4



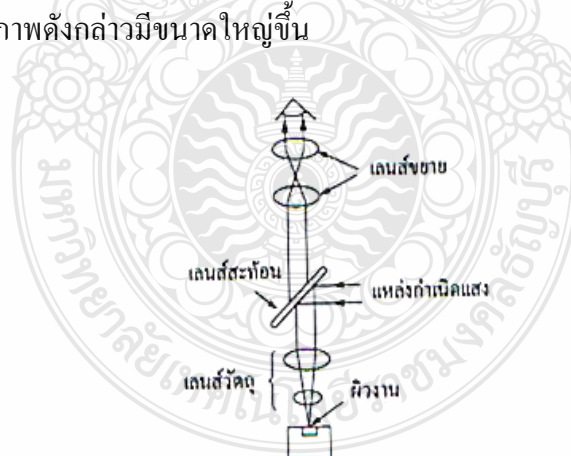
รูปที่ 2.4 ลักษณะหัวกดเพชรรูปพีระมิด มุม 136 องศา [13]

ค. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังการขยายสูงถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2000 เท่า



รูปที่ 2.5 ลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ [14]

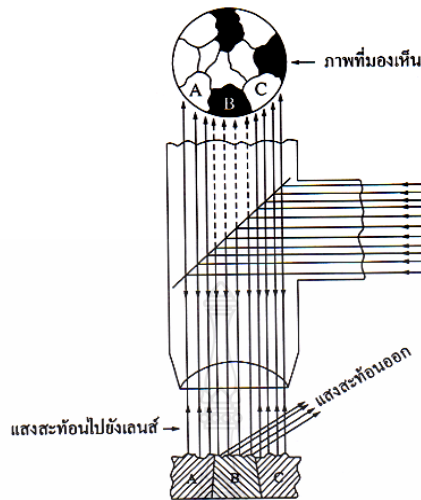
- หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์นั้นจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใดก็ตาม โดยมีหลักการทำงานด้วยการปล่อยแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังชิ้นตรวจสอบทำให้แสงที่ตกกระทบลงบนผิวงานที่เรียบและตั้งฉากกับลำแสงจะสะท้อนแสงได้ดีกว่า โดยแสงจะสะท้อนเข้าไปยังเลนขยาย (Eye Piece) และเข้าสู่สายตาผู้ตรวจสอบทำให้เห็นภาพดังกล่าวมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบที่ใช้ลำแสงจากหลอดไฟ [14]

แต่ถ้าลำแสงจากจุดกำเนิดแสงตกกระทบลงบนผิวงานที่ไม่เรียบและตั้งฉากกับลำแสง การสะท้อนจะไม่ดีเท่าที่ควร โดยจะมีแสงบางส่วนสะท้อนกลับไปยังเลนส์ขยายและเข้าสู่สายตาผู้

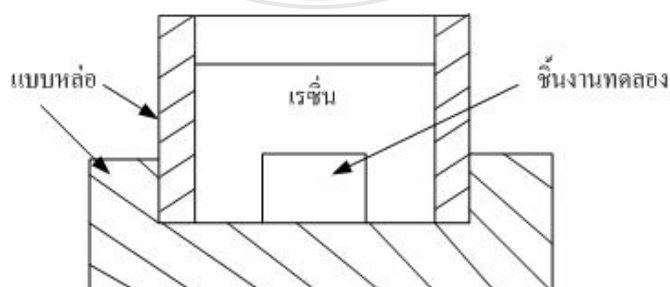
ตรวจสอบหรือในบางครั้งอาจไม่มีการสะท้อนเข้าสายตาผู้ตรวจสอบเลย จึงทำให้ผู้ตรวจสอบเห็นเป็นสีดำ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะลำแสงสะท้อนกลับไปยังแกนสลายทำให้เกิดโครงสร้างของชั้นตรวจสอบ [14]

- การเตรียมชั้นตรวจสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคนั้นควรตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดดังกล่าวต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดการผิดพลาด

สำหรับขนาดของชั้นตรวจสอบควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร หรือ 1 นิ้ว และความสูงไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด $25 \times 25 \times 20$ มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้อย่างง่าย แต่ถ้าชั้นตรวจสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรจะหุ้มชั้นตรวจสอบด้วยเรซินโดยให้หน้าตัดของชั้นตรวจสอบอยู่ภายนอกเรซินและขนาดของเรซินนั้นก็ควรมีขนาดใกล้เคียงกับชั้นตรวจสอบ



รูปที่ 2.8 ลักษณะการหุ้มชั้นตรวจสอบด้วยเรซิน

หลังจากได้ชิ้นตรวจสอบที่มีขนาดตามต้องการแล้วจะต้องดำเนินการขั้นต่อไป เพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ ขั้นตอนในลำดับต่อไปนั้นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การขัดผิวชิ้นตรวจสอบ ควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 220, 320, 400 และจัดจนถึงเบอร์ 600 ตามลำดับ ในการขัด ควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทราย ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผง โลหะ และซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทราย แผ่นต่อไปควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย



รูปที่ 2.9 ลักษณะแนวทางการขัดชิ้นงานตรวจสอบเป็นตาราง [14]

อนึ่ง การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณ ไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาด

- การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) หรืออาจจะใช้กากเพชรขัดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งแรงสูงมากโดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน
- การขัดด้วยผงขัดนี้จะต้องขัดบนจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาดโดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน
- การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกลงไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กจะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมแอลกอฮอล์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 K. Elangovan and V. Balasubramanian [5] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของตัวกวนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าตัวกวน กับอุณหภูมิผสม AA6061 ด้วยการเชื่อมแบบการเสียดทานแบบกวน สำหรับรูปร่างตัวกวนที่ใช้เป็น แบบทรงกระบอก แบบเกลียววนขวา แบบทรงกรวย แบบทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ แบบทรงสามเหลี่ยม ตัวแปรคงที่เป็นความเร็วในการกวน 1,200 รอบต่อนาที และ อัตราเร็วเดินเชื่อม 1.25 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าตัวกวนและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกวน 2.5 ,3.0 และ 3.5 เท่า สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกวนขนาด 6 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าตัวกวน 15, 18 และ 21 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าที่ขนาดบ่าตัวกวนขนาด 18 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกวนเท่ากับ 3 เท่า ในทุกรูปร่างของตัวกวนทำให้เกิดความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมมากที่สุด และรูปร่างตัวกวนรูปทรงสี่เหลี่ยมทำให้เกิดความแข็งแรงที่แนวเชื่อมวัดได้ 88 VHN และทรงกระบอกให้ความแข็งแรงต่ำสุดที่ 60 VHN

2.2.2 ธงชัย เครือเพื่อ [15] ได้นำเสนอการเชื่อมอลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง A356 ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน กระทำการเชื่อมโดยใช้ตัวกวนทรงกระบอก และแบบทรงสี่เหลี่ยม ตัวแปรความเร็วรอบคงที่คือ 1,750 รอบต่อนาที และทำการแปรเปลี่ยนอัตราเร็วเดินเชื่อม และทำการเอียงมุมตัวกวน 3 องศา พบว่า บริเวณแนวเชื่อมมีโครงสร้างที่ละเอียด และที่อัตราเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ของทรงกระบอก บริเวณแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องทางด้านล่างของแนวเชื่อมตลอดความยาวเดินเชื่อม ค่าความแข็งแรงของการใช้ตัวกวนทั้งสองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

2.2.3 อนุชา ขวัญสุข และสมนึก วัฒนศรีกุล [16] ศึกษากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ด้วยการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมผสม AA6063-T1 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยใช้ตัวกวนทรงกระบอกผิวเรียบกับตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียว ตัวแปรคงที่ส่วนความเร็วตัวกวน 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที เอียงเครื่องมือเชื่อม 3 องศา พบว่า ตัวกวนทรงกระบอกผิวเรียบให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุดโดยมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ประมาณ 163 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียวให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุดโดยมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ประมาณ 169 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2.2.4 P. CAVALIERE ,E. CERRI [17] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมการเสียดทานแบบกวน โดยการใช้วัสดุ AA 2024 กับ AA7075 ซึ่งเป็นอลูมิเนียมเกรดต่างกัน ในการเชื่อมใช้ขนาดตัวกวน 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางบ่า 20 มิลลิเมตร ตัวกวนเอียงมุม 3 องศา ความเร็วในการกวน 700 รอบต่อนาที และอัตราเร็วเดินเชื่อม 2.67 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อโลหะผสมทั้งสองผ่านกรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนแล้ว ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 442 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ที่ 6%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้วางแผนการดำเนินการเพื่อ ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติของอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยนำรอยเชื่อมมา ศึกษาสมบัติทางกล ด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) และตรวจสอบโครงสร้างมหภาครอยเชื่อม ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ตรวจสอบข้อบกพร่องของรอยเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบลักษณะผลกระทบที่เกิดขึ้นพื้นที่ที่เกิดการเชื่อม โดยเนื้อหาสำคัญในการดำเนินการวิจัยจะกล่าวตั้งแต่การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การเลือกกระบวนการ การกำหนดตัวแปรการเชื่อมและการทดสอบสมบัติของรอยเชื่อม ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้จะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อได้ศึกษาหลักการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นอย่างดีพอสมควร ซึ่งรายละเอียดของการวางแผนการดำเนินงานโดยมีแผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และแผนภาพการไหลกระบวนการการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2

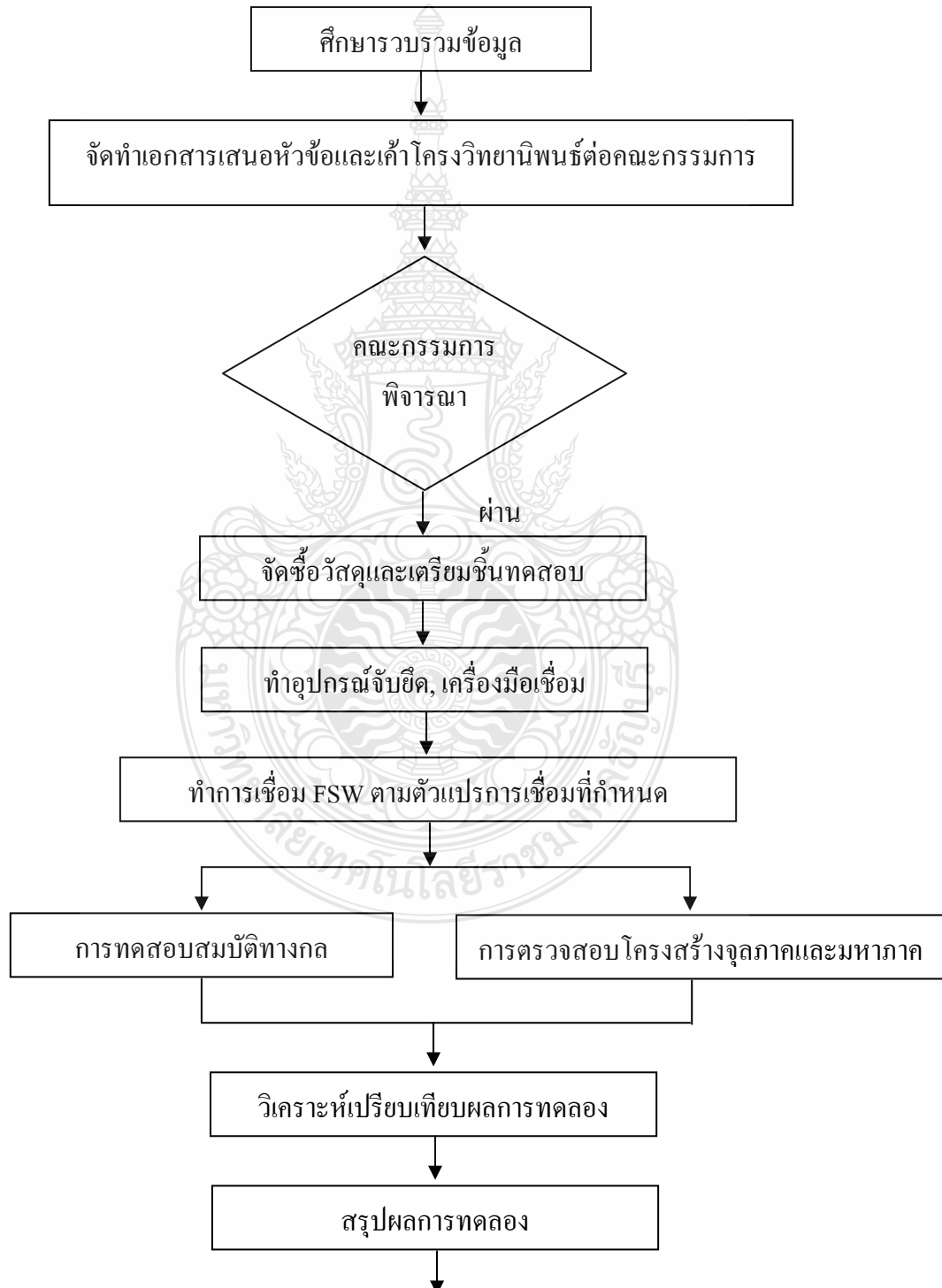
3.1 การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

3.1.1 วัสดุ

สำหรับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานเชื่อมเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ อลูมิเนียม AA6063 และอลูมิเนียม AA7075 แผ่นหนา 6.3 มม. ซึ่งในการเชื่อมรอยต่อระหว่างวัสดุทั้งสองนี้เป็นวัสดุที่มีการใช้มากในโครงสร้างเครื่องบิน เช่น บริเวณโครงสร้างกล่องที่เป็นปีก [18] โดยที่วัสดุทั้งสองได้แสดงส่วนผสมทางเคมีไว้ดังตารางที่ 3.1

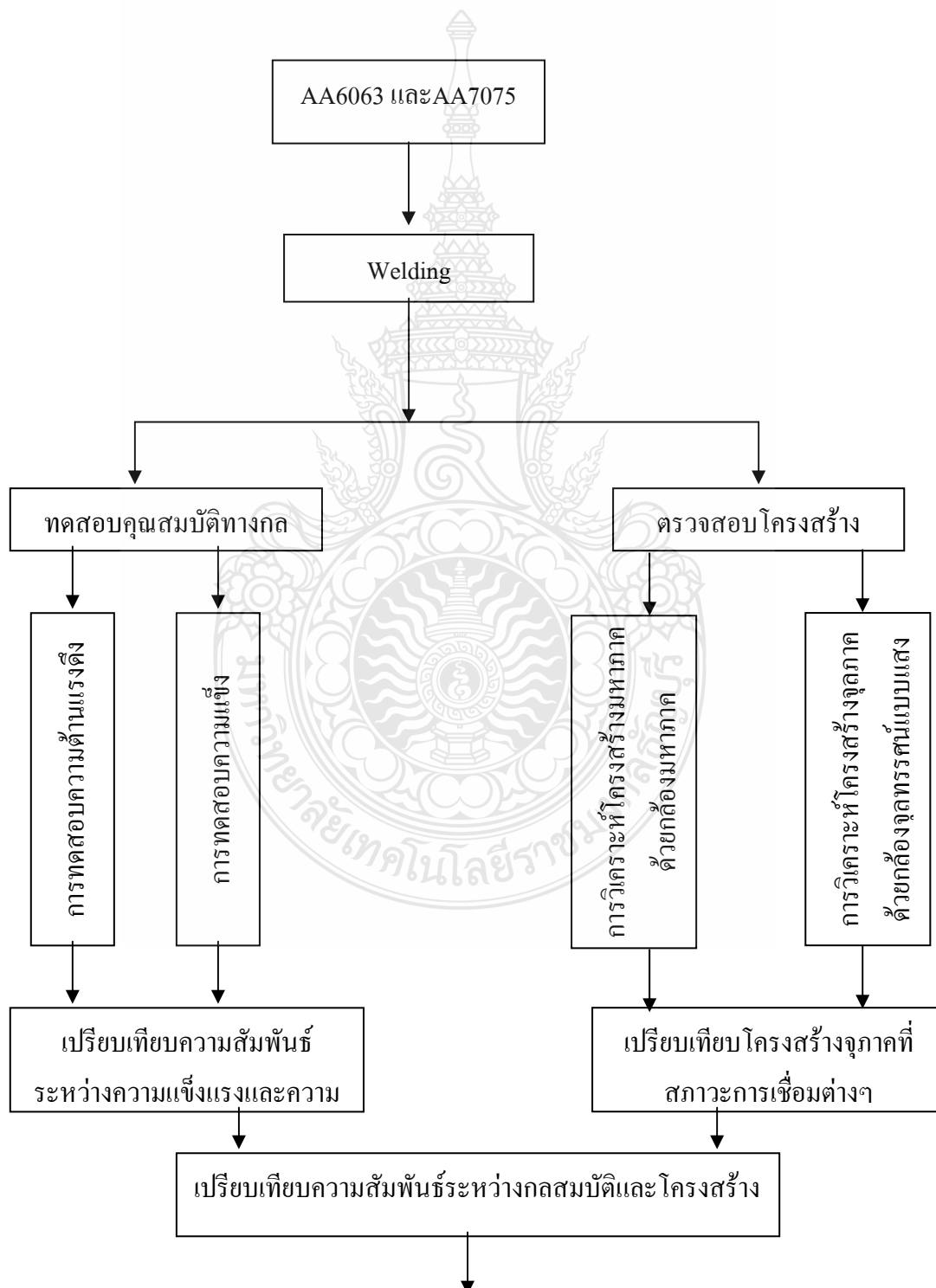
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง

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			



จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

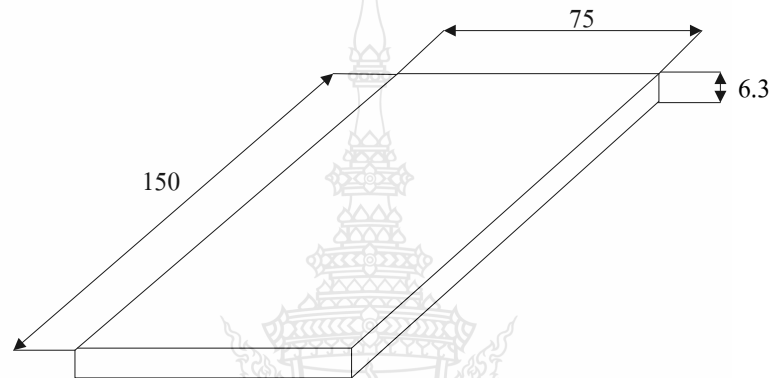
รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์



สรุปผลการทดลอง

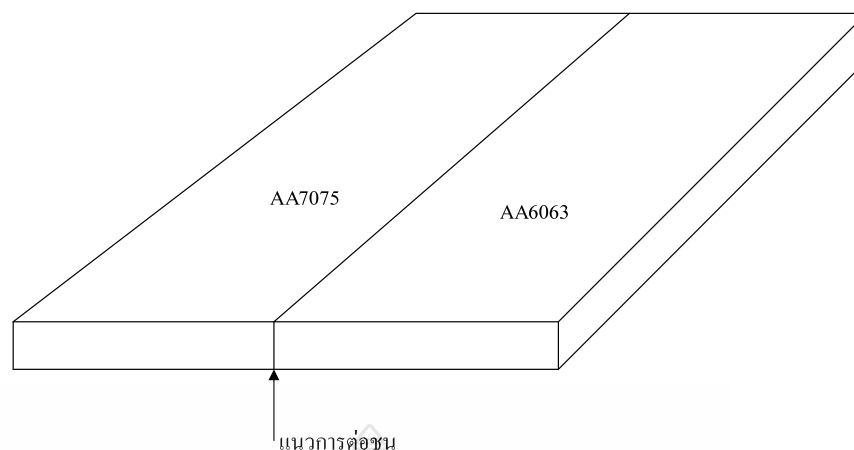
รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลกระบวนการการทดลอง

ในการเตรียมขนาดชิ้นทดสอบซึ่งต้องนำวัสดุมาตัดตามขนาดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ (หน่วย: มม.)

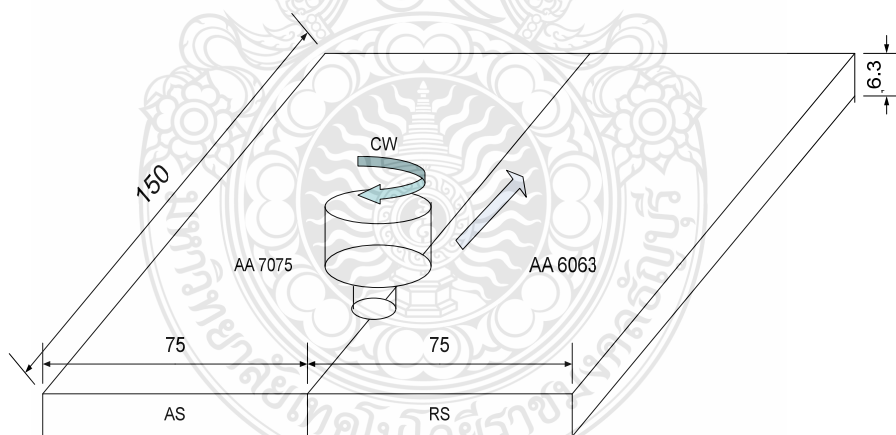
หลังจากที่ได้ขนาดของชิ้นทดสอบดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อม โดยการนำอะลูมิเนียมผสม 6063 และอะลูมิเนียมผสม 7075 มาตัดตามแนวขวางแนวรีดเพื่อไปทดสอบแรงดึงโดยผลการทดสอบทำให้ทราบว่า การตัดชิ้นงานขวางแนวรีดจะให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าตัดตามแนวรีด จึงได้มีการออกแบบและเตรียมชิ้นงานที่จะทำการเชื่อมโดยการตัดขวางแนวรีด [3] โดยตัดชิ้นงานความกว้าง 75 มิลลิเมตร และความยาว 150 มิลลิเมตร นำมาทำการขัดให้มีผิวเรียบและตั้งฉากโดยกระดาษทรายเบอร์ 240 และทำความสะอาดด้วยอะซิโตนซึ่งชิ้นทดสอบสำหรับการเชื่อม FSW ถูกนำมาวางต่อชนตามลักษณะการเชื่อมดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางแบบรอยต่อชน

3.1.2 การเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

ขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษารอยต่อชนขึ้นทดสอบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางขึ้นทดสอบในการศึกษา FSW ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ต่อไปนี้



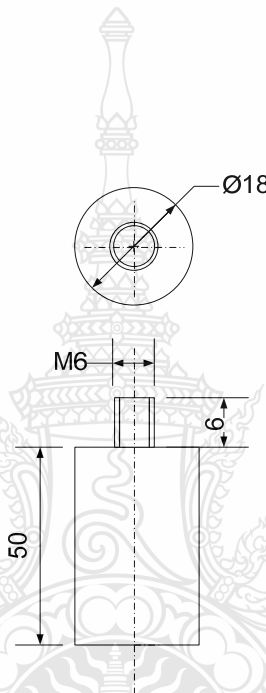
รูปที่ 3.4 รูปแบบของการจัดวางชิ้นงาน

สำหรับการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีดังนี้

ก. เครื่องมือเชื่อม

ในการออกแบบเครื่องมือเชื่อมโดยเฉพาะการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน รอยต่อชนนั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความหนาของวัสดุที่ถูกออกแบบให้วางทางด้านบนของ

รอยต่อ ทั้งนี้เพื่อให้ปลายของตัวกวน (Pin) สัมผัสที่บริเวณอินเทอร์เฟซของการเชื่อมได้อย่างเหมาะสม โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมมีปลายตัวกวนเป็นรูปทรงกระบอกเกลียว ทำจากด้ามจับของดอกกัด ถูกเตรียมให้มีมิติดังแสดงในภาพที่ 3.5 ตัวกวน (Pin) รูปทรงกระบอกเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง M6x0.8 มิลลิเมตร และบ่า (Shoulder) ของเครื่องมือเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 มีขนาดเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรง



รูปที่ 3.5 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ทำการเชื่อม

ข. อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ

เนื่องจากกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกดในการทดลองเชื่อม เพื่อให้ขึ้นทดสอบการเชื่อมถูกวางอยู่ในตำแหน่งเดียวกันทุกๆ ตัวอย่าง จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบการเชื่อมในลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่3.6 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW

อุปกรณ์จับยึดทั้งสองส่วนนี้จะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงพอสามารถรองรับแรงกดในขณะที่ทำการเชื่อมได้ดีโดยที่ไม่เกิดการเลื่อนตัวของชิ้นงานทดสอบ วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์จับยึดทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำขึ้นรูปให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นทดสอบ

3.2 กระบวนการเชื่อมด้วยการเลียดทานแบบกวน และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

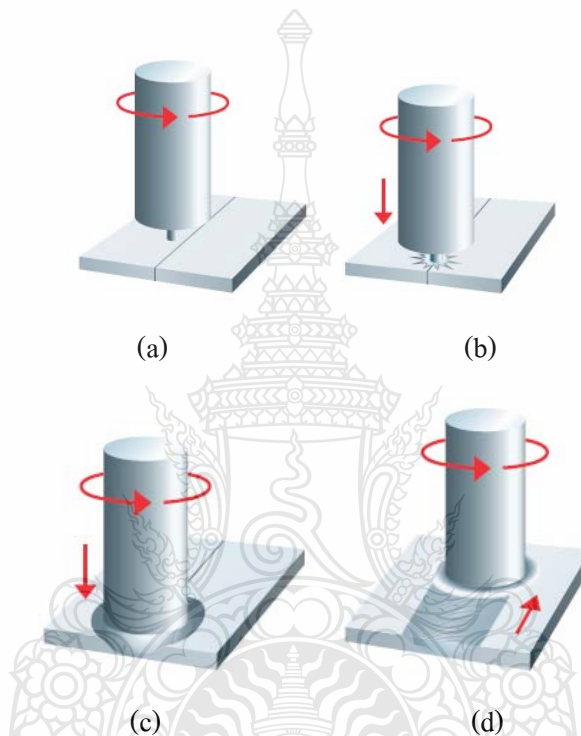
กระบวนการเชื่อม FSW เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัด (Milling Machine) ในการเชื่อม โดยจะควบคุมตัวแปรต่างๆ อันได้แก่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม ความเร็วรอบของเครื่องมือเชื่อม ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการติดตั้งเครื่องมือเชื่อมพร้อมด้วยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้ากับ Table ของเครื่องจักร เมื่อเตรียมองค์ประกอบของการเชื่อมพร้อมแล้วต่อจากนั้น ก็จะเริ่มต้นทำการเชื่อม FSW และทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 อันประกอบด้วย

- ความเร็วรอบตัวกวนที่ 1000, 1600 และ 2000 รอบ/นาที
- อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตร/นาที
- เอียงองศาตัวกวน 0, 2 และ 4 องศา

ซึ่งเหตุที่เลือกความเร็วรอบของตัวกวนที่ 1000 – 2000 รอบ/นาที และอัตราเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที นี้เนื่องจากศึกษางานวิจัยที่ลักษณะเดียวกันคือ การอธิบายลักษณะของการเชื่อมเลียดทานแบบกวนของอลูมิเนียม 2017-T351 ที่พบว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราเดินเชื่อมที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0-0.2 มิลลิเมตรต่อรอบเป็นสภาวะการเชื่อมที่ดี [19]

ในการเชื่อมจะให้อลูมิเนียมผสม 6063 อยู่ด้านขวามือและอลูมิเนียมผสม 7075 อยู่ด้านซ้ายมือในทุกๆการทดลองโดยหลักการในการเชื่อม FSW ประกอบด้วยขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.7 ตัวกวน

ที่หมุน แสดงใน รูปที่ 3.7 (a) จากนั้นตัวกวนสอดลงไปใ้เนื้อวัสดุจนกระทั่งปลายของตัวกวนถูกสอดเข้าไปในระะความลึกที่กำหนดแสดงในรูปที่ 3.7 (b) จากนั้นความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวตัวกวน และปาเครื่องมือจะทำให้เกิดความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว และเกิดการเคลื่อนที่ไหลวนรอบตัวกวนดังรูปที่ 3.7 (c) เค้นเชื่อมตามอัตราเดินเชื่อมที่กำหนด การรวมตัวของวัสดุจะเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.7 (d) และทำให้เกิดรอยต่อขึ้น



รูปที่ 3.7 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [20]

3.3 การทดสอบรอยเชื่อม

3.3.1 การทดสอบกลสมบัติของรอยเชื่อม

เมื่อทำการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์ ชิ้นงานเชื่อมจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.9 และชิ้นงานเชื่อมจะถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงดังตามมาตรฐาน การเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 [21] โดยทำการดึงรอยเชื่อมในลักษณะแรงดึง จนแนวเชื่อมขาดหรือหักออกจากกัน และวัดค่าแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 3.8 ลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึง

3.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม (Macrostructure)

การทดสอบโครงสร้างมหภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยการเลียดทานแบบกวนมา ทำการตัดแบ่งชิ้นงานส่วนที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โดยใช้เครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะที่ทำการตัด เพื่อศึกษาความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ซึ่งขั้นตอนกระทำโดยการ หล่อตัวเรือนอลูมิเนียมด้วยเรซิน จากนั้นนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทราย น้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1000 จากนั้นขัดมันด้วย ผ้าขัด เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวทำการกัดกรด ที่มีส่วนของกรดผสมประกอบด้วย น้ำกลั่น 55 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรฟลูอริก 30 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์ และกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการแช่ 8 ถึง 10 วินาที จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอล เป่าแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาถ่ายรูปโครงสร้างมหภาคและตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

3.3.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม (Microstructure)

การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ในขั้นตอนนี้ชิ้นงานตรวจสอบจะถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทำเรือน (Mounting) หุ้มชิ้นงานด้วยเรซิน ที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการจับถือและการเตรียมชิ้นงานในขั้นตอนการขัดคูโครงสร้างก็จะสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว



รูปที่ 3.9 การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค

หลังจากนั้นก็นำไปขัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ในการขัดควรขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1000 จากนั้นตามลำดับ และควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหน้าเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะ และซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดขึ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับเป็นแนวตั้งฉากตารางกับแนวเดิม [5] ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้าย จากนั้นจะนำไปขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) การขัดด้วยผงขัดนี้ จะทำบนเครื่องที่แสดงในรูปที่ 3.10 ที่มีจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน



รูปที่ 3.10 เครื่องขัดผิวโครงสร้าง



รูปที่ 3.11 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะนำไปกัดด้วยน้ำยา(Etching) Al ml ผสมด้วยน้ำกลั่น 100 ml และกรดไฮโดรฟลูออริก (40%) 0.5 ml ในเวลา 10-60 วินาที โดยน้ำยาจะกัดตามขอบเกรนรุนแรงกว่าส่วนอื่นเนื่องจากขอบเกรนเป็นส่วนที่บกพร่องที่สุด [22] ชิ้นตรวจสอบที่ถูกกัดด้วยน้ำยาเรียบร้อยแล้วไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยวางชิ้นตรวจสอบให้อยู่ตรงกลางบริเวณที่แสงผ่านและให้ลำกล้องเลื่อนมาอยู่ใกล้ชิ้นตรวจสอบมากที่สุด ลำแสงไฟที่ส่องผ่านตกกระทบกับผิวชิ้นทดสอบจะสะท้อนผ่านเลนส์วัตถุและเลนส์ตาของกล้องแล้วทำการบันทึกผลเพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์เปรียบเทียบพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดต่อไป

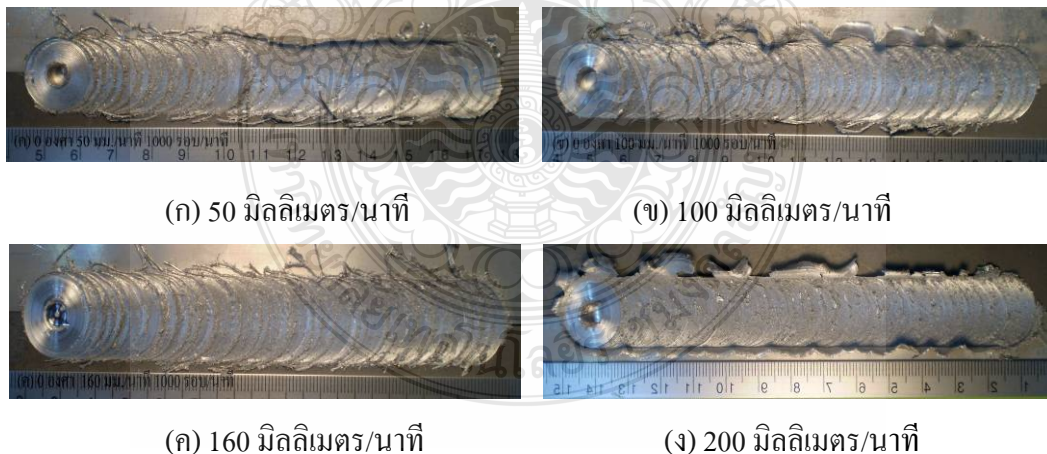
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

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

4.1 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

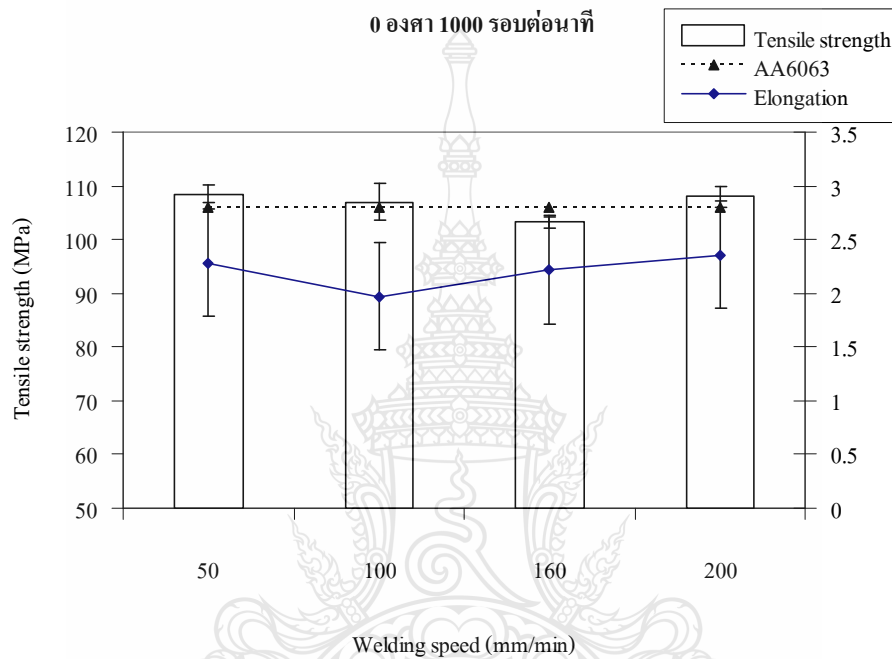
4.1.1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



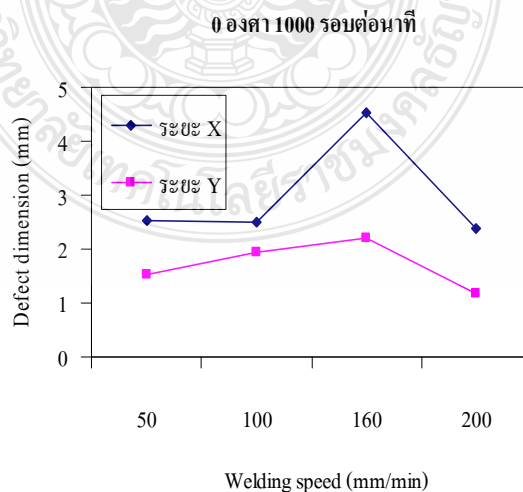
รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.1 แสดงผลจากการสังเกตผิวหน้าการเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 (ก)-(ง) ตามลำดับ สิ่งที่สังเกตได้ พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกความเร็วรอบมีลักษณะเป็นเกล็ด เป็นชั้นตามอัตราความเร็วเดินเชื่อม [24] และที่สังเกตได้อีกอย่างหนึ่งคือการเกิดครีป[5]ในทั้งสองวัสดุ

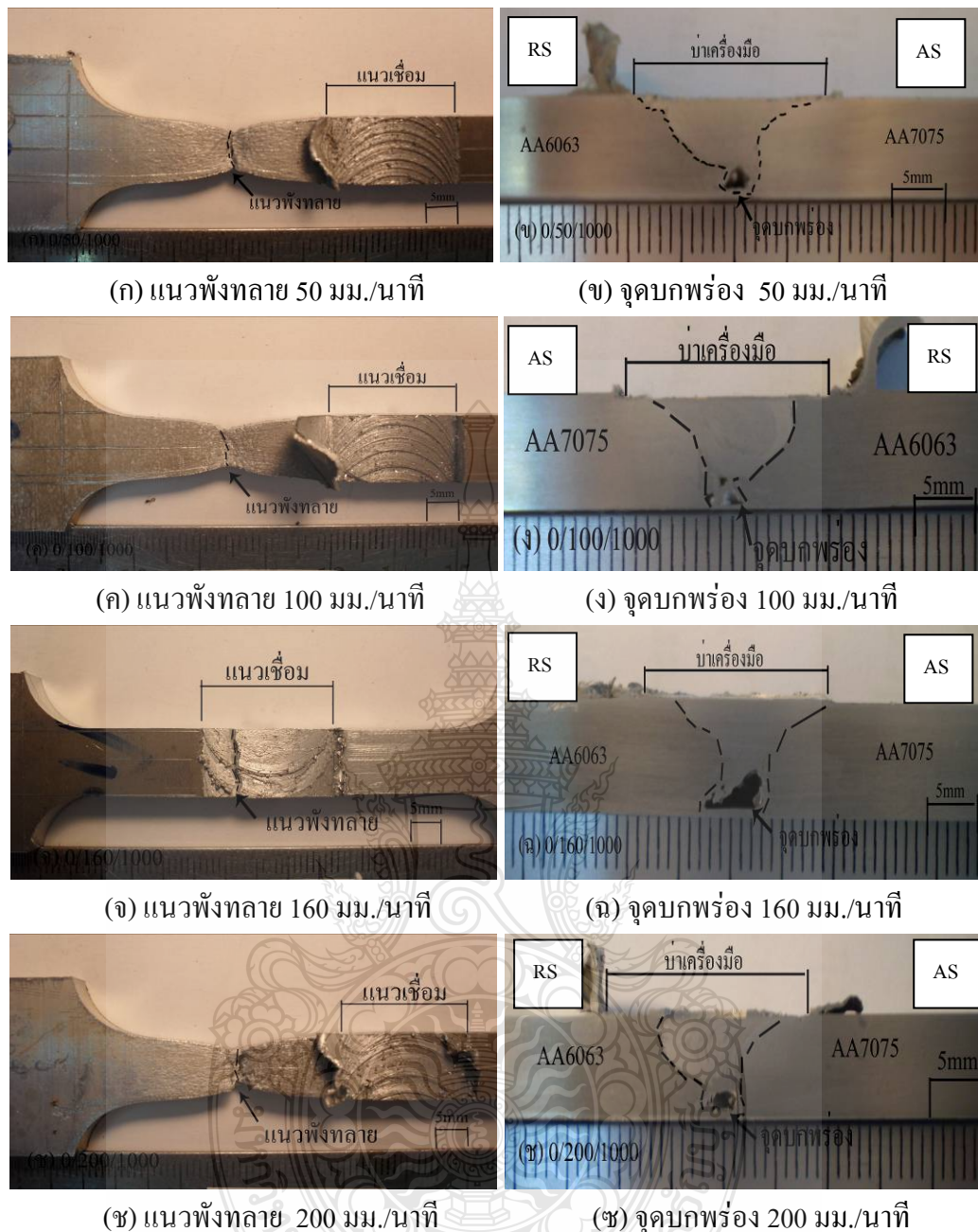
อลูมิเนียมที่ทำการเชื่อม ส่วนที่เป็นครีเกิดเป็นคม รูปที่ 4.1 (ข) ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที เกิดในด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งเป็นด้านรีทรีตติ้ง ซึ่งในบางงานวิจัย การเกิดครีปจะเกิดด้านรีทรีตติ้ง มากกว่าด้านแอควานซ์ ครีปที่เกิดขึ้นนี้ ผู้ทดลองคาดว่าเกิดจาก การกดอัดลงของบ่าเครื่องมือเข้าไปในชิ้นงานทดลอง เมื่อวัสดุอ่อนตัวไม่สามารถอัดลงไปส่วนด้านในได้หมด จึงดันออกด้านข้าง เกิดเป็นครีป และจะเกิดด้านที่วัสดุอ่อนกว่ามากกว่าด้านที่เป็นวัสดุแข็ง ซึ่งจะเกิดน้อยกว่า สำหรับจุดบกพร่องอื่น ไม่พบสำหรับทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือนี้



รูปที่ 4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



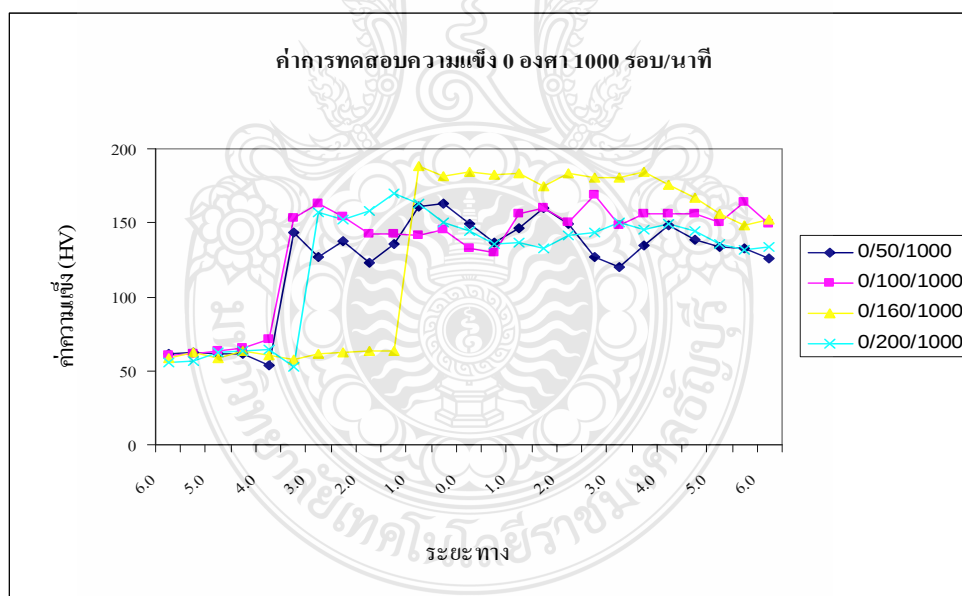
รูปที่ 4.3 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.4 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดงในรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาทีให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปทิศทางเดียวกับขนาดของการวัดขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมตามแกน X และ แกน Y พบว่า ขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาดวัดตามแนวแกน X ได้

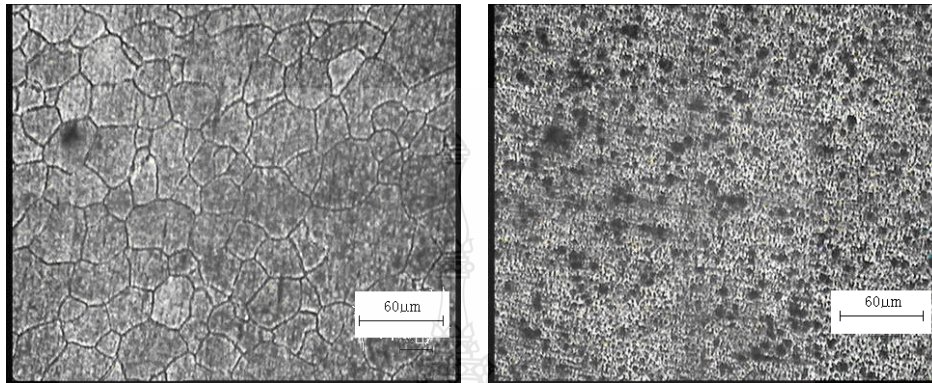
2.5 มิลลิเมตร และแกน Y ได้ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดที่ต่ำกว่าอัตราความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.3 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในอัตราความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ที่อัตราความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของความเร็วเครื่องมือที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งการที่ทำให้ผลของความต้านทานแรงดึงต่ำนี้คาดว่าเกิดจากขนาดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่ วัดจุดบกพร่องตามแนวแกน X ได้ 4.5 มิลลิเมตร และ แกน Y ได้ 2 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.3 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในอัตราความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ที่อัตราความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที จากขนาดของจุดที่เกิดขึ้นมีผลต่อการพังทลายของแนวเชื่อม ที่สังเกตได้ ที่ในทุกอัตราความเร็วรอบเกิดจุดบกพร่อง แต่เมื่อเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ไม่เกิดในส่วนของวัสดุหลัก จุดบกพร่องนี้ทำให้แนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ ซึ่งจากการสังเกตผลที่ได้ ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100 และ 200 มิลลิเมตร การพังทลายที่เกิดขึ้นจะเกิดที่เนื้อวัสดุหลัก ซึ่งเป็นเนื้อวัสดุอูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งตามสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงแล้ว มีน้อยกว่าอูมิเนียมผสม 7075 จึงมีผลทำให้เกิดพังทลายทางด้านอูมิเนียมผสม 6063



รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

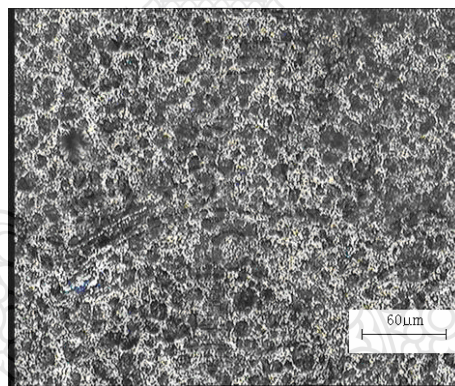
รูปที่ 4.5 แสดงผลของการทดสอบความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ การเอียงองศาเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมค่าความแข็งที่เกิดขึ้นให้ค่าที่สูง และมีแนวโน้ม

ต่ำลงเมื่อการวัดค่าความแข็งออกจากกึ่งกลางแนวเชื่อมมาทางด้านซ้ายมือ ซึ่งเป็นด้านอลูมิเนียมผสม 6063 และทางด้านขวามือเป็นอลูมิเนียมผสม 7075 จากรูปที่ 4.5 สังเกตได้ว่า ค่าความแข็งสูงสุดที่วัดได้บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าสูงสุดที่ 184 HV ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆ มีแนวโน้มขึ้นลงเท่าๆ กัน



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 5 เท่า รูปที่ 4.6 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีขนาดเกรน 69 ไมโครเมตรโตกว่าอลูมิเนียมผสม 7075 แสดงในรูปที่ 4.6 (ข) และบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.6 (ค) ซึ่งจากผลการทดสอบแรงดึงลักษณะการพังทลายของชิ้นงานทดลองทางด้าน อลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาดเกรนที่โตทำให้การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลักบริเวณดังกล่าว ส่วนทางด้านความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่แข็งกว่ามีขนาดเกรนที่เล็ก มีผลทำให้ได้ค่าความแข็งที่สูงและมีความแข็งแรง

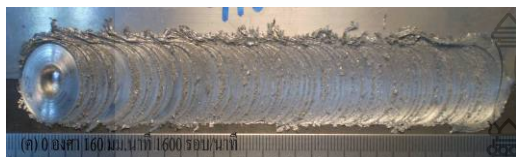
4.1.2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



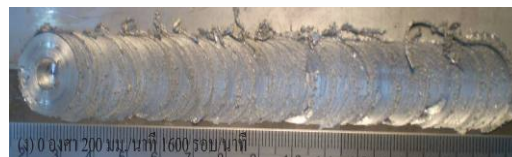
(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที



(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



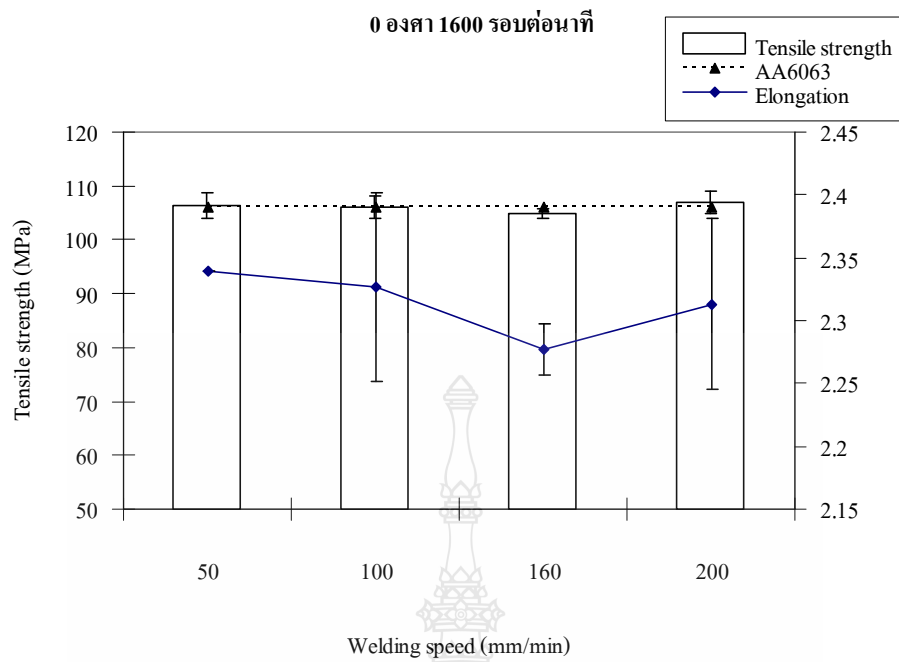
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที



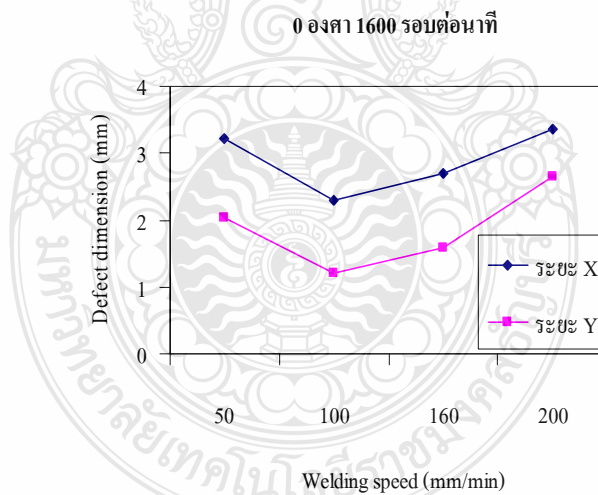
(ง) 200 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

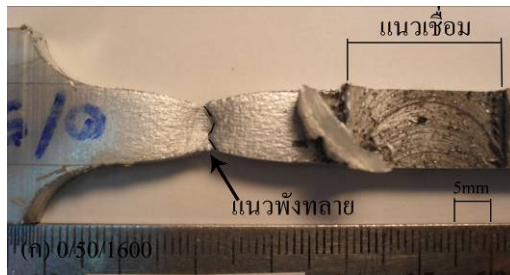
รูปที่ 4.7 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.7 (ก)-(ง) ตามลำดับ ผลที่สังเกตได้ว่าในทุกๆอัตราความเร็วเกิดเชื่อมมีลักษณะไม่เรียบเหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน แม้ว่าผิวหน้าแนวเชื่อมจะไม่เรียบแต่ก็ไม่เกิดจุดบกพร่องใดบนผิวหน้าแนวเชื่อม จากรูปที่ 4.7 (ก) และ รูปที่ 4.7 (ข) ชิ้นงานจะเกิดครีบกึ่งซึ่งเมื่อสังเกตใกล้จะมีลักษณะเป็นคม ไม่สามารถใช้มือดึงออกได้ ครีบกึ่งนี้เกิดขึ้นทางด้านรีทรีตซึ่งอยู่ทางด้านอนุเมนิยมผสม 6063 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าเกิดครีบกึ่งเช่นนี้เกิดจากการกดอัดของปากเครื่องมือขณะทำการเชื่อม และที่น่าสังเกตอีกอย่างคืออัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ คาดว่าทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุค่อนข้างสูงกว่าอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งความร้อนนี้ทำให้วัสดุอ่อนตัวมากเกินไปทำให้เกิดครีบกึ่ง [24] และเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ที่ 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ครีบกึ่งที่เกิดขึ้นลดลง และเกิดเป็นครีบกึ่งที่ไม่มีคมแต่เป็นเส้นเล็กๆ สามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าที่เกิดเช่นนี้ผลมาจากการกดอัดของปากและอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนที่เพียงพอจะทำให้เกิดครีบกึ่งซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ



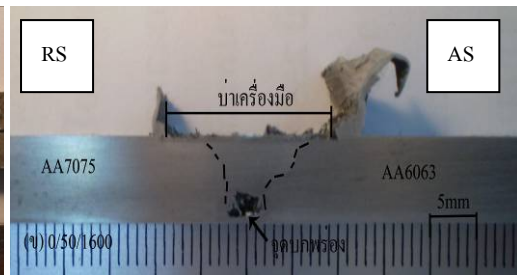
รูปที่ 4.8 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.9 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



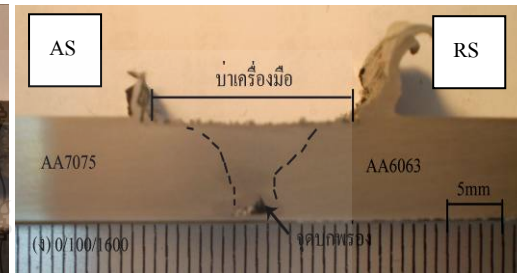
(ก) แนวฟังกทลาย 50 มม./นาที



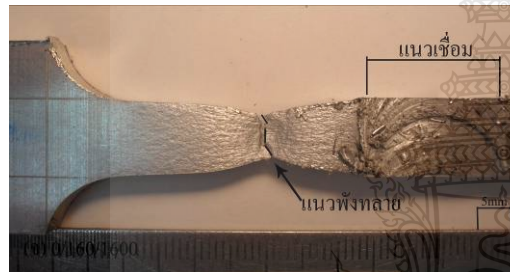
(ข) จุคบกพร่อง 50 มม./นาที



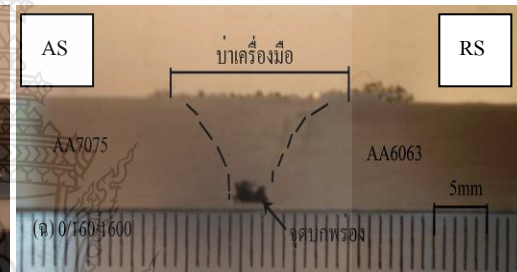
(ค) แนวฟังกทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุคบกพร่อง 100 มม./นาที



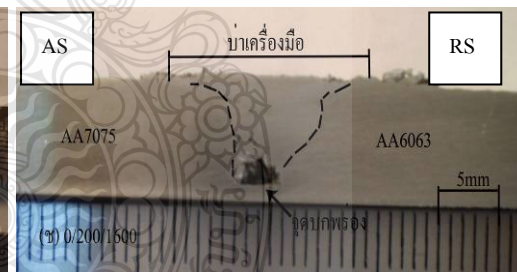
(จ) แนวฟังกทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุคบกพร่อง 160 มม./นาที



(ช) แนวฟังกทลาย 200 มม./นาที

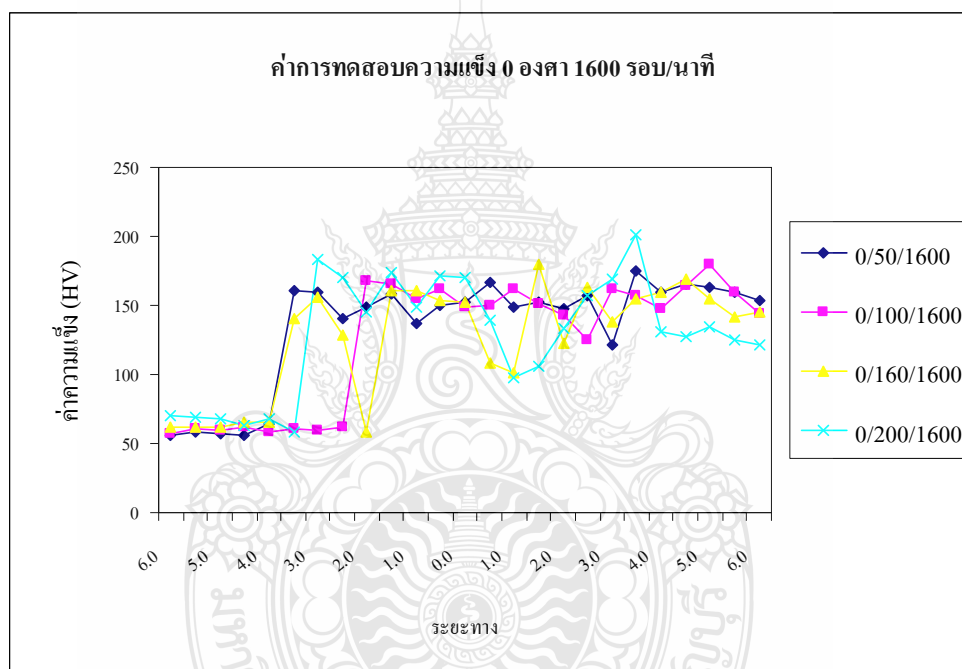


(ซ) จุคบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.10 การฟังกทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

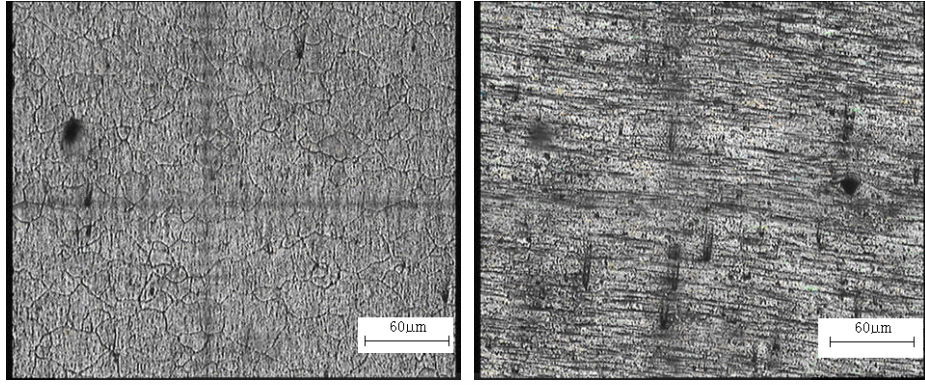
จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ ตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที ตัวแปรอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ จากค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้พบว่าที่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 107 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และต่ำสุดที่ ตัวแปรความเร็วเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อยู่ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที 104 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้ จากรูปที่ 4.8 นำมา เปรียบเทียบกับผลของโครงสร้างมหภาคภายในแนวเชื่อมและการฟังกทลายของชิ้นงานทดสอบความ

ด้านทานแรงดึง แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และจากรูปที่ 4.9 แสดงการวัดขนาดจุกบกพร่องของชิ้นงานทดลอง ตามแนวแกน X และ Y พบว่าการพังทลายของชิ้นงานในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมเกิดการพังทลายทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งจากการพังทลายนี้คาดว่าแนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึง มากกว่าวัสดุหลักที่เป็นอลูมิเนียม 6063 สำหรับผลทางด้านขนาดของจุกบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้น จุกบกพร่องที่มีขนาดสูงสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่วัดได้ตามแกน X ขนาด 3.5 วัดตามแกน Y ขนาด 2.5 มิลลิเมตร คาดว่าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นขนาดใหญ่นี้เกิดจากการเดินอัตราความเร็วเดินเชื่อมสูงเกินไปทำให้เนื้อวัสดุเข้าไปเติมเต็มในจุกบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ได้ ซึ่งจากผลการวัดขนาดของจุกบกพร่องที่ได้พบว่า ถ้าขนาดจุกบกพร่องขนาดไม่โตเกิน แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การพังทลายจะเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก



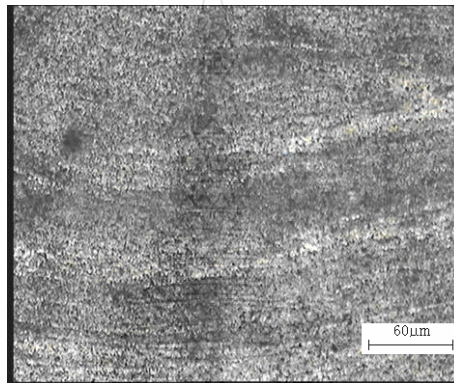
รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความแข็งของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าความแข็งที่บริเวณแนวกึ่งกลาง และบริเวณทางด้านซ้าย ทางด้านขวาของแนวเชื่อมมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ซึ่งถ้าสังเกตผลค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อไม่คำนึงถึงขนาดจุกบกพร่องที่ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อม ค่าความแข็งที่วัดได้สูงสุดเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดค่าความแข็งได้ 166 HV



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075

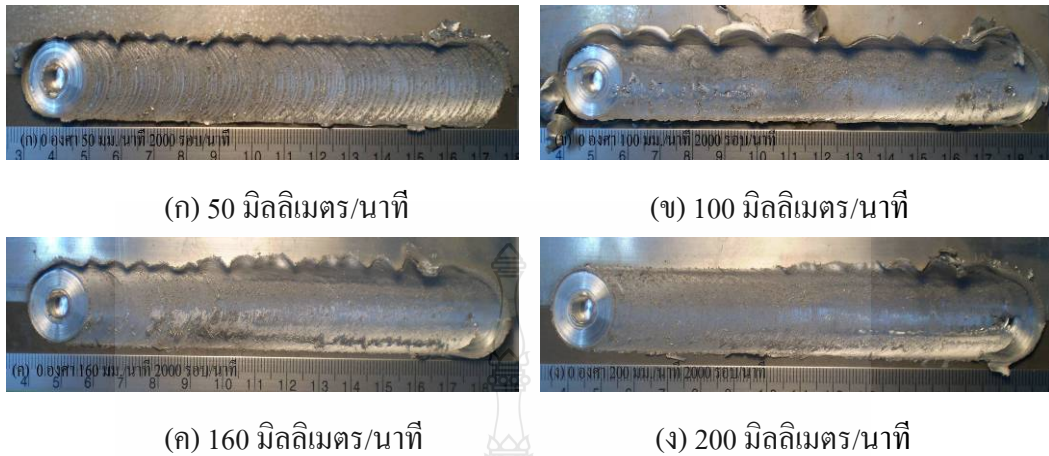


(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที

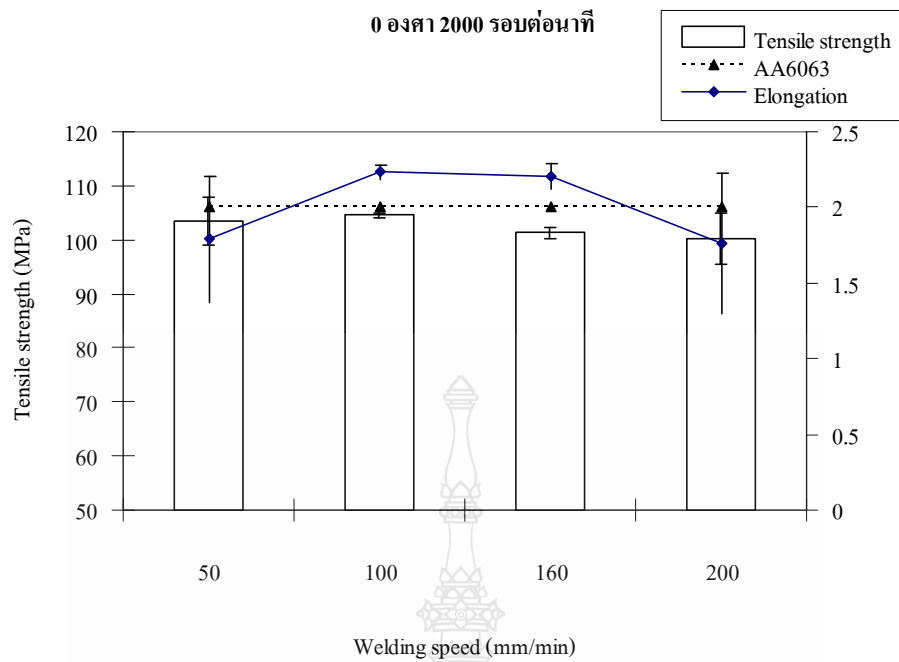
ผลของการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.12 (ก) อลูมิเนียมผสม 6063 (ข) อลูมิเนียมผสม 7075 (ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม จากการสังเกตพบว่าบริเวณวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาดเกรน 63 ไมโครเมตร มีขนาดที่โตกว่า อลูมิเนียมผสม 7075 และบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งมีผลทำให้การพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ ความต้านทานแรงดึง พังทลายบริเวณอลูมิเนียมผสม 6063 และการแสดงผลความความแข็งที่ต่ำ กว่าบริเวณแนวเชื่อม และอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโครงสร้างเกรนที่ละเอียด ทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง มีความต้านทานแรงดึงที่สูง

4.1.3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง

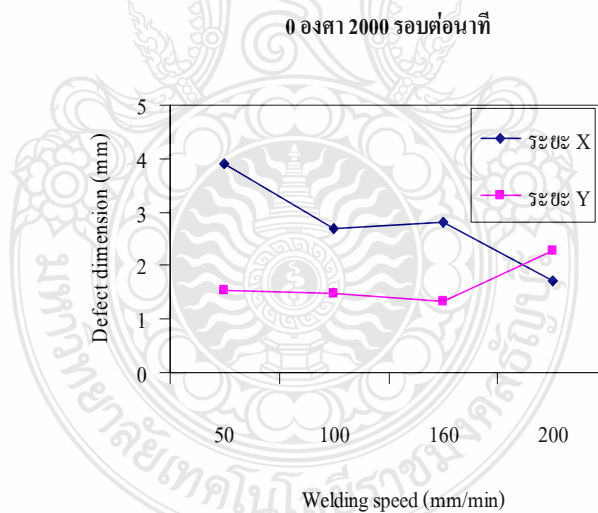


รูปที่ 4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

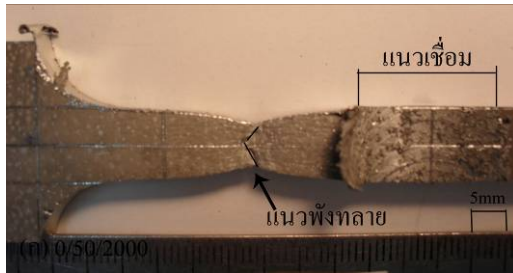
จากรูปที่ 4.13 เป็นรูปที่แสดงผลของผิวหน้าแนวเชื่อมที่ การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ตามรูปที่ 4.13 (ก)-(ง) ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดความเรียบเหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน และมีลักษณะเป็นเกล็ด [24] ส่วนนี้ผู้ทดลองคาดว่าผลจากสมบัติทางกลของวัสดุต่างกัน ทำให้เนื้อวัสดุไม่สามารถรวมกันทำให้เกิดผิวหน้าที่เรียบได้ จากการสังเกตจุดบกพร่องที่เพิ่มขึ้นบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ไม่ตรวจพบ แต่พบว่าบริเวณด้านข้างแนวเชื่อม ในทุกๆ อัตราความเร็วเดินเชื่อมมีลักษณะเป็นครีบคมเกิดขึ้น ซึ่งมีความแข็งแรงไม่สามารถใช้มือดึงออกได้ อยู่ทางด้านรีทรีตติ้ง ซึ่งเป็นด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ความสูงต่ำของครีบแตกต่างกัน คาดว่าเกิดจากการที่กดอัดบ่าของเครื่องมือเข้าไปในเนื้อวัสดุ เนื้อวัสดุไม่สามารถกลับลงไปเติมในแนวเชื่อมทำให้เกิดครีบ ในสภาวะนี้ อีกเหตุผลหนึ่งที่ผู้ทดลองคาดว่าเกิดลักษณะครีบขนาดใหญ่และมีคมเกิดจาก ความเร็วรอบเครื่องมือที่สูง ประกอบกับองศาเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ทำให้บ่าเครื่องมือสัมผัสกับชิ้นงานเต็มผิวสัมผัสของบ่า ทำให้เกิดความร้อน วัสดุเกิดการอ่อนตัว เกิดการกดอัดระหว่างการเดินเชื่อม ทำให้ดันเนื้อชิ้นงานทดลองออกจนเป็นครีบ แสดงดังรูปที่ 4.13 (ก)-(ง)



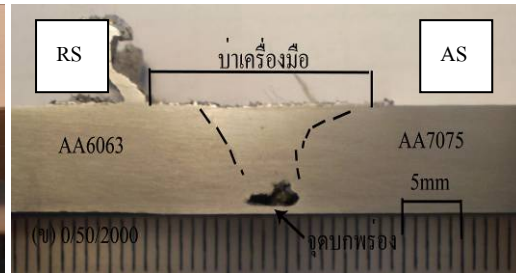
รูปที่ 4.14 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



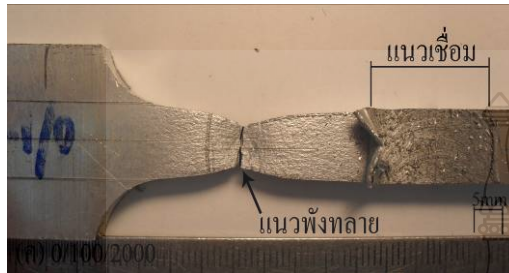
รูปที่ 4.15 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



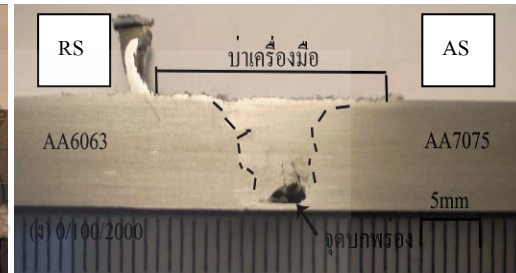
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที



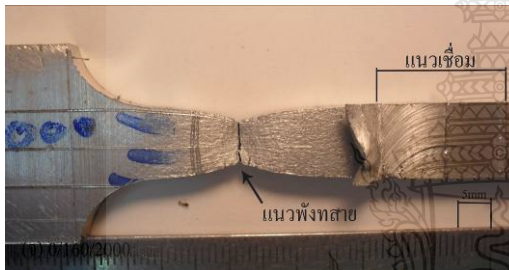
(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



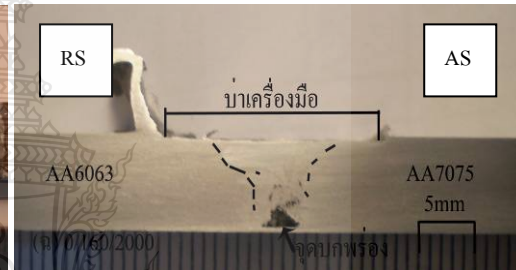
(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที



(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที



(ช) แนวพังทลาย 200 มม./นาที

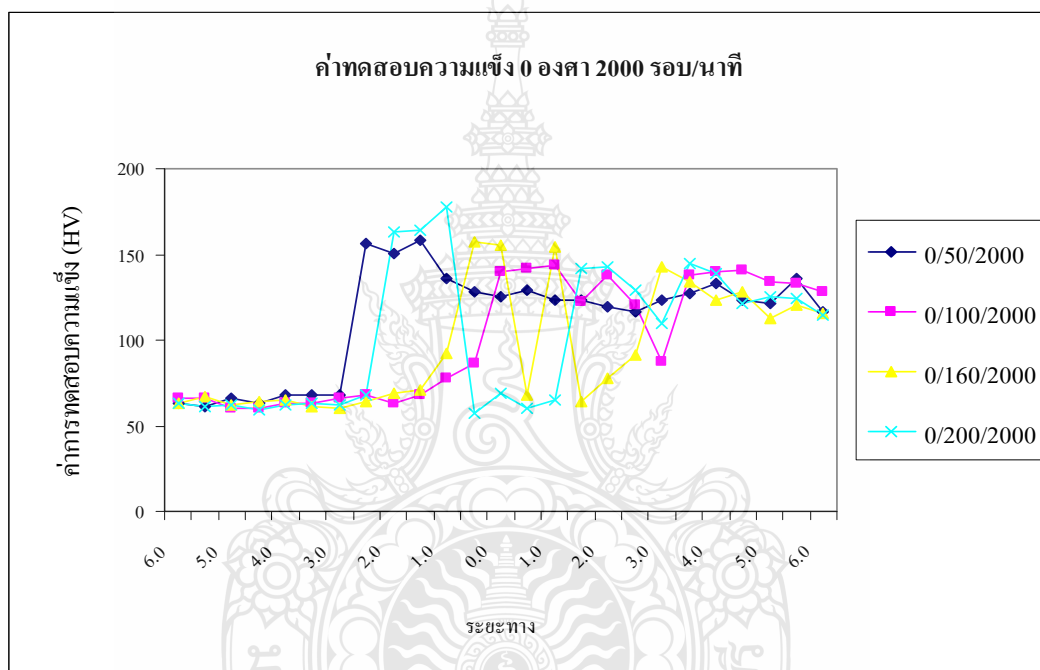


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.16 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ความต้านทานแรงดึง 104 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดของตัวแปรนี้ และที่ต่ำที่สุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที คือ 100 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลที่ได้สังเกตได้ว่าที่ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 200 รอบต่อนาที เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรือต่ำลงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับโครงสร้างมหภาค การพังทลายของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง

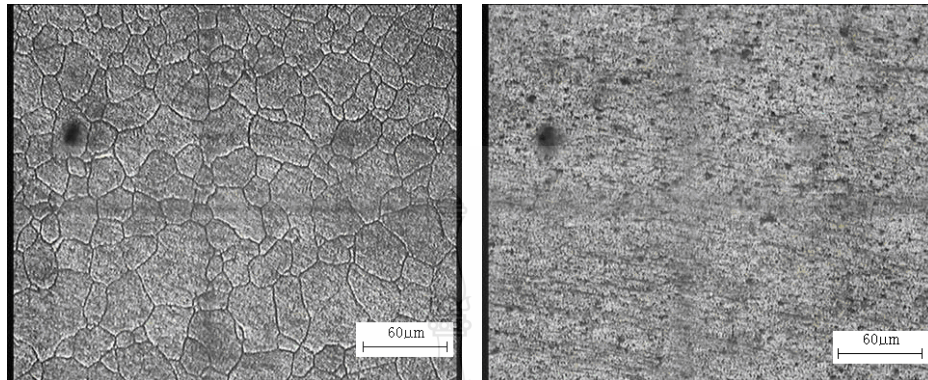
ดังรูปที่ 4.16 และ ขนาดของจุดบกพร่องที่วัดได้ตามแนวแกน X และ Y แสดงในรูปที่ 4.15 ขนาดจุดบกพร่องที่มีขนาดใหญ่เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดขนาดจุดบกพร่องตามแนวแกน X ได้ 4 มิลลิเมตร วัดขนาดจุดบกพร่องตามแนวแกน Y ได้ 1.5 มิลลิเมตร ถึงจะมีขนาดจุดบกพร่องขนาดใหญ่แต่ก็แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง ซึ่งสังเกตได้จากการพังทลายของแนวเชื่อม การพังทลายที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นที่วัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ ต่ำ และขนาดจุดบกพร่องที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดจุดอัตราเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผู้ทดลองคาดว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น มีการกระจายเป็นจุดเล็กๆ และจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอยู่สูงใกล้บริเวณผิวแนวเชื่อม ทำให้แนวเชื่อมเกิดความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ



รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

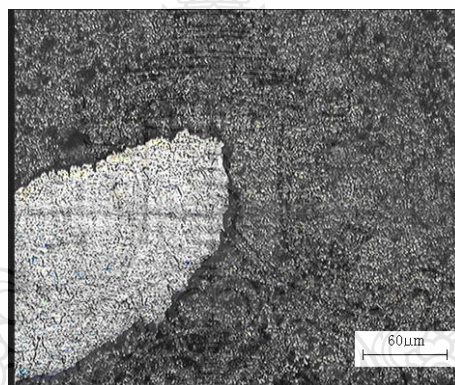
ผลการทดสอบค่าความแข็งแสดงได้ดัง รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าสูงสุดที่วัดได้บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม คือ 155 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากที่สังเกตในอัตราความเร็วเดินเชื่อมทั้งหมดความแข็งเริ่มต่ำที่ทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 เริ่มมาถึงระยะที่ 3 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางแนวเชื่อมค่าที่ได้มีแนวโน้มสูง และต่ำลงทางด้านขามือซึ่งเป็นด้านวัสดุอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าบริเวณแนวเชื่อมเกิดการรวมตัวกันของเนื้อวัสดุทั้งสอง ทำให้เกิดความแข็งเพิ่มขึ้น และมีบางส่วนต่ำลงเท่ากับวัสดุหลักทางด้านความแข็งที่ต่ำ อลูมิเนียมผสม 6063 ผู้ทดลองคาดว่าเนื้อวัสดุดังกล่าวเป็นของ

อลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งไม่สามารถรวมตัวกับอลูมิเนียมผสม 7075 ได้ ซึ่งถ้าอ้างถึงรูปร่างที่สมบูรณ์ เป็นลักษณะหัวหอมแล้วไม่เกิดกับการเชื่อมกับอลูมิเนียมทั้งสองนี้ ทำให้เกิดความแข็งได้ไม่เกิดเป็น ลักษณะมีแนวโน้มน



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



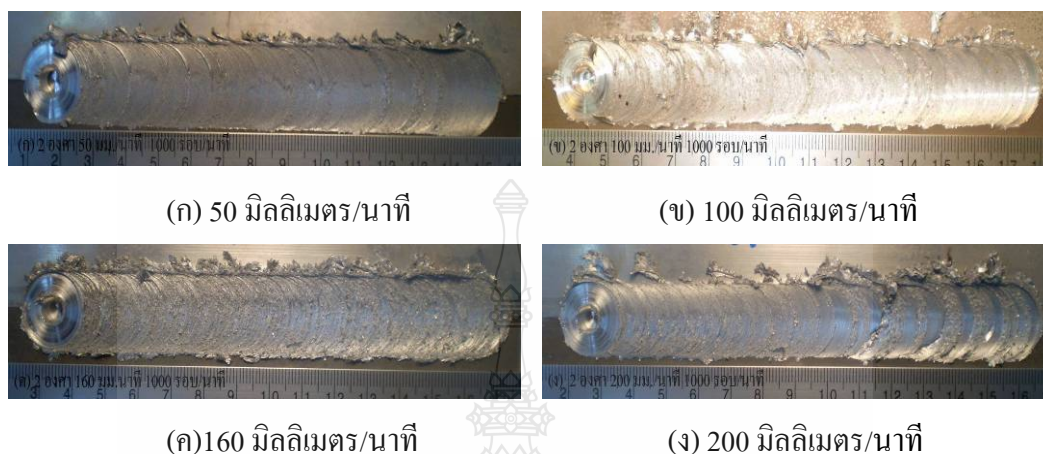
(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

โครงสร้างจุลภาคที่แสดงในรูปที่ 4.18 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 4.18 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 รูปที่ 4.18 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 และรูปที่ 4.18 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม จากการสังเกตจากรูปที่ 4.18 (ข) แล รูปที่ 4.18 (ค) จะสังเกตได้ว่าลักษณะของโครงสร้างมีความใกล้เคียงกันและมีโครงสร้างเกรนที่ละเอียด ซึ่งเมื่อเทียบผลการทดสอบความแข็งจะเห็นได้ว่าบริเวณดังกล่าวมีความแข็ง และความต้านทานแรงดึงที่สูง สำหรับรูปที่ 4.18 (ก) ซึ่งแสดงขนาดโครงสร้างเกรนที่โตของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดได้ 61 ไมโครเมตร มีผลทำให้มีความแข็ง และความแข็งแรงต่ำกว่าบริเวณแนวเชื่อม ทำให้การพังทลายเมื่อทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงทำให้ขาดบริเวณอลูมิเนียมผสม 6063

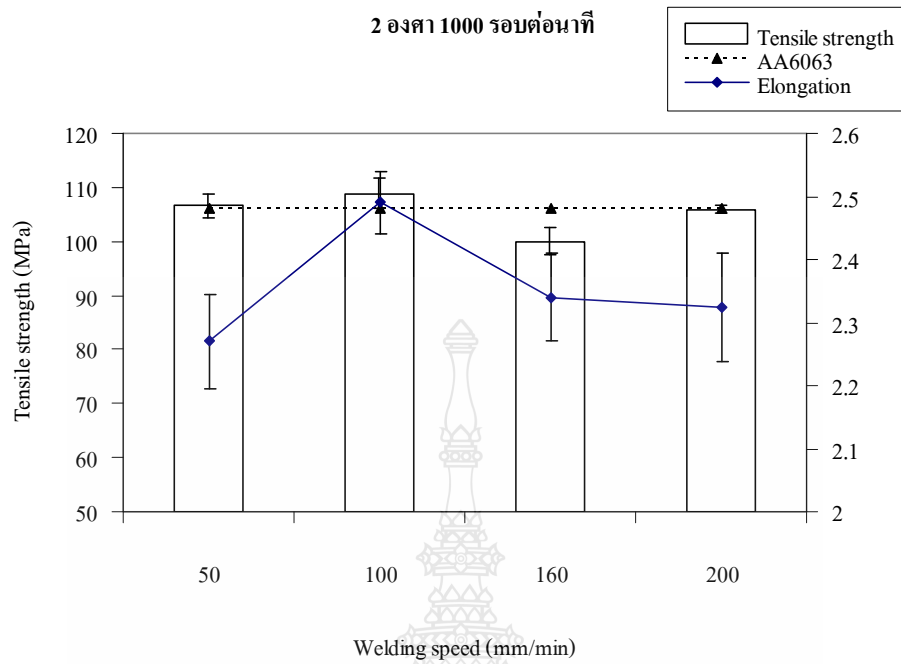
4.2 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

4.2.1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง

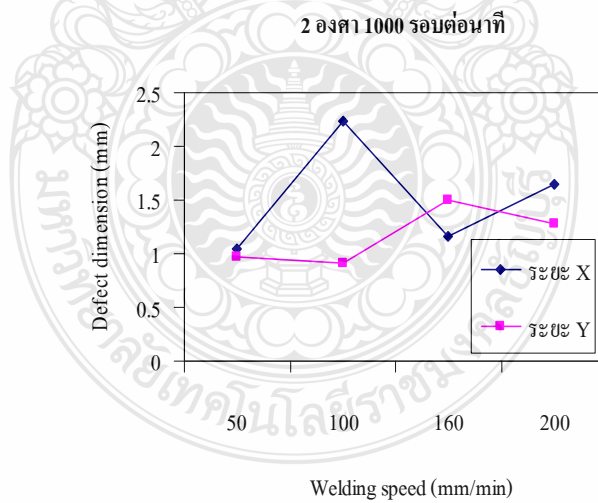


รูปที่ 4.19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.19 แสดงผลการทดลองของตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที จากการทดลองสามารถสังเกตผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า ในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดความเรียบหลังผ่านการเชื่อม มีความเป็นชั้นเกล็ด มีความหยาบ ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเป็นเกล็ดของผิวหน้าเชื่อมปรากฏให้เห็นน้อยกว่าอัตราเดินเชื่อมอื่นๆ และค่อยเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น [24] สำหรับทั้งสองฝั่งของแนวเชื่อมจะสังเกตพบครีบทองทั้งสองฝั่งของแนวเชื่อม แต่ทางฝั่งของริทริดจ์ ซึ่งเป็นด้านของออลูมิเนียมผสม 6063 จะเกิดมากกว่าด้านออลูมิเนียมผสม 7075 และครีบทองที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นครีบทองที่ยาวต่อเนื่อง คาดว่าเกิดจากการเอียงองศาเครื่องมือที่ 2 องศา ทำให้ปากเครื่องมือสัมผัสกดอัดเข้าไปบริเวณวัสดุเชื่อมได้น้อย ทำให้เกิดครีบทองแสดงในรูปที่ 4.19 (ก)-(ข) จากจุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นเกล็ดที่พบบนผิวหน้าแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่อง อันบนผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม



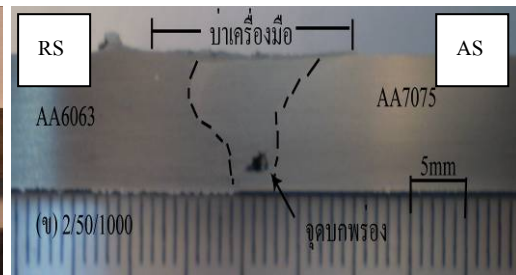
รูปที่ 4.20 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.21 ขนาดจุดบกพร่องของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



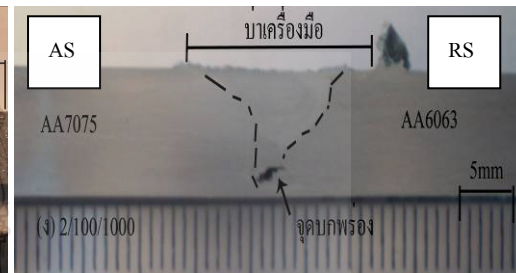
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที



(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



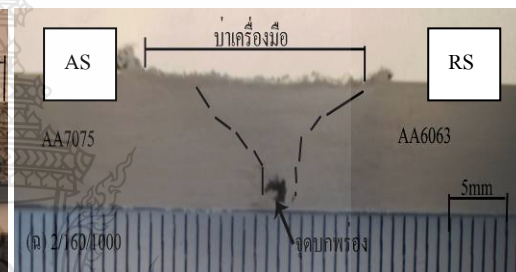
(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที



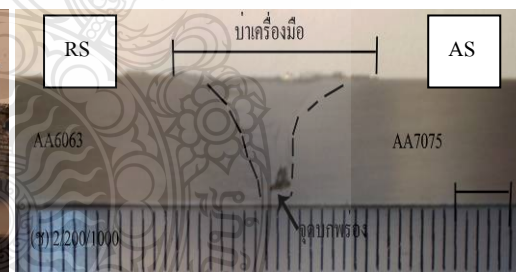
(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที



(ซ) แนวพังทลาย 200 มม./นาที

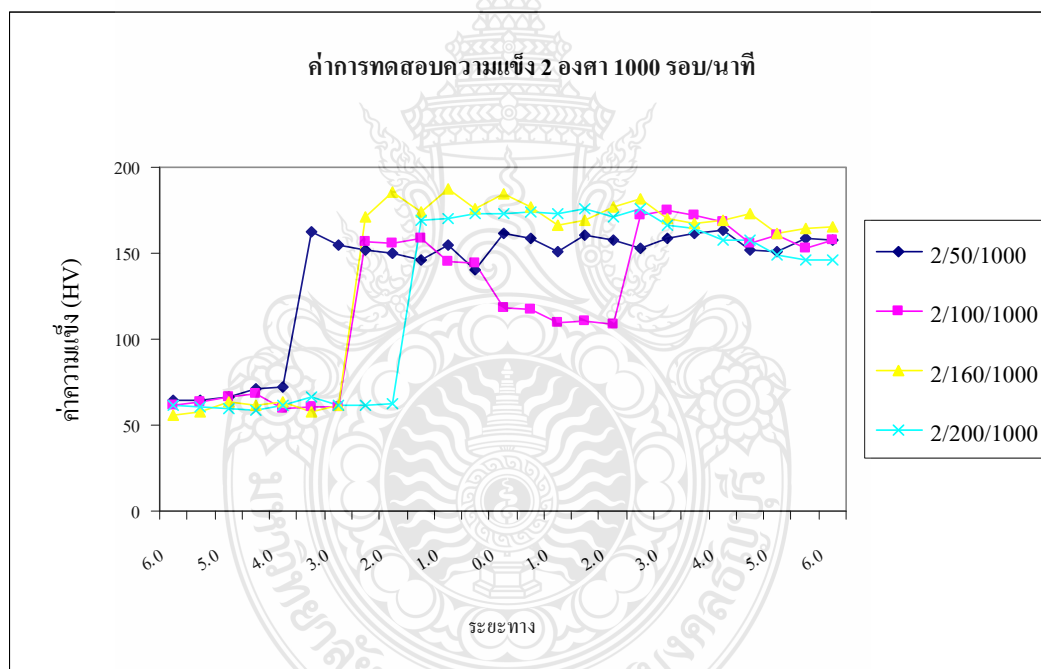


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.22 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมองศาเครื่องมือที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงใน รูปที่ 4.20 แสดงความต้านทานแรงดึงในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมของ ของตัวแปรนี้ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้สูงสุด 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และต่ำสุด 100 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที จากผลการทดลองที่ได้ความต้านทานแรงดึงจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน คาดว่าเพราะการพังทลายของวัสดุเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก จากผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแนว

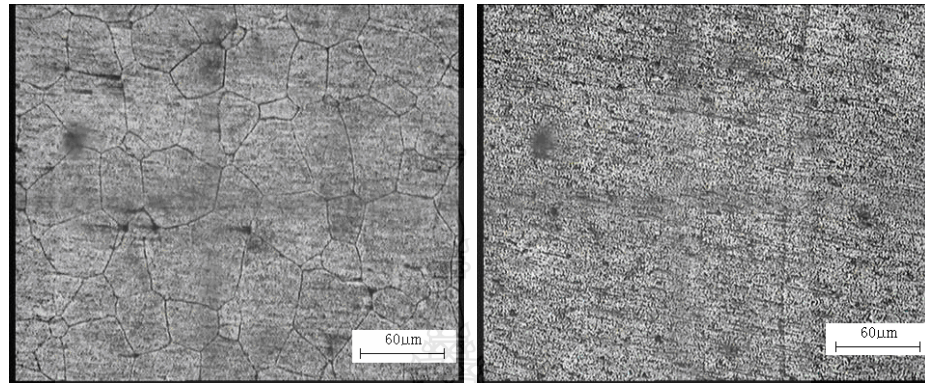
เชื่อมที่ได้ นำมาเปรียบเทียบขนาดจุกบกพร่องที่ตรวจพบภายในแนวเชื่อม แสดงในรูปที่ 4.21 และ โครงสร้างมหภาคกับการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง พบว่า ขนาดจุกบกพร่อง ที่วัดตามแนวแกน X และแกน Y ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาด จุกบกพร่องขนาดโตที่สุด ที่วัดขนาดตามแกน X เท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร วัดตามแกน Y เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร ถึงจะมีขนาดจุกบกพร่องที่ขนาดใหญ่ แต่ก็ยังคงให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูง ถ้าสังเกต ประกอบกับรูปที่ 4.22 (ง) จะเห็นว่าขนาดแนวเชื่อมถึงจะขนาดใหญ่ รูปร่างจุกบกพร่องแตกต่างจาก รูปที่ 4.22 (ค) ซึ่งเป็นจุกบกพร่องที่วัดขนาดตามแกน X และแกน Y แล้ว มีขนาดใกล้เคียงกัน จุดนี้อาจทำให้แนวเชื่อมได้ไม่มีความสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม การที่เกิดจุกบกพร่องในทุกอัตรา ความเร็วเดินเชื่อม ที่ตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที นี้ แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การพังทลายที่เกิดขึ้นยังคงเกิดกับทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 สังเกตได้จากรูปที่ 4.22 (ก) (ค) (จ) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

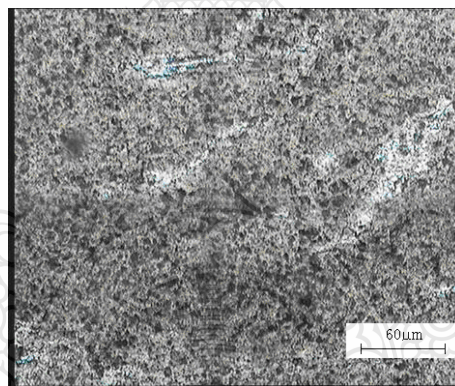
สำหรับผลการทดสอบความแข็งของตัวแปรการเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา ความเร็วรอบ เครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดง ในรูปที่ 4.23 ผลที่ได้ความแข็งสูงสุดวัดที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อม 184 HV ของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ต่ำสุดที่อัตราเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็ง ที่กึ่งกลางแนว เชื่อม 118 HV ที่ได้ค่าที่ต่ำผู้ทดลองคาดว่าการเกิดการรูปร่างของแนวเชื่อมซึ่งไม่เป็นลักษณะหัวหอม

ซึ่งเป็นลักษณะของการรวมตัวของเนื้อวัสดุที่ทำการเชื่อมได้ดี ไม่เกิดขึ้นกับการเชื่อมอลูมิเนียมทั้งสองชนิดนี้ ทำให้บางส่วนยังคงเป็นเนื้อวัสดุเดิมเข้ามารวมตัวบริเวณแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมบริเวณดังกล่าวมีแนวโน้มได้ค่าความแข็งที่ต่ำ และความแข็งของอัตราเดินเชื่อม 50, 160, 200 มิลลิเมตรต่อนาทีที่มีความแข็งกว่าวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 และอลูมิเนียมผสม 6063 จากที่สังเกตได้



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



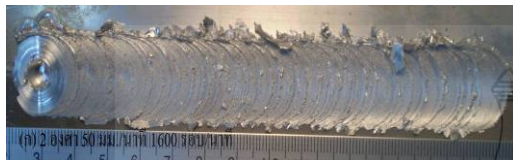
(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ซึ่งคาดว่ามีส่วนต่อความต้านทานแรงดึง และความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน รูปที่ 4.24 แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบที่มีความต้านทานแรงดึงสูงสุด จากการพังทลายที่เกิดขึ้นชิ้นงานพังทลายบริเวณเนื้อวัสดุหลักซึ่งเป็นอลูมิเนียมผสม 6063 จากการพังทลายนี้ คาดว่าเกิดจากโครงสร้างเกรนของเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ขนาด 65 ไมโครเมตร มีโครงสร้างเกรนที่โต แสดงดังรูปที่ 4.24 (ก) แสดงโครงสร้างอลูมิเนียมผสม 6063 สังเกตได้ว่ามีขนาด

โตกว่า ขนาดโครงสร้างเกรนของ อลูมิเนียมผสม 7075 แสดงดังรูปที่ 4.24 (ข) และบริเวณแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 4.42 (ค) ขนาดเกรนที่โตและเล็กนี้ยังมีผลต่อค่าความแข็งแรงที่สูงอีกด้วย

4.2.2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



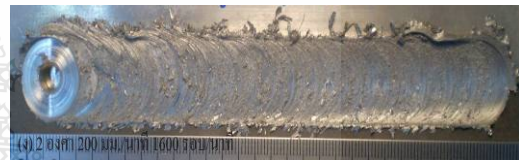
(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที



(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



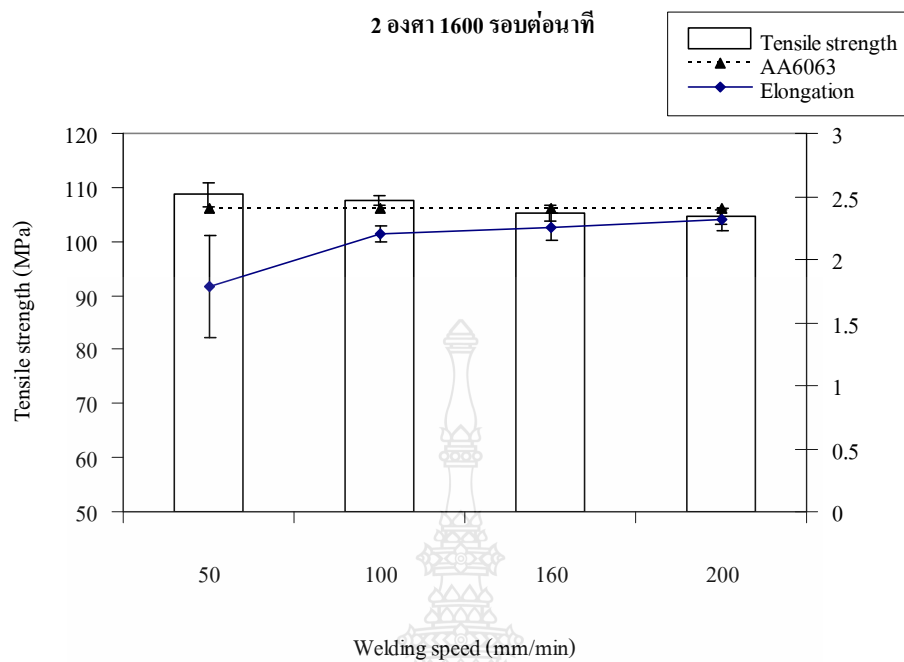
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที



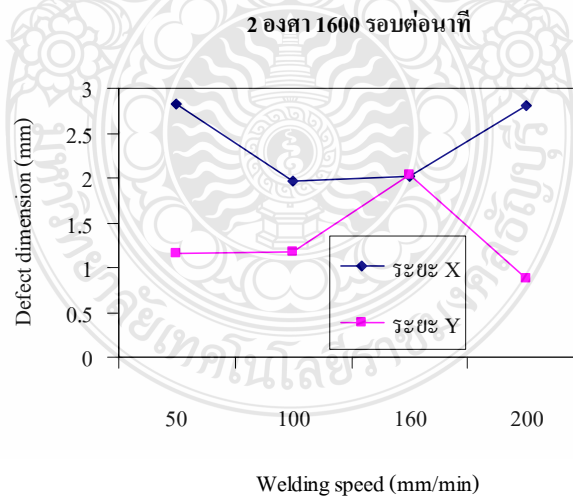
(ง) 200 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

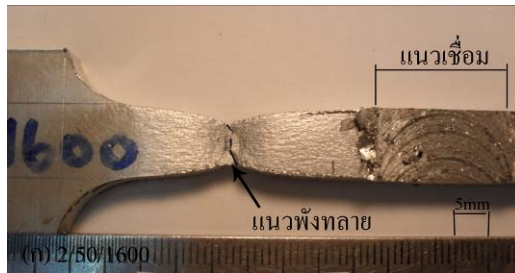
จากรูปที่ 4.25 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงองศา เครื่องมือเชื่อม 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ในรูปที่ 4.25 (ก)-(ง) ตามลำดับ ที่ตัวแปรนี้ผิวหน้าแนวเชื่อมยังคงไม่เรียบเหมือนกับการเชื่อมวัสดุเดียวกัน และผิวหน้าแนวเชื่อมที่สังเกตได้ยังคงเป็นชั้นเกล็ดในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ลักษณะเป็นเกล็ดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเท่าๆกัน ประกอบกับการเกิดครีบบริเวณด้านข้างแนวเชื่อมทั้งสองด้านแต่รีทริตัง ซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 6063 จะมีขนาดโตกว่าด้านแอควานซิง [24] ซึ่งเป็นด้านของอลูมิเนียมผสม 7075 ครีบนี้นับว่าบางส่วนสามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ อย่างไรก็ตามที่ตัวแปรนี้ไม่สามารถทำให้ครีบบที่เกิดขึ้นให้หายไปได้แต่ก็สังเกตได้ว่ามีขนาดลดลง กว่าตัวแปรอื่นที่แสดงก่อนหน้านี้ ผู้ทดลองคาดว่า การเอียงมุมเครื่องมือ ประกอบกับความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม และอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เหมาะสม สามารถลดขนาดของครีบบ หรือเมื่อทำการเชื่อมในสภาวะที่เหมาะสมแล้วครีบบที่เกิดขึ้นสามารถดึงให้ออกจากแนวเชื่อมได้



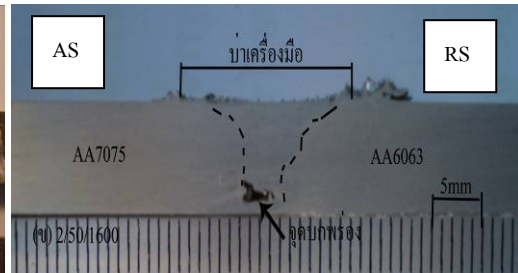
รูปที่ 4.26 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.27 ขนาดจุดบกพร่องของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



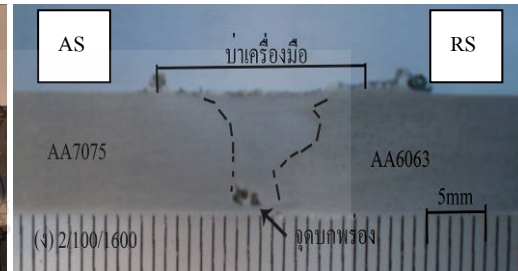
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที



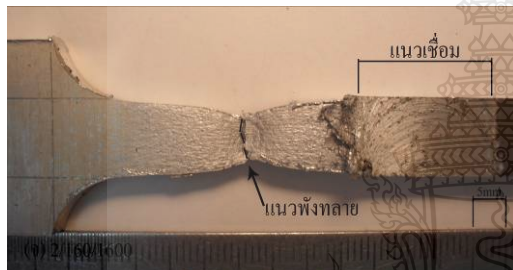
(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



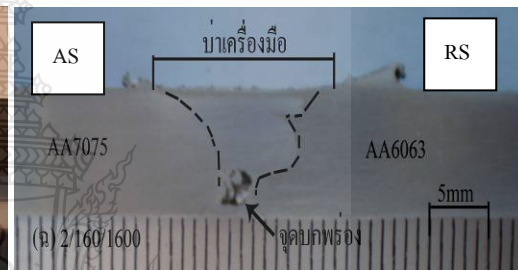
(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที



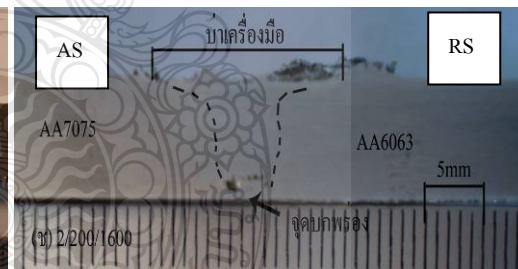
(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที



(ช) แนวพังทลาย 200 มม./นาที

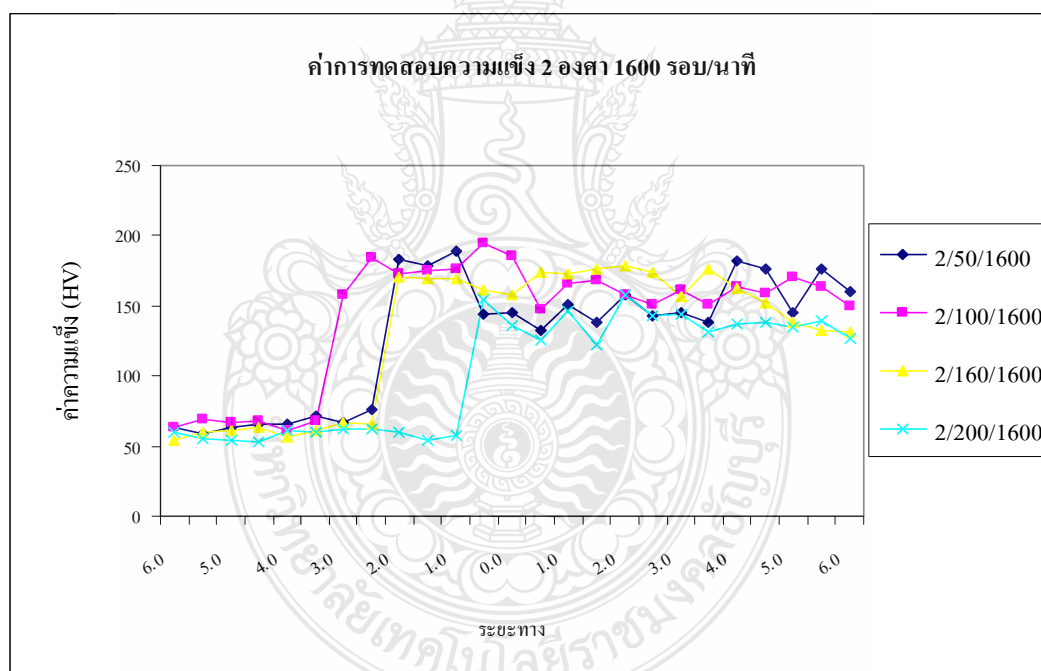


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.28 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

ผลของการทดสอบความต้านทานแรงดึงแสดงในรูปที่ 4.26 เป็นการแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที จากผลที่ได้ แสดงในรูปที่ 4.26 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงโดยมีต่ำสุดที่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 104 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้มาเปรียบเทียบ ขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อมที่วัดตาม

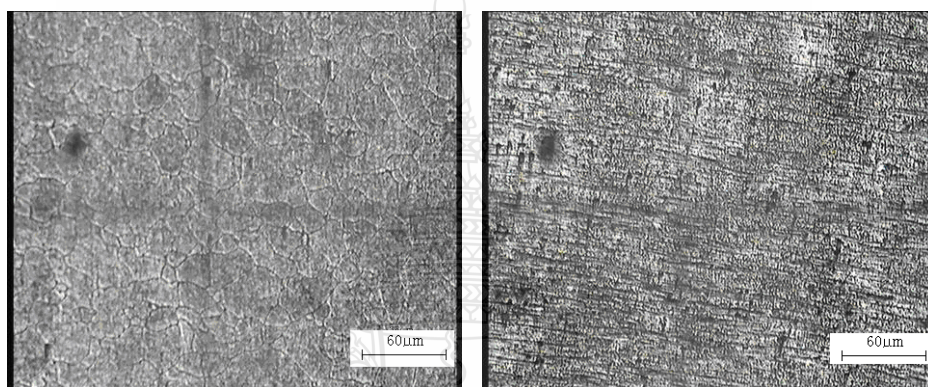
แนวแกน X และแกน Y และตรวจสอบโครงสร้างสมหาคของแนวเชื่อม การพังทลายที่เกิดขึ้น หลังจากผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง พบว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ขนาดที่วัดตามแนวแกน X และ แกน Y มีขนาดโคที่ที่สุด คือวัดตามแนวแกน X ได้ 2.8 มิลลิเมตร วัดตามแนวแกน Y ได้ 1.2 มิลลิเมตร จากจุดบกพร่องขนาดใหญ่นี้แทนที่จะทำให้แนวเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงต่ำแต่ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน สาเหตุอาจเกิดจากการพังทลายในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม การพังทลายเกิดขึ้นกับวัสดุหลัก ยังคงทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง แม้ว่าจะมีขนาดใหญ่ก็ตาม สังเกตได้ในรูปที่ 4.28 (ข) เปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.28 (ค) ซึ่งจุดบกพร่องมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำให้มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง ทำให้ได้ค่าที่ได้ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเกิดจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง สังเกตได้จากการพังทลายของชิ้นงานทดลองที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในทุกๆอัตราความเร็วเดินเชื่อมชิ้นงานทดสอบจะขาดทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าด้านอลูมิเนียมผสม 7075



รูปที่ 4.29 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

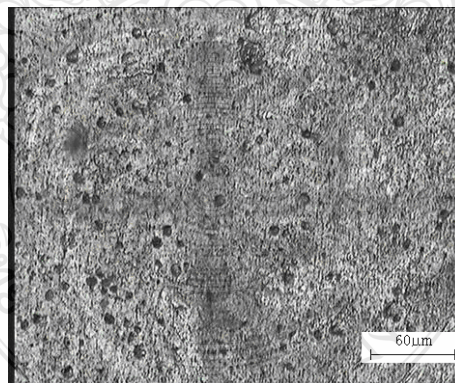
รูปที่ 4.29 แสดงค่าการทดสอบความแข็งของการเชื่อมที่ตัวแปรการเอียงองศาเครื่องมือเชื่อม 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่แสดงเริ่มจากจุดกึ่งกลางแนวเชื่อม ความแข็งสูงขึ้นเมื่อมาทางด้านซ้ายมือ ซึ่งเป็นทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 จนถึงระยะ ประมาณ 3 มิลลิเมตร ค่าความแข็งลดลง เมื่อเข้าสู่เนื้อ

วัสดุเดิม เช่นเดียวกันกับทางด้านขวามือเป็นของอลูมิเนียมผสม 7075 เมื่อเข้ามาในพื้นที่เนื้อวัสดุเดิม ความแข็งมีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังสูงกว่าอลูมิเนียม 6063 สำหรับค่าความแข็งสูงสุดที่วัดได้ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม 185 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าต่ำสุดที่วัดได้ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม 136 HV เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อ นาที สำหรับค่าความแข็งที่แตกต่างกันนี้ผู้ทดลองคาดว่า การรวมตัวของเนื้อวัสดุ เมื่อการรวมตัวกัน ได้ดี เกิดสถานะการเชื่อมที่เหมาะสม ทำให้ได้ค่าความแข็งที่สูง ส่วนที่ได้ค่าที่ต่ำกว่าคาดว่า การรวมตัวของเนื้อวัสดุรวมตัวกันในภาวะที่ไม่เหมาะสม แต่ก็ยังแข็งแรงกว่าเนื้อวัสดุหลักเมื่อเปรียบเทียบกับในสถานะ เดียวกัน



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



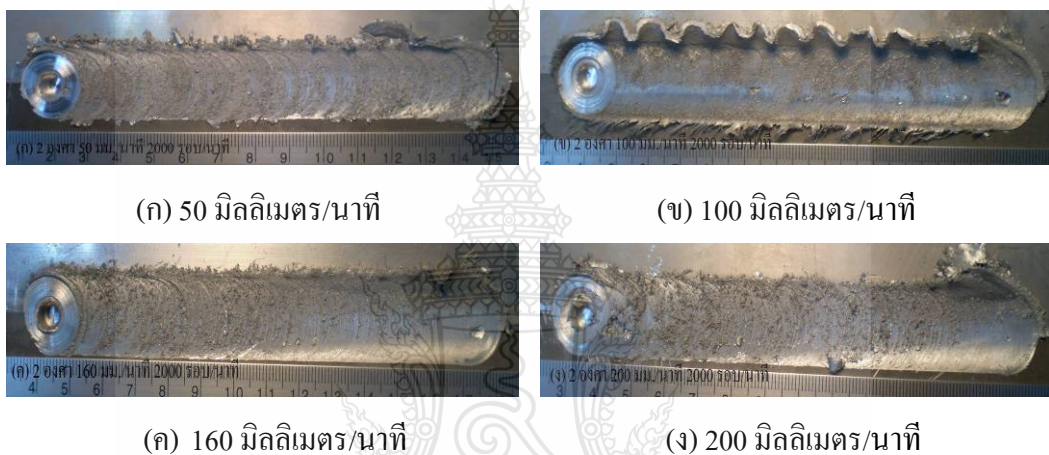
(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.30 เป็นโครงสร้างของชิ้นงานที่มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดของการเอียงเครื่องมือ ที่ 2 องศา รูปที่ 4.30 แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 จากการสังเกตโครงสร้างพบว่า มีขนาด 71 ไมโครเมตร มีโครงสร้างขนาดที่โต

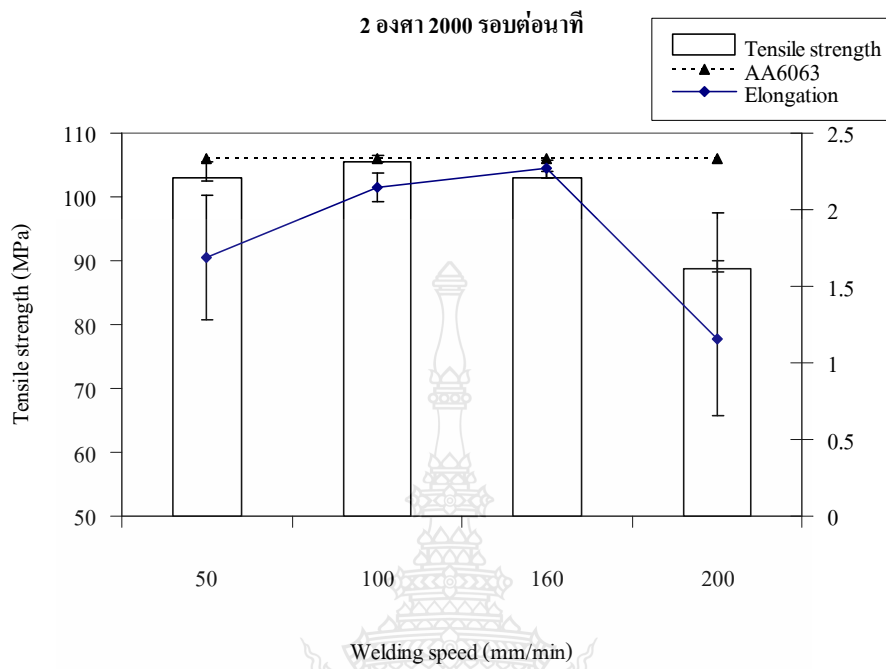
กว่าขนาดของโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 4.30 (ข) และโครงสร้างของ อลูมิเนียมผสม 7075 คาดว่าผลของโครงสร้างเกรนที่โตนี้ มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน เชื่อม หลังการทดสอบความต้านทานแรงดึง ทำให้การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียม ผสม 6063 และแสดงค่าความแข็งที่ต่ำกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งมีโครงสร้างเกรนที่ละเอียดกว่า ทำให้การพังทลายไม่เกิดขึ้นบริเวณนี้

4.2.3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง

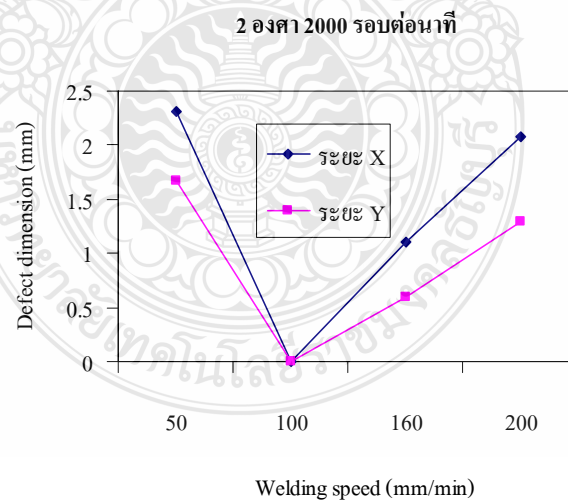


รูปที่ 4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

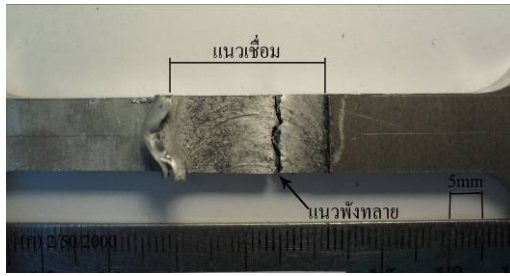
จาก รูปที่ 4.31 ผลของการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที จากการสังเกตพบว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ บริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที เกล็ดเล็กๆ ที่เกิดขึ้นลดลงแต่ยังคงอยู่บริเวณด้านข้างแนวเชื่อม และแนวเชื่อมมีความเรียบปรากฏให้เห็นเล็กน้อย แต่ไม่ทั้งหน้าแนวเชื่อม เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมสูง ขึ้นที่ 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ความเรียบไม่ปรากฏให้เห็น [24] กลับมาเป็นเกล็ดเต็มบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม คาดว่าสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ สภาวะการเชื่อม ทางด้านตัวแปรร ความเร็วเครื่องมือเชื่อม อัตราความเร็วเดินเชื่อม ทำให้เกิดความร้อนไม่เพียงพอ ที่จะทำให้นเนื้อวัสดุอ่อนตัว สมบัติทางกลที่แตกต่างกันของอลูมิเนียมทั้งสอง ทำให้ไม่สามารถอ่อนตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้



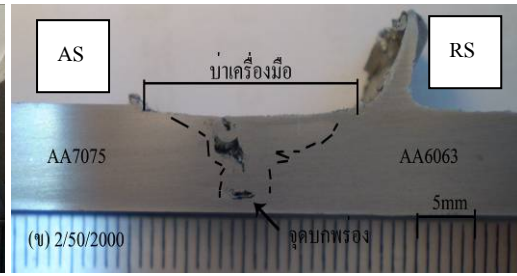
รูปที่ 4.32 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



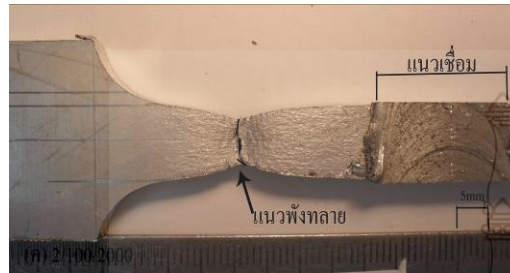
รูปที่ 4.33 ขนาดจุดบกพร่องของ 0 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



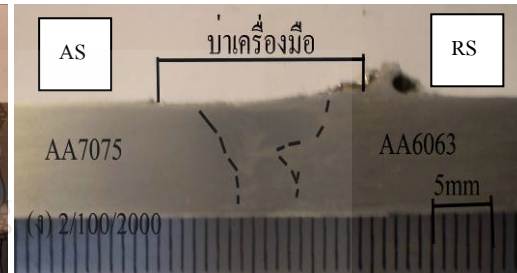
(ก) แนวพังกาลาย 50 มม./นาทึ



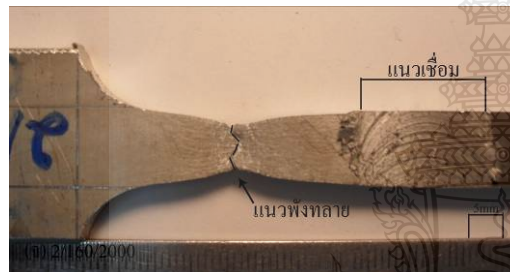
(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาทึ



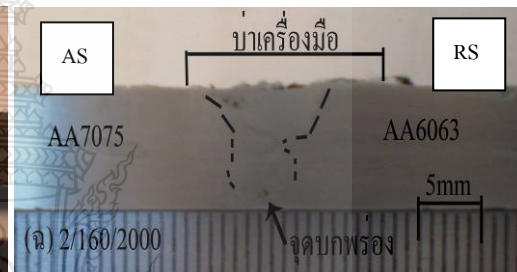
(ค) แนวพังกาลาย 100 มม./นาทึ



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาทึ



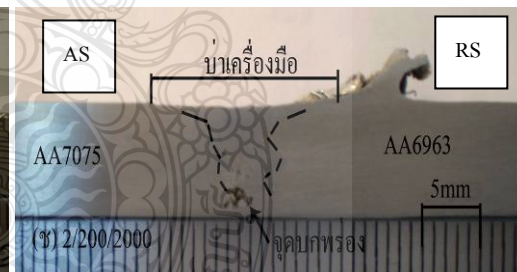
(จ) แนวพังกาลาย 160 มม./นาทึ



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาทึ



(ช) แนวพังกาลาย 200 มม./นาทึ

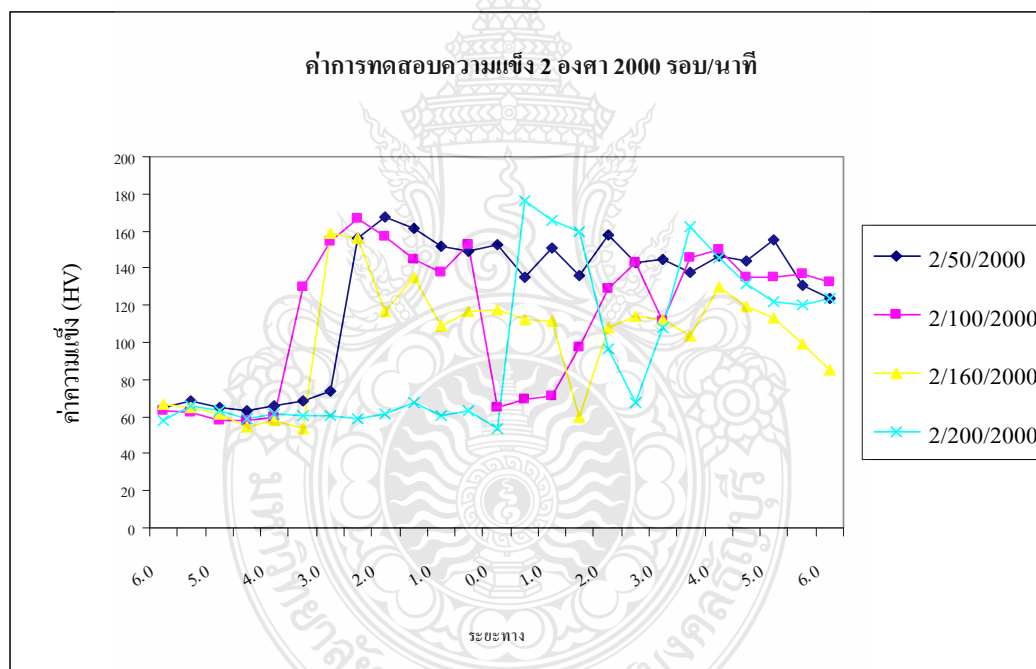


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาทึ

รูปที่ 4.34 การพังกาลายของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวแปรการเอียงเครื่องมือ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.32 ผลที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 105 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำลงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที มีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมสูงขึ้น ซึ่งได้ความต้านทานแรงดึง ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ค่าเท่ากับ 88 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่แตกต่างกัน สังเกตได้จากรูปที่ 4.34 (ง) แสดงความสมบูรณ์ภายในแนว

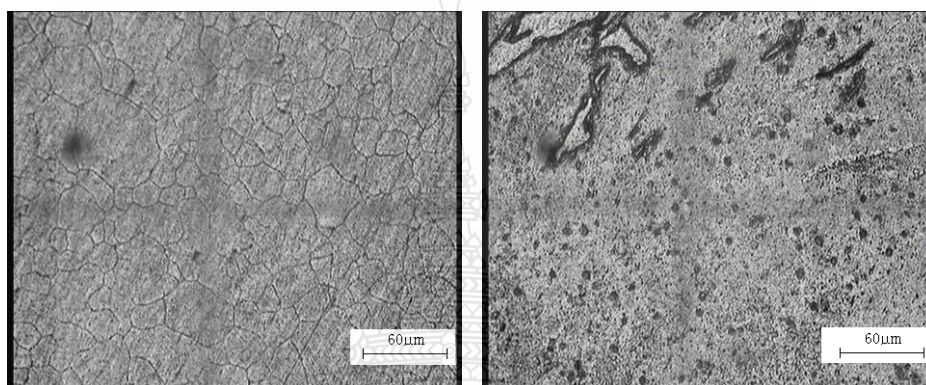
เชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่เกิดจุดบกพร่องใดบริเวณแนวเชื่อม สังเกตได้จากรูปที่ 4.33 การวัดขนาดของจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อม แต่แนวเชื่อมที่ได้ยังคงไม่เป็นรูปหัวหอม ซึ่งเป็นรูปแบบของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ของการเชื่อมการเสียดทานแบบกวน สำหรับการพังทลายที่เกิดขึ้น ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมทางด้านออลูมิเนียม 7075 สังเกตเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.33 แสดงขนาดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X และแกน Y วัดได้ตามแกน X เท่ากับ 2.4 มิลลิเมตร ตามแกน Y เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ตัวแปรความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และการเอียงเครื่องมือ 2 องศา เมื่อสังเกตประกอบกับ รูปที่ 4.34 (ก) จะสังเกตได้ว่าจุดบกพร่องมีขนาดใหญ่ เริ่มจากด้านล่าง จนถึงด้านบนบริเวณแนวเชื่อม คาดว่าสิ่งที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก อัตราความเร็วเดินเชื่อม และความเร็วรอบเครื่องมือ กับการเอียงองศาเครื่องมือ ไม่สามารถทำให้เกิดสถานะที่เหมาะสมที่จะทำให้เนื้อวัสดุทั้งสองรวมกันได้



รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

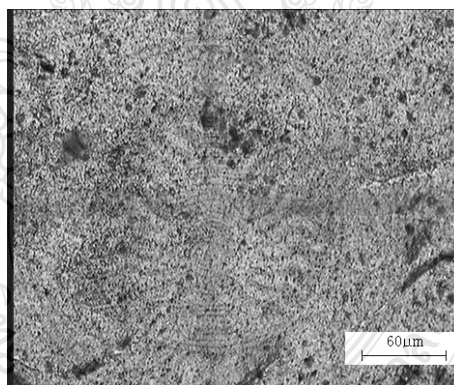
การทดสอบความแข็งที่เกิดขึ้นกับตัวแปรการเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าค่าความแข็งสูงสุดวัดที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อม คือ 152 HV อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ได้ค่าที่สูง ถ้าสังเกตจากรูปที่ 4.35 มาทางด้านขวามือซึ่งเป็นด้านของออลูมิเนียมผสม 7075 จะค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกัน คาดว่าส่วนบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นส่วนของออลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่ง

ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับอลูมิเนียมผสม 6063 ได้ ซึ่งถ้าสังเกตทางด้านซ้ายมือเป็นด้านของอลูมิเนียม 6063 จะให้ค่าที่สูงกว่าจุดกึ่งกลางบริเวณแนวเชื่อมคาดว่าบริเวณดังกล่าว ขณะเชื่อมเครื่องมือพาเนื้อวัสดุอลูมิเนียม 7075 เข้ามารวมกับอลูมิเนียม 6063 ทำให้ค่าที่ได้แสดงค่าความแข็งที่สูงกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม สำหรับค่าความแข็งต่ำสุด 53 HV ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งสังเกตจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 คาดว่าการเชื่อมเครื่องมือเชื่อมพาเนื้อวัสดุอลูมิเนียมผสม 6063 เข้ามารวมในบริเวณนี้ปริมาณมากกว่าที่จะพาเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 เข้ามารวมในบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมนี้ ทำให้ค่าความแข็งที่ได้ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063

(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

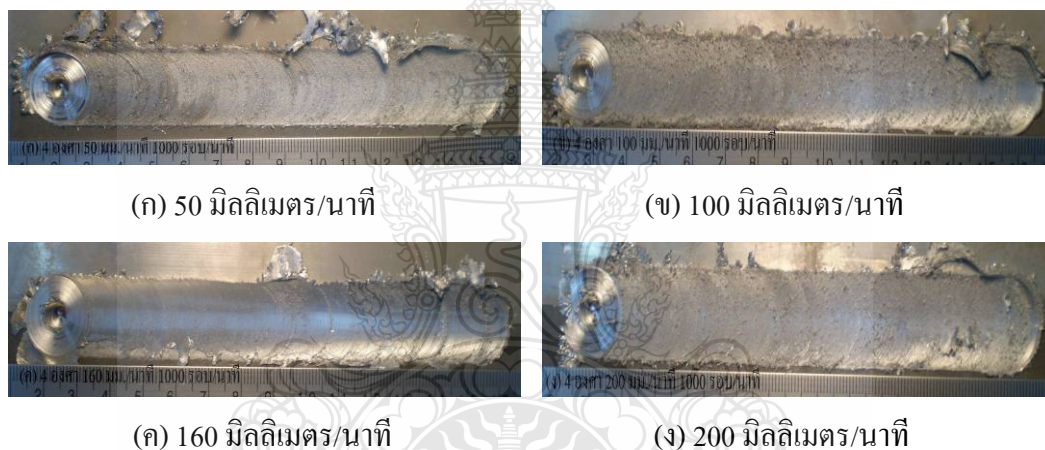
รูปที่ 4.36 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 4.36 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 4.36 (ก) แสดงโครงสร้างของอลูมิเนียมผสม 6063 จากรูปที่แสดงสังเกตได้ว่ามีโครงสร้างเกรนที่โต ซึ่งโครงสร้างเกรนที่โตนี้มีผลต่อความต้านทานแรงดึง การพังทลายของชิ้นงานทดลองจะพังทลายบริเวณเนื้อวัสดุหลักด้านนี้ สำหรับ รูปที่ 4.36 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะสังเกตได้ว่าพื้นที่บางส่วนเป็นสีขาวบนพื้นที่สีดำ

พื้นที่สีขาวที่มีอยู่เล็กน้อยนั้นคาดว่าเป็นพื้นที่ส่วนของอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับอลูมิเนียมผสม 7075 ที่บริเวณแนวเชื่อม ทำให้มีผลต่อค่าความแข็งที่เกิดขึ้น เมื่อทำการทดสอบความแข็งบริเวณนี้ทำให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับบริเวณเนื้อวัสดุหลักของอลูมิเนียมผสม 6063 รูปที่ 4.36 (ค) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งสังเกตได้ว่าโครงสร้างเกรนมีความละเอียดกว่า โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาด 66 ไมโครเมตร โครงสร้างที่ละเอียดกว่านี้มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการทดสอบความแข็ง ทำให้ได้ค่าการทดสอบที่สูง

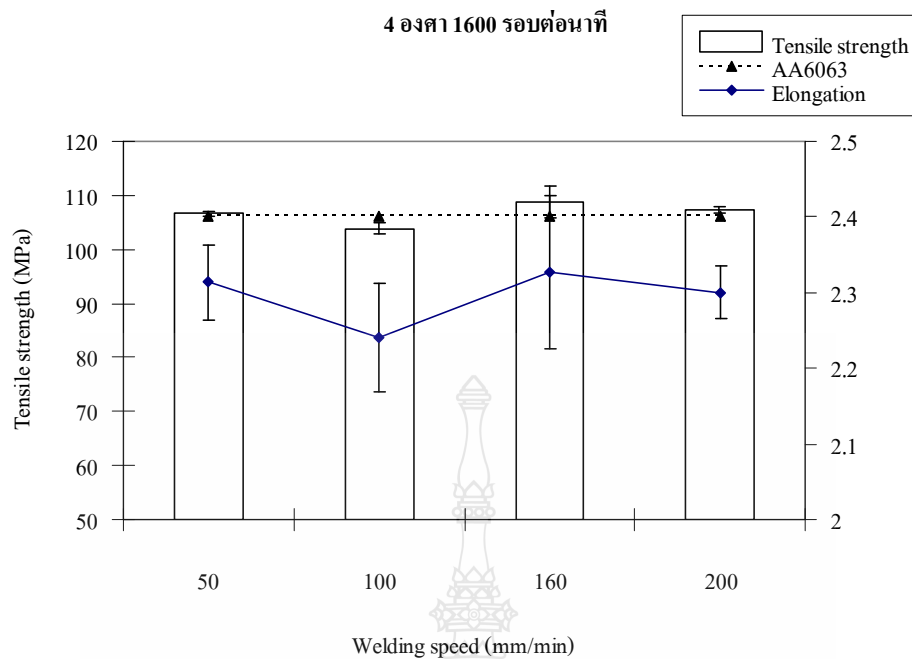
4.3 อิทธิพลของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 4 องศาที่มีต่อแนวเชื่อม

4.3.1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.37 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

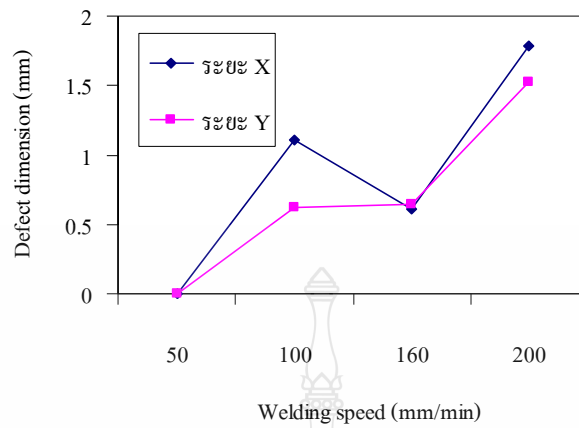
ผลการทดลองการตรวจดูผิวหน้าแนวเชื่อม ของตัวแปร การเอียงองศาเครื่องมือเชื่อม 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1,000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.37 (ก)-(ง) ตามลำดับ จากการสังเกตผลที่เกิดขึ้น อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.37 (ค) แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่เรียบเป็นมัน เหมือนกับการเชื่อมในวัสดุเดียวกัน แต่ในส่วนท้ายของแนวเชื่อม ยังคงเป็นวงเกล็ด [24] ตามขนาดของบ่าเครื่องมือ สำหรับผิวหน้าแนวเชื่อม 50, 100 และ 160 ผิวหน้าแนวเชื่อมแสดงลักษณะผิวแนวเชื่อมที่หยาบ เกิดเกล็ดเล็กตลอดผิวหน้าแนวเชื่อม การเกิดครีบยังคงเกิดทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ที่สามารถใช้มือดึงให้ขาดออกได้ อยู่ทางด้านรีทริคตัง ด้านที่เป็นอลูมิเนียมผสม 6063 ส่วนด้านแอคควาซิง ครีบที่สังเกตได้มีขนาดโต กว่าบริเวณทางด้านแอคควาซิงเล็กน้อย สำหรับจุดบกพร่องอื่นบนผิวหน้าแนวเชื่อมไม่สังเกตว่าตรวจพบในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมนี้



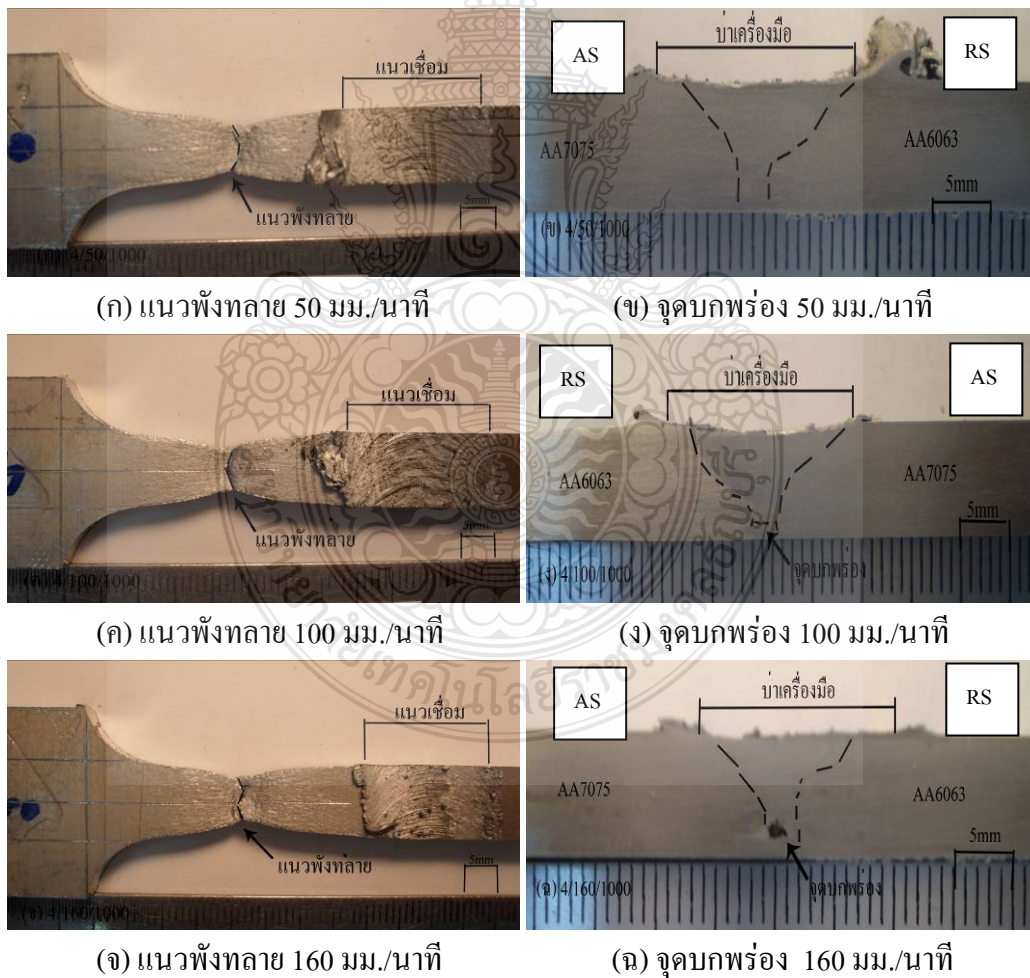
รูปที่ 4.38 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.38 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของตัวแปรการเอียงมุมเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับความต้านทานแรงดึงสูงสุดได้มาจาก อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อ นาที 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากรูปที่ 4.38 สังเกตได้ว่าเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อม ลดลงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที หรือเพิ่มขึ้นที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่ม ขึ้น หรือลดลง ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดที่ 106 นิวตัน ต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที

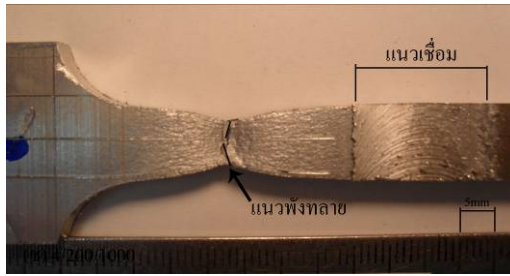
4 องศา 1000 รอบต่อนาที



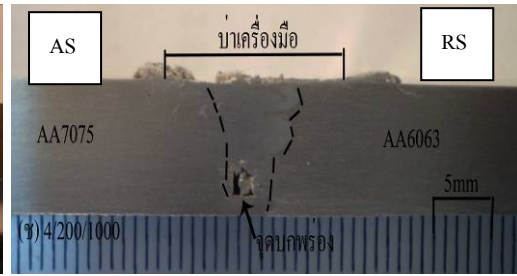
รูปที่ 4.39 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศาความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.40 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที



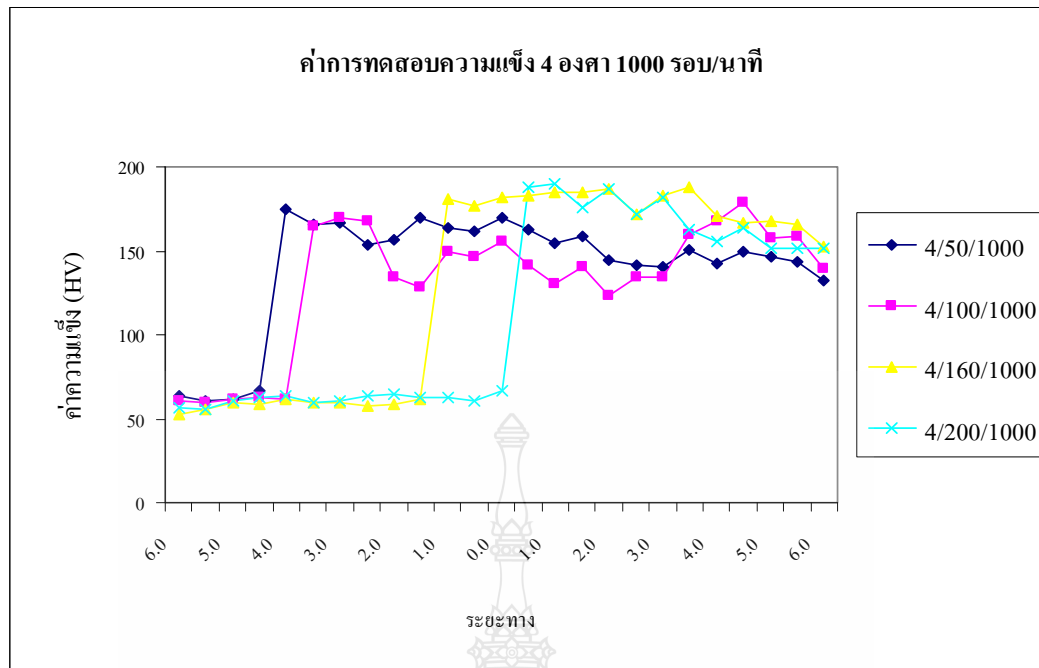
(ข) แนวพังทลาย 200 มม./นาที



(ค) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

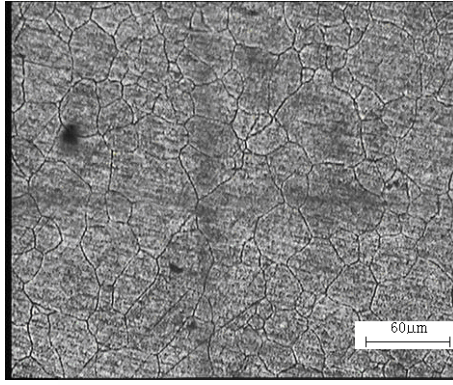
รูปที่ 4.40 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที (ต่อ)

จากรูปที่ 4.39 แสดงขนาดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม ของตัวแปรการเอียงองศา เครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่เกิดจุดบกพร่อง ภายในแนวเชื่อม ขนาดจุดบกพร่องที่โตสุดที่วัดได้ ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y พบที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ขนาดที่วัดได้ตามแนวแกน X ขนาด 1.8 มิลลิเมตร ตามแกน Y วัดได้ 1.5 มิลลิเมตร สังเกตรูปที่ 4.40 (ข) จะเห็นว่าลักษณะแนวเชื่อมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านยาวทิศทางตามแนวแกน Y ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำ แม้ว่าจะเกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่ การพังทลายของแนวเชื่อม เกิดขึ้นบริเวณเนื้อวัสดุหลัก ทางด้านอลูมิเนียม 6063 จากการสังเกตจุดบกพร่องที่เกิด ที่ตัวแปรเอียงเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที จะพบว่าจุดบกพร่องจะมีแนวโน้มขนาดโต ขึ้นเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น คาดว่าที่เกิดจุดบกพร่องเช่นนี้ เนื่องจากอัตราความเร็วเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ ไม่มีเวลาเพียงพอที่เครื่องมือจะเติมเนื้อวัสดุเข้าไปในแนวเชื่อมได้ทันทำให้เกิดจุดบกพร่องดังแสดงดังรูปที่ 4.40 (ข) (ง) (ค) (ข) ตามลำดับ

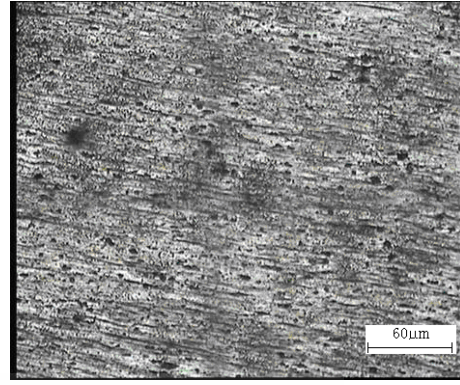


รูปที่ 4.41 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

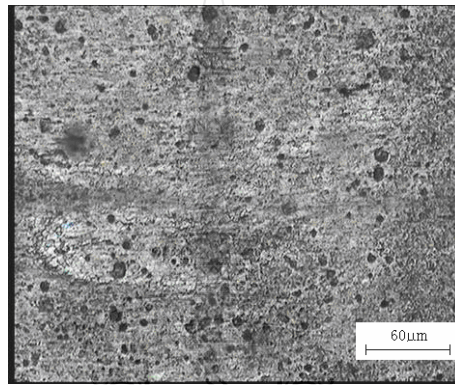
ผลการทดสอบความแข็ง รูปที่ 4.41 แสดงค่าการทดสอบความแข็ง ของตัวแปรการเอียงมุม เครื่องมือ 4 องศา ความเร็วเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ผลที่ได้ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที วัดความแข็งที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อมได้ค่าสูงสุดที่ 182 HV และที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็งต่ำสุด ที่ 67 HV วัดที่จุดกึ่งกลางแนวเชื่อม ลักษณะความแข็งที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าสู่วัสดุหลัก ทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ที่น่าสังเกตที่ อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมให้ค่าความแข็งที่ต่ำ คาดว่าเกิดจากเครื่องมือเชื่อมไม่สามารถทำให้เนื้อวัสดุอูมิเนียมผสม 6063 รวมตัวเข้ากันได้กับอูมิเนียมผสม 7075 บริเวณใต้กล่าวได้ ซึ่งคาดว่าเนื้อวัสดุบริเวณที่ให้ค่าความแข็งที่อ่อนนี้เป็นเนื้อวัสดุส่วนของอูมิเนียมผสม 6063 ที่เครื่องมือเชื่อม นำมาจากเนื้อวัสดุหลักอูมิเนียมผสม 6063 ไม่เกิดสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการรวมตัวกับอูมิเนียมผสม 7075 จึงทำให้ความแข็งที่ได้ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063



(ข) อลูมิเนียม 7075



(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

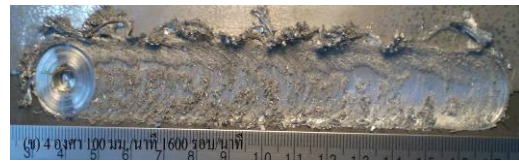
รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานเชื่อม อลูมิเนียมผสม 6063 และ อลูมิเนียมผสม 7075 ที่ตัวแปรความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.42 สำหรับรูปที่ 4.42 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดขนาดได้ 69 ไมโครเมตร รูปที่ 4.42 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.42 (ค) แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 7075 ทำการตรวจสอบที่กำลังขยาย 5 เท่า ในทุกรูปที่แสดง เมื่อสังเกตเปรียบเทียบจากผลที่ได้ จะเป็นได้ว่า รูปที่ 4.42 (ก) แสดงโครงสร้างอย่างชัดเจนและมีขนาดโครงสร้างเกรนที่โต กว่ารูปที่ 4.42 (ข) และรูปที่ 4.42 (ค) ซึ่งมีขนาดโครงสร้างเกรนใกล้เคียงกัน ผลของโครงสร้างเกรนที่โตนี้มีผลต่อความต้านทานแรงดึง เพราะว่าการพังทลายของชิ้นงานทดสอบพักทลายทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งเป็นเนื้อวัสดุหลัก ไม่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม นอกจากนั้นยังมีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานที่ทดสอบ พบว่าบริเวณแนวเชื่อมและวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 7075 มีค่าความแข็งที่สูงกว่าอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีโครงสร้างที่โตกว่า

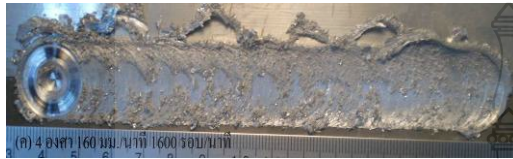
4.3.2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



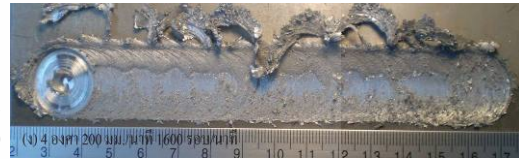
(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที



(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที



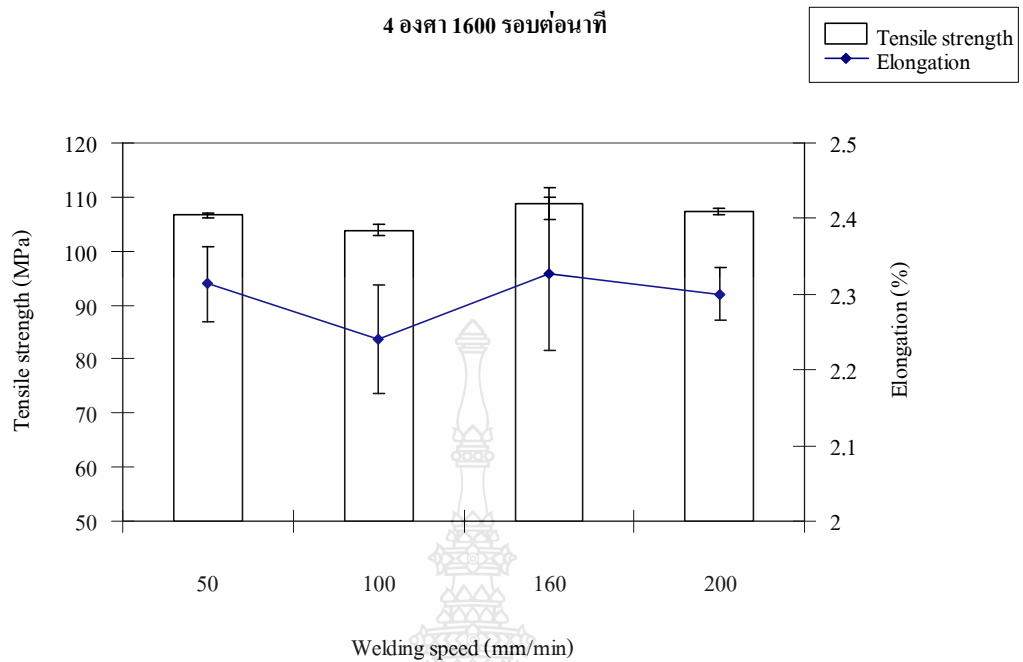
(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที



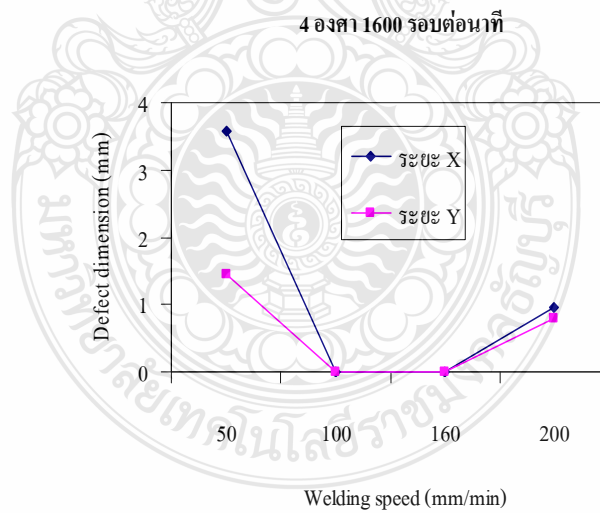
(ง) 200 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.43 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

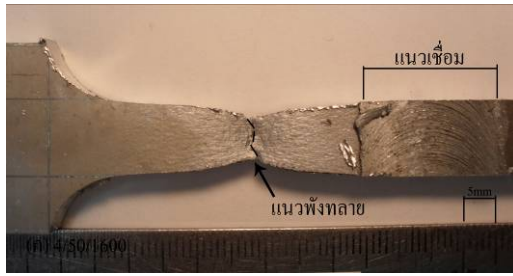
ผิวหน้าแนวเชื่อมซึ่งมีลักษณะเรียบไม่เป็นเกล็ด ดังรูปที่ 4.43 (ก) เป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 1600 รอบต่อนาที เอียงเครื่องมือเชื่อม 4 องศา เมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ดขยายสู่ด้านข้าง ส่วนตรงกลางปรากฏให้เห็นความเรียบแต่ก็ไม่เรียบทั้งหมด [24] ดังรูปที่ 4.43 (ข) (ค) (ง) ซึ่งเป็นของอัตราเดินเชื่อม 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ อีกทั้งที่สังเกตได้ด้านข้างของบริเวณแนวเชื่อมเกิดครีบทึบที่มีความคม แต่สามารถใช้มือดึงให้หลุดออกจากแนวเชื่อมได้ อยู่ทางด้านรีทริดจ์ ซึ่งเป็นด้านอลูมิเนียมผสม 6063 คาดว่าเกิดจากเมือป้าของเครื่องมือกดอัดลงในเนื้อวัสดุแต่ไม่สัมผัสเต็มผ่านเครื่องมือ เมื่อทำการเดินเชื่อมป้าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุที่ไม่ได้รับการกดอัดลงไปเนื้อแนวเชื่อมออกมาทำให้เกิดครีบทึบดังแสดงดังรูปที่ 4.43



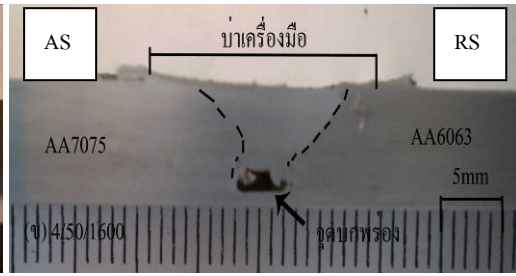
รูปที่ 4.44 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



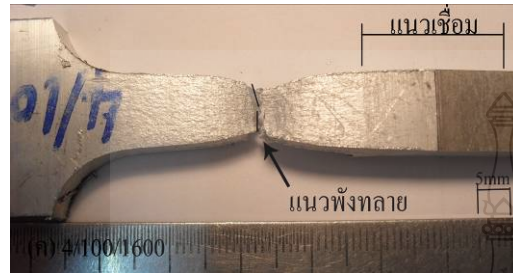
รูปที่ 4.45 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที



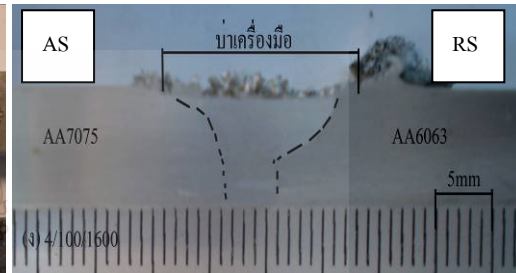
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที



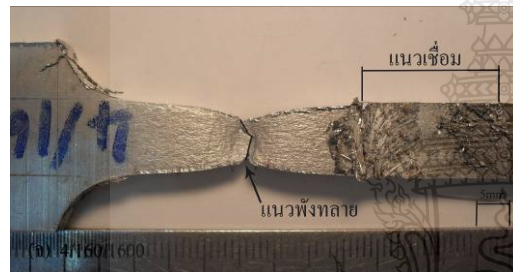
(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



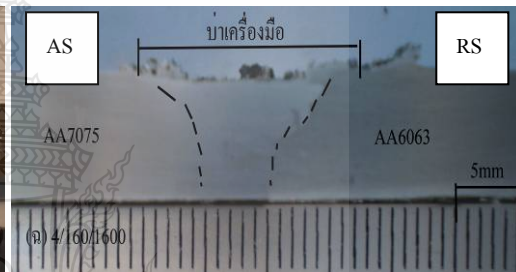
(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที



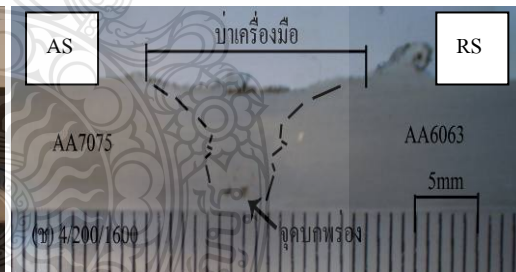
(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที



(ช) แนวพังทลาย 200 มม./นาที

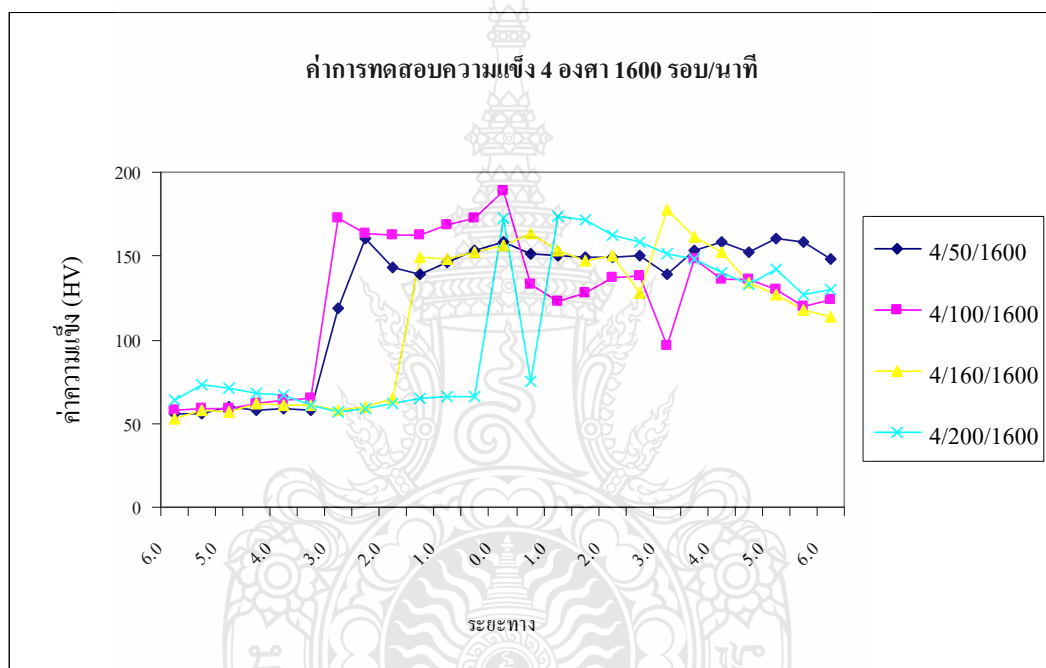


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.46 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

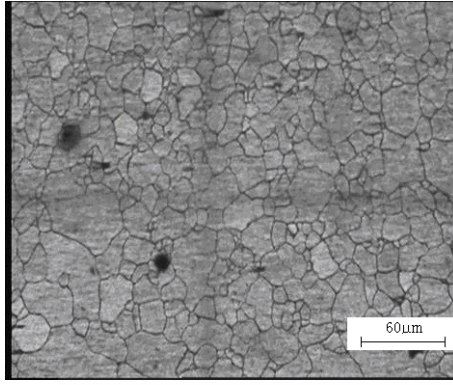
ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น ของการเอียงเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.44 ผลที่ได้พบว่าที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึง 108 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่ำสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 103 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และจากการสังเกตจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยการวัดขนาดจุดบกพร่องตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y ดังรูปที่ 4.45 ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที ไม่ปรากฏจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม สำหรับ

ขนาดจุกบกร่องโตสุดที่วัดได้ ตามแนวแกน X วัดได้ 3.5 มิลลิเมตร ตามแนวแกน Y วัดได้ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที คูรูปที่ 4.46 (ข) ประกอบเป็น โครงสร้างมหากาของอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ผลจากขนาดจุกบกร่อง ที่โต แนวเชื่อมยังคงมีความแข็งแรง การพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง ยังคง พังทลายที่เนื้อวัสดุหลักทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 จากผลที่ได้ไม่ว่าขนาดของแนวเชื่อมจะมีขนาด ใหญ่แต่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อม ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ยังคงที่ค่า สูง นั้นแสดงว่าจุกบกร่องไม่ใช่เหตุผลเดียวที่ทำให้ความต้านทานแรงดึงต่ำ อาจเกิดจากความ ร้อนระหว่างการเชื่อม ที่จะทำให้อุณหภูมิรวมตัวหรือการเย็นตัวของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น

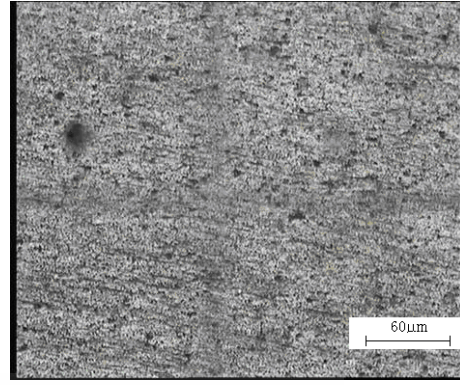


รูปที่ 4.47 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

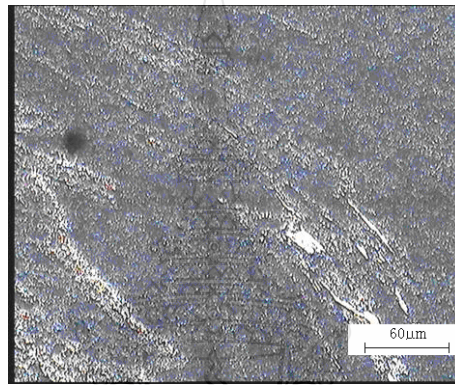
รูปที่ 4.47 แสดงค่าความแข็งของการเชื่อมองศาเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที และอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งที่ได้มี แนวโน้มของค่าใกล้เคียงกัน มีความแข็งที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ค่าสูงสุดที่วัดได้ 189 HV เป็นของ อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที ต่ำสุดคือ 156 HV ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งที่เกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่เนื้อวัสดุหลักทั้งสองด้านค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง ในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม



(ก) อลูมิเนียม 6063



(ข) อลูมิเนียม 7075

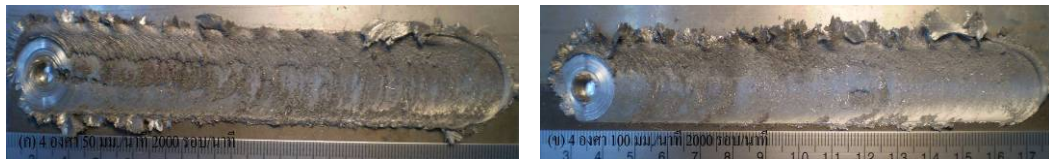


(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.48 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที

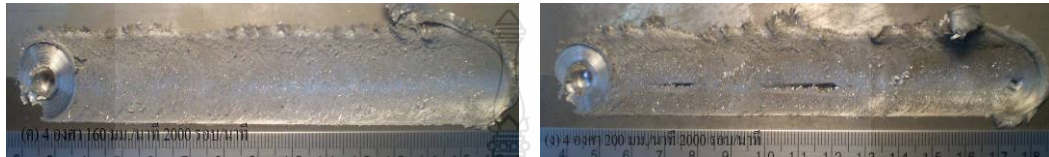
ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของตัวแปร ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ที่กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์แบบแสง 5X เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.48 เมื่อสังเกตจะพบว่า รูปที่ 4.48 (ก) ซึ่งเป็นรูปที่แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 มีขนาด 71 ไมโครเมตร สังเกตได้ว่าจะมีโครงสร้างเกรนที่โตกว่า รูปที่ 4.48 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม และรูปที่ 4.48 (ค) ซึ่งเป็นรูปที่แสดงโครงสร้างวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 จากโครงสร้างเกรนที่มีขนาดโต ซึ่งผู้ทดลองคาดว่ามีส่วนต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.47 แสดงค่าการทดสอบความแข็งของชิ้นงาน ทางด้านอลูมิเนียมผสม 6063 ให้ค่าความแข็งที่ต่ำกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม หรือทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งจากรูปแสดงโครงสร้างเกรนที่ละเอียดให้ค่าความแข็งที่สูง อีกด้านหนึ่งการพังทลายของชิ้นงานแสดงความแข็งแรงของแนวเชื่อมโดยการพังทลายที่เกิดขึ้นหลังผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าเกิดจากโครงสร้างเกรนที่โต ทำให้ความการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณนี้

4.3.3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที และอัตราเดินเชื่อม 50-200 มิลลิเมตรต่อนาที ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



(ก) 50 มิลลิเมตร/นาที

(ข) 100 มิลลิเมตร/นาที

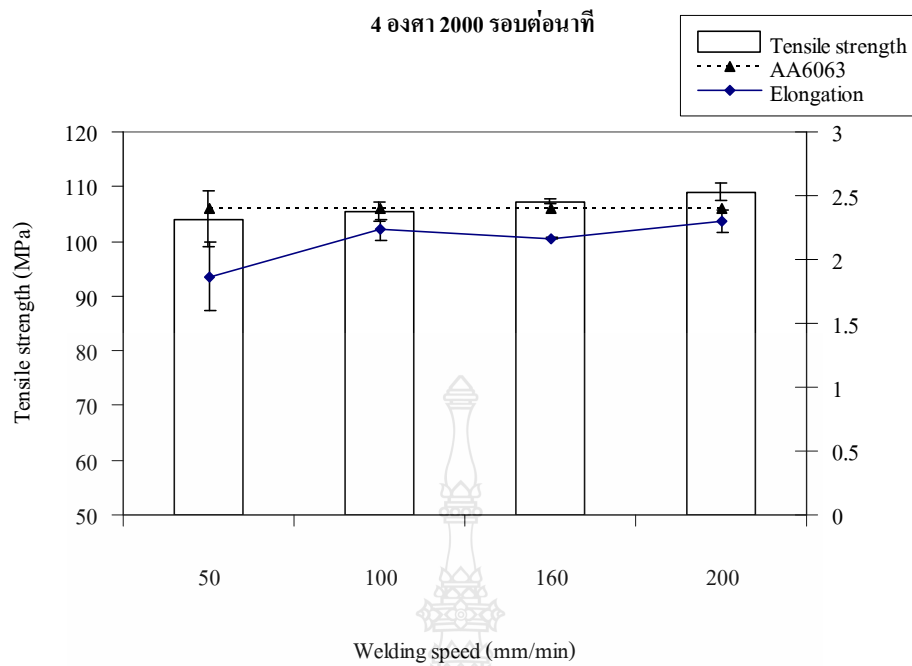


(ค) 160 มิลลิเมตร/นาที

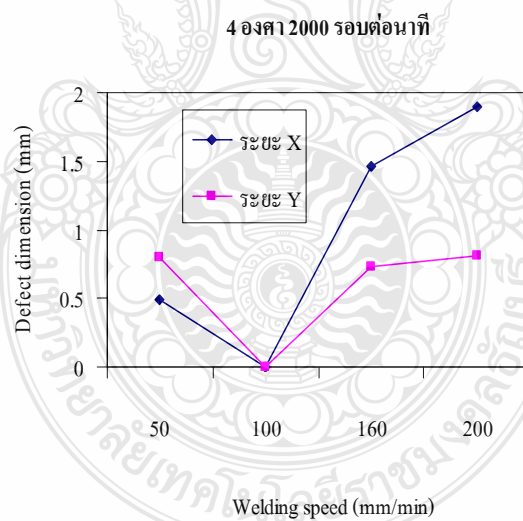
(ง) 200 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.49 แสดงผลของผิวหน้าแนวเชื่อมที่การเอียงองศา 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าในทุกอัตราความเร็วเดินเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกล็ด [24] ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 4.49 (ก) พบว่ามีลักษณะเป็นร่องตรงบริเวณตรงกลางแนวเชื่อมคาดว่าเกิดจากการดึงเนื้อวัสดุให้ติดไปของบ่าเครื่องมือ เช่นเดียวกันกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 4.49 (ข) เกิดขึ้นเล็กน้อย และที่ปรากฏเด่นชัดของจุดบกพร่องที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 4.49 (ง) เกิดจุดบกพร่องบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมเกิดเป็นร่อง คาดว่าเกิดจากการเอียงองศาของเครื่องมือ และ อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่สูงเกินไปเมื่อ เครื่องมือเดินเชื่อมทำให้เกิดการดันของบ่าเครื่องมือดันเนื้อวัสดุ เนื่องจากอัตราความเร็วเดินเชื่อมสูงทำให้ไม่สามารถกดอัดเนื้อวัสดุกลับลงไปได้ทันจึงเป็นการดึงเนื้อวัสดุออกจนทำให้เกิดจุดบกพร่องดังกล่าว



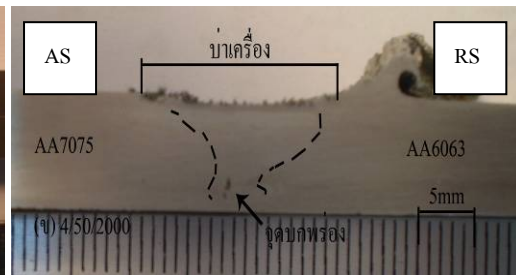
รูปที่ 4.50 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



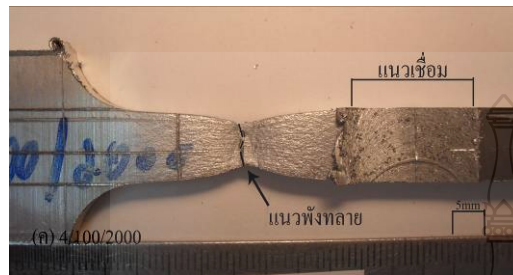
รูปที่ 4.51 ขนาดจุดบกพร่องของ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที



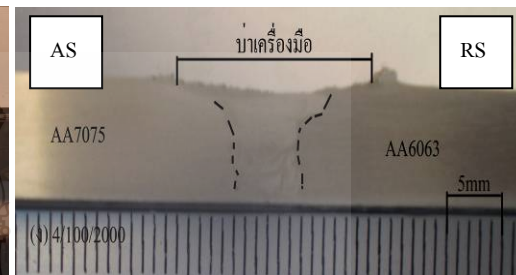
(ก) แนวพังทลาย 50 มม./นาที



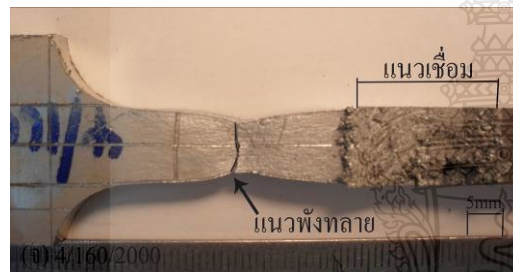
(ข) จุดบกพร่อง 50 มม./นาที



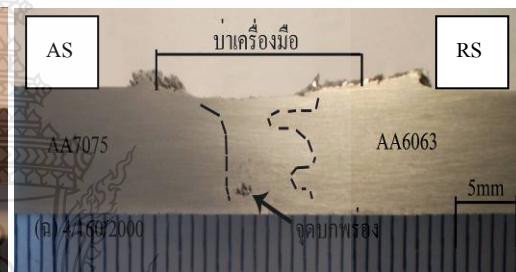
(ค) แนวพังทลาย 100 มม./นาที



(ง) จุดบกพร่อง 100 มม./นาที



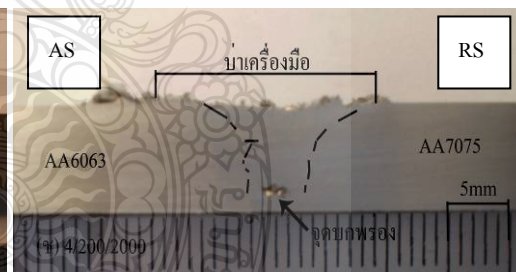
(จ) แนวพังทลาย 160 มม./นาที



(ฉ) จุดบกพร่อง 160 มม./นาที



(ช) แนวพังทลาย 200 มม./นาที

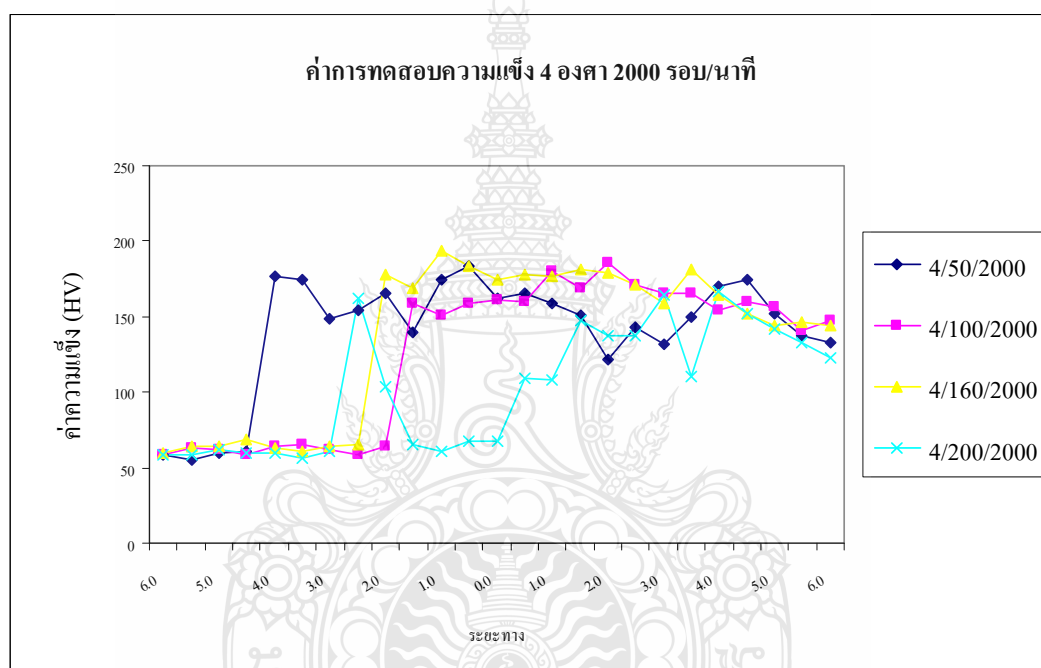


(ซ) จุดบกพร่อง 200 มม./นาที

รูปที่ 4.52 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

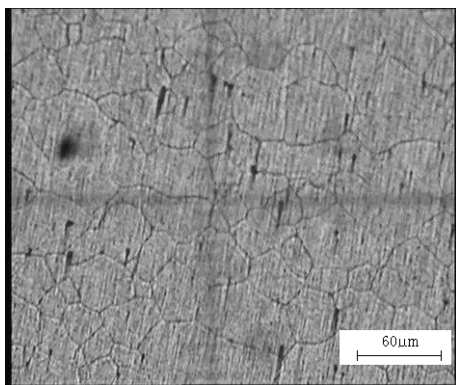
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมเครื่องมือเชื่อม 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.50 จากรูปแสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 109 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันเมื่ออัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำลง ซึ่งที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด คือ 104 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้ นำผลที่ได้มาตรวจสอบการพังทลาย ดังรูปที่ 4.52 (ก) (จ) (ซ) พบว่าการพังทลายที่เกิดขึ้นที่อัตรา

ความเร็วเดิน 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที การพังทลายเกิดขึ้นทางด้านวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 แสดงว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรง ส่วนที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.52 (ก) การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม เมื่อสังเกตจุดบกพร่อง รูปที่ 4.52 (ก) พบว่ามีขนาดเล็ก วัดตามแนวแกน X ได้ 0.5 มิลลิเมตร วัดตามแนวแกน Y ได้ 0.8 มิลลิเมตร สำหรับสาเหตุการพังทลายที่บริเวณแนวเชื่อมของอัตราความเร็วเดินเชื่อมนี้ ผู้ทดลองคาดว่า ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมต่ำเกินไป ทำให้บ่าเครื่องมือคั่นเนื้อวัสดุที่จะเดินเข้าไปในแนวเชื่อมออกมา สังเกตจากรูปที่ 4.52 (ข) เกิดครีบน้ำคราใหญ่ซึ่งคาดว่าเกิดจากบ่าเครื่องมือคั่นเนื้อวัสดุที่อ่อนตัวออกมาและไม่สามารถนำไปเติมกลับลงไปได้ทำให้แนวเชื่อมไม่เกิดความแข็งแรง

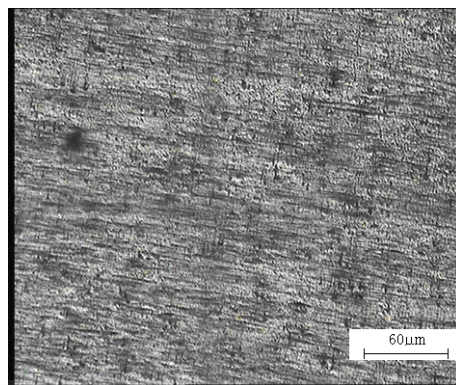


รูปที่ 4.53 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

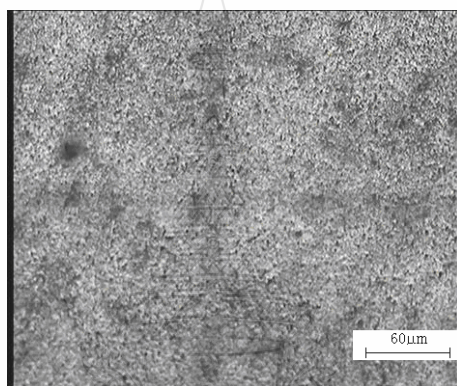
ผลจากการทดสอบรูปที่ 4.53 เป็นของการเอียงเครื่องมือเชื่อม 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าที่วัดได้สูงสุดของความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็ง 175 HV และต่ำสุดที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที คาดว่าส่วนที่มีความแข็งที่ต่ำบริเวณดังกล่าวเป็นวัสดุของอลูมิเนียมผสม 6063 ที่ไม่สามารถรวมตัวกับอลูมิเนียมผสม 7075 ที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมได้ทำให้ได้ค่าความแข็งที่ต่ำ



(ก) อลูมิเนียม 6063



(ข) อลูมิเนียม 7075



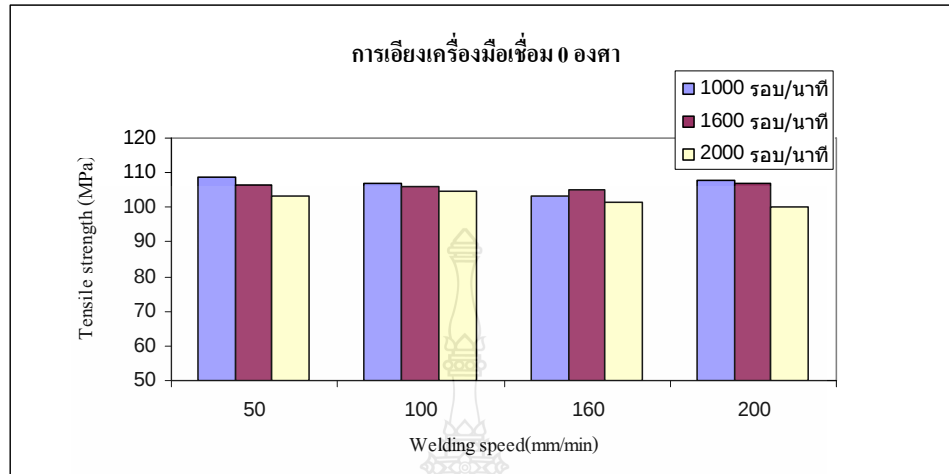
(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม

รูปที่ 4.54 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 4.54 (ก) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063 และรูปที่ 4.54 (ข) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.54 (ค) แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 7075 ที่จากตัวแปร การเอียงหัวเครื่องมือที่ 4 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที จากการสังเกตพบว่าโครงสร้างเกรนของอลูมิเนียมผสม 6063 วัดได้ขนาด 69 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 4.54 (ก) เป็นโครงสร้างเกรนที่มีขนาดโต ทำให้มีผลต่อค่าความแข็ง ทำให้ได้ค่าความแข็งที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม และบริเวณอลูมิเนียมผสม 7075 ซึ่งมีขนาดเกรนที่เล็กกว่า จะให้ค่าความแข็งที่สูง โครงสร้างที่ละเอียดบริเวณแนวเชื่อม ทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งแรงสามารถต้านทานแรงดึงได้สูงกว่าบริเวณวัสดุหลักที่เป็นอลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งมีโครงสร้างเกรนที่ใหญ่กว่า ทำให้การพังทลายเกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุหลักอลูมิเนียมผสม 6063

4.4 ผลสรุปการเอียงเครื่องมือ

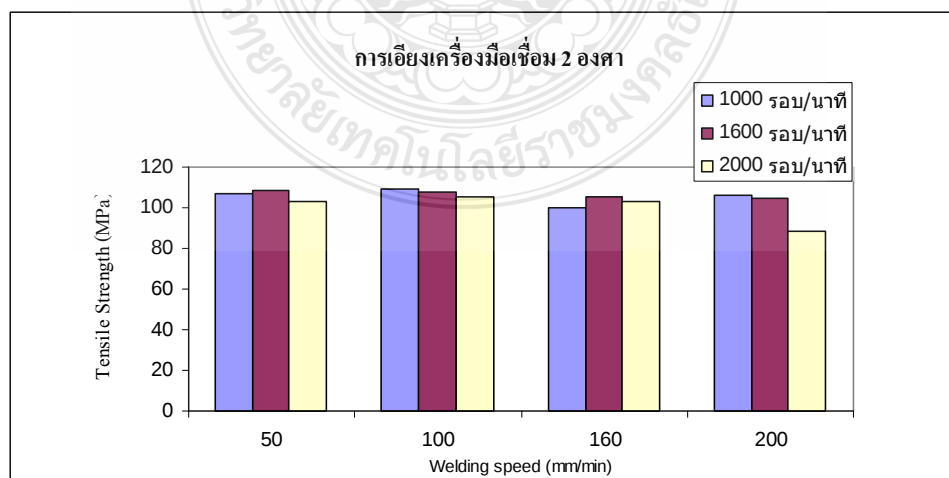
4.4.1 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา



รูปที่ 4.55 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา

รูปที่ 4.55 เป็นรูปที่แสดงผลความต้านทานแรงดึง ของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา โดยกำหนดตัวแปรเป็นความเร็วรอบเครื่องมือ และอัตราความเร็วเดินเชื่อมเครื่องมือ จากผลที่ได้สังเกตได้ว่าในทุกตัวแปรของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ค่าความต้านทานแรงดึงที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนัก

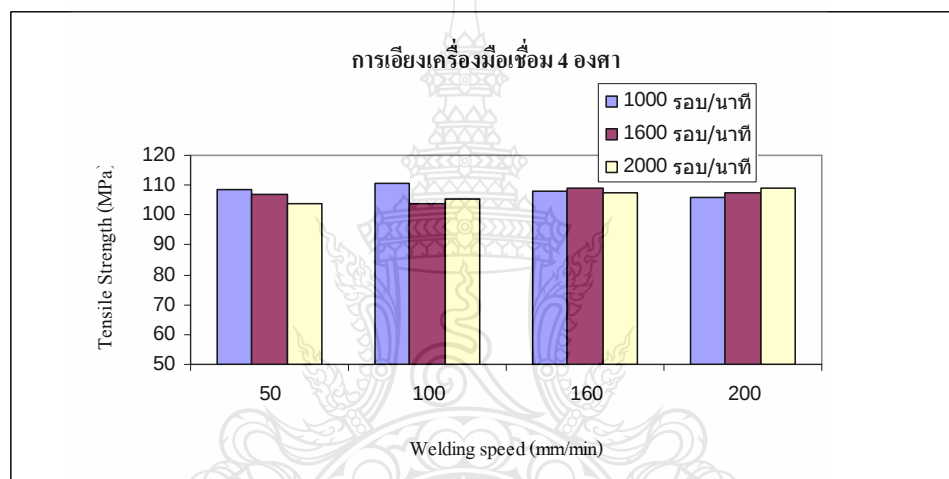
4.4.2 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 2 องศา



รูปที่ 4.56 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 2 องศา

รูปที่ 4.56 เป็นรูปที่แสดงผลความต้านทานแรงดึง ของการเชื่อมเครื่องมือ 2 องศา โดยกำหนดตัวแปรเป็นความเร็วรอบเครื่องมือ และอัตราความเร็วเดินเชื่อมเครื่องมือ จากผลที่ได้สังเกตได้ว่าในทุกตัวแปรของการเชื่อมเครื่องมือ 2 องศา ค่าความต้านทานแรงดึงที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าที่ได้สูงสุดที่ ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ที่อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยที่ทดสอบได้ 109 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และค่าต่ำสุดเป็นของความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานแรงดึงที่ทดสอบได้ 88 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4.4.3 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมเครื่องมือ 4 องศา



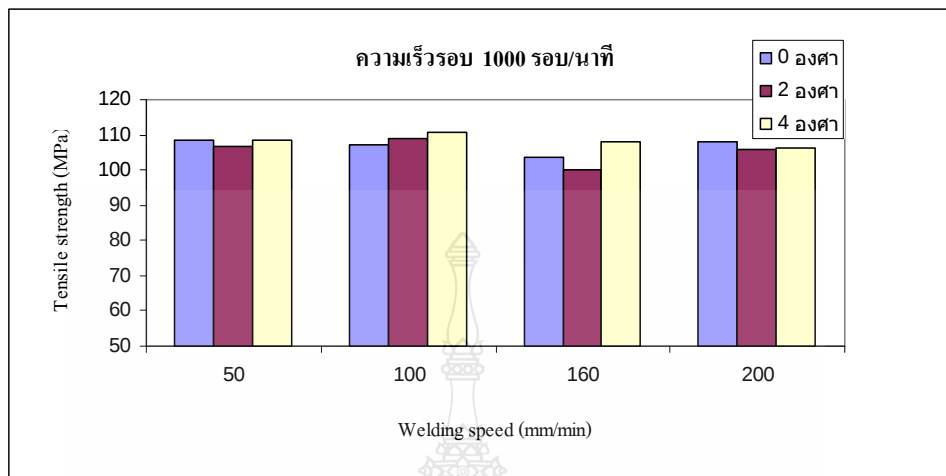
รูปที่ 4.57 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมเครื่องมือ 4 องศา

รูปที่ 4.57 เป็นรูปที่แสดงผลความต้านทานแรงดึง ของการเชื่อมเครื่องมือ 4 องศา โดยกำหนดตัวแปรเป็นความเร็วรอบเครื่องมือ และอัตราความเร็วเดินเชื่อมเครื่องมือ จากผลที่ได้สังเกตได้ว่าในทุกตัวแปรของการเชื่อมเครื่องมือ 4 องศา ค่าความต้านทานแรงดึงที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าสูงสุดของความต้านทานแรงดึงที่ทดสอบได้ 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นของความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที

สำหรับการวิเคราะห์ผลที่ได้ ที่ทำให้ค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกัน จากการตรวจสอบพบว่าการขาดของวัสดุจะขาดทางด้านวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 6063 ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าไม่แตกต่างกัน

4.5 ผลสรุปตัวแปรความเร็วรอบ

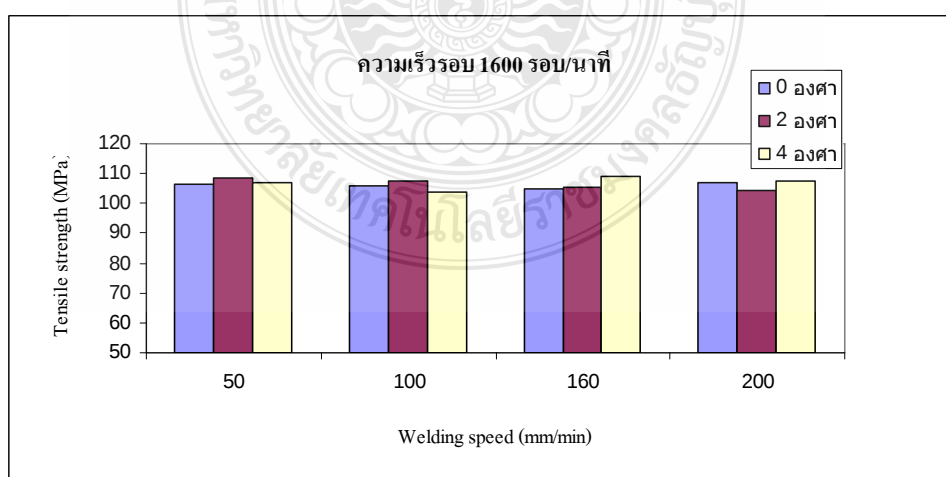
4.5.1 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.58 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที โดยตัวแปรที่แปรเปลี่ยนเป็นองศาเครื่องมือ พบว่า การเอียงเครื่องมือที่มุมต่างๆ ทำให้เกิดผลของความต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างกัน

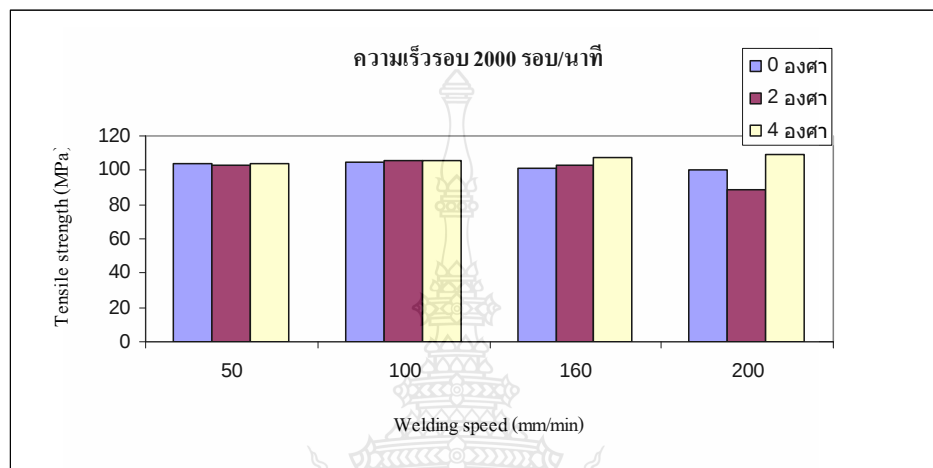
4.5.1 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.59 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที โดยกำหนดตัวแปรเป็น การเอียงเครื่องมือ ที่ 0, 2 และ 4 องศา พบว่าในทุกองศาที่แปรเปลี่ยนความต้านทานแรงดึงที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

4.5.1 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.60 เปรียบเทียบการทดสอบความต้านทานแรงดึงของความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ของความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที โดยตัวแปรที่แปรเปลี่ยนเป็นองศาเครื่องมือ ที่ 0, 2 และ 4 องศา พบว่า การเอียงเครื่องมือที่มุมต่างๆ ทำให้เกิดผลของความต้านทานแรงดึงไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงในทุกองศาที่แปรเปลี่ยนมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน จากการตรวจสอบการพังทลายของชิ้นงานทดสอบ พบว่าการพังทลายของชิ้นงานทดสอบพังทลายทางด้านวัสดุหลัก อลูมิเนียมผสม 6063 ในทุกองศา ผู้ทดลองคาดว่าเป็นผลทำให้ค่าความความต้านแรงดึงที่ทดสอบได้มีค่าไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษากันคว้าและทดลองถึงความเป็นไปได้ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบ กวนแบบต่อชน กับวัสดุอลูมิเนียมผสม 6063 และอลูมิเนียมผสม 7075 ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปร การเอียงเครื่องมือเชื่อม 0, 2 และ 4 องศา ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรความเร็วรอบของเครื่องมือเชื่อม 1000, 1600 และ 2000 รอบต่อนาที เปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วเดินเชื่อม 50, 100, 160 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อที่จะเพิ่มทางเลือกในการเชื่อมให้กับผู้ที่สนใจและนำไปประยุกต์ใช้กับงานใน อุตสาหกรรม ที่จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานการระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับอลูมิเนียมผสม 7075 จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปผลการทดลอง และมี ข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีอัตราความเร็ว สูงหรือต่ำเกินไป ก่อให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม เช่นเดียวกันกับความเร็วยรอบ เมื่อ เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบสูงหรือต่ำเกินไปมีผลทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ส่วนการเอียงองศา เครื่องมือ เมื่อเอียงองศาเครื่องมือเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์

5.1.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อโครงสร้างมหภาคและการพังทลายของชิ้นงาน โครงสร้าง มหภาคภายในแนวเชื่อมของชิ้นงานที่สมบูรณ์ และไม่เกิดจุดบกพร่องแสดงการไหลเข้ามารวมกัน ของอลูมิเนียมทั้งสองชนิดได้อย่างดีเยี่ยม แต่ไม่แสดงการก้อนที่มีลักษณะคล้ายหัวหอม เหมือนดังการ เชื่อมอลูมิเนียมเกรดเดียวกัน จุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจากด้านล่าง กระจาย ขึ้นไปใกล้บริเวณผิวด้านบนแนวเชื่อม ทำให้การทลายที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม

5.1.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม สภาพการเชื่อมที่ เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าแรงดึงที่ดีที่สุด คือ ที่การเอียงมุมเครื่องมือ 4 องศา ความเร็วยรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 110 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

5.1.4 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งของรอยเชื่อม สภาพการเชื่อมที่ดีที่สุดที่ทำให้ บริเวณรอยเชื่อมมีค่าความแข็งสูง คือ ที่ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที อัตราความเร็วเดิน เชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ในการเชื่อมเครื่องมือเอียงมุม 2 องศา ทำให้ได้ค่าสูงสุด 185 HV

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับ อลูมิเนียมผสม 7075 แบบรอบต่อชน ปัญหาที่พบจากการดำเนินงานและทำการเชื่อม ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 กับ อลูมิเนียมผสม 7075 สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงได้สรุปรวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงานในการเชื่อม

การเตรียมชิ้นงานเป็นส่วนที่สำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะถ้าเตรียมชิ้นงานไม่ดี อาจจะทำให้ผลกระทบต่อการยึดติดกันของรอยเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่มีความแข็งแรง และควรเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดความสูงที่เท่ากัน นอกจากนั้นอุปกรณ์จับยึดต้องมีความแข็งแรงสามารถจับยึดชิ้นงานได้มั่นคง

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเชื่อม

ก่อนที่จะทำการเชื่อมต้องให้ชิ้นงานชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อมจะสัมผัสและแนบสนิทกัน เพราะถ้าชิ้นงานไม่ได้แนบสนิทกัน อาจจะทำให้การเชื่อมนั้นไม่เกิดการยึดติดกันของวัสดุ และก่อนที่จะทำการเชื่อมควรขัดด้วยกระดาษทราย และควรเช็ดทำความสะอาดด้วยอะซิโตน (Acetone) เพื่อความสะอาดของชิ้นงานที่จะช่วยให้การเชื่อมยึดติดกันได้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเครื่องมือเชื่อม

ควรเตรียมเครื่องมือให้เพียงพอต่อการเชื่อมในแต่ละครั้ง เพราะหลังจากเครื่องมือผ่าน การเชื่อมจะเกิดความร้อนจากการเสียดทาน ทำให้โครงสร้างเครื่องมือเปลี่ยน อีกทั้งการทำให้เครื่องมือมีอุณหภูมิลดลงหลังการเชื่อม ควรแน่ใจว่าเครื่องมือมีอุณหภูมิปกติก่อนทำการเชื่อมครั้งต่อไป

5.2.4 ข้อเสนอแนะด้านเครื่องจักร

ควรใช้เครื่องจักรที่เป็นอัตโนมัติเพื่อที่จะสามารถควบคุมความลึกที่ป่าเครื่องมือจะสอดเข้าไปในเนื้อวัสดุ และควบคุมเวลากดแซ่ให้แน่นอนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Templesmith, P. and Dawes, C.J. **Friction Stir Welding**. G.B. Patent Application No. 9125978.8, 1991
- [2] Z.Y. MA., “Friction Stir Processing Technology: A Review”, **Metall. Mater**, Vol.39A, 2008. pp642-658.
- [3] นราธิป แสงซ้าย, สงกรานต์ บางศรีชัยทิพย์, กิตติ พงษ์กิมะพงศ์. 2551. “อิทธิพลรูปร่างตัวกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA 6063-T1”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2551. สงขลา, ประเทศไทย, 20-22 ตุลาคม 2551: แผ่นซีดีรอม
- [4] บรรเจิด ดอนเนตรงาม และสมนึก วัฒนศรีกุล. 2550. “การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมเสียดทานหมุนกวนอลูมิเนียมเจือ AA6063-T6 ระหว่างสลักแกนหมุนทรงกระบอกหัวตัดตรงกับหัวโค้ง”. การประชุมช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2550. ภูเก็ต, ประเทศไทย, 24-26 ตุลาคม 2550: แผ่นซีดีรอม
- [5] Elangovan, K., Balasubramanian, V. , “Influences of tools pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminum alloys”, **Materials and Design**. Vol. 29 ,2008. pp 362-373.
- [6] Vural, M., Ogur, A., Cam, G., Ozarpa, C., “On the friction stir welding of aluminum alloys EN AW 2024-0 and EN AW 5754-H22”, **Mat.Sci. and Eng.A** ,Vol. 28 ,2007.pp 49-54.
- [7] Khodir, S. A. and T. Shibayanagi, “Friction stir welding of dissimilar AA2024 and AA7075 aluminum alloys”, **Materials Science and Engineering**, Vol. 148 ,2008. pp 82-87.
- [8] Khodir, S. A. and T. Shibayanagi , “Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Weld Similar and Dissimilar Joints of and Mg alloys”, **Transaction of JWRI** ,Vol.36 ,2007. pp 27-40.
- [9] ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา, สาโรช ลูติเกียรติพงศ์. **วัสดุในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2551, หน้า 162-163.
- [10] แหล่งที่มา <http://www.aluminiumlearning.com>, 31 สิงหาคม 2550.
- [11] แหล่งที่มา <http://www.material.tohoku.ac.jp>, 25 สิงหาคม 2550
- [12] ชูชาติ ค้างสงค์. **การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ**. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.
- [13] แหล่งที่มา <http://www.instron.us>, 1 พฤศจิกายน 2552.

- [14] ขวลิต เชียงกุล. โลหะวิทยา. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544.
- [15] ธงชัย เครือเผื่อ ,ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. 2551. “อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลในการเชื่อมอลูมิเนียมผสม A356 ที่หล่อโดยเทคโนโลยีหล่อกิ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน”. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551. สงขลา, ประเทศไทย, 20-22 ตุลาคม 2551: แผ่นซีดีรอม
- [16] อนุชา ขวัญสุข ,สมนึก วัฒนศรีกุล. 2550. “เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมเกรด AA6063-T1 โดยการเชื่อมเสียดทานหมุนกวนด้วยสลักแกนหมุนทรงกระบอกแบบผิวเรียบกับแบบผิวเกลียว”. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2550. ภูเก็ต, ประเทศไทย, 24-26 ตุลาคม 2550: แผ่นซีดีรอม
- [17] Cavaliere, P., Cerri, E., “Mechanical response of 2024-7075 aluminum alloys joined by Friction Stir Welding”, **Journal of Materials Science**, Vol. 40 ,2005., pp 3669-3676.
- [18] Q.Y. Wang, Sriraman, N. Kawagoishi and Q. Chen., “Fatigue crack growth of bonded composite repairs in gigacycle regime”, **Journal of Science Direct**, Vol. 28 ,2006. pp1197-1201
- [19] H. J. LIU., “Friction Stir Welding Characteristics of 2017-T351 Aluminum Alloy Sheet”. **Journal of Materials Science**, Vol. 40 ,2005. pp 3297-3299.
- [20] แหล่งที่มา [http:// www.industrialheating.com](http://www.industrialheating.com), 1 พฤศจิกายน 2552.
- [21] S. Babu, K. Elangovan, V. Balasubramanian, and M. Balasubramanian., “Optimizing Friction stir welding Parameter to Maximize Tensile Strength of AA2219 Aluminum Alloy Joint”, **Met. Mater. Int**, Vol.15 ,2009. pp 321-330.
- [22] Testing Instrument Co., Ltd. Material Lab Co., Ltd. การศึกษาโครงสร้างของโลหะ, Testing Instrument Material Lab, กรุงเทพมหานคร.
- [23] Cavaliere, P., G. Campanile, et al., "Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6056 joints produced by Friction Stir Welding.", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.180(1-3) ,2006. pp 263-270.
- [24] Scialpi, A., L. A. C. De Filippis, et al., "Influence of shoulder geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 aluminum alloy.", **Materials & Design** ,Vol.28(4) ,2007. pp 1124-1129.

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง



1. ผลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทดลอง

1.1 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ ก.1 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 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวγων 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดัง
ตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	111.50	112.30	100.68	112.50
2	104.80	99.59	104.55	106.60
3	109.22	109.15	104.96	104.81
เฉลี่ย	108.50	107.01	103.3	107.97

1.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	111.16	115.05	94.42	104.60
2	102.28	105.17	102.32	105.58
3	106.28	106.50	103.32	107.49
เฉลี่ย	106.57	108.90	100.02	105.89

1.4 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	114.54	111.32	110.17	102.66
2	105.90	110.71	106.74	107.37
3	104.77	109.84	106.84	108.35
เฉลี่ย	108.40	110.62	107.91	106.12

1.5 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.5 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	103.94	110.95	102.92	111.57
2	111.94	103.12	105.89	103.74
3	103.50	104.12	106.18	105.50
เฉลี่ย	106.46	106.06	104.99	106.93

1.6 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	109.05	107.73	108.48	101.80
2	113.11	105.53	104.02	106.28
3	103.80	109.45	102.90	105.42
เฉลี่ย	108.65	107.57	105.13	104.50

1.7 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	106.65	105.96	115.22	107.95
2	105.85	101.60	107.34	107.87
3	107.55	103.90	103.79	106.17
เฉลี่ย	106.68	103.82	108.78	107.33

1.8 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.8

ตารางที่ ก.8 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	113.31	104.95	103.75	109.15
2	101.74	103.55	100.09	101.46
3	95.41	105.33	100.09	90.35
เฉลี่ย	103.48	104.61	101.31	100.32

1.9 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.9 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	96.77	107.67	104.93	107.00
2	105.90	104.24	102.19	87.51
3	106.13	104.69	102.19	71.78
เฉลี่ย	102.93	105.53	103.10	88.76

1.10 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.10

ตารางที่ ก.10 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²	นิวตัน/มม. ²
1	92.61	101.63	108.20	105.56
2	111.53	107.25	106.80	110.96
3	107.99	107.49	106.82	110.63
เฉลี่ย	104.04	105.45	107.27	109.05

2. ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การขีดตัว

2.1 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.11

ตารางที่ ก.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การขีดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.34	2.40	2.10	2.45
2	2.24	2.17	2.29	2.35
3	2.27	1.35	2.25	2.28
เฉลี่ย	2.28	1.97	2.21	2.36

2.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.12

ตารางที่ ก.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การขีดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.44	2.59	2.50	2.52
2	2.21	2.49	2.25	2.25
3	2.16	2.39	2.27	2.20
เฉลี่ย	2.27	2.49	2.34	2.32

2.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.13

ตารางที่ ก.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.30	2.28	2.32	2.29
2	2.24	2.25	2.16	2.27
3	2.26	2.29	2.27	2.26
เฉลี่ย	2.26	2.27	2.25	2.27

2.4 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.14

ตารางที่ ก.14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.34	2.50	2.32	2.47
2	2.34	2.24	2.24	2.22
3	2.34	2.24	2.27	2.25
เฉลี่ย	2.34	2.32	2.27	2.31

2.5 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.15

ตารางที่ ก.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.37	2.34	2.50	2.52
2	2.12	2.14	2.09	2.20
3	0.86	2.12	2.18	2.23
เฉลี่ย	1.78	2.2	2.25	2.31

2.6 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.16

ตารางที่ ก.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 1600 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.43	2.40	2.56	2.38
2	2.25	2.12	2.21	2.27
3	2.26	2.20	2.21	2.25
เฉลี่ย	2.31	2.24	2.32	2.30

2.7 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.17

ตารางที่ ก.17 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	2.42	2.34	2.39	2.42
2	2.10	2.16	2.11	2.16
3	0.85	2.20	2.11	0.71
เฉลี่ย	1.79	2.23	2.20	1.76

2.8 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.18

ตารางที่ ก.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 2 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	0.75	2.36	2.40	2.33
2	2.15	2.02	2.20	0.67
3	2.16	2.06	2.20	0.48
เฉลี่ย	1.68	2.14	2.26	1.16

2.9 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.19

ตารางที่ ก.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมที่มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

ชั้นที่	มุม 4 องศา ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที			
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)			
	50	100	160	200
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	1.25	2.41	2.17	2.50
2	2.16	2.19	2.17	2.19
3	2.19	2.10	2.16	2.20
เฉลี่ย	1.86	2.23	2.16	2.29

3.ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ตารางที่ ก.20 ค่าขนาดโครงสร้างจุลภาค (หน่วย: ไมโครเมตร)

ครั้งที่	ค่าตัวแปร (มุมเอียง/อัตราเดินเชื่อม/ความเร็วรอบ)								
	0/50/1000	0/160/1600	0/100/2000	2/100/1000	2/50/1600	2/100/2000	4/100/1000	4/160/1600	4/160/2000
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 ก.21 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1000 รอบต่อนาที

feed	AA6063												0.0	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		0.5	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
200	55.5	56.3	62.1	63.9	64.6	52.9	157.3	151.9	158.0	169.7	163.0	150.0	144.6	135.3	136.5	133.1	141.4	144.0	149.8	145.7	149.3	144.1	136.0	131.4	134.1

ตารางที่ ก.22 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 1600 รอบต่อนาที

feed	AA6063												0.0	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		0.5	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
200	70.0	69.1	68.4	63.2	67.8	58.4	183.0	169.9	146.0	174.0	149.0	171.7	170.0	139.1	97.4	106.1	133.7	157.0	169.4	201.5	131.5	127.2	134.0	124.5	121.7

ตารางที่ ก.23 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 2000 รอบต่อนาที

feed	AA6063												0.0	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		0.5	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
200	63.4	61.4	62.2	59.2	62.5	62.8	62.3	67.9	163.0	164.5	178.0	57.1	68.8	59.9	64.7	141.4	143.0	129.0	109.9	144.3	138.8	121.0	125.0	123.8	114.1

ตารางที่ ก.24 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 2 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	
200	61.5	60.2	59.7	58.9	61.1	65.9	61.8	61.9	62.3	169.5	171.0	173.5	173.4	173.6	172.9	175.8	171.0	176.0	167.0	164.6	157.6	157.8	149.1	146.1	146.2	

ตารางที่ ก.25 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 2 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		
200	59.7	55.6	54.3	52.8	60.8	60.4	62.4	62.7	60.0	53.8	57.9	154.7	136.5	125.2	146.5	122.1	157.3	142.4	144.0	131.0	136.8	137.7	134.7	139.2	127.2		

ตารางที่ ก.26 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 2 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	
200	58.3	66.2	62.8	58.7	61.6	60.7	60.5	58.8	61.5	67.6	60.9	63.1	53.7	176.5	165.5	159.5	96.1	67.4	108.0	162.6	145.4	132.0	121.5	120.3	123.5	

ตารางที่ ก.27 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 4 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	
200	56.9	55.9	61.1	62.8	63.2	60.1	60.8	63.9	64.4	63.0	62.9	60.3	67.0	188.0	190.0	175.9	187.0	171.9	182.1	162.5	155.5	164.0	151.0	152.0	151.6	

ตารางที่ ก.28 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 4 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		
200	64.0	73.6	70.9	68.3	66.6	61.3	57.0	58.6	62.2	64.6	65.8	65.9	173.0	74.7	174.0	171.5	162.0	158.1	151.0	148.1	140.6	133.0	142.0	127.0	129.7		

ตารางที่ ก.29 ค่าทดสอบความแข็ง เครื่องมือเอียง 4 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	
200	58.3	58.6	62.5	59.8	59.9	56.0	61.3	162.3	104.1	64.9	61.2	67.3	67.2	109.0	109.0	147.5	137.0	137.9	163.9	110.6	166.7	152.0	141.0	133.0	122.3	

ภาคผนวก ข
ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่



IE NET
Industrial Engineering Network Conference
2009

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552
Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาศิต จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ



การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

วิชัย พุ่มจันทร์^{1^} กิตติพงษ์ กิมะพงศ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: wichaipumchan@hotmail.com[^]

บทคัดย่อ

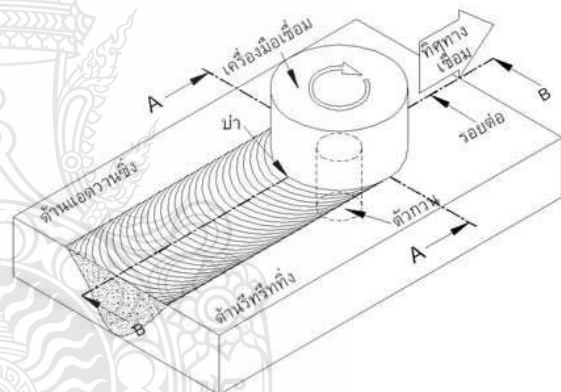
บทความนี้มีจุดประสงค์หลัก เพื่อประยุกต์การเชื่อมเสียดทานแบบกวน ในการเชื่อมอลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด 6063 และ 7075 โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการความเร็วเดินแนวเชื่อม และทำการตรวจสอบความแข็งแรงดึงและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า ตัวแปรการเชื่อมที่ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ทำให้แนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ และเกิดจุดบกพร่องในแนวเชื่อม เมื่อความเร็วเดินเชื่อมไม่เหมาะสม แต่ยังคงส่งผลให้โลหะเชื่อมแน่น มีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลักที่ใช้ในการเชื่อม ตำแหน่งการพังทลายของแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์เกิดที่ด้านอลูมิเนียมหลัก 6063 ซึ่งเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียม 7075 สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 125 MPa คือ ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

คำสำคัญ อลูมิเนียมผสม; การเชื่อมอลูมิเนียม; การเชื่อมเสียดทานแบบกวน; รอยต่อชน; ความแข็งแรงดึง

1. บทนำ

การเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1991 ซึ่งเป็นการเชื่อมวัสดุในสภาวะแข็ง เพื่อเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมด้วยการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) [1] ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ได้มีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ และเรือเดินสมุทร ซึ่ง

การเชื่อมลักษณะนี้ให้สมบัติทางกลของแนวเชื่อมที่ดีในบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมแบบหลอมละลาย [2] ลักษณะของการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนแสดงในรูปที่ 1



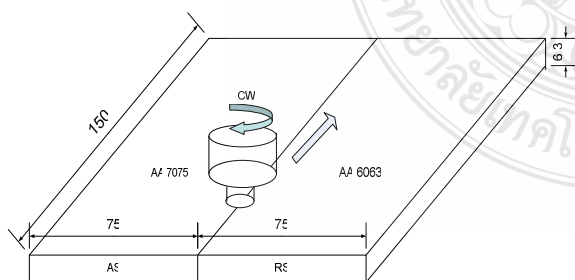
รูปที่ 1. การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [3]

ตัวกวนถูกสอดลงเข้าไปในรอยต่อของวัสดุทำให้เกิดความร้อน และทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้ป้าของเครื่องมือเชื่อม เมื่อตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ วัสดุที่อ่อนตัวและเกิดการกวนอยู่ด้านหน้าของตัวกวน จะถูกถ่ายเทมาสู่ด้านหลังตามทิศทางการหมุนของตัวกวนทางด้านรีทรีท และบางส่วนไหลจากด้านหลังสู่ด้านหน้าด้านแอดวานซ์ (ด้านรีทรีทคือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม ขณะที่ด้านแอดวานซ์ คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม) จากนั้นเมื่อวัสดุส่งผ่านรอบๆ ตัวกวนและตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ป้าด้าน หลังของเครื่องมือเชื่อม จะกดอัด และผสมวัสดุทำให้เกิดการ

รวมตัวกันขึ้นเป็นแนวเชื่อม [3]

ในปัจจุบันมีงานวิจัยและการนำไปประยุกต์ใช้ FSW ในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรดต่างๆ มากมาย เช่น การศึกษาอิทธิพลของการหมุนและความเร็วเดินเชื่อม ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมเกรด AA6056 [4] หรือ การศึกษาการใช้ตัวกวนที่มีลักษณะปลายทรงกระบอกตัดโค้งและตัดตรง ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063-T6 [5] หรือการศึกษาขนาดของป้าและขนาดของเครื่องมือเชื่อมก็ได้มีการศึกษาในอลูมิเนียมผสมเกรด AA6061 [6] สำหรับการประยุกต์ใช้ในลักษณะอื่นๆ เป็นการเชื่อมในอลูมิเนียมผสมต่างเกรด ซึ่งมีการเชื่อมในอลูมิเนียมผสมระหว่างเกรด EN AW 2024-0 และ EN AW 5754-H22 [7] การศึกษาสมบัติทางกลของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA 2024 และ AA 7075 [8] เป็นต้น การศึกษาเหล่านี้ได้มีรายงานความแข็งแรงของรอยต่อชนเหล่านี้ มีค่าสูงกว่าอลูมิเนียมที่ใช้เป็นวัสดุในการเชื่อม อย่างไรก็ตามในกรณีของการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และ AA7075 ยังไม่เคยมีรายงานไว้และเป็นฐานข้อมูลในการวิจัย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในการประยุกต์ใช้การเชื่อมการเสียดทานแบบกวน ในการเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่างเกรดกันนี้ และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อมเพื่อเตรียมข้อมูลในการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2. วิธีการทดลอง



รูปที่ 2. มิติของชิ้นงาน (หน่วย: มม.)

อลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 อลูมิเนียมที่ใช้มีความหนา 6.3 มิลลิเมตร ถูกตัดให้ได้ขนาด

กว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

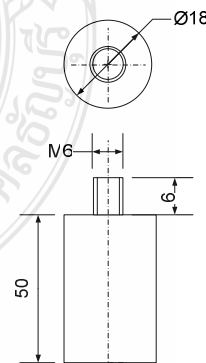
ตารางที่ 1. ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสม AA6063

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

ตารางที่ 2. ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมผสม AA7075

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

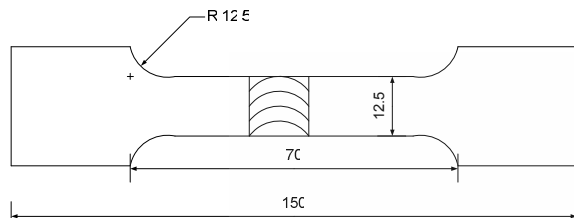
จากนั้นนำมาต่อชนกันลักษณะดังรูปที่ 2 โดยวางอลูมิเนียมผสม AA 6063 ไว้ทางด้านแอดวานซ์ และอลูมิเนียม AA 7075 ไว้ทางด้านรีทริทึง ซึ่งจะถูกจับยึดอยู่บนอุปกรณ์จับยึด เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงานขณะทำการเชื่อม สำหรับเครื่องมือในการเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 มีรูปร่างทรงกระบอก โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของป้าเครื่องมือมีค่า 18 มิลลิเมตร ตัวกวนมีรูปร่างเป็นเกลียวทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร มีระยะพิทช์เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และมีความยาว 6 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3 เครื่องมือเชื่อมเอียงทำมุมกับแกน Z ของเครื่องจักร 2 องศา



รูปที่ 3. มิติของเครื่องมือเชื่อม (หน่วย: มม.)

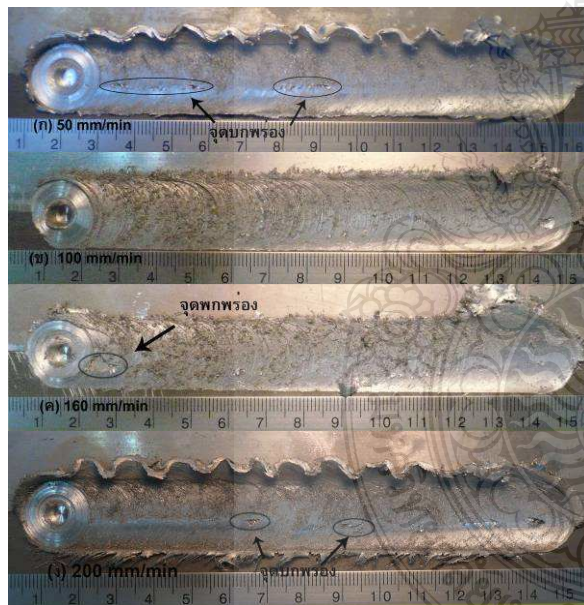
สำหรับความเร็วรอบของตัวกวนมีค่า 2000 rpm มีทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา เดินเชื่อมไปตามแนวต่อชนมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมจาก 50 ถึง 200 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อทำการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์ชิ้นงานเชื่อมจะถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบความ

แข็งแรงดังตามมาตรฐาน AWS D1.2 ที่มีขนาดมิติขึ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 และแนวเชื่อมบริเวณกึ่งกลางทิศทางเดินเชื่อมจะถูกตัด และนำมาตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางเดินเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบความสมบรูณ์กับความต้านทานแรงดึงของรอยต่อต่อไป



รูปที่ 4. ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง (หน่วย: มม.)

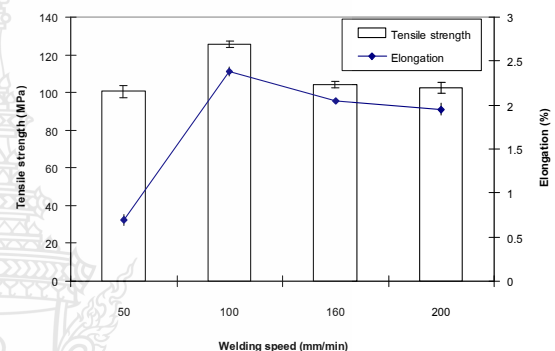
3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล



รูปที่ 5. ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ (หน่วยสเกล: ซม.)

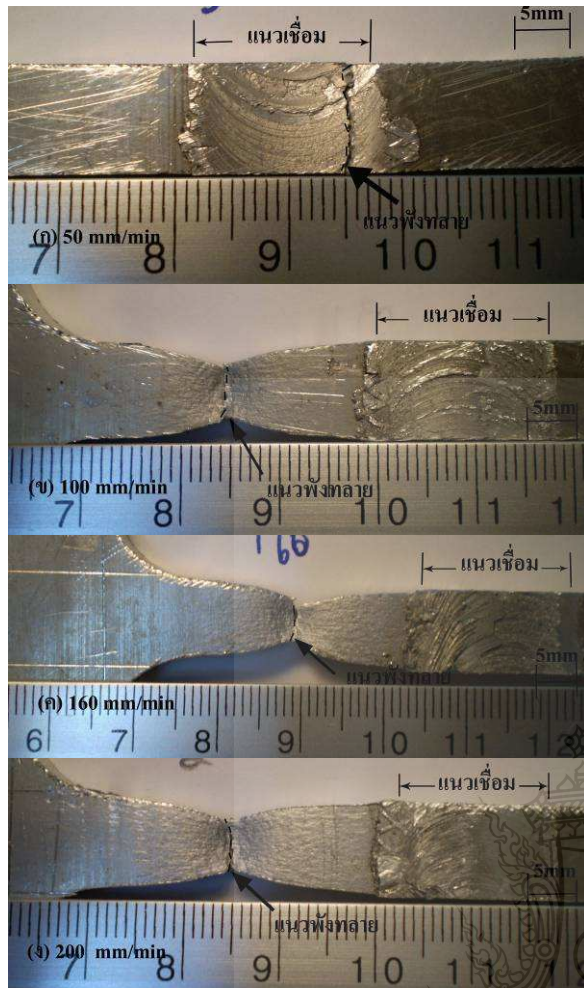
รูปที่ 5 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยความเร็วรอบของตัวกรวน 2000 rpm และความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ พบว่าที่ 50 และ 100 mm/min เกิดจุดบกพร่องเป็นลักษณะเหมือนเนื้อวัสดุฉีกขาดออก เป็นหลุมเล็กบริเวณกึ่งกลางไปหาตอนปลายของแนวเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 5 (ก) และ (ข) อย่างไรก็ตามผิวหน้าแนวเชื่อมนี้ สามารถถูกกำจัดออกไปได้เมื่อความ

เร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาที่ 160 และ 200 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 5 (ค) และ (ง) นอกจากนั้นพบว่าขนาดของครีปที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าด้านรืทริทึงนั้นมีขนาดที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การเกิดลักษณะนี้ เนื่องจากความร้อนของแนวเชื่อมที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น [3] ผิวหน้าเกิดลักษณะผิวที่เป็นเกล็ดขนาดเล็กๆ ในทุกสภาวะความเร็วเดินเชื่อมลักษณะเป็นเกล็ดนี้จะลดลงเมื่อสภาวะความเร็วเดินเชื่อมลดลง อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องบนผิวนแนวเชื่อมเกิดในทุกสภาวะการเชื่อม



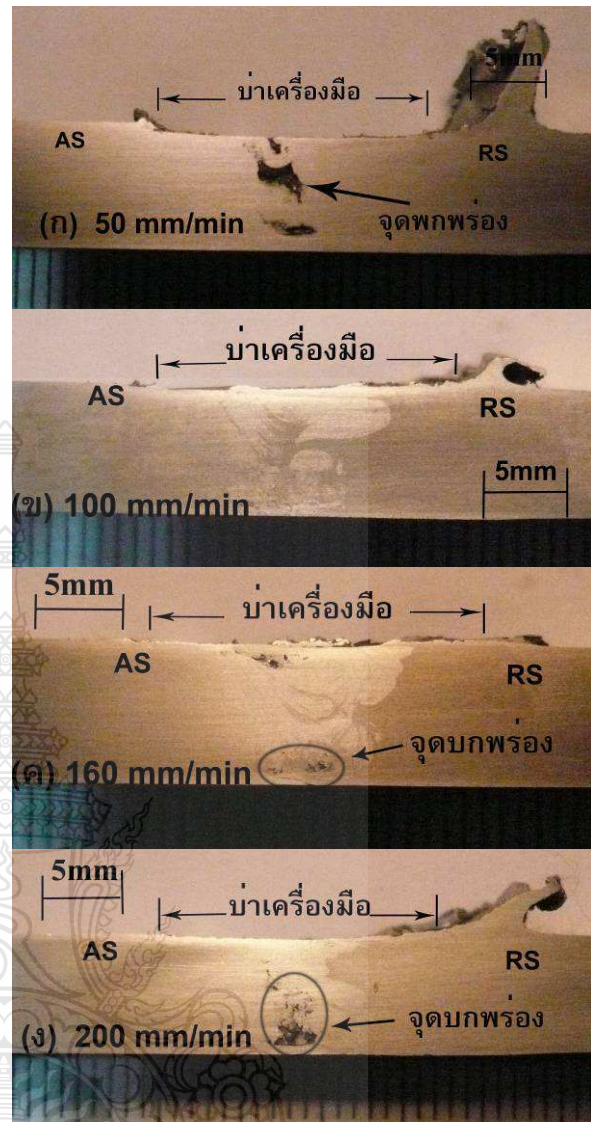
รูปที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมและความแข็งแรงดึง

รูปที่ 6 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม และความแข็งแรงดึง พบว่าเมื่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 160 mm/min ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ซึ่งที่ความเร็วเดินเชื่อม ที่ 160 mm/min จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ 103 MPa และลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ 200 mm/min และอีกด้านหนึ่งเมื่อความเร็วเดินเชื่อมลดลง ที่ 50 mm/min ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงที่ 97 MPa สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการยืดตัวก็เช่นเดียวกันมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าที่ 125 MPa ความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 mm/min ให้ค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการยืดตัวที่ 2.4 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [9] และในรูปที่ 7 แสดงการพังทลายของชิ้นงานทดลองเมื่อผ่านการทดสอบแรงดึง การพังทลายที่เกิดขึ้นในหลายความเร็วเดินเชื่อม การพังทลายส่วนใหญ่เกิดขึ้น ด้านอลูมิเนียมเกรด AA 6063 ที่เป็นวัสดุหลัก [9] ถึงแม้ว่าแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อมจะทำให้

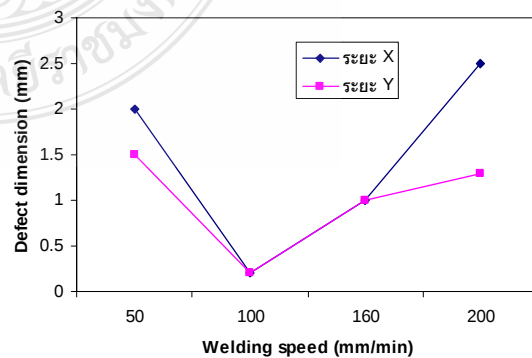


รูปที่ 7. การพองทลายของชิ้นทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ

แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์เกิดจุดบกพร่องขนาดใหญ่ ทำให้ผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อม ซึ่งมีแสดงใน รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อชน ที่ความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ซึ่งปรากฏให้เห็นชัดเจนว่า จุดบกพร่องขนาดใหญ่ ซึ่ง แสดงค่าการวัดตามแนวแกน X และ Y ในรูปที่ 9 จุดบกพร่องขนาด ระยะ X เฉลี่ย 2 มิลลิเมตร และ ระยะ Y เฉลี่ย 2 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 mm/min จากรูปจะเห็นว่ามียูหลายตำแหน่ง ซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมในความเร็วในการเดินเชื่อมนี้ ให้ค่าความแข็งแรงดิ่งที่ต่ำ สาเหตุคาดว่า ณ ความเร็วเดินเชื่อมนี้ไม่สามารถนำเนื้อโลหะไปเติมเต็มแนวเชื่อมให้สมบูรณ์ได้ ซึ่งต่างจากความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 mm/min ปรากฏว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ เกิดจุดบกพร่องน้อยมาก ซึ่งมีผลทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงดิ่งสูง [9]



รูปที่ 8. โครงสร้างมหัพภาคของรอยต่อชนที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ (RS คือ ด้านรีทอร์ทิง และ AS แสดงด้านแอตวานซ์)



รูปที่ 9. การเปลี่ยนแปลงของจุดบกพร่อง

4. สรุป

การทดลองการประยุกต์ใช้การเชื่อมเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดเกรด AA6063 และอลูมิเนียมแผ่นรีดเกรด AA7075 โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเดินแนว สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าสูงหรือต่ำเกินไป ก่อให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม
- 2) ความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ได้ ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของโครงสร้างมหัพภาคแนวเชื่อม โครงสร้างมหัพภาคที่มีความสมบูรณ์ แสดงการพังทลายของชิ้นทดสอบที่บริเวณอลูมิเนียมหลัก ด้านอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขณะที่ชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องนั้น เกิดการพังทลายที่บริเวณโลหะเชื่อมผ่านจุดบกพร่อง
- 3) โครงสร้างมหัพภาคของชิ้นงานที่สมบูรณ์ และ ไม่เกิดจุดบกพร่องแสดงการไหลเข้ามารวมกันของอลูมิเนียมทั้งสองชนิดได้อย่างดีเยี่ยม แต่ไม่แสดงการก้อนนั้กเททกลม เหมือนดังการเชื่อมอลูมิเนียมเกรดเดียวกัน
- 4) สภาวะการเชื่อมที่ดีที่สุด คือ แนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วเชิงตัวกวน 2 องศา ที่แสดงแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ และมีค่าความแข็งแรงถึง 125 MPa

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Templesmith, P. and Dawes, C.J. 1991. Friction Stir Welding. G.B. Patent Application No. 9125978.8.
- [2] Thomas, W.M. and Nicholas, E.D. 1997. Friction Stir Welding for the Transportation Industries. Materials and Design. 18: 269-273.
- [3] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2551. อิทธิพลความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1.

วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 19-3: 47-51.

- [4] A. Squillace, T. Segreto, U. Prisco, Teti, G. Campanile. 2006. Optimization of Friction Stir Welds of Aluminum alloys. IPROM, 135: 189-195.
- [5] บรรเจิด ดอนเนตรงาม และสมนึก วัฒนศรีกุล. 2550. การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมเสียดทานหมุนกวนอลูมิเนียมเกรด AA6063-T6 ระหว่างสลักแกนหมุนทรงกระบอกหัวตัดตรงกับหัวโค้ง. การประชุมข่างานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2550. ภูเก็ต, ประเทศไทย, 24-26 ตุลาคม 2550: แผ่นซีดีรอม
- [6] Elangovan, K., Balasubramanian, V. 2008. Influences of tools pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminum alloys. Materials and Design. 29: 362-373.
- [7] Vural, M., Ogur, A., Cam, G., Ozarpa, C. 2007. On the friction stir welding of aluminum alloys EN AW 2024-0 and EN AW 5754-H22. Mat.Sci. and Eng.A, 28: 49-54.
- [8] Cavaliere, P., Cerri, E. 2005. Mechanical response of 2024-7075 aluminum alloys joined by Friction Stir Welding. Journal of Materials Science. 40: 3669-3679.
- [9] นราธิป แสงชัย, สงกรานต์ บางศรีณย์ทิพย์, กิตติ พงษ์กิมะพงศ์. 2551. อิทธิพลรูปร่างตัวกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม AA 6063-T1. การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2551. สงขลา, ประเทศไทย, 20-22 ตุลาคม 2551: แผ่นซีดีรอม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวิชัย พุ่มจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤศจิกายน 2516
ที่อยู่	39/6 ซ.หมู่บ้านทางรถไฟฝั่งตะวันตก ต.หัวหิน อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อ พ.ศ.2540
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2540 – ปัจจุบัน	- อาจารย์ระดับ 7 สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบ แม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล - หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

วิชัย พุ่มจันทร์, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2551. “การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน”. การประชุมวิชาการข่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552. ขอนแก่น, ประเทศไทย, 21-22 ตุลาคม 2552