อิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430

MAIN EFFECT OF FSW WELDING PARAMETER ON MECHANICAL PROPERTY OF 5052 ALUMINUM ALLOY AND 430 STAINLESS STEEL BUTT JOINT

สิทธินัน บุญเลิศ

SITTHINAN BOONLERD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2552

อิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อ
ชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430

สิทธินัน บุญเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2552

INFLUENCE OF FSW WELDING PARAMETER ON
MECHANICAL PROPERTY OF 5052 ALUMINUM ALLOY
AND 430 STAINLESS STEEL BUTT JOINT

SITTHINAN BOONLERD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2009

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายสิทธินัน บุญเลิศ

COPYRIGHT © 2009 ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2552
FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430
นักศึกษา	นายสิทธินัน บุญเลิศ
รหัสประจำตัว	124970404016-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นการเชื่อมอย่างหนึ่งในสภาวะของแข็ง โดยให้ความร้อนต่ำกว่าจุดหลอมละลาย การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมกับวัสดุที่มีความยากลำบากในการเชื่อม เช่น อลูมิเนียมผสม และยังสามารถเชื่อมกับวัสดุต่างชนิดเข้ากันได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมระหว่างอลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้าไร้สนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติค 430 โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อม และทำการทดสอบค่าความต้านทานความแข็งแรงดึงของรอยต่อชน

งานวิจัยนี้ใช้อลูมิเนียมผสม 5052 ความหนา 2 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมเข้ากับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติค 430 ทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในลักษณะต่อชน โดยใช้ตัวแปรในการเชื่อมได้แก่ ความเร็วรอบตัวกวน ความเร็วในการเดินของตัวกวน ระยะสอดของตัวกวนและมุมเอียงของตัวกวน หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบค่าความต้านทานความแข็งแรงดึง และนำไปตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคเพื่อวิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ ค่าความต้านทานความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุดอยู่ที่ระดับ 217 MPa โดยคิดเป็น 83% ของอลูมิเนียมผสม 5052 ซึ่งเป็นวัสดุหลัก ผลที่ได้จากการทดสอบค่าความต้านทานความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุดนี้ทำได้จากการเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินของตัวกวนที่ 125 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะสอดของตัวกวนที่ 0.1 มิลลิเมตร และมุมเอียงของตัวกวนที่ 0 องศา เมื่อทำการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบตัวกวนและความเร็วในการเดินของตัวกวน พบว่าไม่ส่งผลทำให้ได้ค่าความต้านทานความแข็งแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากพบว่า เมื่อทำการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบตัวกวน และความเร็วในการเดินของตัว

กวน ส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องที่แนวเชื่อม และเมื่อทำการเพิ่มระยะสอดของตัวกวน จะส่งผลให้ตัวกวนเกิดการพังทลาย เป็นสาเหตุทำให้ค่าความต้านทานความแข็งแรงดึงต่ำลงเช่นกัน

คำสำคัญ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน; รอยต่อชน; อลูมิเนียม; เหล็กกล้าไร้สนิม;

Thesis Title	:	Main Effect of FSW Welding Parameter on Mechanical Property of 5052 Aluminum Alloy and 430 Stainless Steel Butt Joint
Student Name	:	Sitthinan Boonlerd
Student ID	:	124970404016-3
Degree Award	:	Master of Engineering
Study Program	:	Industrial Engineering
Academic Year	:	2009
Thesis Advisor/s	:	Dr. Kittipong Kimapong

ABSTRACT

Friction Stir Welding (FSW) is a solid state welding that was operated under the melting temperature of the welded materials. It was invented to weld the difficult-to-fusion welding-materials such as aluminum alloy or dissimilar materials joint. Recently, it was already reported that this FSW could weld successfully the joint between aluminum alloy and steel. This research aims to weld the butt joint between AA5052 aluminum alloy and AISI 430 ferritic steel. This research aims to weld the butt joint between AA5052 aluminum alloy and AISI 430 ferritic steel and also study the effect of the welding parameter on the tensile strength of the joint.

The materials used in this work were the 2 mm thick plate of AA5052 aluminum alloy and the 2 mm thick plate of AISI 430 ferrictic stainless steel. The plates were set up to be a butt joint and was friction stir welded by various welding parameters such as a rotating speed, a welding speed, a thrusting distance and a tool tilt angle. The joint that was welded by designed welding parameters were prepared to be a specimen for tensile test and microstructure examination, respectively.

The main results are as follows. The optimum welding process condition that indicated the maximum tensile strength of 217 MPa or 83% that of aluminum base materials was a rotating speed of 250 rpm, a welding speed of 125 mm/min, and a thrusting distance of 0.1 mm. and a tool tilt angle of 0 degree. Increasing of decreasing the rotating and welding speed affected directly the tensile strength of the joint because the defect was produced in the weld. Increasing the thrusting distance affected directly the were rate of the welding pin and produced the incomplete welded that was the reason to decrease the joint strength.

Keywords : Friction Stir Welding , butt joint , stainless steel , aluminum alloy steel

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษา อิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 นี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องด้วยจากคำแนะนำและจากความอนุเคราะห์จากผู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ผู้ศึกษาจึงขออ้างอิงไว้ ณ ที่นี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร.สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล ดร.ศิริชัย ต่อสกุล และ ดร. เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เกิดประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ อาจารย์บุญส่ง จงกลนี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำต่างๆ ในการปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมควร แววดี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่ให้การช่วยเหลือทุกๆ ท่าน และผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สิทธินัน บุญเลิศ

3 ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์วิทยานิพนธ์	2
1.3 สมมติฐานการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ	4
2.2 ประเภทของการเชื่อมโลหะ	5
2.3 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW)	5
2.4 วัสดุ	9
2.5 เครื่องมือเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	18
2.6 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	22
2.7 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้าง	25
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	32
3.1 แผนการดำเนินงาน	32
3.2 วิธีดำเนินงานวางแผนและเตรียมการ	33
3.3 กำหนดเงื่อนไขการทดลอง	35
3.4 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง	35
3.5 การออกแบบเครื่องมือ	36
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	48
4.1 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm	50
4.2 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm	52
4.3 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm	62
4.4 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm	71
4.5 ผลที่ได้จากการเชื่อมโดยเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน	80
4.6 ผลที่ได้จากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	99
5.1 ผลการดำเนินการวิจัย	99
5.2 ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	100
เอกสารอ้างอิง	101
ภาคผนวก	104
ผลงานวิจัยตีพิมพ์	105
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิม 430	12
2.2	สมบัติทางกลเหล็กกล้าไร้สนิม 430	12
2.3	สมบัติทางกายภาพเหล็กกล้าไร้สนิม 430	13
2.4	กลุ่มตัวเลข 4 หลักที่ใช้เป็นสัญลักษณ์สำหรับอลูมิเนียมขึ้นรูป	14
2.5	สมบัติทางเคมีอลูมิเนียม 5052	17
2.6	สมบัติทางกลอลูมิเนียม 5052	17
2.7	สมบัติทางกลอลูมิเนียม 5052	17

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการเชื่อม FSW (Friction Stir Welding)	2
2.1	การเชื่อมด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน	6
2.2	กลไกการเกิดแนวเชื่อม ด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน	7
2.3	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการรวมตัวระหว่างเหล็กกล้าและอลูมิเนียม	18
2.4	ชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานAWS D1.2	22
2.5	เส้นโค้งความเค้น - ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield point)	24
2.6	เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก	25
2.7	การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเรซิ่น	26
2.8	ลักษณะแนวทางการขัดชิ้นงานตรวจสอบเป็นตาราง	26
2.9	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงแบบธรรมดา	29
2.10	กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ	29
3.1	วิธีการดำเนินงาน	33
3.2	กระบวนการทดลอง	34
3.3	ชิ้นงานทดลอง	35
3.4	ตัวจับยึดชิ้นงาน (Fixture)	36
3.5	ตัวหมุนกวน (Pin) และบ่าเครื่องมือ (Shoulder)	37
3.6	เครื่องกัดอัตโนมัติ	38
3.7	ทำการจับยึดชิ้นงาน	38
3.8	เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial Gauge)	39
3.9	แผงควบคุมชุดคำสั่งเครื่องกัดอัตโนมัติ	39
3.10	ทำการปรับตำแหน่งเครื่องกัดอัตโนมัติเพื่อทำการตั้งจุดศูนย์บนชิ้นงาน	40
3.11	ทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบต่อชนชิ้นงาน	41
3.12	ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม	41
3.13	ทำการตัดชิ้นงานโดยเครื่องตัดชิ้นงานอัตโนมัติ	42
3.14	ใบเครื่องมือตัด	42
3.15	ตำแหน่งการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อการทดสอบ	43
3.16	ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน AWS - D1.2	43
3.17	เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test)	44
3.18	ชุดควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test)	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.19	บริเวณจุดตัดชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง	45
3.20	แม่พิมพ์สำหรับหล่อเรซิ่น	45
3.21	เครื่องเป่าลมร้อน	46
3.22	เครื่องขัดชิ้นงานหล่อเรซิ่น	46
4.1	ผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm	50
4.2	ผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm	52
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง	54
4.4	ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm	55
4.5	โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm	56
4.6	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm./min	57
4.7	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min	57
4.8	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm./min	57
4.9	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min	58
4.10	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm./min	58
4.11	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min	58
4.12	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm./min	60
4.13	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min	61
4.14	ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm	62
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm	65
4.17	โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm	65
4.18	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm./min	66
4.19	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min	66
4.20	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm./min	67
4.21	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min	67
4.22	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm./min	67
4.23	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min	68
4.24	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min	69
4.25	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min	70
4.26	ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm	71
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง	73
4.28	ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm	74
4.29	โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm	74
4.30	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm./min	75
4.31	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min	75
4.32	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm./min	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.33 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min 76

4.34 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm./min 76

4.35 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min 76

4.36 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min 77

4.37 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min 78

4. 38 แสดงการเปรียบเทียบจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้งหมด 79

4.39 ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน 80

4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะสอดของตัวกวน และค่าการทดสอบแรงดึง 82

4.41 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน 83

4.42 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน 83

4.43 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด -0.1 mm. 84

4.44 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด 0 mm. 84

4.45 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด 0.1 mm. 85

4.46 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด 0.2 mm. 85

4.47 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด 0.3 mm. 85

4.48 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ระยะสอด 0.4 mm. 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.49	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min ระยะการสอดของตัวกวน 0.4 mm.	87
4.50	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm.	88
4.51	ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน	89
4.52	ความสัมพันธ์ระหว่างความเอียงของตัวกวน และค่าการทดสอบแรงดึง	91
4.53	ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน	92
4.54	โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน	92
4.55	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ความเอียงของตัวกวน 0 องศา	93
4.56	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ความเอียงของตัวกวน 1 องศา	93
4.57	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ความเอียงของตัวกวน 2 องศา	94
4.58	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ความเอียงของตัวกวน 3 องศา	94
4.59	โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm./min ที่ความเอียงของตัวกวน 4 องศา	94
4.60	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียง 4 องศา	95
4.61	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียง 0 องศา	96
4.62	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงระหว่างความเร็วรอบตัวกวนและความเร็วเดินแนวเชื่อม	97
4.63	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบค่าการยืดตัวระหว่างความเร็วรอบตัวกวนและความเร็ว เดินแนวเชื่อม	98

บทที่ 1
บทนำ

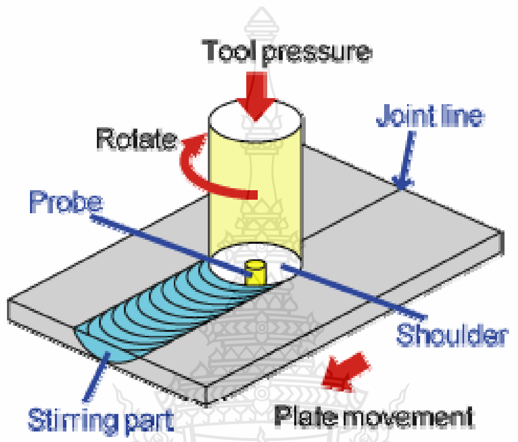
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำกรรมวิธีการเชื่อมรอยต่อชนมาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะกับงานด้านอุตสาหกรรม และเนื่องจากรอยต่อวัสดุหลายชนิดมีโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น จึงสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น [1] หากพิจารณาถึงปัญหาในด้านต่างๆ แล้ว เราจะพบปัญหาด้านพลังงาน และปัจจัยด้านต่างๆ เราจะพบว่า ได้มีการใช้วัสดุรอยต่อที่มีความแตกต่างของวัสดุ เช่นในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ได้มีการปรับปรุงวัสดุรอยต่อโดยการนำอลูมิเนียมและแมกนีเซียม เข้ามาแทนที่ชิ้นส่วนเดิมที่ใช้เหล็ก เพื่อให้ชิ้นส่วนหรือโครงสร้างเดิมมีความเบากว่าเดิม แต่ยังคงความแข็งแรงที่มีความใกล้เคียงกัน และยังมีผลต่อการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ [2]

อย่างไรก็ตามการที่จะนำวัสดุต่างชนิดมาใช้งานร่วมกันนั้นยังเป็นวิธีที่ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีโครงสร้างที่มีความต่างกัน มีค่าความยืดหยุ่นที่มีความต่างกัน รวมไปถึงคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางเคมีก็มีความแตกต่างกันด้วย และเมื่อเราทำการเชื่อมวัสดุที่มีความแตกต่างกันทั้งสองชนิด มักจะเกิดปัญหาต่างๆขึ้น เช่น ส่วนผสมทางเคมีในวัสดุที่มีความต่างกันเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และก่อให้เกิดสารประกอบกึ่งโลหะ (Intermetallic Compound : IMC) ที่มีความแข็งและมีความเปราะซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงลดน้อยลง รวมถึงความแตกต่างของโมดูลัสอีลาสติก (Elasticity Modulus) ซึ่งเป็นตัวก่อให้เกิดความไม่เข้ากันทางกล (Mchanical Incompatibility) ก่อให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) หรือความไม่ต่อเนื่องของความเค้น (Stress Discontinuities) ที่บริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การนำวัสดุที่ต่างชนิดมาทำการเชื่อมยึดนั้นจะส่งผลต่อการกระจายความร้อนของวัสดุ ส่งผลให้เกิดความเค้นที่เกิดจากความร้อน (Thermal Stresses) ซึ่งถือว่ามีผลต่อวัสดุในด้านความสามารถต้านทานต่อแรงได้ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาด้านการเชื่อมที่วัสดุมีความแตกต่างกันอย่างต่อเนื่อง [3]

กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน FSW (Friction Stir Welding)เป็นกระบวนการเชื่อมรอยต่ออย่างหนึ่งที่เริ่มนำมาใช้กัน FSW (Friction Stir Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้ความร้อนแบบไม่หลอมละลาย โดยความร้อนที่ได้เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างผิวแกนหมุนกับเนื้อวัสดุขณะเดียวกันแกนสลักจะทำการหมุนกวนทำให้วัสดุเกิดการประสานติดกัน โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอยู่ต่ำกว่าจุดหลอมละลายของวัสดุ [4] นับว่าเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพื่อให้สามารถเชื่อมกับวัสดุที่มีความยากในการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) เช่นอลูมิเนียมผสม [5] ลักษณะกระบวนการเชื่อมโดยสังเขปแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 ตัวกวน

(Pin) ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อม (Rotating Tool) สอดลงในรอยต่อจนถึงบ่าเครื่องมือ (Shoulder) ของเครื่องมือเชื่อมสัมผัสกับผิวของรอย ความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการการหมุนกวนจากแรงเสียดทานระหว่างเครื่องมือเชื่อมกับวัสดุทั้งสองชิ้น ทำให้วัสดุทั้งสองชิ้นเกิดการอ่อนตัวและอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม ซึ่งเมื่อตัวหมุนกวนเริ่มเดินเคลื่อนที่วัสดุในสภาวะของไหลจะทำการเคลื่อนที่รวมตัวกันบ่าเครื่องมือด้านหลัง (Trailing Edge of the Rotating Tool) จะทำการกดอัด ทำให้วัสดุเกิดรวมตัวผสมกันเป็นแนวเชื่อม



รูปที่ 1.1 กระบวนการเชื่อม FSW (Friction Stir Welding) [6]

FSW (Friction Stir Welding) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับหลายวัสดุ เช่นอลูมิเนียมเจือ AA6063-T1aluminum alloy AW6082-T6 [7] รวมถึงอลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [8]

จากรายงานการการวิจัยในเรื่องกระบวนการเชื่อม FSW (Friction Stir Welding) นับว่ามีการพัฒนาและวิจัยกันอย่างแพร่หลายและอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามในด้านกระบวนการเชื่อม FSW (Friction Stir Welding) ระหว่างอลูมิเนียมในกลุ่ม 5000 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 นั้น ซึ่งมีการใช้งานกันมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมโครงสร้างเครื่องบิน [9] ยังไม่มีรายงานและการศึกษา ด้วยเหตุนี้หากมีการทำการวิจัยการเชื่อมต่ออลูมิเนียมในกลุ่ม 5000 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 คาดว่าจะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียมกลุ่ม 5000 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 เพื่อการประยุกต์และนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430

1.2.2 วิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของแนวเชื่อม และเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของรอยต่อ

1.3 สมมติฐานการศึกษา

ตัวแปรที่มีอิทธิพลการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม และเหล็กกล้าไร้สนิมได้แก่

1.3.1 ความเร็วรอบตัวกวน

1.3.2 ความเร็วในการเดินของตัวกวน

1.3.3 ระยะสอดของตัวกวน

1.3.4 มุมเอียงของตัวกวน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 เชื่อมรอยต่อชนแผ่นอลูมิเนียมรีด 5052 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 430 รีดความหนา 2 mm.

1.4.2 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่อชน เช่น ความเร็วรอบของ ตัวกวน ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ระยะสอดตัวกวน และมุมเอียงของตัวกวน

1.4.3 ทดสอบความแข็งแรงแนวเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึง

1.4.4 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม โดยกล้องจุลทรรศน์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน FSW (Friction stir welding) เป็นกระบวนการเชื่อมรอยต่ออย่างหนึ่งที่เริ่มนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง เช่นในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ที่ได้นำกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเข้ามาปรับปรุงวัสดุรอยต่อ โดยการนำอลูมิเนียมและแมกนีเซียม เข้ามาแทนที่ชิ้นส่วนเดิมที่ใช้เหล็ก เพื่อให้ชิ้นส่วนหรือโครงสร้างเดิมมีความเบากว่าเดิม แต่ยังคงความแข็งแรงที่มีความใกล้เคียงกันเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้ทำงานวิจัย จึงได้มีการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลการเชื่อมเสียดทานแบบกวน และเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430

2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ

ในปัจจุบันนับว่างานเชื่อมถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากทั้งในแง่ของการทำงานในอุตสาหกรรมรวมไปจนถึงงานวิจัยที่เกิดขึ้นต่างๆ ดังนั้นในความหมายของการเชื่อมจากหนังสือและงานวิจัยต่างๆ จึงมีความแตกต่างกันออกไป แต่ยังคงมีความหมายที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [10]ได้ให้ความหมายของการเชื่อมไว้ว่า การเชื่อมเป็นการประสานโลหะต่างๆ เข้าด้วยกันโดยใช้วิธีการให้ความร้อนกับชิ้นงานโลหะทั้งสองชนิดจนถึงจุดหลอมละลายของโลหะทั้งสองแล้วจึงใช้เนื้อวัสดุเป็นตัวประสานให้วัสดุทั้งสองเข้าด้วยกันหรืออาจใช้เนื้อประสานจากลวดเชื่อมซึ่งมีลักษณะเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือมีสมบัติที่ใกล้เคียงกันกับเนื้อของวัสดุเป็นตัวประสานกัน ซึ่งในขณะที่ทำการเชื่อมชิ้นงานกำลังเกิดการหลอมละลายนั้น ความร้อนที่ให้แก่ชิ้นงานอาจจะได้มาจากพลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมของแต่ละชนิดซึ่งแตกต่างกันออกไป ซึ่งการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนด้วยแกนหมุน เป็นการใช้พลังงานกลให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

นอกจากนี้ ประภาส เกตุไทย [11] ผู้ผ่านการเขียนหนังสือเรื่องการเชื่อมโลหะ ได้ให้ความหมายของงานเชื่อมไว้ว่า การเชื่อมโลหะหมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการเชื่อมต่อโลหะให้โลหะนั้นติดกันอย่างแข็งแรงอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเชื่อมโลหะนั้นสามารถกระทำได้หลายๆ วิธี ทั้งแบบกรรมวิธีการใช้แรงดัน และกรรมวิธีการให้ความร้อนจนหลอมละลาย

นอกจากในส่วนของนิยามความหมายเกี่ยวกับการเชื่อมมีผู้ให้นิยามความหมายของแรงเสียดทานไว้มากมาย ซึ่งวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี [12] ได้ให้นิยามความหมายของแรงเสียดทานว่า แรงเสียดทานคือแรงที่ต้านการเคลื่อนที่เชิงสัมพัทธ์หรือแนวโน้มของการเคลื่อนที่ดังกล่าวของพื้นผิวสองอย่างที่สัมผัสกัน มักจะเกิดตรงข้ามกับแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เสมอ ชนิดของแรงเสียดทานแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ

1. แรงเสียดทานสถิต (Static friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดจากวัตถุสองชนิดมาสัมผัสกัน ซึ่งจะพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่คงที่ จะมีปริมาณเท่ากับแรงที่มากระทำและจะมีค่าสูงสุดเมื่อวัตถุนั้นเริ่มเกิดการเคลื่อนที่

2. แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction) เป็นแรงเสียดทานที่เกิดกับผิวของวัตถุทั้งสองชนิดในขณะที่วัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่อยู่

2.2 ประเภทของการเชื่อมโลหะ

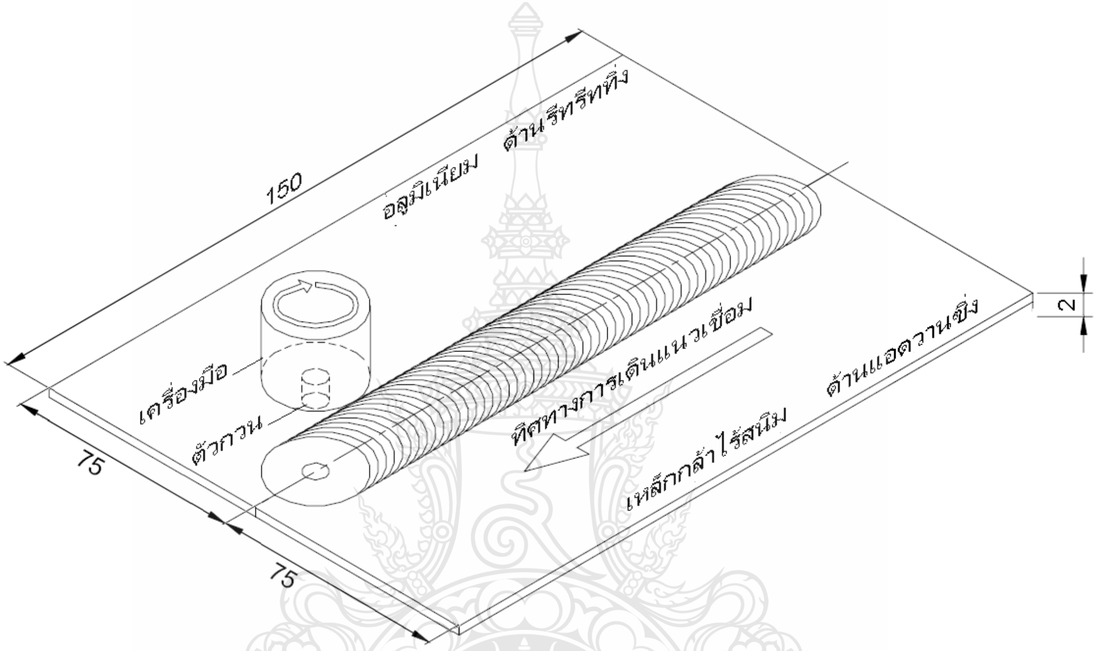
2.2.1 การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) เป็นกรรมวิธีหรือกระบวนการที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม การค้า รวมไปจนถึงการเชื่อมในงานทั่วไป ซึ่งการเชื่อมแบบหลอมละลายเป็นการประสานโลหะสองชนิดเข้าด้วยกันโดยใช้วิธีให้ความร้อนแก่ชิ้นงานโลหะจนถึงจุดหลอมละลายแล้วใช้เนื้อโลหะของชิ้นงานเป็นตัวประสานเข้าด้วยกันหรือจะเติมโลหะ โดยใช้ลวดเชื่อมซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือมีสมบัติใกล้เคียงกันเป็นตัวประสาน ในขณะที่ชิ้นงานกำลังหลอมละลายความร้อนที่ให้แก่ชิ้นงานอาจได้จากพลังงานสารเคมี พลังงานไฟฟ้า หรือ พลังงานกลขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป [2]

2.2.2 การเชื่อมด้วยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวน (Friction welding) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมวิธีหนึ่งที่เริ่มมีการประยุกต์ใช้มากขึ้นในปัจจุบัน และเริ่มได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมและงานวิจัย การเชื่อมด้วยกรรมวิธีเสียดทาน คือ การประสานโลหะสองชนิดให้ติดกันโดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน โดยความร้อนนั้นก่อให้เกิดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว การผสานกันระหว่างโลหะทั้งสองชนิดเกิดขึ้นในสภาวะของแข็งมีลักษณะเกิดการแทรกตัวของโลหะทั้งสองชนิด นอกจากการเชื่อมด้วยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวนจะเป็นการเชื่อมในสภาวะของแข็งแล้วยังมีการเชื่อมด้วยกรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งถือเป็นการเชื่อมในสภาวะของแข็งเช่นเดียวกัน เช่น การเชื่อมอัดเย็น (Cold press welding) และการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding) การเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction spot welding) เป็นต้น

2.3 การเชื่อมด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน (FSW)

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมในสภาวะที่โลหะเชื่อมเป็นของแข็ง การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีทั้งแบบหมุนกวนซึ่งเป็นแนวเชื่อมคล้ายกับแนวเชื่อม

ทั่วไปและมีแบบการเชื่อมเสียดทานแบบจุดซึ่งเป็นการเชื่อมแบบไม่เดินแนว ซึ่งทั้งสองประเภทนี้ก็มีหลักการที่มีความคล้ายคลึงกัน การเชื่อมเสียดทานแบบกวน โดยใช้การหมุนของตัวกวนเป็นตัวทำหน้าที่หมุนเข้าไปในเนื้อของชิ้นงานทั้งสองชนิดด้วยความเร็วสูง โดยทำให้เกิดความร้อนกับชิ้นงานเนื่องจากการเสียดทานกันของตัวกวนกับชิ้นงาน โดยเครื่องมือจะทำการหมุนกวนเพื่อให้วัสดุเกิดความร้อนแต่ไม่ถึงจุดหลอมละลายของวัสดุ ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดจะยังคงอยู่ในสภาวะของแข็ง โดยวัสดุจะเกิดการประสานกันในลักษณะสภาวะของแข็ง ซึ่งเนื้อของโลหะทั้งสองชนิดจะทำการแทรกตัวเข้าหากันจนเกิดเป็นเนื้อเดียวกัน

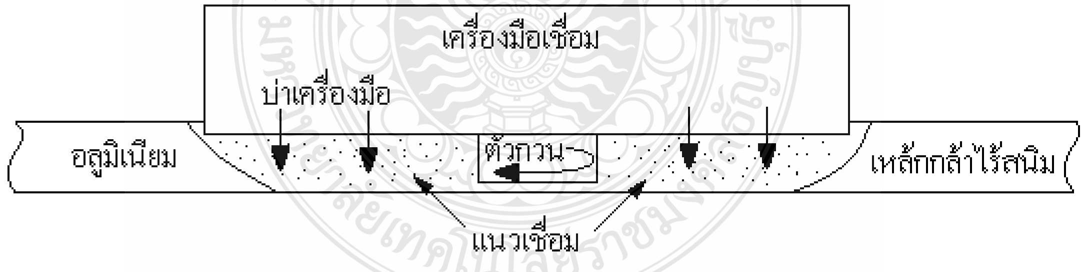


รูปที่ 2.1 การเชื่อมด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน [13]

รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน จากรูปแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวกวนที่เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของเครื่องมือเชื่อม ซึ่งจะทำการสอดเข้าไปในรอยต่อของวัสดุอลูมิเนียมซึ่งอยู่ทางด้านรีทรีทติ้ง จากนั้นตัวกวนจะทำการเคลื่อนที่เข้าสู่วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งอยู่ทางด้านแอดวานซิ่ง ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวของตัวกวนและบ่าเครื่องมือกับเนื้อวัสดุรอบๆ ตัวกวน จะทำให้วัสดุอลูมิเนียมและวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการอ่อนตัวและเกิดสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid – like State) และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าเครื่องมือเชื่อมโดยลักษณะที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นตลอดแนวเชื่อมตามทิศทางของการเชื่อม

2.3.1 ลักษณะการทำงาน

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน มีข้อแตกต่างมากมายเมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบหลอมละลายแบบอื่นๆ และยังมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันอย่างมากอีกด้วย แต่การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนนั้นก็มีข้อเสีย และข้อจำกัดอยู่บ้างเช่นกัน เช่น การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีความจำเป็นต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ และตัวกวนที่เป็นตัวทำหน้าที่เชื่อมและส่งถ่ายความร้อน นอกจากนี้ข้อจำกัดของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนคือ ในส่วนของเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเชื่อม ที่มีความยากลำบากในการเคลื่อนย้ายเมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมแบบหลอมละลายทั่วไป การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมที่มีความแข็งแรงสูง และเป็นวัสดุที่สามารถต้านทานความร้อนได้ดี เนื่องจากการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนจะใช้ความร้อนในการเชื่อมที่สูง โดยเครื่องมือเชื่อมจะหมุนด้วยความเร็วสูง และให้อัตราการป้อนตามรอยต่อแนวเชื่อมของวัสดุ ลักษณะการทำงานของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนนั้น ตัวกวนจะทำการหมุนที่ระดับความเร็วรอบสูง ซึ่งระดับความเร็วรอบนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวกวน และแผ่นโลหะที่ใช้ในการเชื่อม ตัวกวนจะหมุนจะกดลงเข้าไปในแผ่นที่เป็นวัสดุอลูมิเนียมจากนั้นตัวกวนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ด้านที่เป็นแผ่นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ตัวกวนจะมีส่วนประกอบสองส่วนคือ บ่าเครื่องมือ (Shoulder) และตัวกวน (Pin) สองส่วนนี้จะทำหน้าที่คือ ตัวกวนจะทำการกวนวัสดุที่ได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัวแล้วจึงทำการกวนให้วัสดุทั้งสองเกิดการกวนประสานเนื้อเข้าด้วยกัน ในส่วนของบ่าเครื่องมือจะทำหน้าที่กดและอัดวัสดุให้เกิดการรวมตัวของวัสดุเป็นแนวเชื่อม ในส่วนนี้บ่าเครื่องมือจะยังทำหน้าที่เกลี่ยผิวหน้างานด้วย



รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดแนวเชื่อม ด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน [13]

2.3.2 ข้อดีของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW)

ก. การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมวัสดุต่างชนิดได้

ข. การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนลดการทำลายโครงสร้างวัสดุได้ดีกว่าการเชื่อมแบบหลอมละลาย

ค. สามารถเชื่อมวัสดุที่มีความยากในการเชื่อมได้ เช่นอลูมิเนียม เป็นต้น

ง. ไม่จำเป็นต้องใช้ลวดเชื่อมในการเชื่อม

จ. ผิวหน้าของแนวเชื่อมมีความสวยงาม

ฉ. ไม่เกิดแสง ควันหรือฝุ่นในขณะทำการเชื่อม

ช. ไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดหลังการเชื่อมเพราะไม่มีแนวปรกคลุมแนวเชื่อม

2.3.3 ข้อจำกัดของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

ก. เครื่องจักรกลที่ใช้ในการเชื่อมมีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายที่ค่อนข้างยาก เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมแบบทั่วไป

ข. ผิวหน้าตัวกวนและบ่าเครื่องมือต้องมีความเรียบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแต่งผิวให้เรียบ โดยวิธีต่างๆ เช่น การกลึงผิว เพื่อให้แนวเชื่อมเกิดการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอย่างมีประสิทธิภาพ

ค. เนื่องจากการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนใช้ระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่สูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องจัดเตรียมอุปกรณ์หรือเครื่องมือเพื่อใช้ในการจับยึดชิ้นงานให้แน่น เมื่อทำการเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวนสูง ชิ้นงานจะไม่เกิดการหลุด หรือสะบัด

ง. ผิวหน้าแนวเชื่อมที่บริเวณจุดเริ่มต้นของแนวเชื่อมเกิดรอยจากตัวกวนรวมถึงจุดสิ้นสุดของแนวเชื่อม

2.3.4 ลักษณะของเครื่องมือเชื่อม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนมีการทำการวิจัยเกิดขึ้นมากมาย ดังนั้นจึงมีการออกแบบรูปร่างและขนาดของเครื่องมือเชื่อมเพื่อใช้ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานหลายรูปแบบ เพื่อให้ขนาดของเครื่องมือเชื่อมเหมาะสมกับวัสดุที่นำมาทำการเชื่อม และเพื่อให้การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเกิดประสิทธิภาพ จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [13] ผู้ผ่านการวิจัยด้านการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ได้ทำการออกแบบลักษณะและขนาดของเครื่องมือเชื่อมไว้มากมาย เช่น เครื่องมือเชื่อมที่ออกแบบสำหรับรอยต่อชนมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ทรงกรวย และทรงเกลียวเพื่อใช้ในการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียม 1018 และยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมอลูมิเนียม 2014 นอกจากนี้ สมศักดิ์ ศรีป่าหมาก [14] ได้ทำการออกแบบลักษณะของเครื่องมือเชื่อมให้มีลักษณะทรงกรวยเกลียว แบบทรงกรวยเกลียวหมุนซ้าย และทรงกรวยเกลียวหมุนขวา เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือเชื่อมโดยทำการเชื่อมต่อชนเข้ากับอลูมิเนียม 6063 – T1

2.4 วัสดุ

2.4.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels) [15]

ในปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมนับเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญด้านอุตสาหกรรม และการใช้งานทั่วไปเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติด้านความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนสูง เหล็กกล้าไร้สนิมมีอยู่หลากหลายประเภทจึงมีการเลือกใช้ตามลักษณะและคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อให้ตรงกับลักษณะการใช้งาน จากหนังสือ และงานวิจัยต่างๆ มากมาย พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิม หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของโครเมียมอยู่อย่างน้อย 10.5% ซึ่งโครเมียมนั้นส่งผลให้เกิดคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะสามารถสร้างฟิล์มบางๆ ของโครเมียมออกไซด์ ซึ่งมีความแน่นและบางมาก เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของเหล็กกล้า ซึ่งฟิล์มบางๆ ที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่ปกป้องเหล็กกล้าเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับบรรยากาศภายนอก

ก. เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งออกได้ 5 กลุ่มพื้นฐาน ได้ดังนี้

1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก หมายถึง เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมีโครงสร้างพื้นฐานเฟอร์ไรท์ตามปกติมีธาตุโครเมียมผสมอยู่ 11-30 % คาร์บอนไม่เกิน 0.12% แบ่งได้ 2 ชนิดคือ ถ้าจำแนกตามระบบตัวเลขได้แก่ AISI 405 430 442 และ 446

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกคาร์บอนต่ำ มีปริมาณโครเมียมผสมอยู่ 15-18% คาร์บอนไม่เกิน 0.12% ไม่สามารถเพิ่มความแข็ง โดยการชุบแข็งได้ แต่มีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่วไปยกเว้นในน้ำทะเลและสารละลายที่เป็นกรด

การใช้งาน โดยทั่วไปใช้ทำอ่างล้างในห้องครัว มีด ช้อนส้อม และงานประเภทตกแต่ง

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกทนความร้อน (Refractory ferritic stainless steels) มีปริมาณโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 25-30% คาร์บอน 0.3% เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุผสม เช่น

เหล็กมีปริมาณโครเมียม 20% , อลูมิเนียม 3.5% สามารถทนความร้อนได้สูง 1250 $^{\circ}$C

เหล็กมีปริมาณโครเมียม 30% , อลูมิเนียม 5% สามารถทนความร้อนได้สูง 1250-1300 $^{\circ}$C

เหล็กมีปริมาณโครเมียม 30-35% , อลูมิเนียม 6% สามารถทนความร้อนได้สูง 1300-1350°C

2. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียมประมาณ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) และนิเกิล (Ni) ประมาณ 9% (ช่วงของส่วนผสมของ Ni +/-1%) การผสมนิเกิลทำให้เหล็กกลุ่มนี้ต่างจากกลุ่มเฟอร์ริติกโดยนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน และทำให้โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเตนไนต์ เหล็กกลุ่มนี้บางเกรดจะผสมโครเมียมและ

นิเกิลเพิ่มเพื่อให้สามารถทนต่อการเกิดออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของเตาหลอม เหล็กกลุ่มออสเตนนิติกนี้จะทนทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติก ในด้านสมบัติเชิงกล เหล็กกลุ่มออสเตนนิติกจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ใกล้เคียงกับของกลุ่มเฟอร์ริติก แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงกว่าจึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีสมบัติที่แม่เหล็กไม่ดูดติด (ในสภาพผ่านการอบอ่อน) เช่น เกรด 304 316L 321 301 การใช้งาน เช่น หม้อ ช้อน ถาด

3. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก จะผสมโครเมียมประมาณ 11.5 - 18% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคาร์บอนพอสมเหมาะและสามารถชุบแข็งได้ เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) สูงมาก แต่จะมีค่าความยืด (Elongation) ต่ำ เช่น เกรด 420 การใช้งาน เช่น ใช้ทำเครื่องมือตัดชิ้นส่วน มีด

4. เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ จะมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเตนไนต์และเฟอร์ไรต์ มีโครเมียมผสมประมาณ 21 - 28% และนิเกิลประมาณ 3 - 7.5% เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีความต้านทานแรงดึงที่จุดครากสูงและค่าความยืดสูง จึงเรียกได้ว่ามีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Ductility) สูง เช่น เกรด 2304 2205 2507

5. เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก มีโครเมียมผสมประมาณ 15 - 18% และนิเกิลอยู่ประมาณ 3 – 8 % เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็งได้ จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปั๊ม หัววาล์ว ตัวอย่างเกรดของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น PH13 - 9Mo AM – 350

ข. สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม

พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความหนาแน่นสูง ซึ่งแตกต่างจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะประเภทอื่น ในส่วนของสมบัติเกี่ยวกับความร้อน ความสามารถทนความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิม เหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน เช่น ตู้คอนเทนเนอร์ หรือต้องการสมบัตินำความร้อนได้ดี เช่น เครื่องถ่ายความร้อน การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมากๆ ได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย เช่น ในการทำหลังคา

ค. สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70 - 80% จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม มีความแข็งและความแกร่ง เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับวัสดุชนิดอื่น เมื่อเราเปรียบเทียบวัสดุชนิดอื่นที่มีความแข็งแรงและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางอย่างพลาสติกและวัสดุที่มีความแข็งแรงและความเหนียวสูงอย่างเซรามิกจะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักที่สูงกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมให้ค่าที่เป็นกลางของทั้งความแข็งความแกร่ง และความเหนียว เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเหล็กอยู่มาก และจะมีเพิ่มขึ้นอีกในชนิดออสเตนนิติก

ง. ผลของธาตุผสมของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทน - ซิติก เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก จะมีคาร์บอน (C) โดยทั่วไปไม่เกิน 0.15% ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมคาร์บอนอยู่ 2 ช่วง คือ 0.02% ($\leq$ 0.03%) และ 0.07% (0.04 – 0.15%) การผสมไททาเนียม หรือไนโอเบียม ในเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยจับตัวกับคาร์บอน ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการเชื่อม โครเมียม (Cr) ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไป โดยผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างน้อย 10.5% นิเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบมุมอับในสารละลายกรด เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็น ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมนิกเกิลอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยติดมากับเหล็ก) และ 9% (6.0 – 15.0%)

จ. การเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม มีความสามารถความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีต่อกรดอ่อนๆ น้ำตามอุตสาหกรรม บรรยากาศตามเมือง มีความความสามารถในการขึ้นรูปปานกลางกับงานทั่วไป แต่สามารถขึ้นรูปได้ดีกับงานขึ้นรูปลึก (Deep drawing)

ฉ. ความสามารถในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถเชื่อมได้ในงานที่ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของการกัดกร่อนแบบขอบเกรน

2.4.2 เหล็กกล้าไร้สนิม 430

ในปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างมากมายทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมต่างๆ เหล็กกล้าไร้สนิม 430 มีคุณสมบัติมากมายที่เหมาะกับงานครัวเรือนเนื่องจากทนความร้อนและไม่มีอันตรายเมื่อใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ในอุตสาหกรรมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ถือว่ามีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ ได้นำเหล็กกล้าไร้สนิม 430 มาใช้เป็นชิ้นส่วนและท่อไอเสีย และยังถูกมาใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย ทั้งในอุตสาหกรรมการบินและอุตสาหกรรมเครื่องมือต่างๆ เหล็กกล้าไร้สนิม 430 มีความสามารถในด้านการต้านทานการกัดกร่อนสูงและสามารถป้องกันปฏิกิริยาที่เกิดจากออกซิเจนได้ดี มีความแข็งแรงทนทาน

ก. การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 430

เหล็กกล้าไร้สนิม 430 เป็นโลหะสำคัญชนิดหนึ่งที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและงานเชื่อมต่างๆ ดังนั้นการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมแก๊ส การเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้า เป็นต้น ธาตุผสมในโลหะชนิดนี้ส่งผลต่อจุดหลอมละลายของเหล็กกล้า โดยจุดหลอมละลายของเหล็กกล้าชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 1250 – 1350 °C ในปัจจุบันนี้การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถนำมาทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ได้

การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม 430

เหล็กกล้าไร้สนิม 430 สามารถนำมาใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการ ผลิตอาหารและเครื่องดื่ม หรืออุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ที่เกี่ยวกับอาหาร ซิงค์น้ำ ส่วนประกอบอุปกรณ์ให้ความร้อน ท่อไอเสียต่างๆ อุปกรณ์เครื่องใช้ ภายในบ้าน ส่วนประกอบเครื่องครัว

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [16]

ธาตุประกอบในโลหะ	เปอร์เซ็นต์
โครเมียม Cr	17.00
นิเกิล Ni	0.75
แมงกานีส Mn	1.00
คาร์บอน C	0.12
ฟอสฟอรัส P	0.040
ซัลเฟอร์ S	0.030
ซิลิกอน Si	1.00

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [16]

สมบัติทางกล	ผลของสมบัติทางกล
Tensile Strength (MPa)	450
Proof Strees 0.2% (MPa)	205
Elongation A5 (%)	22
Hardness (HB)	160

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [16]

Property	Value
Density	7.75 g/cm^3
Melting Point	1425 – 1510 $^{\circ}$C
Modulus of Elasticity	200 GPa
Electrical Resistivity	0.060 x 10^{-6} Ω.m
Thermal Conductivity	23.9 W/m.K at 100°C
Thermal Expansion	10.4x10^{-6} /K at 100°C

2.4.3 อลูมิเนียม (Aluminum) [17]

อลูมิเนียมถือเป็นโลหะที่สำคัญมากทั้งในครัวเรือน อุตสาหกรรม งานวิจัย อลูมิเนียมได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังคงมีความแข็งที่ใกล้เคียงกันกับโลหะเหล็ก เมื่อเทียบกับเหล็กแล้วถือว่าอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา อลูมิเนียม มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็ก อลูมิเนียมบริสุทธิ์มีค่าความเค้นประมาณ 90 MPa สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง ข้อเสียของอลูมิเนียมมีขอบเขตการยืดหยุ่น (Elastic limit) ต่ำทำให้การใช้งานถูกจำกัดขอบเขตไปมาก

ก. การแบ่งเกรดอลูมิเนียม [18]

สมาคมอลูมิเนียมแห่งอเมริกา (The Aluminum Association of America) ได้จัดโลหะผสมของอลูมิเนียมขึ้นรูปเป็นหมวดหมู่ตามส่วนผสมและใช้เลข 4 หลักเป็นสัญลักษณ์ในการกำกับชื่อของโลหะ ในปัจจุบันนี้การกำกับชื่อตามนี้เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายจนเป็นสากลนิยม

ความหมายของระบบเลข 4 หลัก มีดังนี้

เลขหลักที่หนึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงกลุ่มของโลหะผสมซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่ม ตามตารางเช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเป็นต้น

เลขหลักที่สองใช้สำหรับกำกับเมื่อมีการดัดแปลงส่วนผสมของโลหะให้ผิดไปจากโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลข 1-9 แสดงว่าเป็นส่วนที่ได้จากการดัดแปลงให้ผิดไปจากเดิม เช่น 2024 (4.5 Cu, 1.5Mg, 0.5Si, 0.1 Cr) เทียบกับ 2218 (4.0 Cu, 2.0 Ni, 1.5 Mg, 0.2 Si) ซึ่งสังเกตได้ว่าโลหะ 2218 มีนิกเกิลผสมเพิ่มเติมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สามและหลักที่สี่ใช้แสดงชนิดย่อย ๆ ของโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างนี้มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 2014 (4.4 Cu, 0.8 Si, 0.8 Mn, 0.4 Mg) และ 2017 (4.0 Cu, 0.8 Si, 0.5 Mn, 0.5 Mg, 0.1 Cr) เป็นต้น

เฉพาะอลูมิเนียมในกลุ่ม 1XXX ตัวหลักที่สามและหลักที่สี่จะแสดงปริมาณของอลูมิเนียมที่เป็นจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99 เปอร์เซ็นต์ เช่น 1060 และ 1080 หมายถึงอลูมิเนียมขึ้นรูปที่มีอลูมิเนียมอยู่ 99.60 เปอร์เซ็นต์ และ 99.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 กลุ่มตัวเลข 4 หลักที่ใช้เป็นสัญลักษณ์สำหรับอลูมิเนียมขึ้นรูป [19]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอลูมิเนียม
1XXX	อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.0%
2XXX	ทองแดง
3XXX	แมงกานีส
4XXX	ซิลิคอน
5XXX	แมกนีเซียม
6XXX	แมกนีเซียม กับ ซิลิคอน
7XXX	สังกะสี
8XXX	ธาตุอื่น ๆ
9XXX	ยังไม่มีที่ใช้

ข. สมบัติทั่วไปของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายอยู่ที่ 660 $^{\circ}$C อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นน้อย และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลงเนื่องจากอลูมีเนียมสามารถใช้แทนโลหะเหล็กในบางชิ้นส่วนได้ จะได้ประหยัดเชื้อเพลิง ตลอดจนชิ้นส่วนอากาศยาน นอกจากนี้อลูมิเนียมมีความเหนียวมาก จึงสามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก อลูมิเนียมมีอัตราการไหลตัวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่ายอลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และห่อรองรับอาหาร อลูมิเนียมมีความทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก

ค. สมบัติทางเคมีของอลูมิเนียม

- ออกซิเจน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่าอลูมิเนียมออกไซด์ อยู่ที่ชั้นผิวของ อลูมิเนียม ซึ่งจะทำให้ไม่เกิด ปฏิกิริยาต่อไป

- ไนโตรเจน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยา กับไนโตรเจน จะทำให้เกิดไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูง

- กำมะถัน เมื่ออลูมิเนียม ทำปฏิกิริยา กับกำมะถัน จะไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น

- ไฮโดรเจน เมื่ออลูมิเนียมทำปฏิกิริยา กับไฮโดรเจน ละลายแทรกซึม เข้าในอลูมิเนียมได้และใน การหล่ออลูมิเนียมถือ ว่าไฮโดรเจนเป็นก๊าซ ที่จะต้องกำจัดออก ให้หมดมากที่สุด

- กรดอนินทรีย์ (เข้มข้น) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ กรดอนินทรีย์ ซึ่งอลูมิเนียมสามารถทนได้บ้าง

- กรดอนินทรีย์ (เจือจาง) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับ กรดอนินทรีย์เจือจาง ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ทันที

- ด่าง เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับด่าง ซึ่งสามารถ ละลายอลูมิเนียมได้

- เกลือ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับเกลือ ซึ่งสามารถ กัดกร่อนอลูมิเนียมได้

- กรดอินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับกรดอินทรีย์ ซึ่งสามารถละลาย ในอลูมิเนียมได้ทันที (ยกเว้นกรดน้ำส้ม)

- กรดอินทรีย์ + น้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับกรดอินทรีย์ + น้ำ ซึ่งไม่เกิด ปฏิกิริยากับอลูมิเนียม

- ฮาโลเจน เมื่อเกิดปฏิกิริยา กับฮาโลเจน ซึ่งทำให้เกิด ปฏิกิริยาทันที

ง. สมบัติเชิงกลของอลูมิเนียม [17]

อลูมิเนียมมีค่าความต้านทานแรงดึงหรือค่าความแข็งแรง (Tensile strength) อยู่ที่ระดับ 186 MPa มีค่าพิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) อยู่ที่ระดับ 29.43 MPa มีอัตราการยืดตัว (Percent elongation) 12% และมีค่าทดสอบความแข็งความแข็ง(Hardness) อยู่ที่ 60 HB

จ. ประเภทของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เนื่องจาก อลูมิเนียมเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีความสำคัญมาก อลูมิเนียมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นจะมีทั้งอลูมิเนียมบริสุทธิ์และอลูมิเนียมผสม จากสมบัติที่หลายหลายของอลูมิเนียมที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการแบ่งประเภทของอลูมิเนียมได้ดังนี้

- แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

- อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure aluminum) มีเปอร์เซ็นต์ของอลูมิเนียมอยู่ถึง 99.00% และมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่อีก 1% เช่น เหล็กและซิลิกอน หรือไม่มีส่วนผสมอื่นๆ อยู่เลย อลูมิเนียมชนิดนี้ใช้

ในงานขึ้นรูปได้ดี สมบัติของอลูมิเนียมบริสุทธิ์คือ จะมีความ เหนียวสูงมาก ทั้งนี้ก็เพราะว่าอลูมิเนียมระบบผลึกเป็นแบบ FCC

- อลูมิเนียมผสม (Wrought aluminum) คือ อลูมิเนียมที่มีธาตุอื่นผสมอยู่ตั้งแต่หนึ่งธาตุขึ้นไป อลูมิเนียมสามารถผสมกับโลหะได้หลายชนิด ธาตุที่ผสมอยู่ในอลูมิเนียม ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส แมกนีเซียม โครเมียม สังกะสี และนิเกิล โลหะที่ผสมทำให้มีความคงทนต่อแรงดึงสูง

- อลูมิเนียมหล่อ (Cast aluminum) อลูมิเนียมชนิดนี้ได้จากกรรมวิธีการหล่อ 3 แบบใหญ่ๆ คือ หล่อทราย หล่อแบบถาวร และหล่อแบบอัดฉีด (Die cast)

อลูมีเนียมสามารถแบ่งตามส่วนผสมทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 8 กลุ่ม คือ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ โลหะผสมอลูมิเนียม - ทองแดง โลหะผสมอลูมิเนียม - แมงกานีส โลหะผสมอลูมิเนียม - ซิลิกอน โลหะผสมอลูมิเนียม - แมกนีเซียม โลหะผสมอลูมิเนียม – แมกนีเซียม - ซิลิกอน โลหะผสมอลูมิเนียม - สังกะสีและโลหะผสมอลูมิเนียม - ธาตุอื่นๆ

ฉ. การเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม

การเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมโดยใช้แก๊สเฉื่อย การเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้า และการเชื่อมแก๊ส ทั้งนี้การเลือกวิธีการเชื่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดของชิ้นงาน วัสดุที่นำมาเชื่อมต่อเข้ากับอลูมิเนียม เป็นต้น อลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายอยู่ที่ 660 °C ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมอลูมิเนียมคือ ผิวของอลูมิเนียม จะมีฟิล์มออกไซด์ปกคลุมอยู่ที่ผิวอลูมิเนียม ส่งผลให้น้ำโลหะเหลวจากลวดเชื่อมรวมตัวกับน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายของรอยเชื่อม เชิดเชลง ชิตชวนกิจ[20] ผู้เขียนหนังสือวิศวกรรมการเชื่อม ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ว่าสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมอลูมิเนียมโดยวิธีการเชื่อมแบบแก๊สเฉื่อยเพราะแก๊สเฉื่อยที่ปกคลุมการอาร์คจะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับโลหะเหลว และการอาร์คจะทำให้ฟิล์มออกไซด์ที่ลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำโลหะเหลวแยกจากกัน ทำให้น้ำโลหะซึ่งหลอมจากลวดเชื่อมรวมตัวกับน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายของรอยเชื่อมได้

ในปัจจุบันนี้การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเริ่มมีบทบาทในการเชื่อมอลูมิเนียมมากขึ้น ทั้งในอุตสาหกรรม และการเชื่อมชิ้นส่วนรถยนต์ รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมอลูมิเนียมที่ใช้กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนพบว่ามีมากมาย แสดงให้เห็นว่าการใช้กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมอลูมิเนียมอย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

การนำอลูมิเนียม 5052 มาใช้งาน

อลูมิเนียม 5052 เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่นำมาใช้กันอย่างมากมาย มีแมกนีเซียมและโครเมียมเป็นส่วนผสมที่สำคัญ โดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อน อลูมิเนียม 5052 นับว่ามีสมบัติเด่นมากมาย มีน้ำหนักเบามากเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก มีค่าการนำความร้อนที่สูง มีความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อน ในปัจจุบันมีการนำไปใช้งานกันกว้างขวาง เช่น งานโลหะแผ่น งานท่อไฮโดรลิก ปลอกหุ้มสายเคเบิ้ล ชิ้นส่วนเรือ และชิ้นส่วนยานพาหนะ

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางเคมีอลูมิเนียม 5052 [21]

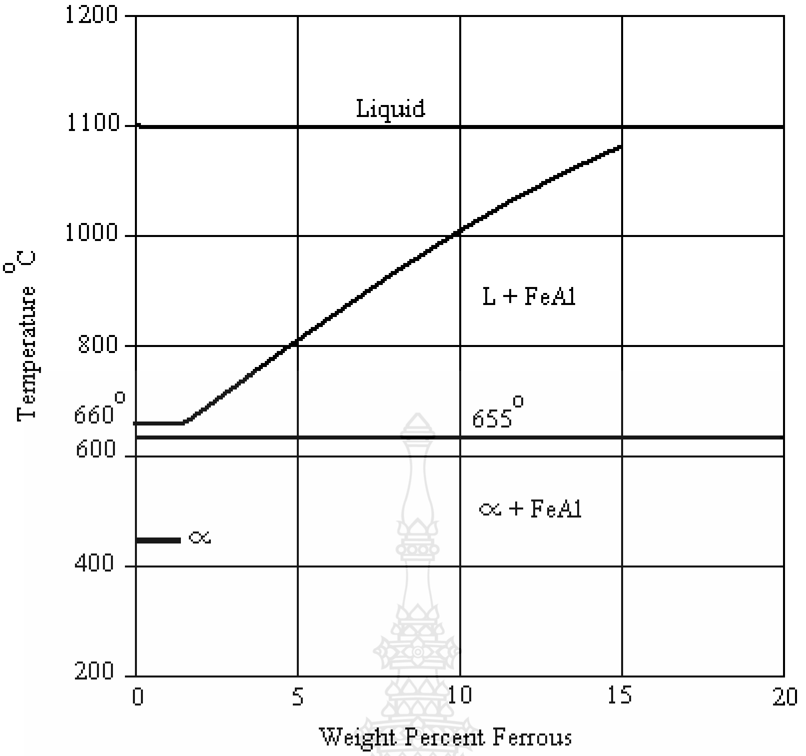
ธาตุประกอบในโลหะ	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียม (Mg)	2.50
ซิลิกอน (Si)	0.25
เหล็ก (Fe)	0.40
ทองแดง (Cu)	0.10
แมงกานีส (Mn)	0.10
สังกะสี (Zn)	0.10
โครเมียม (Cr)	0.25

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกลอลูมิเนียม 5052 [21]

สมบัติทางกล	ผลของสมบัติทางกล
Tensile Strength (MPa)	260
Yield Strength (MPa)	215
Elongation (%)	10
Hardness (HB)	60
Shear Strength (MPa)	145

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางกลอลูมิเนียม 5052 [21]

สมบัติทางอุณหภูมิ	ผลของสมบัติทางอุณหภูมิ
อุณหภูมิหลอมเหลว	649 $^{\circ}$C
อุณหภูมิแข็งตัว	607 $^{\circ}$C
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	23.8 um/m.K
ปริมาตร	69 x 10^{-6} m^3/m^3.K
ความหนาแน่น	2.68 g/cm^3



รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการรวมตัวระหว่างเหล็กกล้าและอลูมิเนียม [22]

2.5 เครื่องมือเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

2.5.1 เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steels) [23]

เหล็กกล้าที่ใช้ทำเครื่องมือมีคุณสมบัติบางอย่างที่ต่างจากเหล็กกล้าที่เราใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น การทนต่อการเสียดสีที่เหนือกว่า การทนต่อแรงกระแทกที่เหนือกว่า การทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงที่เหนือกว่าเช่น ค้อน ตะไบ สิ่ว ใบเลื่อย เป็นต้น

ก. ความหมายของเหล็กกล้าเครื่องมือ

เหล็กกล้าเครื่องมือ คือ เหล็กกล้าที่ใช้สำหรับทำเครื่องมือขึ้นรูปโลหะเป็นส่วนใหญ่ เช่น แบบหล่อโลหะในขบวนการอัดฉีดโลหะร้อน (Die casting) แม่พิมพ์สำหรับตีขึ้นรูป หรือตัดวัสดุต่างๆ ซึ่งรวมถึงเหล็ก โลหะนอกกลุ่มเหล็ก และพลาสติก เหล็กกล้าเครื่องมือจัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ ในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และเพื่อสร้างคาร์ไบด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติต้านทานการสึกหรอ

ข. สมบัติที่สำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือ

ความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) คือ สมบัติที่เหล็กกล้าที่บ่งถึงความยากง่าย ในการชุบแข็งและความลึกของเหล็กที่แข็งขึ้นจากการชุบแข็ง (Quenching) สมบัตินี้ จะขึ้นกับส่วนผสมทางเคมีและขนาดขอบเกรนของเหล็กกล้าโดยเหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็งสูง จะสามารถทำการชุบแข็งได้ง่ายด้วยลม แต่ถ้าเหล็กกล้ามีความสามารถในการชุบแข็งต่ำ การชุบแข็ง

ด้วยลมจะไม่สามารถทำให้ได้เฟสมาร์เทนไซต์ จึงอาจต้องทำการชุบแข็งด้วยน้ำหรือของเหลวอื่น ซึ่งจะมีผลต่อการบิดตัวของชิ้นงานที่ทำการชุบ สมบัตินี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณธาตุผสม ดังนั้น การทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งสูงตลอดชิ้น หรือสามารถชุบแข็งได้ลึก จึงควรเลือกใช้เหล็กกล้าที่มีธาตุผสมสูง โดยโคบอลต์เป็นเพียงธาตุเดียวที่ลดสมบัตินี้

- ความเหนียว (Toughness) คือ ความสามารถในการรับพลังงานของวัสดุก่อนที่จะเกิดการแตกหัก เหล็กกล้าเครื่องมือที่ถือว่ามีคุณสมบัติด้านความเหนียวที่ดี คือ กลุ่มที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ หรือปานกลาง สมบัตินี้จำเป็นสำหรับการใช้งานในสภาวะที่ต้องรับแรงกระแทก

- ความทนต่อการเสียดสี (Wear resistance) คือ ความสามารถทนต่อการถูกขัดสี ซึ่งรวมถึงการเสียดสีของคมตัดด้วย สมบัตินี้จะเกี่ยวข้องกับความแข็งของเหล็ก และปริมาณคาร์ไบด์ที่ไม่ละลาย (คาร์ไบด์ที่ไม่สลายตัว เมื่อมีการใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง) โดยหากเหล็กกล้าเครื่องมือมีความแข็งสูงก็จะทนการเสียดสีได้ดี หรือหากมีคาร์ไบด์ที่ไม่ละลาย (แม้อุณหภูมิสูง) ก็จะทำให้ทนการเสียดสีได้ดีขึ้นเช่นกัน เนื่องจากคาร์ไบด์จะมีความแข็งสูง

- การรักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (Red-hardness) เป็นสมบัติที่จำเป็นสำหรับการใช้งานเหล็กกล้าเครื่องมือที่ต้องได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 480 °C โดยธาตุผสมที่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ที่เสถียรจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัตินี้ ซึ่งจะทำให้เหล็กกล้าเครื่องมือไม่อ่อนลง (ความแข็งลดลง) อันเนื่องมาจากผลของความร้อนในขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูง หรือในขณะทำการอบคืนตัว (tempering)

- ความสามารถในการกลึงไส (Mach inability) คือ ความสามารถของโลหะที่จะกลึงไส ตกแต่งได้ง่าย และมีผิวที่เรียบภายหลังการกลึงไส

- ความต้านทานการสูญเสียคาร์บอน (Resistance to decarburization) การสูญเสียคาร์บอนซึ่งจะเกิดเมื่ออบเหล็กที่อุณหภูมิสูงกว่า 704 °C (1300°F) เป็นผลให้ความแข็งที่ได้ภายหลังการชุบแข็ง ต่ำลง เหล็กกล้าเครื่องมือที่มีสมบัตินี้ต่ำจะต้องมีวิธีป้องกัน/ควบคุมบรรยากาศในการอบชุบความร้อนเพื่อไม่ให้ชิ้นงานสูญเสียคาร์บอนโดยเฉพาะที่ผิว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลักจะสามารถต้านทานการสูญเสียคาร์บอนได้ดี

- การไม่เปลี่ยนรูปร่างหรือขนาด (Non deformation properties) นี้สัมพันธ์กับความสามารถในการชุบแข็งโดยทั่วไปเหล็กกล้าที่สามารถชุบแข็งได้ด้วยลมจะมีการบิดตัวน้อยที่สุด เหล็กกล้าที่ทำการชุบแข็งด้วยน้ำมันทำให้เกิดการบิดตัวปานกลาง และเหล็กกล้าที่ทำการชุบแข็งด้วยน้ำทำให้เกิดการบิดตัวสูงที่สุด ดังนั้นในการออกแบบเลือกเหล็กกล้าเครื่องมือจะต้องคำนึงถึงสมบัติด้านนี้ด้วย

ค. อิทธิพลของธาตุผสมต่อสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือ

ในการเลือกใช้เหล็กกล้าเครื่องมือ ควรมีการศึกษาลักษณะการทำงานกับเครื่องมือให้มีความเหมาะสมและถูกต้องในการใช้งาน ดังนั้นธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าเครื่องมือนับเป็นปัจจัย

อย่างหนึ่งที่จะทำให้การใช้เครื่องมือที่ทำมาจากเหล็กกล้ามีความเหมาะสมในงาน ซึ่งธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าเครื่องมือนั้นล้วนมีความสำคัญและมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันออกไป ธาตุผสมที่สำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือได้แก่

คาร์บอน (C) เป็นธาตุผสมสำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือ จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลหลายประการ โดยช่วยเพิ่มความแข็ง ความเค้นแรงดึง ความสามารถในการชุบแข็ง แต่จะลดสมบัติความเหนียว และการยืดตัวของเหล็ก

- ซิลิกอน (Si) โดยปกติจะพบในเหล็กกล้าเครื่องมือปริมาณ 0.2 - 0.3% เพราะในการหลอมเหล็กกล้าจะใช้ซิลิกอนเพื่อไล่แก๊สออกซิเจน โดยให้ผลดีทั้งด้านการลดการเกิดออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิสูง ช่วยให้ชุบแข็งง่ายขึ้น และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัว (Tempering)

- แมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่มีอยู่ทั่วไปในเหล็กกล้า เนื่องจากในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าจะใส่แมงกานีสเป็นตัวกำจัดแก๊ส และรวมตัวกับกำมะถัน (S) การจัดว่าแมงกานีสเป็นธาตุผสมในเหล็กกล้าก็ต่อเมื่อมีปริมาณสูงกว่า 0.6% ขึ้นไป แมงกานีสมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือ

- โครเมียม (Cr) เป็นธาตุผสมที่ใส่ลงไปเพื่อสมบัติหลายประการ เช่น เพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง เพิ่มสมบัติทนต่อการเสียดสี เพิ่มความเหนียว เป็นต้นโครเมียมสามารถรวมตัวกับคาร์บอนให้คาร์ไบด์ได้หลายรูปแบบ ซึ่งหากมีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและคาร์ไบด์เหล่านี้ละลายหมด เกรนจะขยายตัวมาก ดังนั้นการใช้งานเหล็กกล้าเครื่องมือที่ผสมโครเมียมตามลำพัง ต้องเลี่ยงการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและทิ้งแช่ไว้ระยะเวลานาน หรืออาจแก้ไขได้โดยผสมวานาเดียมเพื่อชะลอการขยายตัวขอบเกรน

ง. การแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าเครื่องมือ

เหล็กกล้าเครื่องมือเป็นเหล็กที่มีความหลากหลายในการใช้งาน การเลือกใช้ไม่จำกัดที่จะต้องเลือกเกรดใดเกรดหนึ่ง สามารถใช้งานแทนกันได้ อย่างไรก็ตาม หากแบ่งเหล็กกล้าเครื่องมือตามลักษณะการใช้งานจะสามารถแบ่งได้ 6 ประเภทดังนี้

1) เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน (Hot work tool steels) เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้ใช้ในงานประเภทที่ต้องอาศัยอุณหภูมิสูงในการแปรรูป เช่น งานทุบขึ้นรูปร้อน (Hot forging) งานหล่อแบบฉีด (Die casting) งานอัดขึ้นรูปร้อน (Hot extrusion) งานตัดร้อน (Hot shear blade) งานอัดร้อน (Hot press) การที่เหล็กกล้าเครื่องมือประเภทนี้ทำการเพิ่มธาตุผสม ได้แก่ โครเมียม โมลิบดีนั่ม และทังสเตน ในปริมาณอย่างน้อย 5% จะส่งผลให้เหล็กกล้าเครื่องมือสามารถรักษาสมบัติความแข็งที่อุณหภูมิสูงได้ดี มีความเหนียวที่ดี และต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง

2) เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High speed tool steels) เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้มีสมบัติเฉพาะด้านใช้เป็นวัสดุในการตัดโลหะด้วยความเร็วสูง เช่น ใบตัด (Milling cutters) ใบเลื่อย (Saws) เป็นต้น ซึ่งสมบัติสำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้คือมีความสามารถในการรักษาความ

แข็งของคมตัดที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติไว้ได้ แต่เหล็กกล้าเครื่องมือทำงานร้อนจะไม่สามารถรักษาความแข็งไว้ได้ในอุณหภูมิสูง ในขณะที่เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงสามารถรักษาความแข็งแรงและยังคงสภาพเดิมแม้จะเกิดความร้อนที่อุณหภูมิสูง

3) เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold work tool steels) เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้เป็นกลุ่มที่ใช้ผลิตเครื่องมือสำหรับนำไปใช้ในงานแปรรูปโลหะที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการแปรรูป สมบัติสำคัญที่ต้องการสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ คือ ความสามารถในการกลึงไสดี ต้านทานการสึกหรอสูง และมีความเหนียวทนแรงอัดกระแทกได้ดี เช่น แม่พิมพ์ตัดแผ่น โลหะเย็น ใบมีดตัดกระดาษ เฟืองกัดไม้ คัดเตอร์ เป็นต้น

4) เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.40% ซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติด้านการชุบแข็งหรือความลึกของผิวชุบแข็งจึงต่ำ ในบางเกรดอาจมีการผสมโครเมียม หรือวานาเดียมลงไปเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และทนต่อการเสียดสี

5) เหล็กกล้าเครื่องมือทนต่อแรงกระแทก (Shock resisting tool steels) เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้ได้ถูกพัฒนาให้มีความแข็งแรง ความต้านทานการสึกหรอสูง และให้มีความเหนียว เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องรับแรงกระแทกซ้ำ ๆ กัน เช่น หัวกด สิ่ว และแม่พิมพ์ เป็นต้น นอกจากนี้ธาตุแมงกานีส โครเมียม โมลิบดินั่ม จะช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัว (Tempering) ซิลิกอนจะเพิ่มความแข็งให้กับเฟอไรท์ และช่วยให้คงความแข็งไว้ได้ดีในขณะอบคืนตัวด้วย

6) เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic mold steels) เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานที่ช่วงอุณหภูมิ 175 - 200 °C ภายใต้ความดันสูง มีการกัดกร่อนจากสารเคมี และต้องรับแรงเสียดสีกับผงพลาสติกด้วย ดังนั้นคุณสมบัติสำคัญจะต่างไปจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มอื่น โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึง ได้แก่ ความสามารถในการกลึงไส ความต้านทานแรงอัด ความแข็งที่ผิวสูง ความแข็งแรงที่แกนสูง ความแน่นอนของขนาดภายหลังการชุบแข็ง ความสามารถในการขัดผิวให้เรียบ ความต้านทานการกัดกร่อนที่ผิว

2.5.2 เหล็กกล้าเครื่องมือ AISI M42

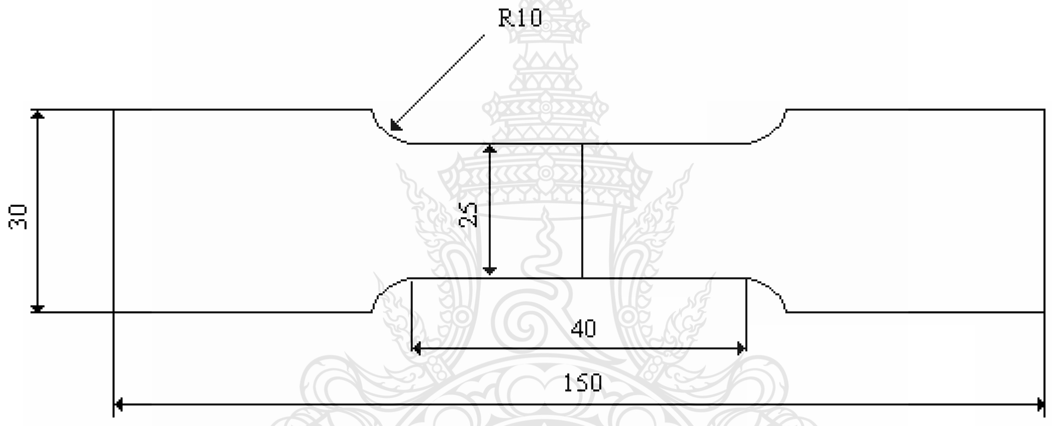
เป็นวัสดุประเภทเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (High-speed tool steel) ตามมาตรฐาน AISI M42 มีความสามารถทนต่อการถูกขัดสี ซึ่งรวมถึงการเสียดสีของคมตัดด้วย มีความสามารถในการกลึงไส (Machinability) ซึ่งคุณสมบัติสำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้คือมีความสามารถในการรักษาความแข็งของคมตัดที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติไว้ได้ ใช้เป็นวัสดุในการตัดโลหะด้วยความเร็วสูง เช่น ใบตัด (Milling cutters) ใบเลื่อย (Saws) เป็นต้น เหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้มี คาร์บอน 1.05 - 1.15% โครเมียม 3.50 - 4.25% ซิลิกอน 0.15 – 0.65% และมีส่วนผสมของแมงกานีส 0.15 -0.40%

2.6 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)[24]

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นวิธีทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบหาสมบัติทางกล (Physical properties) ของวัสดุภายใต้แรงกระทำในแนวแกน (Axial load) โดยทั่วไปแรงที่กระทำที่ทำให้กับวัสดุจะเป็นแรงดึง (Tensile loading) และจะเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่จากศูนย์จนกระทั่งวัสดุไม่สามารถทนได้และเกิดการแตกหัก (Fracture) ดังนั้นการทดสอบแรงดึงจึงเป็นการทดสอบแบบทำลายสภาพ (Destructive Test: DT)

2.6.1 ชิ้นทดสอบ (Specimens)

การทดสอบโดยการดึงนั้นจะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบ คือ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นก็ได้ สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะส่วนมากจะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลมหรืออาจจะเตรียมให้มีพื้นที่ภาคตัดขวาง สี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้



รูปที่ 2.4 ชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานAWS D1.2 [24]

2.6.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติทางกลโดยกรรมวิธีการทดสอบแรงดึง เป็นวิธีการตรวจสอบที่ง่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบหาสมบัติทางกลของวัสดุประเภทอื่นๆ และนิยมทดสอบกันมากเพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นสมบัติทางกลพื้นฐาน การทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบแรงดึงจะให้ผลเกี่ยวกับการต้านทานแรงดึง การยืดตัว ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับได้ว่าจะเป็นประโยชน์ในเรื่องของการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานและในเรื่องของการออกแบบ

ก. ความเค้น (Stress) [25]

มณฑล ฉายอรุณ [25] ผู้เขียนหนังสือ การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ กล่าวไว้ว่า ความเค้นหมายถึง แรงต้านภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางการปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่า เราจึงมักจะพูดถึงความเค้น

ในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

- ความเค้นแรงดึง (Tensile stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

- ความเค้นแรงอัด (Compressive stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดกมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

- ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

ข. ความเครียด (Strain) [25]

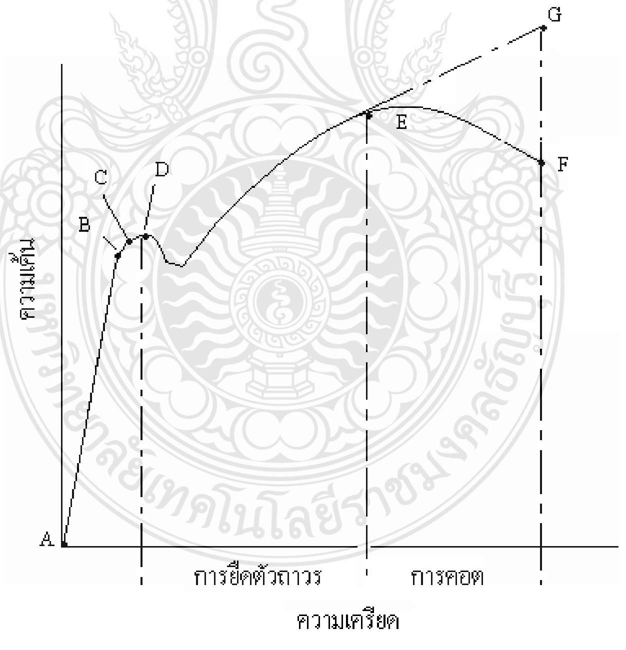
เมื่อเกิดแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัตถุมีผลทำให้วัตถุนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) สิ่งที่เกิดขึ้นนี้เป็นความเครียดที่เกิดขึ้นการเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ

- การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติค หรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic deformation or Elastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำอะตอมซึ่งเคลื่อนไหว เนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนเข้าตำแหน่งเดิมทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ เช่น ยางยืด สปริง การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic deformation or Elastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

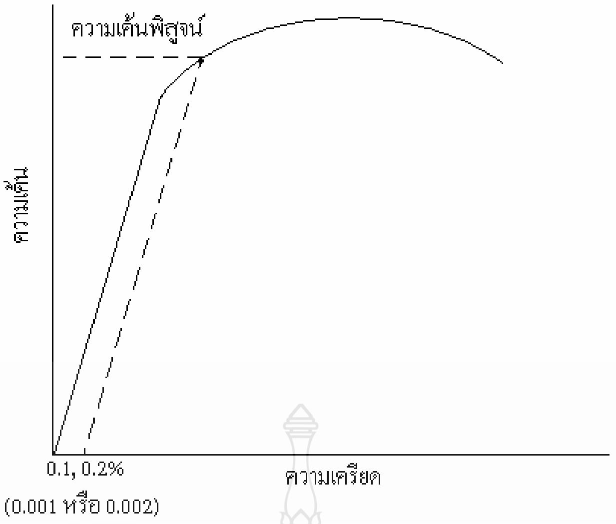
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress – strain relationship) ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้น ความเครียด ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) โดยจะพล็อตค่าความเค้นในแกนตั้ง และความเครียดในแกนนอน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การทดสอบแรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ ความเหนียวของวัสดุ (Brittleness and ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น ความเครียด พบว่า เมื่อเริ่มต้นดึงชิ้นงานทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นงานจะค่อยๆ ยืดออกจนถึงจุดจุดหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้ได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุค (Hooks law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ที่จุด A นี้เรียกว่า พิกัดสัดส่วน (Proportion limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นงานทดสอบจะกับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัด

สัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจาเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อย จนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่า พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Permanent deformation or offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปอย่างถาวร (Plastic deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการเพิ่มความเค้นซึ่งบางครั้งอาจจะลดลง ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (Yield stress) หรือ (Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรรมมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ในวัสดุหลายชนิดเช่นกัน เช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่มีวิธีที่จะหาได้โดยการกำหนดความเครียดที่ 0.10 – 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม (Original Gage length) แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress)



รูปที่ 2.5 เส้นโค้งความเค้น - ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield point) [25]



รูปที่ 2.6 เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก [25]

2.7 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้าง

2.7.1 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เป็นการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการมองด้วยตาเปล่า เพื่อวิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเป็นการตรวจสอบอย่างง่าย ๆ หรือถ้าใช้กล้องขยายก็มีกำลังขยายไม่เกิน 50 เท่า เพื่อช่วยให้สามารถมองเห็นลักษณะแนวเชื่อมได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม การแทรกตัวของวัสดุ รูพรุนที่เกิดขึ้น

ก. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมี 2 ลักษณะ เพื่อใช้ชิ้นงานทั้ง 2 ลักษณะนี้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้แก่

- ชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบ่งแบบไม่ผ่านการทดสอบแรงดึง

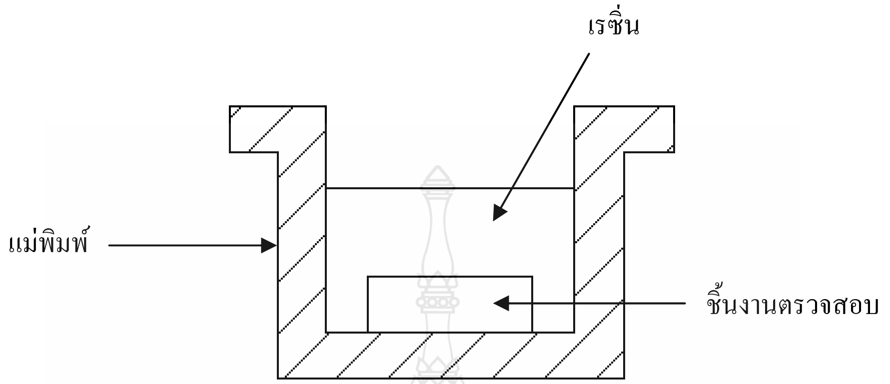
โดยชิ้นงานนี้ได้จากส่วนของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่ง ด้านภาคตัดด้านข้าง โดยในส่วนนี้จะเป็นชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการทดสอบแรงดึง โดยชิ้นงานส่วนนี้ สามารถตรวจสอบลักษณะการแทรกตัวของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

- ชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบ่งแบบผ่านการทดสอบแรงดึง

ชิ้นงานส่วนที่ผ่านการทดสอบแรงดึง เพื่อสามารถวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อม โดยจะทำให้สามารถทราบว่าลักษณะการขาดหลังจากทำการทดสอบแรงดึงเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อมหรือชิ้นงานเกิดการขาดที่บริเวณวัสดุหลัก รวมถึงสามารถวิเคราะห์ลักษณะการแทรกตัวของวัสดุของทั้ง 2 ชนิด

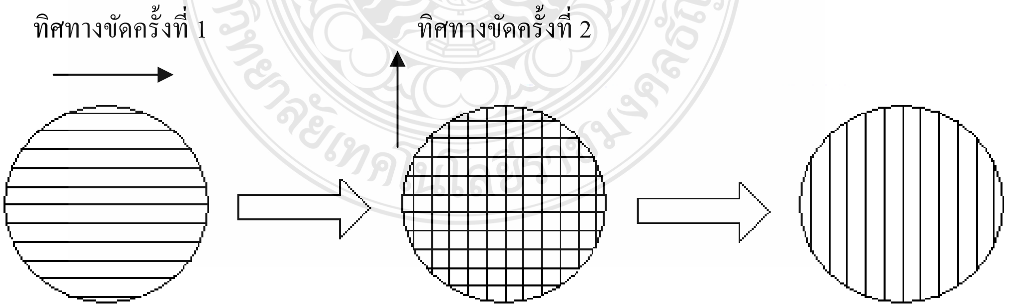
ข. ขั้นตอนการตรวจสอบ

- การหล่อเรซิ่น เพื่อสามารถใช้ชิ้นงานทดสอบสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก เรซิ่นจะทำหน้าที่ยึดเกาะชิ้นงานทดสอบเพื่อให้สามารถทำการขัดผิวหน้า และนำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคได้ โดยการหล่อเรซิ่นแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเรซิ่น

- การเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบ โดยการขัดผิวชิ้นงาน ด้วยกระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ เบอร์ 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ ในการขัดผิวชิ้นงานเพื่อให้ผิวชิ้นงานเกิดความเรียบ ต้องวางกระดาษทรายบนแผ่นเรียบ เช่น กระจกหนา เพื่อให้เกิดระนาบเดียวกัน การขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายต้องขัดตามทิศทางเดียวกันตลอดชิ้นทดสอบ แล้วจึงขัดชิ้นทดสอบทำมุม 90 องศา จนรอยเดิมหายไปแล้วจึงเปลี่ยนกระดาษทรายที่ละเอียดขึ้นไปจนกระทั่งถึงเบอร์ 1200 ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะแนวทางการขัดชิ้นงานตรวจสอบ

- การตรวจสอบและผลการตรวจสอบ อาศัยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual test) ตามมาตรฐาน ASME Section V โดยตรวจสอบด้วยตาเปล่าหรือกล้องกำลังขยายต่ำกว่า 50 เท่าแล้วบันทึกผล

2.7.2 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์นั้นเพื่อให้สามารถมองเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นในระยะที่ใกล้หรืออาจมองเห็นในระยะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งกล้องจุลทรรศน์นั้นสามารถถ่ายได้ทั้งโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค กล้องจุลทรรศน์มีกำลังการขยายสูงถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2000 เท่า กล้องจุลทรรศน์นั้นจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกันไม่ว่าจะเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใดก็ตาม โดยมีหลักการทำงานด้วยการปล่อยแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังชิ้นตรวจสอบทำให้แสงที่ตกกระทบลงบนผิวงานที่เรียบและตั้งฉากกับลำแสงจะสะท้อนแสงได้ดีกว่า โดยแสงจะสะท้อนเข้าไปยังเลนส์ขยาย (Eye piece) และเข้าสู่สายตาผู้ตรวจสอบทำให้เห็นภาพดังกล่าวมีขนาดใหญ่ขึ้น

ก. การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้าง

การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้าง ผิวชิ้นงานตรวจสอบจำเป็นต้องมีความเรียบและมีความละเอียด เนื่องจากถ้าผิวชิ้นตรวจสอบไม่มีความละเอียดอาจส่งผลต่อการตรวจสอบซึ่งอาจส่งผลให้ภาพที่ได้จากการตรวจสอบเบลอหรือมองเห็นได้ไม่ชัดเจน รวมทั้งกรณีที่ใช้เรซิ่นเป็นตัวยึดชิ้นงานเพื่อทำการถ่ายโครงสร้าง เรซิ่นนั้นก็ควรมีความเรียบ เนื่องจากเมื่อทำการถ่ายโครงสร้างถ้าเลนส์จับภาพที่มีระนาบไม่เท่ากันก็จะเกิดภาพเบลอในบางส่วนเช่นเดียวกัน

ขนาดของชิ้นตรวจสอบควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 mm. และความสูงไม่น้อยกว่า 15 mm. เพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ ขั้นตอนในลำดับต่อไปนั้นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ในการขัดชิ้นงานเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้าง ถ้าใช้เรซิ่นเป็นตัวจับยึดชิ้นงานจะทำให้การขัดชิ้นงานเป็นไปได้โดยง่าย การขัดผิวชิ้นตรวจสอบด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิกอนคาร์ไบด์ เริ่มจากความละเอียดเบอร์ 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ โดยทำการขัดบนพื้นผิวเรียบ โดยในขณะทำการขัดจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อชำระล้างสิ่งสกปรก เช่น ผงโลหะและซิลิกอนคาร์ไบด์ออก

- การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) เป็นขั้นตอนในการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบโดยใช้ผงขัดจากผงอะลูมินา (Alumina oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium oxide) โดยผงเหล่านี้จะมีขนาด 0.05 – 0.3 ไมครอน ทำการขัดบนจานหมุนด้วยผ้าสักหลาด โดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน

- การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นงานที่เป็นวัสดุหรือโลหะแต่ละประเภทจะใช้น้ำยาในการกัดที่แตกต่างกันออกไป ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดผิวมันแล้วจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยาตามชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ

- การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ หลังจากทำการกัดผิวด้วยน้ำยาจะทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

ข. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) คือ เครื่องมือขยายขอบเขตของประสาทสัมผัสทางตาให้เห็นสิ่งที่ไม่สามารถเห็นด้วยตาเปล่า เช่น จุลินทรีย์ เซลล์เม็ดเลือด เป็นต้น

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการมองวัตถุที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถขยายได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการแจกแจงรายละเอียด (Resolution / Resolving power) หมายถึงความสามารถของกล้องจุลทรรศน์ในการแยกจุดสองจุดซึ่งอยู่ใกล้กันที่สุดให้มองเห็นแยกเป็นสองจุดได้ (Two points of discrimination) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ส่องผ่านเลนส์ ซึ่งถ้าแสงมีความยาวคลื่นที่สั้น จะช่วยเพิ่มกำลังการขยาย resolving power และความสามารถในการรวมแสงของเลนส์วัตถุ (Numerical aperture of objective lens : NA) โดยที่ค่า NA ยิ่งมากภาพที่ได้ก็จะยิ่งคมชัดมากขึ้นตาม

ค. การทำงานของกล้องจุลทรรศน์

- วางชิ้นตรวจสอบบนที่วางของกล้องจุลทรรศน์ที่วางชิ้นตรวจสอบนี้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวาได้ ทั้งนี้เพื่อการปรับชิ้นตรวจสอบให้ตรงกับเลนส์วัตถุ และยังเป็นการปรับระยะชัดเจนของภาพอีกด้วย

- เปิดสวิตซ์และปรับความเข้มของแสงตามต้องการ

- ปรับระยะชัดเจนของภาพ (Focus) ซึ่งสามารถปรับได้ 2 ระบบ คือ การปรับหยาบ (Coarse focus control) จะสามารถปรับระยะชัดของภาพได้รวดเร็ว แต่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ แต่สำหรับการปรับละเอียด (Fine focus control) นั้นจะได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นภายหลังการปรับหยาบ และจะไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเลย

- เมื่อได้ภาพชัดเจนแล้วก็อาจจะมีการถ่ายภาพไว้ในกรณีที่กล้องจุลทรรศน์นั้นสามารถติดตั้งกล้องถ่ายภาพได้

- การหยุดการทำงานให้ปิดสวิตซ์และนำชิ้นตรวจสอบออกจากที่วางควรระวังไม่ให้ชิ้นตรวจสอบกระทบกับเลนส์วัตถุเพราะอาจจะทำให้เลนส์นั้นมีรอยเกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การมองภาพไม่ชัดเจน

ง. ประเภทของกล้องจุลทรรศน์

- กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงแบบธรรมดา ประกอบด้วยเลนส์ 2 ชนิดคือ เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตาโดยใช้แสงผ่านวัตถุแล้วขึ้นมาที่เลนส์จนเห็นภาพที่บนวัตถุอย่างชัดเจน

รูปที่ 2.9 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงแบบธรรมดา [26]

- กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ เป็นกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ที่ทำให้เกิดภาพแบบ 3 มิติใช้ศึกษาวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่ตาเปล่าไม่สามารถแยกรายละเอียดได้ จึงต้องใช้กล้องชนิดนี้ช่วยขยาย กล้องชนิดนี้มีข้อแตกต่างจากกล้องทั่วๆ ไป คือ

- ภาพที่เห็นเป็นภาพเสมือนมีความชัดลึกและเป็นภาพสามมิติ
- เลนส์ใกล้วัตถุมีกำลังขยายต่ำ คือ น้อยกว่า 1 เท่า
- ใช้ศึกษาได้ทั้งวัตถุโปร่งแสงและวัตถุทึบแสง
- ระยะห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุกับวัตถุที่ศึกษาอยู่ในช่วง 63 - 225 mm.

รูปที่ 2.10 กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ [27]

จ. การใช้กล้องจุลทรรศน์

- การจับกล้อง ใช้มือหนึ่งจับที่แขนของกล้อง และใช้อีกมือหนึ่งรองรับที่ฐาน

- ตั้งลำกล้องให้ตรงเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนประกอบต่างๆ เลื่อนหลุดจากตำแหน่ง

- หมุนเลนส์ใกล้วัตถุให้เป็นเลนส์ที่มีกำลังขยายต่ำสุดให้อยู่ในตำแหน่งแนวของลำกล้อง

- ปรับกระจกเงา หรือเปิดไฟเพื่อให้แสงเข้าลำกล้องได้เต็มที่

- นำแผ่นสไลด์ที่จะศึกษาวางบนแท่นวางวัตถุ ให้วัตถุอยู่บริเวณกึ่งกลางบริเวณที่แสงผ่าน

- มองด้านข้างตามแนวระดับแท่นวางวัตถุ ค่อยๆหมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้เลนส์ใกล้วัตถุเลื่อนลงมาอยู่ใกล้ๆ กระจกปิดสไลด์ (แต่ต้องระวังไม่ให้เลนส์กับสไลด์สัมผัสกัน เพราะจะทำให้ทั้งคู่แตกหักหรือเสียหายได้)

- มองที่เลนส์ใกล้ตาค่อยๆ ปรับปุ่มปรับภาพหยาบให้กล้องเลื่อนขึ้นช้าๆ เพื่อหาระยะภาพ เมื่อได้ภาพแล้วให้หยุดหมุน ตรวจดูแสงว่ามากหรือน้อยเกินไปหรือไม่ ให้ปรับไดอะแฟรมเพื่อให้ได้แสงที่พอเหมาะ

- มองที่เลนส์ใกล้ตาหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ถ้าวัตถุที่ศึกษาไม่อยู่ตรงกลางให้เลื่อนแผ่นสไลด์เล็กน้อยจนเห็นวัตถุอยู่ตรงกลางพอดี

- ถ้าต้องการให้ภาพขยายใหญ่ขึ้นก็หมุนเลนส์อันที่กำลังขยายสูงขึ้นเข้าสู่แนวลำกล้องแล้วปรับความคมชัดด้วยปุ่มปรับภาพละเอียดเท่านั้น

- บันทึกกำลังขยายโดยหาได้จากผลคูณดังที่กล่าวไว้แล้ว

- หลังจากใช้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ให้ปรับกระจกเงาให้อยู่ในแนวดิ่ง ตั้งฉากกับตัวกล้อง เลื่อนที่หนีบสไลด์ให้ตั้งฉากกับที่วางวัตถุ หมุนเลนส์ใกล้วัตถุให้เป็นอันที่มีกำลังขยายต่ำสุดอยู่ในตำแหน่งของลำกล้อง และเลื่อนลำกล้องให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด เช็ดทำความสะอาดส่วนที่เป็นโลหะด้วยผ้านุ่มๆ และสะอาด แล้วจึงนำกล้องเข้าเก็บในตำแหน่งที่เก็บกล้อง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนจากบทความ และวารสารต่างๆ พบว่ามีงานวิจัยที่สามารถนำมาศึกษาเพิ่มเติมได้ดังต่อไปนี้

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อนินท์ มีมนต์ [28] ได้ทำการศึกษางานวิจัย “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์ต่อกลสมบัติรอยต่อชนอลูมิเนียมและเหล็กกล้า” โดยทำการเชื่อมรอยต่อชนแผ่นอลูมิเนียมผสมและแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยได้ทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ เช่น ความเร็วรอบในการหมุนของตัวกวน ระยะตำแหน่งของตัวกวนในรอยต่อ และขนาดความโตของตัวกวน โดยผลการทดลองที่ได้พบว่า การเชื่อมด้วยการเสียดทานรอยต่อชนระหว่าง

อลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ สามารถทำการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิผล จากผลการทดลองนี้เมื่อทำการทดสอบแรงดึงพบว่าได้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าประมาณร้อยละ 86 ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของอลูมิเนียม

ณัฐ แก้วสกุล เรวัฒน์ ซ่อมสุข กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [29] ได้ทำการศึกษาวิจัย “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304” การทดลองการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่างๆ คือ ความเร็วรอบของตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวเชื่อม การเพิ่มความเร็วรอบตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวลดความแข็งแรงดึงของรอยต่อชน เนื่องจากมันทำให้รอยต่อเกิดจุดบกพร่องที่บริเวณอินเทอร์เฟสของรอยต่อชน ค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสามารถทำให้เกิดรอยต่อชนที่สมบูรณ์ คือ รอยต่อชนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 102 mm/min ที่ค่าความแข็งแรงดึง 71 MPa.

อนุชา ขวัญสุข [30]ได้ทำงานวิจัยเพื่อศึกษาการเชื่อมเสียดทานหมุนกวนอลูมิเนียมเจือ AA6063-T1 ซึ่งมีค่าความต้านแรงดึงอยู่ที่ประมาณ 177 MPa โดยทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปร่างระหว่างสลักแกนหมุนทรงกระบอกผิวเรียบกับผิวเกลียว จากการทดลองพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพงานเชื่อมได้แก่ ความเร็วรอบหมุน ความเร็วเดินเชื่อม และมุมเอียงแกนหมุน ผลการศึกษาพบการเชื่อมด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเรียบ ที่ความเร็วรอบการหมุน 1000 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min มุมเอียงแกนหมุน 3 องศา ให้ความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุดโดยมีค่าความต้านแรงดึงที่ ประมาณ 163 MPa ในขณะที่การเชื่อมด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเกลียว ที่ความเร็วรอบการหมุน 1000 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min และมุมเอียงแกนหมุน 3 องศาให้ความสมบูรณ์และความแข็งแรงสูงสุด โดยมีค่าความต้านแรงดึงที่ ประมาณ 169 MPa

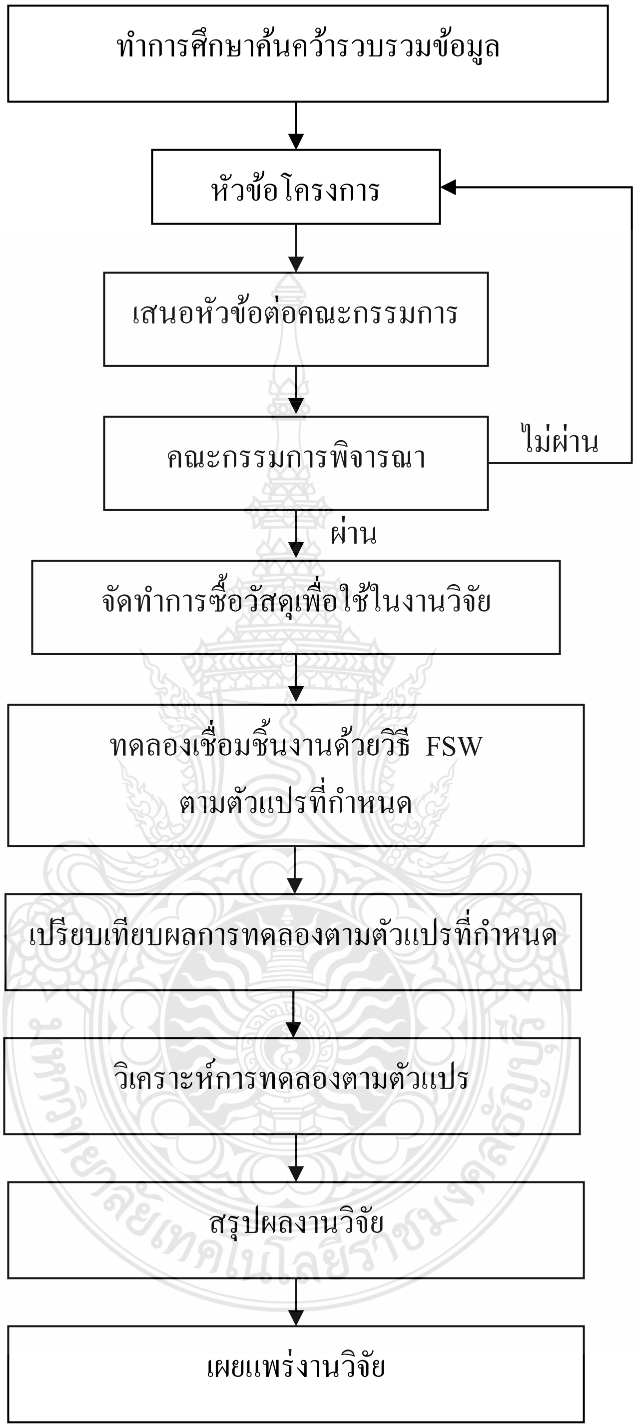
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทำปริญญานิพนธ์ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆ ในการทำการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาและจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “อิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ” ซึ่งเป็นการเชื่อมแบบเสียดทานแบบกวน และทำการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกลสมบัติและโครงสร้างจุลภาค ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์จึงได้ทำการวางแผนการดำเนินงานของโครงการเพื่อให้สามารถวางแผนระยะเวลาในการทำปริญญานิพนธ์

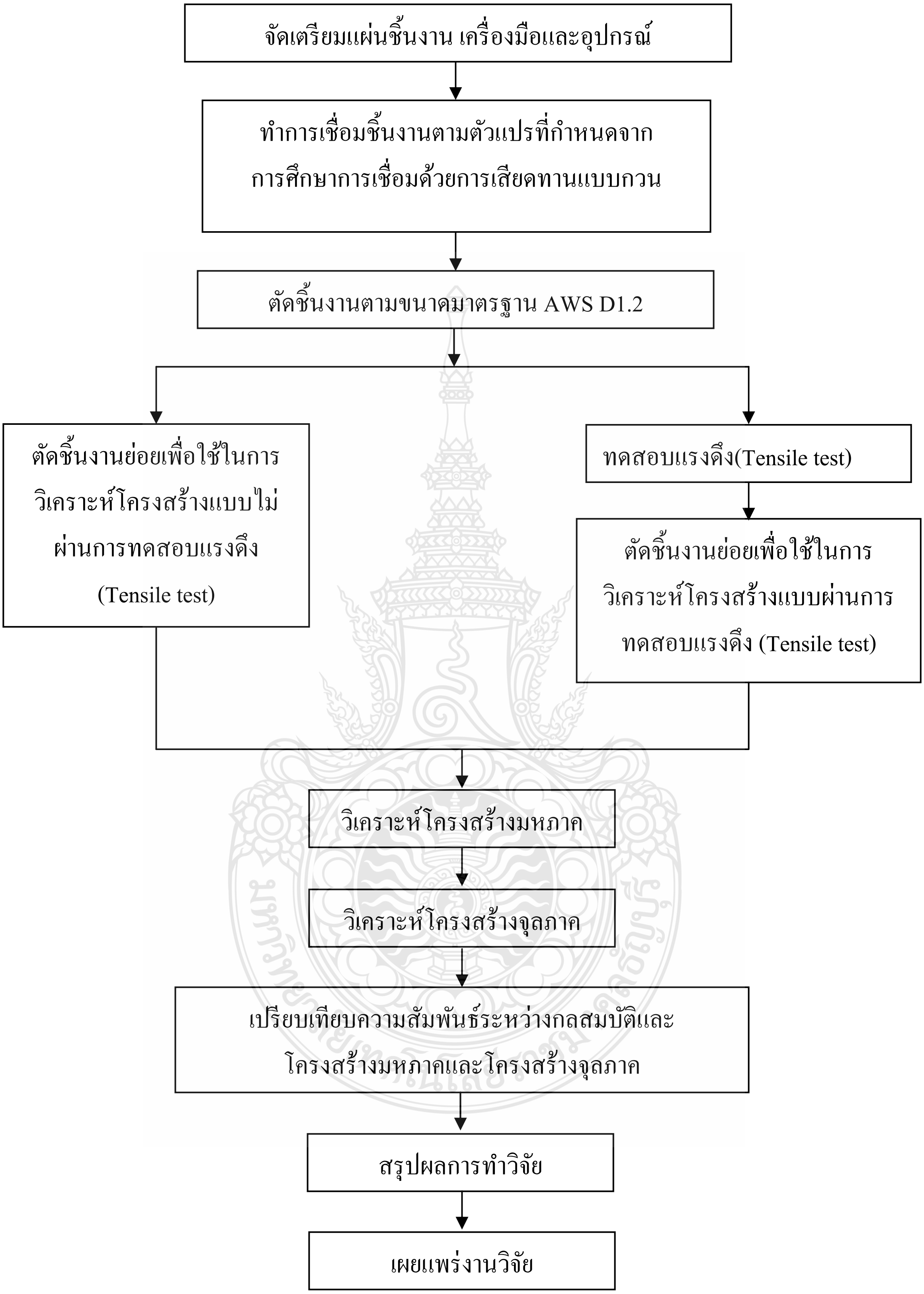
3.1 แผนการดำเนินงาน

หลังจากทำการศึกษารูปแบบและข้อมูลของงานวิจัยทางทฤษฎีต่างๆ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในทางปฏิบัติงาน ซึ่งจะพบว่าในการปฏิบัติงานจริงนั้นจะพบมีขั้นตอนในการทำงานที่เป็นระบบมากมาย เช่นการวางแผนงาน การจัดหาและจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือและเครื่องจักรให้มีความพร้อมสมบูรณ์ เพื่อให้การทำงานมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการทดลองที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานจริง ซึ่งในการปฏิบัติงานและดำเนินงานนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจเป็นอย่างดี จึงจะทำให้การดำเนินงานเป็นไปตามขั้นตอนและแผนที่วางไว้ นอกจากนั้นยังมีปัญหาในการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ต้องการความเหมาะสมในการทำวิจัย เช่นการเลือกใช้ขนาดตัวกวนซึ่งเป็นเครื่องมือที่ยังไม่มีมาตรฐานในการใช้งานที่เหมาะสม ดังนั้นจึงได้มีการวางแผนการดำเนินงานเป็นขั้นตอน เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

3.2 วิธีดำเนินงานวางแผนและเตรียมการ



รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 กระบวนการทดลอง

3.3 กำหนดเงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขในการทดลองนี้จะกำหนดจากตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมอันได้แก่ ความเร็วรอบของตัวกวน ความเร็วในการเดินเชื่อม ระยะสอดของตัวกวน และมุมเอียงของตัวกวน

1) ความเร็วรอบในการหมุน (Rotational speed) 200 250 500 และ 750 rpm

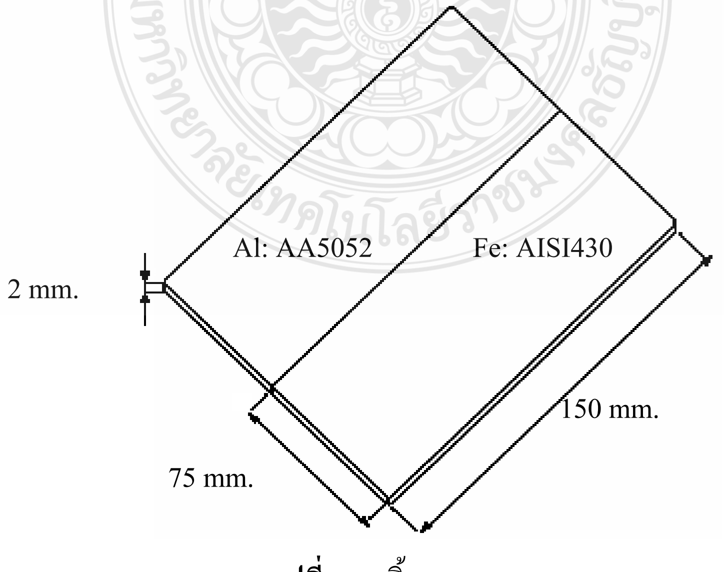
2) ความเร็วในการเดินเชื่อม (Welding speed) 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min

3) ระยะสอดของตัวกวนบริเวณแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm.

4) มุมเอียงของตัวกวน 0 1 2 3 และ 4 องศา

3.4 การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 430ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และมีค่าความยืดตัวสูง (Elongation) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญ และมีนิเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย มีธาตุผสมทางเคมีที่สำคัญประกอบไปด้วย C 0.12% Ni 0.5% Cr 17% ทำการเชื่อมเข้ากับอลูมิเนียม 5052 ซึ่งเป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบาและมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอย ตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน จรวด และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลง จะได้ประหยัดเชื้อเพลิง ตลอดจนชิ้นส่วนอากาศยาน ที่มีธาตุผสมทางเคมีประกอบไปด้วย Cr 0.25% Mg 2.4% Si 0.25% ขนาดชิ้นงานทดลองที่ใช้ในการวิจัยอลูมิเนียมผสมเกรด 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ชิ้นงานทดลองมีขนาด 75 x 150 x 2 mm. ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 โดยในการทดลองเชื่อมจะนำชิ้นงานมาทำการเชื่อมแบบต่อชน (Butt joint) แล้วทำการเชื่อมยาวตามแนวเป็นระยะทาง 150 mm.



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดลอง

3.5 การออกแบบเครื่องมือ

3.5.1 การออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture)

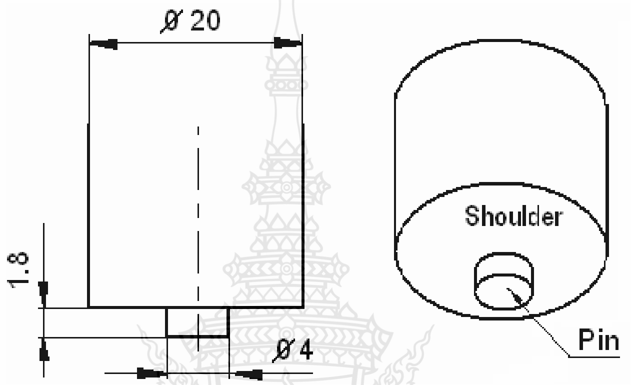
เครื่องมือจับยึดในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเนื่องจากการเชื่อมด้วยกระบวนการความเสียดทานแบบกวนนั้นชิ้นงานจำเป็นต้องถูกจับยึด เนื่องจากขณะทำการเชื่อมนั้น ตัวกวนจะใช้ความเร็วรอบสูงในการหมุนเชื่อมโดยเครื่องมือจับยึดชิ้นงานมี 2 ส่วน คือ แผ่นรองชิ้นงาน และแผ่นกดทับชิ้นงานโดยเครื่องมือจับยึดจำเป็นต้องจับยึดชิ้นงานอย่างแน่นหนาเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ในขณะทำการเชื่อม ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ขณะทำการเชื่อม จึงได้นำตัวจับยึดชิ้นงาน (Fixture) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นเครื่องมืออุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยตัวจับยึดชิ้นงานจะทำการกดทับชิ้นงานอย่างแน่นหนาเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ขณะทำการเชื่อม ขณะเดียวกันตัวจับยึดชิ้นงานมีความจำเป็นต้องยึดติดกับโต๊ะเครื่องกัด (Table) อย่างหนาแน่น เพื่อไม่ให้เครื่องมือจับยึดเกิดการเคลื่อนที่

รูปที่ 3.4 ตัวจับยึดชิ้นงาน (Fixture)

3.5.2 การออกแบบเครื่องมือเชื่อม

ขนาดของเครื่องมือเชื่อมเป็นลักษณะที่เกิดจากการออกแบบตามที่ได้กำหนดไว้ในตัวแปร ซึ่งจากตัวแปรที่ได้ทำการกำหนดขนาดไว้คือ ตัวกวน (Pin) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรโดยได้กำหนดขนาดบ่าเครื่องมือ (Shoulder) ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 mm. ซึ่งขนาดของเครื่องมือเชื่อมที่ได้ทำการกำหนดไว้นี้ มีขนาดใกล้เคียงกันกับงานวิจัยที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ ซึ่งกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [13] ได้ทำการศึกษา อิทธิพลรูปร่างของตัวกวนการเชื่อมกับการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI 1015

โดยใช้ขนาดเครื่องมือเชื่อมที่ใกล้เคียงกัน โดยนอกจากนี้เครื่องมือเชื่อมต้องมีขนาดที่สอดคล้องกันกับขนาดของวัสดุที่นำมาทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ทำตัวกวน (Pin) และบ่าเครื่องมือ (Shoulder) เป็นวัสดุประเภทเหล็กกล้า (High-speed tool steel) ตามมาตรฐาน AISI M42 มีความสามารถทนต่อการถูกขัดสี ซึ่งรวมถึงการเสียดสีของคมตัดด้วย มีความสามารถในการกลึงไส (Mach inability) โดยทำการกลึงด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยตัวกวน (Pin) และบ่าเครื่องมือ (Shoulder) นั้น จำเป็นต้องมีความเรียบของผิวหน้าสูง จึงจำเป็นต้องทำการขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดเพื่อที่จะสามารถนำตัวกวนเชื่อมมาทำการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.5 ตัวกวน (Pin) และบ่าเครื่องมือ (Shoulder)

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.6.1 การทดลองเชื่อมด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนและการดำเนินงาน

หลังจากทำการออกแบบวิธีดำเนินงานวางแผนและการทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงาน รวมไปจนถึงการออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม ได้แก่ ตัวกวน (Pin) และบ่าเครื่องมือ (Shoulder) ต่อจากนั้นทำการทดลองเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยทำการเชื่อมบนเครื่องจักรกลอัตโนมัติ โดยเครื่องกัดอัตโนมัติที่ใช้จะเป็นเครื่องกัดแนวตั้งดังแสดงใน รูปที่ 3.6 โดยการเขียนชุดคำสั่งเพื่อสั่งให้เครื่องทำงานโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเชื่อม โดยจุดประสงค์ของการทดลองต้องการทราบถึงความเป็นไปได้และผลของการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบต่อชนที่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมของวัสดุ 2 ประเภทที่นำมาทำการเชื่อมต่อชนระหว่าง อลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 และการศึกษาตัวแปรต่างๆ ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบต่อชน สามารถอธิบายขั้นตอนของการดำเนินการเชื่อมและขั้นตอนในการปรับตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ดังนี้

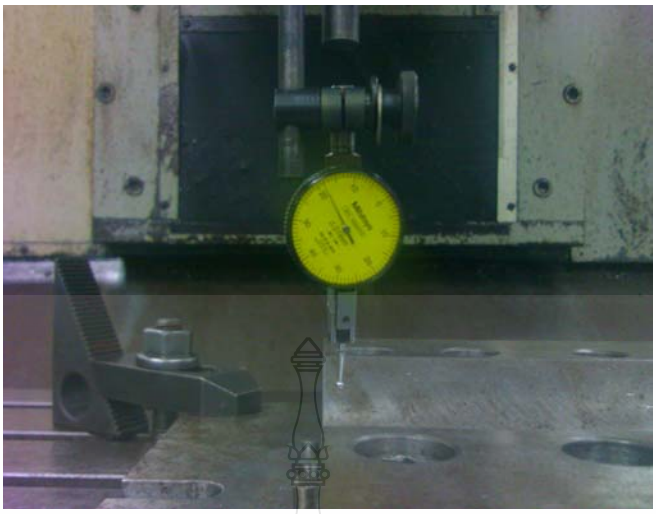
ก. ทำการติดตั้งตัวจับยึดชิ้นงาน (Fixture) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นรองชิ้นงานและแผ่นกดทับชิ้นงานบนแท่นรองรับชิ้นงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเครื่องมือจับยึดชิ้นงานจำเป็นต้องยึดกับแท่นรองของเครื่องกัดอัตโนมัติอย่างแน่นหนาเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขณะ

ทำการเชื่อม จากนั้นทำการติดตั้งชิ้นงานที่ได้ทำการเตรียมไว้บนแผ่นรองชิ้นงานโดยชิ้นงานทั้ง 2 แผ่น ควรประกบติดกันอย่างแน่นหนา จากนั้นนำแผ่นกดทับชิ้นงานทำการกดทับและยึดติดกับแผ่นชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน

โดยตั้งขนานกับแท่นรองรับชิ้นงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial gauge) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อทำการวัดระดับแนวของชิ้นงานที่ได้ทำการเตรียมไว้ในการทดลองให้มีความเที่ยงตรง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเชื่อมที่จำเป็นต้องมีการเดินแนวเชื่อมที่เที่ยงตรงและสม่ำเสมอ หลังจากทำการติดตั้งชิ้นงานอย่างเที่ยงตรงแล้ว จึงทำการติดตั้งเครื่องมือเชื่อมเข้ากับตัวจับยึดเครื่องมือของเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยได้ทำการใส่เครื่องมือเชื่อมอย่างหนาแน่นเพื่อป้องกันการสะบัดของเครื่องมือเชื่อมขณะทำการเชื่อม รวมถึงอาจทำให้เครื่องมือเชื่อมเกิดการยุบตัวเข้าไปในตัวจับยึดเครื่องมือได้

รูปที่ 3.6 เครื่องกัดอัตโนมัติ

รูปที่ 3.7 ทำการจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 3.8 เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial Gauge)

ข. เขียนชุดคำสั่งเพื่อสั่งให้เครื่องกัดอัตโนมัติ ทำงานโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมป้อนชุดคำสั่งด้วยมือบนแผงควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยชุดคำสั่งนี้จะทำการควบคุมเครื่องมือเชื่อมให้สามารถเชื่อมตามที่ถูกกำหนดไว้ เช่น ความเร็วรอบในการหมุน (Rotational speed) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม (Welding speed) และระยะสอดของตัวกวน

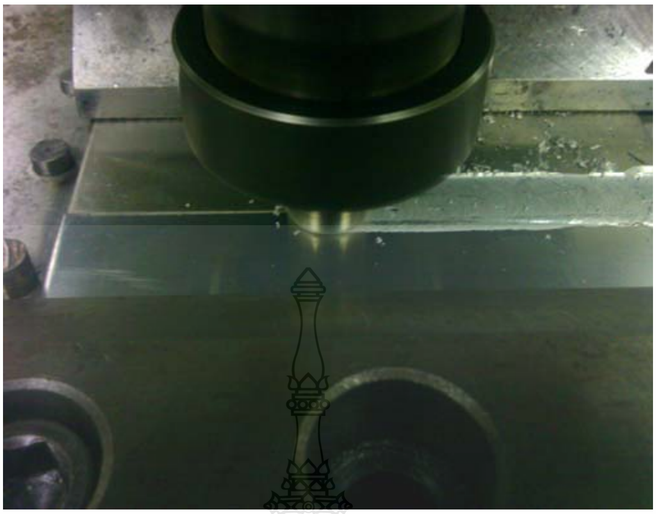
รูปที่ 3.9 แผงควบคุมชุดคำสั่งเครื่องกัดอัตโนมัติ

ค. ทำการปรับตำแหน่งเครื่องกัดอัตโนมัติ เพื่อทำการตั้งจุดศูนย์บนชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึดเพื่อให้สามารถเขียนชุดคำสั่งให้เครื่องกัดอัตโนมัติสามารถทำการเคลื่อนที่ตามที่กำหนดได้อย่างถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 3.10

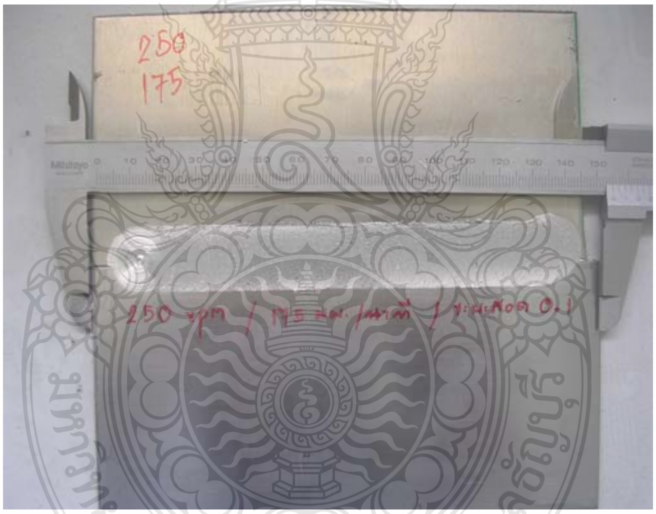
รูปที่ 3.10 ทำการปรับตำแหน่งเครื่องกัดอัตโนมัติเพื่อทำการตั้งจุดศูนย์บนชิ้นงาน

ง. ทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบต่อชนชิ้นงาน 2 ประเภท ระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิม 430 และอลูมิเนียม 5052 โดยมีกลไกการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนซึ่งตัวกวนและบ่าเครื่องมือจะทำการเคลื่อนที่สอดเข้าไปในรอยต่อของวัสดุจนกระทั่งบ่าเครื่องมือสัมผัสกับผิวด้านบนของวัสดุบริเวณรอยต่อ ตัวกวนจะหมุนด้วยความเร็วรอบสูง จะทำการสอดเข้าไปในแนวรอยต่อชนของวัสดุทั้ง 2 แผ่น และทำให้เกิดความร้อนเสียดทานภายใต้บ่าเครื่องมือ ซึ่งทำให้วัสดุอ่อนตัวลงอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) วัสดุที่อ่อนตัวและเกิดการกวนอยู่ด้านหน้าของตัวกวนจะถูกถ่ายเทมาสู่ด้านหลังตามทิศทางการหมุนของตัวกวนทางด้านรีทรีททิ่ง และบางส่วนจะไหลจากด้านหลังสู่ด้านหน้าทางด้านแอดวานซิ่ง (ด้านรีทรีททิ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม ขณะที่ด้านแอดวานซิ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม) วัสดุที่อ่อนตัวจะถูกดันให้เคลื่อน ที่รอบๆ ตัวกวน และเมื่อเครื่องมือเชื่อมเคลื่อนที่บ่าเครื่อง มือเชื่อมจะกดและอัดวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวของวัสดุเป็นแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรที่กำหนด คือ ความเร็วรอบ 200 250 500 และ 750 rpm ทำการเชื่อมตามตัวแปร ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ทำการเชื่อมตามตัวแปรระยะสอดของตัวกวนเข้าสู่แนวเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm.โดยในขั้นตอนทำการเชื่อมตัวแปรระยะสอดนี้ เครื่องมือเชื่อมจะทำการหมุนจนได้ระดับความเร็วรอบที่กำหนด จากนั้นเครื่องมือเชื่อมจะกดลงในแนวดิ่งลงทางด้านที่เป็นชิ้นงานด้านอลูมิเนียม

จากนั้นเครื่องมือเชื่อมจะทำการสอดเครื่องมือเชื่อมเข้าสู่ด้านที่เป็นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม และทำการเชื่อมตามตัวแปรมุมเอียงของตัวกวน มุมเอียง 0 1 2 3 และ 4 องศา



รูปที่ 3.11 ทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อชนชิ้นงาน



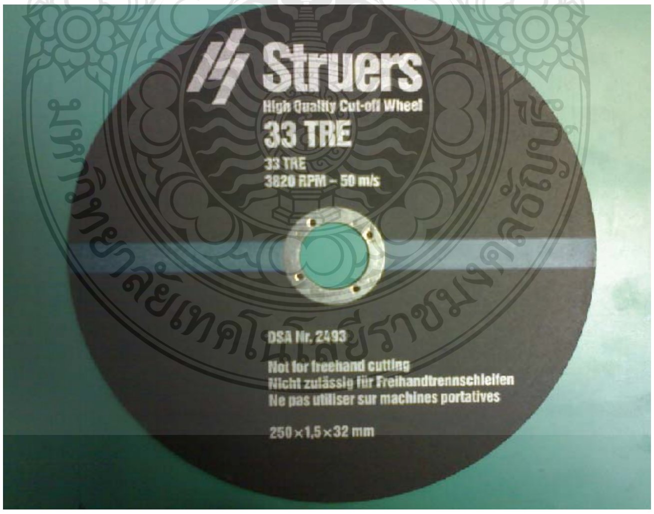
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม

3.6.2 ขั้นตอนการตัดชิ้นงานและแนวเชื่อมเพื่อทดสอบสมบัติทางกล

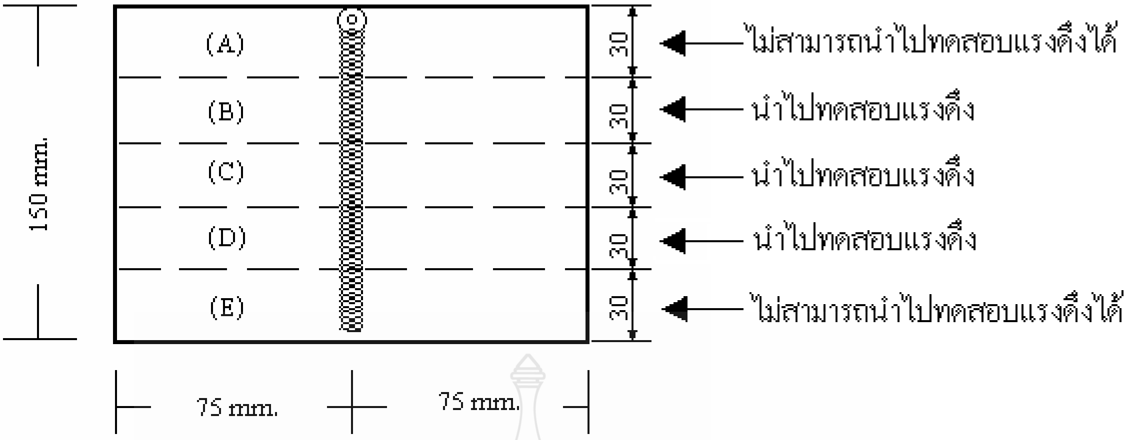
การนำเอาชิ้นงานมาทำการทดสอบแรงดึง (Tensile test) และชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตัดแยกชิ้นงานให้ได้ตามขนาดมาตรฐาน โดยทำการตัดชิ้นงานโดยเครื่องตัดชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.13 โดยใช้ใบเครื่องมือตัดแสดงดังรูปที่ 3.14 เพื่อให้ได้ตามขนาดการทดสอบมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน AWS - D1.2 เพื่อนำชิ้นงานมาทดสอบด้านต่างๆ โดยจะทำการตัดชิ้นงานออกเป็น 6 ชิ้นตามแนวขวางของแนวเชื่อม โดยทำการตัดชิ้นงานขนาด 25 mm. แสดงดังรูปที่ 3.15 โดยชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบ่ง 6 ชิ้นนั้น ชิ้น (A) จะพบจุดบกพร่องที่เกิด

จากเครื่องมือเชื่อมจึงไม่สามารถนำชิ้นงานในส่วนนี้ไปทำการทดสอบแรงดึงได้ เช่นเดียวกันกับชิ้นงาน (E) เป็นชิ้นงานที่เกิดจากจุดเริ่มต้นของการเชื่อมทำให้แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่เต็มแนว ชิ้นงานในส่วนนี้จึงไม่สามารถนำไปทำการทดสอบแรงดึงได้เช่นกัน โดยชิ้นงาน (B) (C) และ (D) เป็นชิ้นงานที่ได้การเชื่อม และมีแนวเชื่อมเกิดขึ้นตลอดแนว ชิ้นงาน (B) (C) และ (D) จึงสามารถนำไปทำการทดสอบแรงดึงได้

รูปที่ 3.13 ทำการตัดชิ้นงานโดยเครื่องตัดชิ้นงานอัตโนมัติ



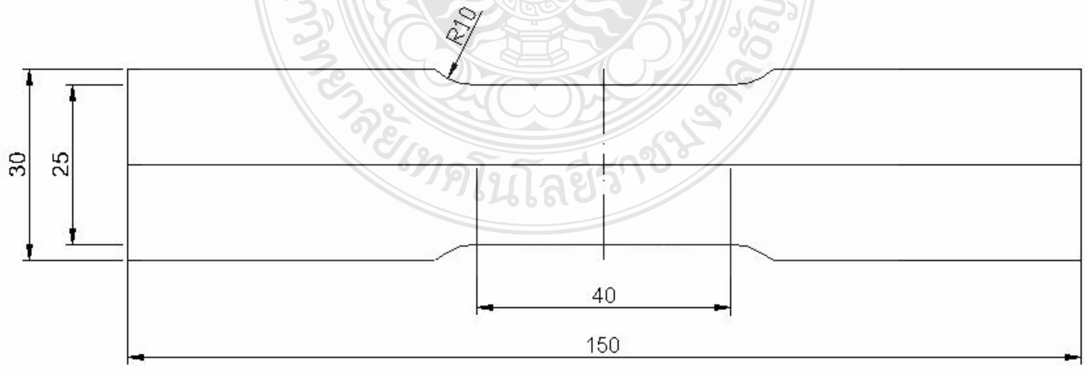
รูปที่ 3.14 ใบเครื่องมือตัด



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อการทดสอบ

3.6.3 ทดสอบแรงดึงแนวเชื่อมด้วยวิธีการทดสอบแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบแรงดึง เพื่อให้สามารถทราบความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ โดยการเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงที่ทำการเชื่อมแล้ว เริ่มจากทำการตัดชิ้นงานเปล่าของวัสดุอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ที่ยังไม่ได้ผ่านการเชื่อม โดยทำการตัดตามขนาดมาตรฐาน AWS - D1.2 ประเภทละ 3 ชิ้น และทำการตัดชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแล้วตามที่ได้กำหนดไว้ในตัวแปรๆ ละ 4 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3.16 โดยนำมาทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงโดยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test) แสดงดังรูปที่ 3.17 โดยการตั้งค่าแรงดึงโดยชุดควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งมีหน้าที่ป้อนข้อมูลและสั่งการไปยังเครื่องทดสอบแรงดึงให้เป็นไปตามค่าที่ได้ทำการกำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน AWS - D1.2

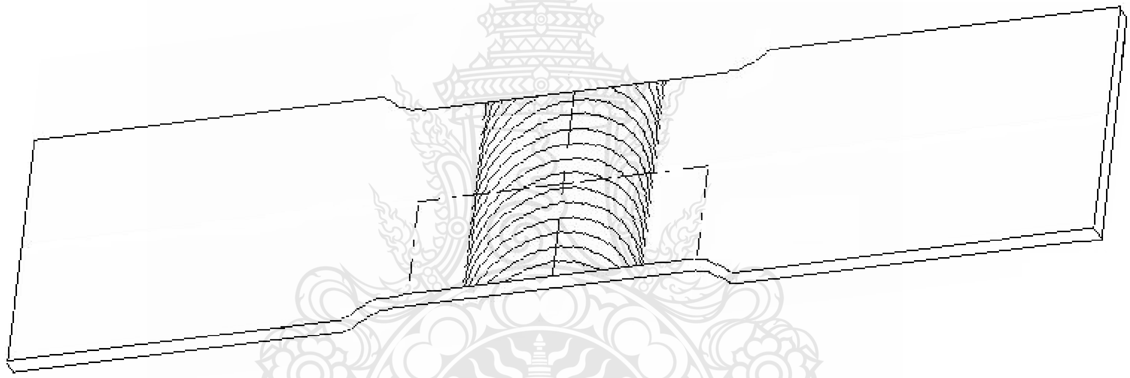
รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test)

รูปที่ 3.18 ชุดควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test)

3.6.4 การวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม

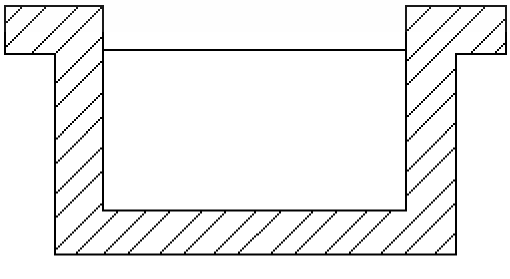
การตรวจสอบและวิเคราะห์โครงสร้างของแนวเชื่อมมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสมบูรณ์ภายในแนวเชื่อม และสามารถวิเคราะห์ลักษณะการเกิดการฉีกขาดของชิ้นงาน การที่เราจะสามารถนำชิ้นงานมาทำการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อมได้นั้น จำเป็นที่จะต้องนำชิ้นงานมาเข้าสู่กระบวนการหล่อเรซิ่นก่อน โดยเรซิ่นจะทำหน้าที่ยึดติดกับชิ้นงานที่ผ่านการตัดให้อยู่ในลักษณะที่สามารถนำชิ้นงานนั้นมาใช้งานได้อย่างสะดวก รวมถึงช่วยในเรื่องของการนำชิ้นงานมาทำการขัดผิวหน้าได้ โดยขั้นตอนในการหล่อเรซิ่นชิ้นงานเพื่อนำมาทดสอบมีดังนี้

ก. ทำการตัดชิ้นงาน ซึ่งเป็นส่วนของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการทดสอบแรงดึง โดยวัสดุทั้ง 2 ประเภทจะยังคงเชื่อมติดกัน แสดงดังรูปที่ 3.19 จากนั้นทำการตัดชิ้นงานอีกชุดหนึ่ง โดยในส่วนนี้จะเป็นชิ้นงานที่ได้ผ่านกระบวนการทดสอบแรงดึงแล้ว ดังนั้นที่ส่วนนี้ชิ้นงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนด้านที่เป็นอลูมิเนียม กับส่วนที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยในการตัดชิ้นงานเหล่านี้ ใช้ใบเครื่องมือตัดเช่นเดียวกันกับการตัดแยกชิ้นงานดังก่อนหน้านี้



รูปที่ 3.19 บริเวณจุดตัดชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง

ข. ทำการผสมเรซิ่นเข้ากับตัวทำแข็ง (Hardener) โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ในการหล่อเรซิ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. และความลึก 30 mm. แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แม่พิมพ์สำหรับหล่อเรซิ่น

ค. ทำการใส่เรซิ่นที่ผสมเข้ากับตัวทำแข็งลงในแม่พิมพ์อย่างช้า เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น และทำการใส่ลงในแม่พิมพ์โดยให้มีขนาดความลึกประมาณ 20 – 25 mm. เพื่อที่สามารถนำเรซิ่นที่แข็งตัวแล้วไปใช้ดูโครงสร้างได้

ง. หลังจากใส่เรซิ่นลงในแม่พิมพ์ สามารถนำไปให้ความร้อนบนเครื่องเป่าลมร้อน แสดงดังรูปที่ 3.21 เพื่อที่จะทำให้เรซิ่นเกิดการแข็งตัวที่เร็วขึ้นได้

รูปที่ 3.21 เครื่องเป่าลมร้อน

จ. เมื่อเรซิ่นเกิดการแข็งตัว ทำการทิ้งไว้เพื่อให้เรซิ่นระบายความร้อน จากนั้นทำการถอดเรซิ่นออกจากแม่พิมพ์

ฉ. ขัดชิ้นงานด้านผิวหน้าชิ้นงาน ที่จะทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 120 400 600 1000 และ 1200 ตามลำดับ โดยเครื่องขัด แสดงดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 เครื่องขัดชิ้นงานหล่อเรซิ่น

ช. ทำการกัดกรดด้วยกรดไฮโดรฟูริก (HF) ผสมกรดไฮโดรครอริกและน้ำกลั่น ทำการกัดนาน 8 - 10 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ และเอทานอล เป่าให้แห้งด้วยลมร้อน

ซ. นำไปวิเคราะห์โครงสร้าง

บทที่4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ เป็นการนำผลทดลองที่ได้จากการทดลองตามตัวแปรที่กำหนดมาแสดง โดยผลการทดลองแบ่งออกเป็นลักษณะต่าง ๆ เช่น ผลการทดลองที่ได้จากค่าทดสอบความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม โดยการทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึง การวิเคราะห์ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างที่เกิดขึ้น โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในแบบการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ในส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างนั้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น การแทรกตัวของวัสดุในแนวเชื่อม รวมถึงจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นของแนวเชื่อมในแต่ละสภาวะ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถทราบถึงระดับตัวแปรความเร็วรอบที่ดีที่สุด ระดับตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ดีที่สุด ระดับตัวแปรระยะสอดของตัวกวนที่ดีที่สุด และระดับตัวแปรมุมเอียงที่ดีที่สุดในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 เพื่อสามารถนำผลการทดลองที่ได้นี้ไปใช้เป็นประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

ผลจากการทดลองในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ตามตัวแปรที่กำหนดไว้คือ ตัวแปรความเร็วรอบตัวกวน ตัวแปรความเร็วในการเดินของตัวกวน ตัวแปรระยะตำแหน่งของตัวกวน และตัวแปรมุมเอียงของตัวกวน พบว่าลักษณะของผิวหน้าแนวเชื่อมมีความแตกต่างกัน และพบว่ามีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกันออกไปเช่นกัน จึงได้ทำการแบ่งลักษณะการวิเคราะห์ตามผลการทดลองดังนี้

1) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 200 rpm โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 rpm ตามลำดับ การวิเคราะห์การฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

2) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 rpm โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 rpm ตามลำดับ การวิเคราะห์การฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

3) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 500 rpm โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 rpm ตามลำดับ การวิเคราะห์การ

ฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

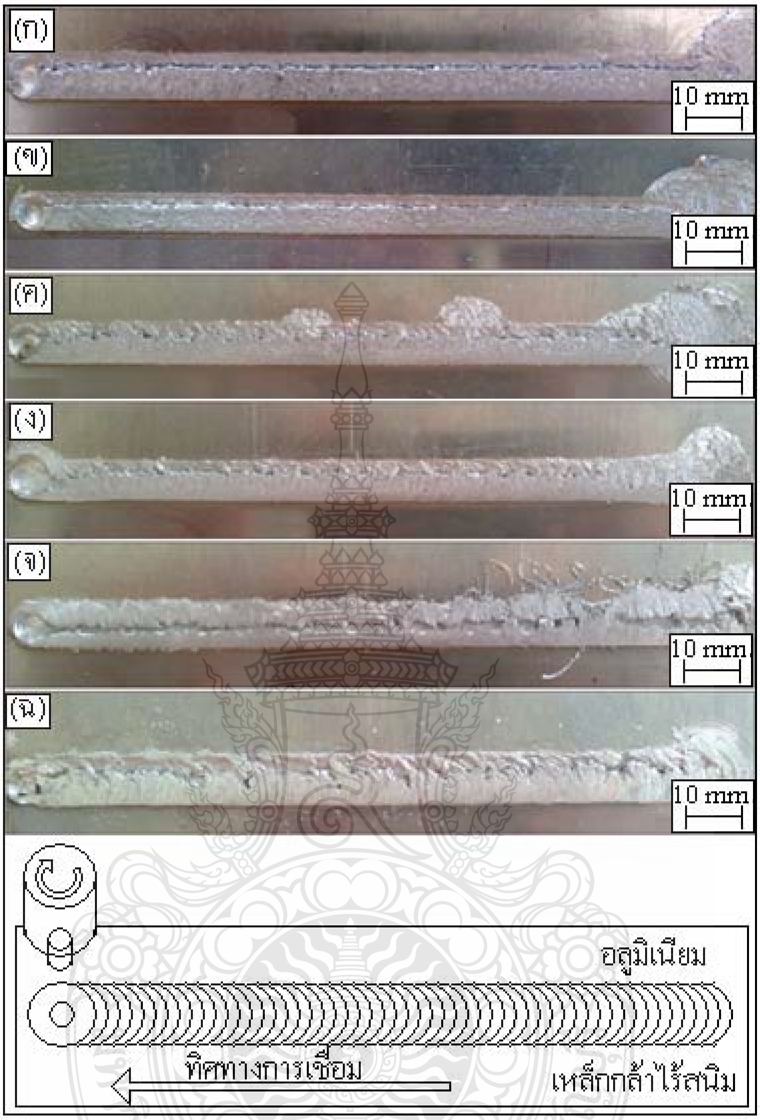
4) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 750 rpm โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 rpm ตามลำดับ การวิเคราะห์การฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

5) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 rpm ซึ่งเป็นผลการทดลองความเร็วรอบที่ดีที่สุด โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 125 rpm ซึ่งเป็นผลการทดลองความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ดีที่สุด โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรระยะสอด -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ เพื่อทำการหาตัวแปรระยะสอดที่ดีที่สุด การวิเคราะห์การฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

6) การวิเคราะห์แนวเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 rpm ซึ่งเป็นผลการทดลองความเร็วรอบที่ดีที่สุด โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 125 rpm ซึ่งเป็นผลการทดลองความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ดีที่สุด และทำการเชื่อมตามตัวแปรระยะสอดที่ระดับ 0.1 mm. ซึ่งเป็นระยะสอดที่ดีที่สุด โดยทำการเชื่อมตามตัวแปร มุมเอียงตัวกวน เพื่อหามุมเอียงที่ดีที่สุด การวิเคราะห์การฉีกขาดของชิ้นงานจากด้านบนผิวหน้าแนวเชื่อมหลังจากทำการทดสอบแรงดึง และการเปรียบเทียบจากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

ผลที่ได้จากการทดลองแต่ละช่วงจะนำมาทำการวิเคราะห์ผิวหน้าแนวเชื่อมในทุก ๆ ตัวแปรที่ได้กำหนดขึ้น คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วรอบตัวกวน ความเร็วรอบในการเดินของตัวกวน ระยะตำแหน่งของตัวกวน และมุมเอียงของตัวกวน การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบดูสิ่งที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม และการวิเคราะห์ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง รวมถึงโครงสร้างมหภาคที่แสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อม และทำการวิเคราะห์ทีละขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการทดลองความสัมพันธ์กันของความเร็วรอบของตัวกวน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ซึ่งเมื่อทราบสภาวะที่ดีที่สุดจึงได้นำสภาวะนั้นมาทำการเชื่อมด้วยการเปลี่ยนแปลงระยะสอด และการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงเป็นขั้นตอนต่อไป เพื่อให้สามารถบ่งชี้ถึงสิ่งที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อม และลักษณะของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น

4.1 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm

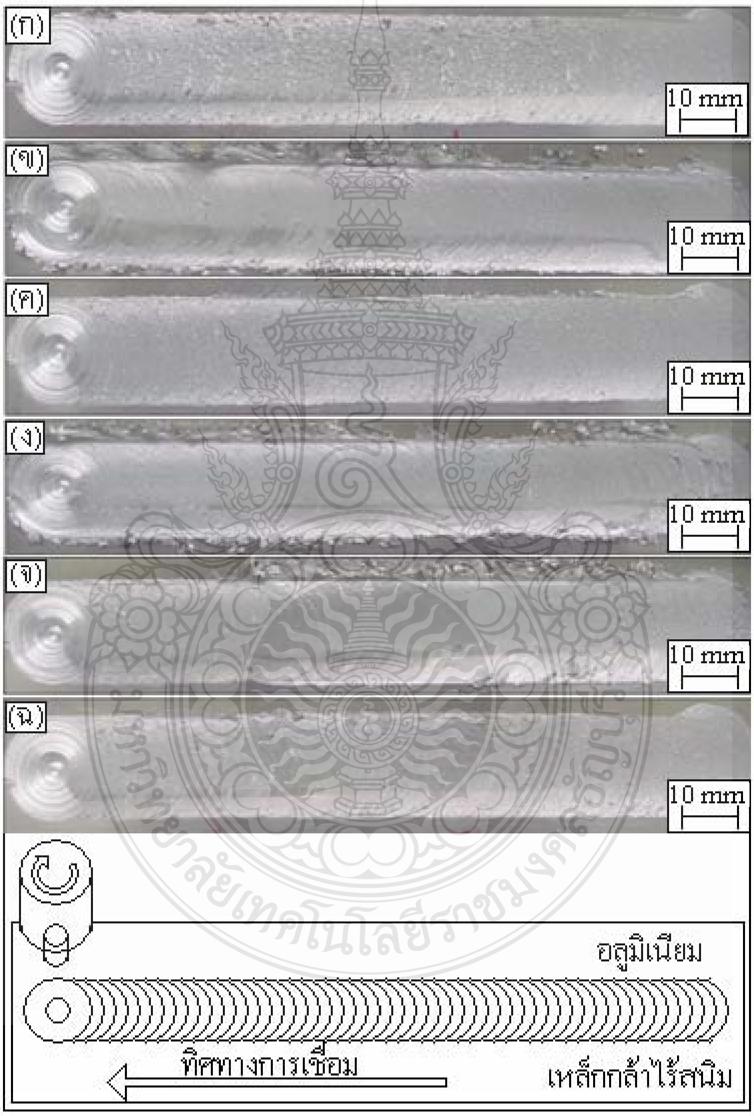


รูปที่ 4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

รูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min โดยผลที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรเหล่านี้พบว่า รูปที่ 4.1 (ก) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 100 mm/min พบว่าแนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ การเดินแนวไม่มีความสม่ำเสมอ มีรอยของการแตกร้าวเกิดขึ้นถึงแม้ว่าที่จุดเริ่มต้นของการเชื่อมจะมีลักษณะหน้าของเครื่องมือเชื่อมเกิดขึ้นอยู่บ้าง แต่เมื่อทำการเดินแนวเชื่อมจึงพบว่า ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับนี้ เครื่องมือเชื่อมไม่สามารถเดินแนวเชื่อมให้เกิดเป็นแนวเชื่อมได้ รูปที่ 4.1 (ข) มีลักษณะเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.1 (ก) คือ แนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ การเดินแนวไม่มีความสม่ำเสมอ และถึงแม้ว่ารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจะมีน้อยกว่าของรูปที่ 4.1 (ก) แต่ก็ไม่ก่อให้เกิดแนวเชื่อมเต็มแนวได้เช่นกัน ในขณะที่รูปที่ 4.1 (ค) พบว่าแนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ การเดินแนวไม่มีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.1 (ก) และรูปที่ 4.1 (ข) แต่ยังพบว่าเกิดการเชื่อมเป็นบางจุด และมีการแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อมเกิดขึ้นเป็นบางจุด รูปที่ 4.1 (ง) ผิวหน้ามีความคล้ายกันกับรูปที่ 4.1 (ข) คือ แนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ การเดินแนวคล้ายไม่เต็มหน้าของตัวกวน การเดินแนวจึงไม่มีความสม่ำเสมอ แต่สิ่งที่สังเกตได้คือ แนวเชื่อมเริ่มมีขนาดใหญ่ขึ้น ถึงแม้ว่าแนวเชื่อมจะไม่เกิดขึ้นแบบเต็มแนว รูปที่ 4.1 (จ) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะใหญ่กว่าแนวเชื่อมก่อนหน้านี้ แต่ผิวหน้าแนวเชื่อมเกิดความไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกัน ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ และยังพบว่าเกิดรอยแตกร้าวที่ใหญ่ขึ้นกว่าเดิมมาก แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังพบว่าการเชื่อมยังคงไม่เกิดขึ้นแบบเต็มแนว และรูปที่ 4.1 (ฉ) จะพบว่าแนวเชื่อมมีการเกิดขึ้นเป็นแนวมีขนาดที่ใหญ่ที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกๆสภาวะการเชื่อมก่อนหน้านี้ แต่ผิวหน้าแนวเชื่อมยังคงไม่สมบูรณ์ พบว่ามีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นขนาดใหญ่ตลอดทั้งแนว ผิวหน้าไม่เรียบ การเดินแนวยังคงไม่มีความสม่ำเสมอ จากแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นในทุกสภาวะการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีความคล้ายกันทั้งหมด คือ แนวเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ การเดินแนวไม่มีความสม่ำเสมอ การเดินแนวคล้ายไม่เต็มหน้าของตัวกวนและมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นในทุกๆสภาวะความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และถึงแม้ว่าที่จุดเริ่มต้นของการเชื่อมจะมีลักษณะหน้าของเครื่องมือเชื่อมเกิดขึ้นอยู่บ้าง แต่ก็ไม่พบว่ามีสภาวะใดๆเกิดการเชื่อมที่สมบูรณ์ตลอดทั้งแนว คาดว่าสาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะมีสาเหตุมาจากระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่ 200 rpm ซึ่งเป็นระดับความเร็วรอบต่ำ อาจทำให้เครื่องมือเชื่อมไม่สามารถทำการหมุนเชื่อมบนแผ่นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้เครื่องมือเชื่อมไม่สามารถเคลื่อนที่บนแนวได้ จึงคาดว่าน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นไม่มีความสมบูรณ์ และเกิดรอยแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อม นอกจากการทดลองที่ระดับการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 200 rpm งานวิจัยนี้ยังทำการทดลองที่ระดับการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 500 และ 750 rpm การเชื่อมด้วยการ

เปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวน และการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวนอีกด้วย อย่างไรก็ตามต้องทำการเปรียบเทียบการทดลองที่ระดับความเร็วรอบที่สูงขึ้นเป็นขั้นตอนต่อไปตามตัวแปรที่กำหนด เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของแนวเชื่อมว่ามีเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และจะทำการเชื่อมด้วยการเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวน และการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวนเป็นขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm



รูปที่ 4.2 ผิวหน้ารอยเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

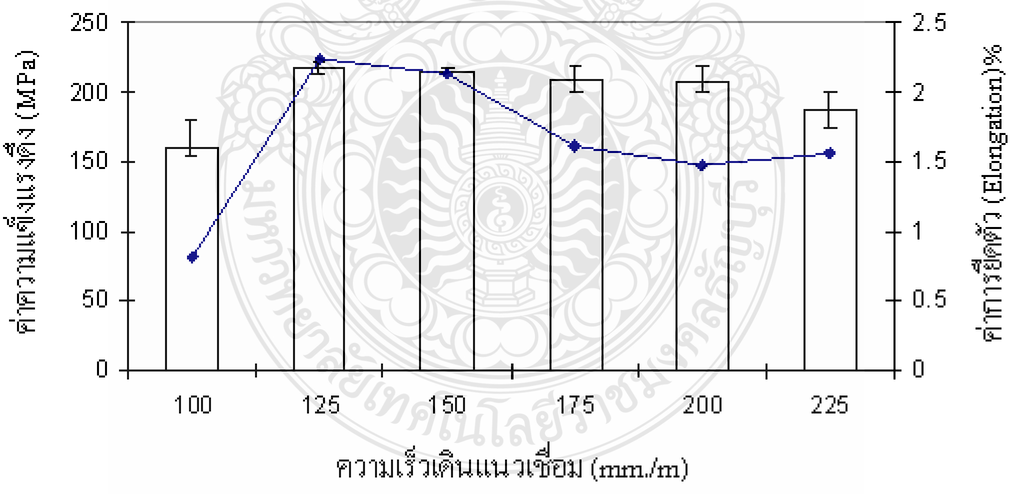
รูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min โดยผลที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรเหล่านี้พบว่า ลักษณะผิวหน้าของแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันออกไป ที่รูปที่ 4.2 (ก) ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 100 mm/min จะพบว่าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นนี้ มีผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ และมีเศษของเนื้อวัสดุเกิดขึ้น ที่บริเวณด้านอลูมิเนียม โดยคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากความเร็วรอบที่ต่ำและทำการเชื่อมเข้ากับระดับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ต่ำเช่นกัน อาจทำให้ตัวกวนทำการกวนเศษของวัสดุขึ้นมาบริเวณผิว แต่อย่างไรก็ตามผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น แนวเชื่อมรูปที่ 4.2 (ข) ซึ่งเป็นระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์เช่นกัน แต่แนวเชื่อมไม่เกิดเศษของวัสดุสะสมคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่สูงขึ้น เข้ากับระดับความเร็วรอบของตัวกวน ที่มีความสัมพันธ์กันอาจส่งผลต่อผิวหน้าที่เกิดขึ้นนี้ รูปที่ 4.2 (ค) ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 150 mm/min พบว่าลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ตลอดทั้งแนวโดยไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น รูปที่ 4.2 (ง) ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 175 mm/min แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์โดยมีลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมคล้ายกับรูปที่ 4.2 (ข) รูปที่ 4.2 (จ) ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 200 mm/min ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ แต่จะพบว่า ผิวหน้าเกิดการเดินแนวเชื่อมอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแนว คาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากระดับความเร็วรอบที่สูงขึ้น และการเคลื่อนที่ของตัวกวนเร็วขึ้น อาจเกิดการไม่สัมพันธ์กัน รูปที่ 4.2 (ฉ) ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 225 mm/min เป็นระดับความเร็วรอบที่สูงที่สุด ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์เช่นกัน โดยมีลักษณะของผิวหน้าแนวเชื่อมคล้ายกับรูปที่ 4.2 (ค) คือเกิดเศษวัสดุด้านอลูมิเนียมเล็กน้อย และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์ผิวหน้าแนวเชื่อมในส่วนนี้พบว่า แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์มากในทุก ๆ สภาวะการเชื่อม โดยคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากระดับความเร็วรอบและระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถใช้ระดับความเร็วรอบและระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมนี้มาใช้ในการเชื่อมได้ โดยมีผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง โดยระดับความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นนั้น อาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์เสมอไป จึงได้ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึงโดยกรรมวิธีทดสอบแรงดึง (Tensile test) ในขั้นตอนต่อไปนี้

4.2.1 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

จากการที่นำผลที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 ระดับ ได้แก่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่าที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 160 MPa และเมื่อเพิ่มระดับ

ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมอยู่ที่ระดับ 125 mm/min พบว่าค่าเฉลี่ยจากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับ 217 MPa ที่ระดับ 150 mm/min พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงมีค่าที่ต่ำลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min และแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมยังคงมีค่าต่ำลงมาจากการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 175 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลงมาที่ 209 MPa ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 200 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงยังคงมีแนวโน้มลดลง ซึ่งพบว่าได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงที่ระดับ 207 MPa เมื่อทำการเพิ่มความเร็วในการเดินแนวเชื่อมระดับสูงสุดซึ่งเป็นระดับสุดท้ายที่ 225 mm/min พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงยังคงต่ำลงที่ระดับ 187 MPa โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้งหมดพบว่า แนวโน้มที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงดึงมีลักษณะเกิดค่าความแข็งแรงต่ำที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min เมื่อทำการทดสอบแรงดึงที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจากการทดสอบแรงดึงสูงขึ้น จากนั้นเมื่อทำการทดสอบแรงดึงความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 175 200 และ 250 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจากการทดสอบแรงดึงมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึงต่ำลง อย่างไรก็ตามทุกระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่อง คาดว่าที่ระดับความเร็วรอบ 250 rpm นี้สามารถให้ผิวหน้าที่สมบูรณ์ แต่ความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากการทดสอบแรงดึงมีความแตกต่างกัน จึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม และตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานต่อไป

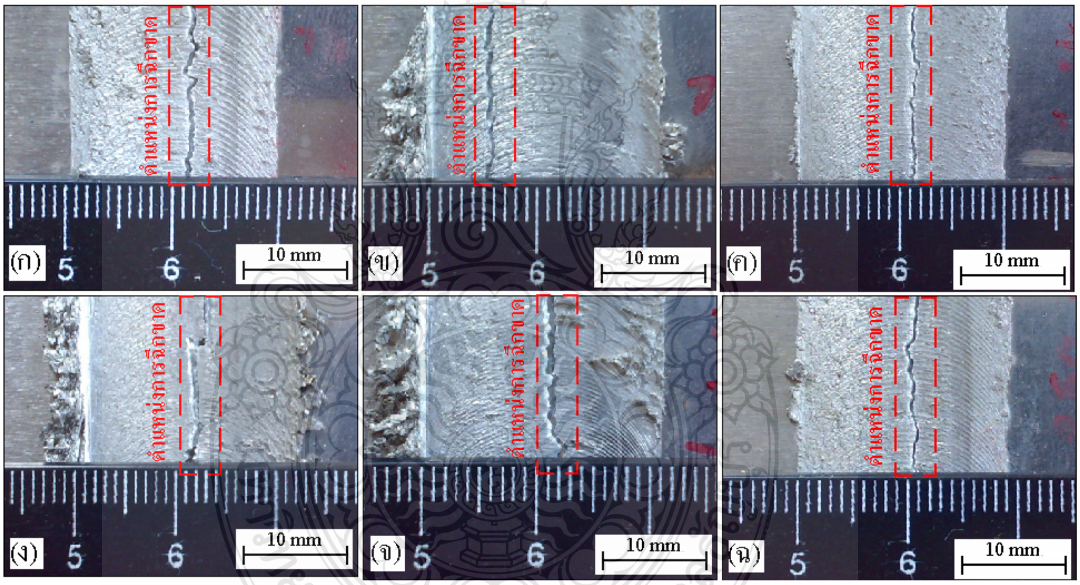


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง

4.2.2 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง

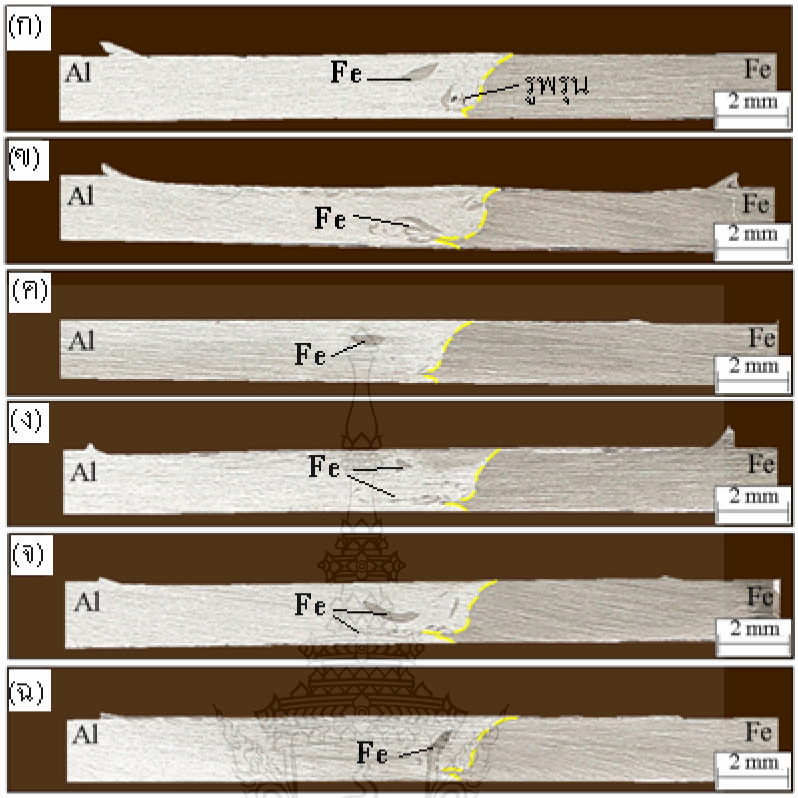
จากการทดสอบแรงดึงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม โดยแทนสัญลักษณ์ (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) แทนระดับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 100 125 150 175 200 และ 225

mm/min ตามลำดับชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการทดสอบแรงดึงจะพบว่ามีลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด รูปที่ 4.4 (ก) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min เกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.4 (ข) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min จะพบว่าหลังจากทำการทดสอบแรงดึงตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้นบริเวณด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียม รูปที่ 4.4 (ค) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.4 (ก) คือเกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.4 (ง) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min รูปที่ 4.4 (จ) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min และรูปที่ 4.4 (ฉ) ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมด คือเกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม แต่ทั้งนี้ผลที่จะสามารถยืนยันว่าลักษณะการฉีกขาดที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่ในส่วนของวัสดุหลักหรือเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อมซึ่งเป็นจุดรอยต่อของวัสดุอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถทำการยืนยันได้จากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อมซึ่งจะได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป



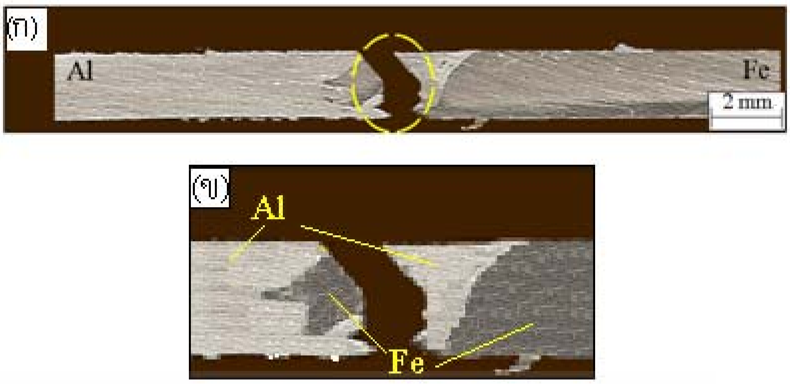
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm

4.2.3 โครงสร้างมหภาค

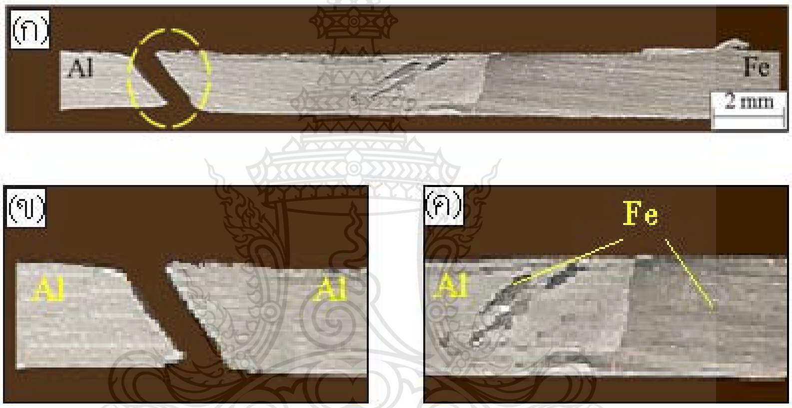


รูปที่ 4.5 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

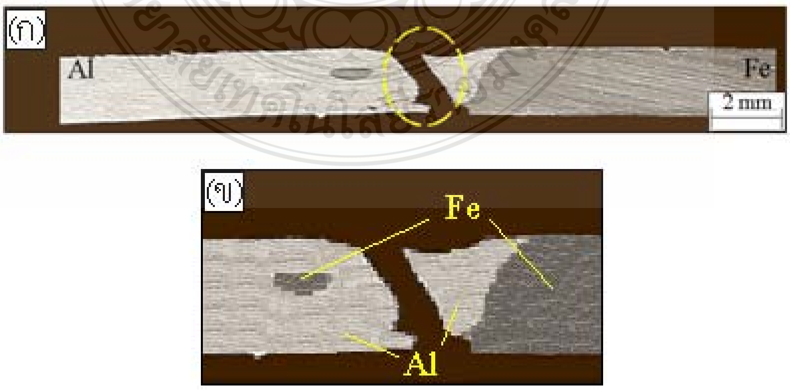
รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ จากรูปที่แสดงพบว่าจะมีการผสมผสานกันของวัสดุซึ่งมีลักษณะที่มีความแตกต่างกัน มีการแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าไปในส่วนที่เป็นด้านอลูมิเนียม การแทรกตัวที่เกิดขึ้นนี้จากการเปรียบเทียบกันในทุกสภาวะพบว่า ที่รูปที่ 4.5 (ก) ที่ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min มีจุดที่เกิดรูพรุนขนาดเล็กในส่วนที่มีการแทรกตัว คาดว่าจุดที่เกิดรูพรุนนี้ อาจเป็นสาเหตุทำให้ความแข็งแรงจากการทดสอบแรงดึงต่ำ รูปที่ 4.5 (ข) (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) ซึ่งเป็นการทดลองที่ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ พบว่ามีการแทรกตัวเกิดขึ้น แต่ไม่พบจุดบกพร่องหรือรูพรุนเกิดขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกันค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่า ค่าความแข็งแรงในการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเหล่านี้ไม่มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อม หลังจากทำการทดสอบแรงดึงในหัวข้อต่อไป เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงในสภาวะต่างๆที่เกิดขึ้น



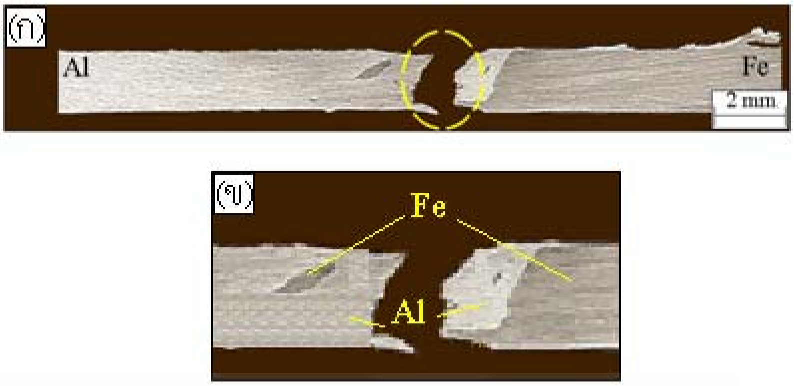
รูปที่ 4.6 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min



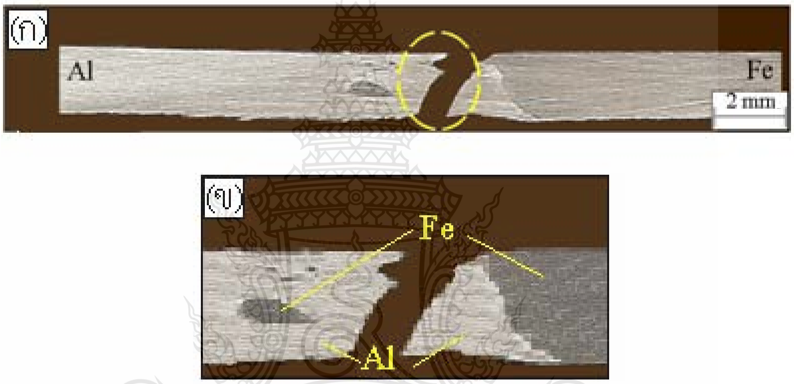
รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min



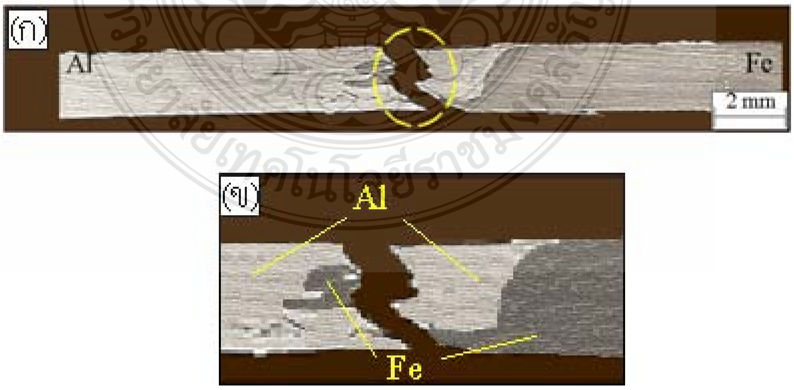
รูปที่ 4.8 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min



รูปที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min



รูปที่ 4.10 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min

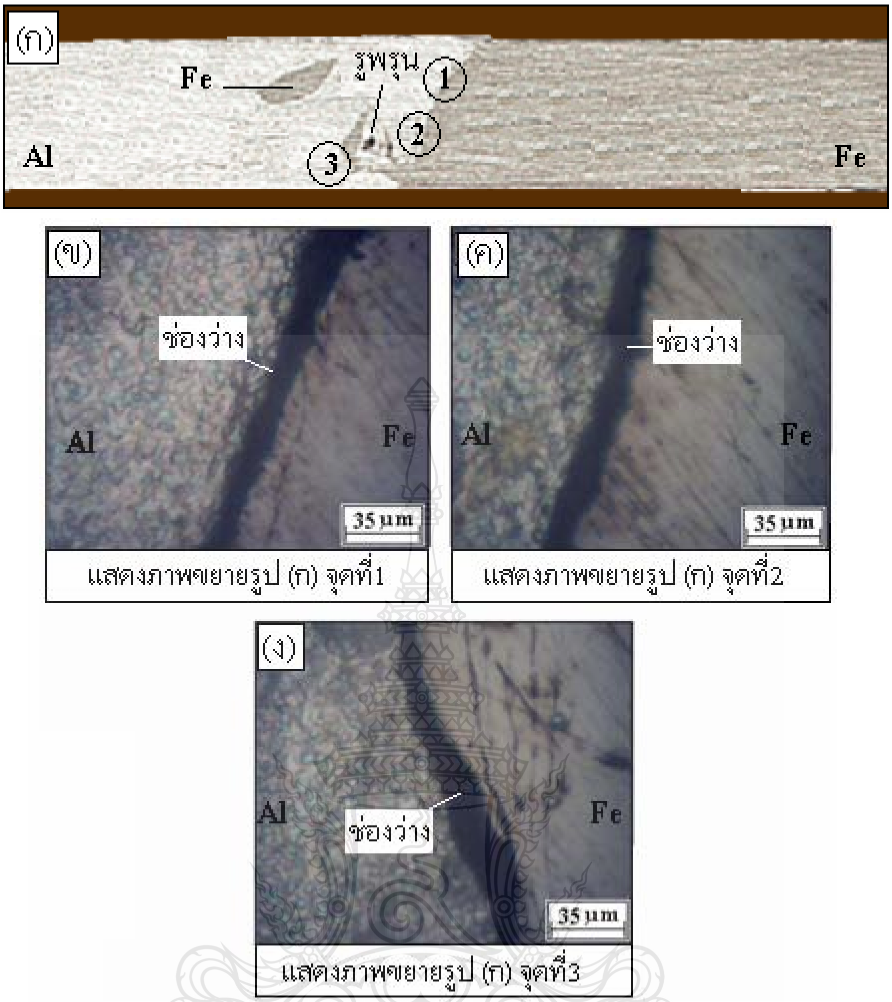


รูปที่ 4.11 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

หลังจากทำการทดสอบแรงดึง ที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 rpm พบว่าตำแหน่งการพังทลายจากการทดสอบแรงดึงมีความแตกต่างกัน รูปที่ 4.6 เป็นโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min พบว่าตำแหน่งการพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณจุดแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ยังไม่ทำการทดสอบแรงดึง พบว่าตำแหน่งการพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณจุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นรูพรุน จึงคาดว่าจุดบกพร่องนี้เป็นส่วนสำคัญทำให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำ โครงสร้างมหภาคที่สภาวะนี้พบว่า เป็นสภาวะในการเชื่อมเพียงสภาวะเดียวที่พบจุดบกพร่องมีลักษณะเป็นรูพรุน และเป็นสภาวะที่ได้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด รูปที่ 4.7 พบว่าโครงสร้างมหภาคหลังจากทำการทดสอบแรงดึง เกิดการพังทลายขึ้นที่บริเวณด้านวัสดุอลูมิเนียม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.6 พบว่า ที่สภาวะนี้มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเช่นเดียวกัน แต่ไม่พบจุดบกพร่องที่เป็นรูพรุนเกิดขึ้น โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงที่ได้ พบว่าที่สภาวะนี้ได้ค่าความแข็งแรงดึงที่ดีที่สุด โดยคาดว่าความเร็วรอบของตัวกวนและระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง รูปที่ 4.8 เป็นโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min พบว่าที่สภาวะนี้ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น ตำแหน่งการพังทลายเกิดขึ้นใกล้กับบริเวณที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม เช่นเดียวกันกับ รูปที่ 4.9 ที่เกิดการพังทลายที่บริเวณใกล้กับจุดแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม รูปที่ 4.10 การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณจุดแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม รูปที่ 4.11 มีลักษณะการพังทลายคล้ายกับรูปที่ 4.9 โดยเกิดการพังทลายบริเวณด้านวัสดุอลูมิเนียมใกล้กันกับจุดที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม โดยขั้นตอนต่อไปได้ทำการทดสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายที่เกิดขึ้น

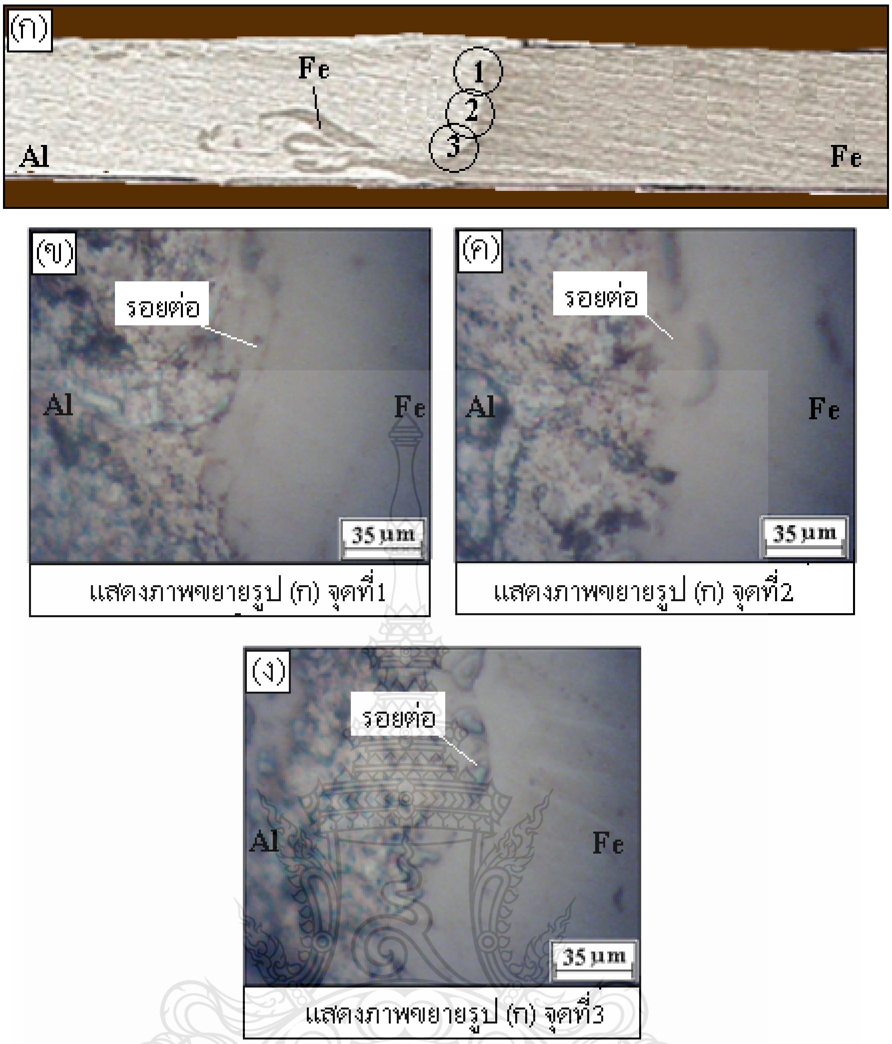
4.2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคจะแสดงรูปที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดในแนวเชื่อม โดยให้ความละเอียดกว่าแบบโครงสร้างมหภาค โดยโครงสร้างจุลภาคจะสามารถมองเห็นในส่วนที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ โดยในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดมาทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดในระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm



รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

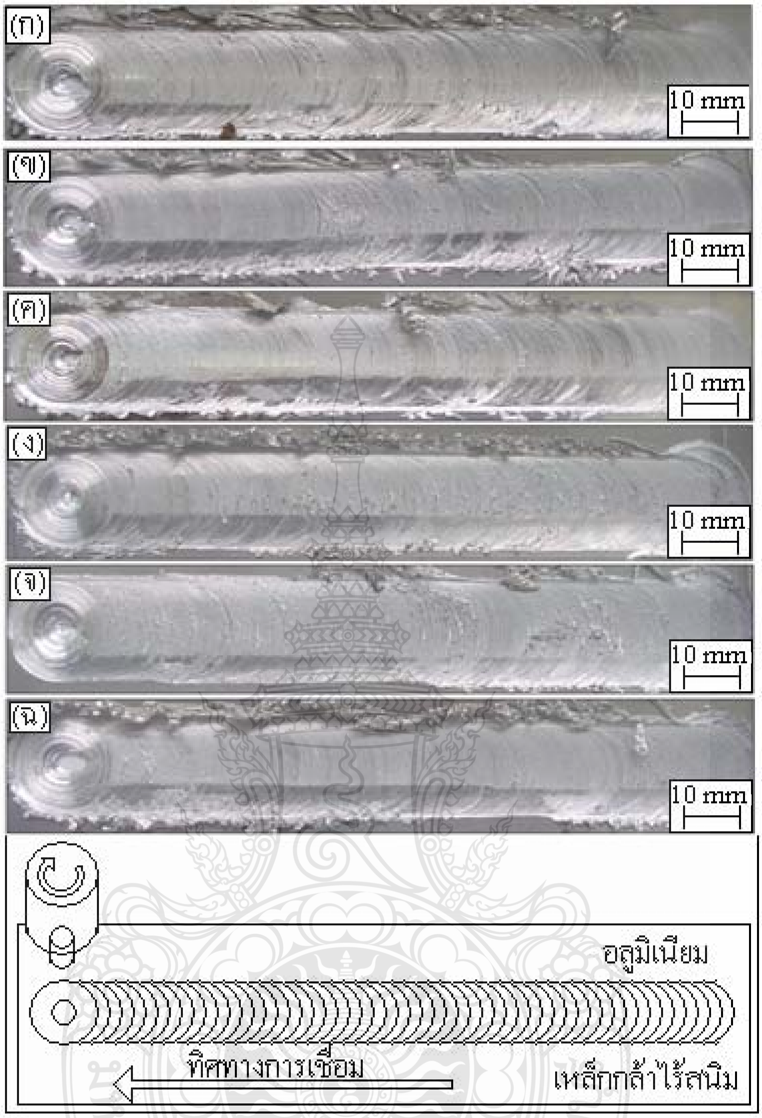
รูปที่ 4.12 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 100 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด จากการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบแนวเชื่อมพบว่า จุดที่ 1 ซึ่งเป็นจุดด้านบนแนวเชื่อมพบว่าเกิดส่วนที่เป็นช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างวัสดุอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าไร้สนิม จากนั้นเมื่อทำการตรวจสอบแนวเชื่อมยังพบว่า ที่จุดที่ 2 ยังคงเกิดจุดที่เกิดเป็นช่องว่างเกิดขึ้น หรือแม้แต่ในจุดที่ 3 ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมก็ยังพบว่าเกิดช่องว่างเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม จึงคาดว่าจุดที่เกิดเป็นช่องว่างนี้ ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจุดที่เกิดเป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นจะมีเกือบตลอดทั้งแนว แต่คาดว่าแนวเชื่อมยังคงมีส่วนที่เกิดการเชื่อมอยู่ จึงเป็นผลให้เกิดค่าแรงดึงอยู่บ้างในส่วนนั้น



รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm
ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min

รูปที่ 4.13 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า จุดที่ 1 แนวเชื่อมเกิดการเชื่อมติดกันค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่พบว่าเกิดช่องว่าง หรือโพรงเกิดขึ้นเลย เช่นเดียวกันกับจุดที่ 2 ซึ่งไม่พบโพรงหรือจุดที่เป็นช่องว่างเกิดขึ้น มีการประสานกันระหว่างอลูมิเนียมเข้ากับเหล็กกล้าไร้สนิม จุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ใกล้กันกับจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าก็ยังพบว่า เกิดแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 4.12 จึงพบว่า รูป 4.13 มีความสมบูรณ์กว่าในส่วนของโครงสร้างที่เกิดขึ้นที่ได้จากการถ่ายโครงสร้างจุลภาค จึงคาดว่าความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นนี้น่าจะส่งผลให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่า

4.3 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm



รูปที่ 4.14 ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

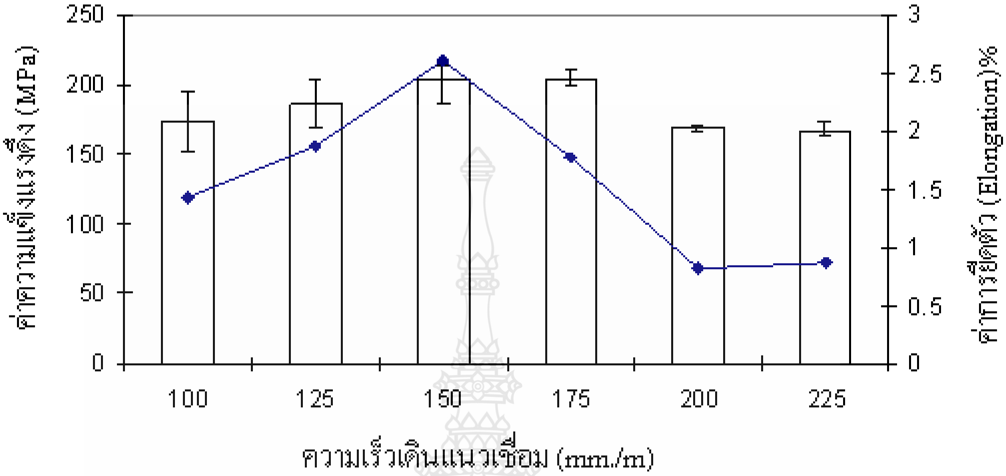
รูปที่ 4.14 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับโดยในสภาวะการเชื่อมเหล่านี้ทำการเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่ 500 rpm จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยตา

เปล่าพบว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะ มีลักษณะผิวหน้าที่มีความคล้ายกันทั้งหมด โดยพบว่าแนวเชื่อมมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น โดยมีเพียงบางสภาวะที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย รูปที่ 4.14 (ก) พบว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ มีรอยซ้อนกันของตัวกวนเล็กน้อย คาดว่า น่าจะมีสาเหตุจากระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ต่ำ ทำการเชื่อมกับระดับความเร็วรอบที่สูงขึ้น อาจมีสาเหตุทำให้ตัวกวนทำการกวนเนื้อวัสดุออกมาเป็นแนว ทำให้สามารถมองเห็นแนวของตัวกวนค่อนข้างชัดเจน รูปที่ 4.14 (ข) มีลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ แต่พบรอยซ้อนกันของตัวกวนน้อยกว่าในรูปที่ 4.14 (ก) คาดว่ามีสาเหตุจากการเดินแนวเชื่อมที่เร็วขึ้น จนอาจทำให้เกิดแนวซ้อนกันน้อยลง แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น รูปที่ 4.14 (ค) และ (ง) ทั้ง 2 รูปนี้มีลักษณะผิวหน้าที่ใกล้เคียงกับรูปที่ 4.14 (ข) แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว รูปที่ 4.14 (จ) แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์เช่นกัน แต่พบว่า เกิดจุดที่แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอในการเดินแนวเชื่อมเล็กน้อยโดยสาเหตุคาดว่าน่าจะมาจากระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ไม่สัมพันธ์กันกับความเร็วรอบของตัวกวน ทำให้บางช่วงของตัวกวนไม่สามารถเดินแนวได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามไม่พบจุดบกพร่องอื่นๆ เกิดขึ้นในผิวหน้านี้ รูปที่ 4.14 (ฉ) แนวเชื่อมมีผิวหน้าที่สมบูรณ์ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ และไม่พบจุดบกพร่อง โดยมีผิวหน้าคล้ายกันกับรูปที่ 4.14 (ข) (ค) และ (ง)

4.3.1 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

จากการที่นำผลที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่าความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 173 MPa และเมื่อทำการเพิ่มระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเป็นที่ระดับความเร็ว 125 mm/min พบว่าเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้นจากเดิมเป็นที่ระดับ 186 MPa พบว่าค่าเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึงยังคงมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมให้สูงขึ้นคือที่ระดับ 150 mm/min ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ 203 MPa การเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมาอยู่ที่ระดับ 175 mm/min พบว่ายังคงมีแนวโน้มความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้นจากเดิม ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้นจากเดิมเล็กน้อย อยู่ที่ระดับ 204 MPa จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มความเร็วในการเดินแนวเชื่อมอยู่ที่ระดับ 200 mm/min กลับพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบแรงดึงมีค่าต่ำลง ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงที่ 169 MPa เท่านั้น และเมื่อทำการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 225 mm/min ยังคงพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ย ยังคงมีระดับที่ต่ำลงมาอยู่ที่ระดับ 167 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำจากเดิมเล็กน้อย โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้งหมดพบว่า แนวโน้มความแข็งแรงมีค่าที่สูงขึ้นจากสภาวะความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 125 150 mm/min และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 204 MPa เป็นค่าแรงดึงที่สูงที่สุด จากนั้นพบว่าแนวโน้มความแข็งแรงมีค่าที่ต่ำลงจนถึงสภาวะการเชื่อมสุดท้าย ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min โดยการทดสอบ

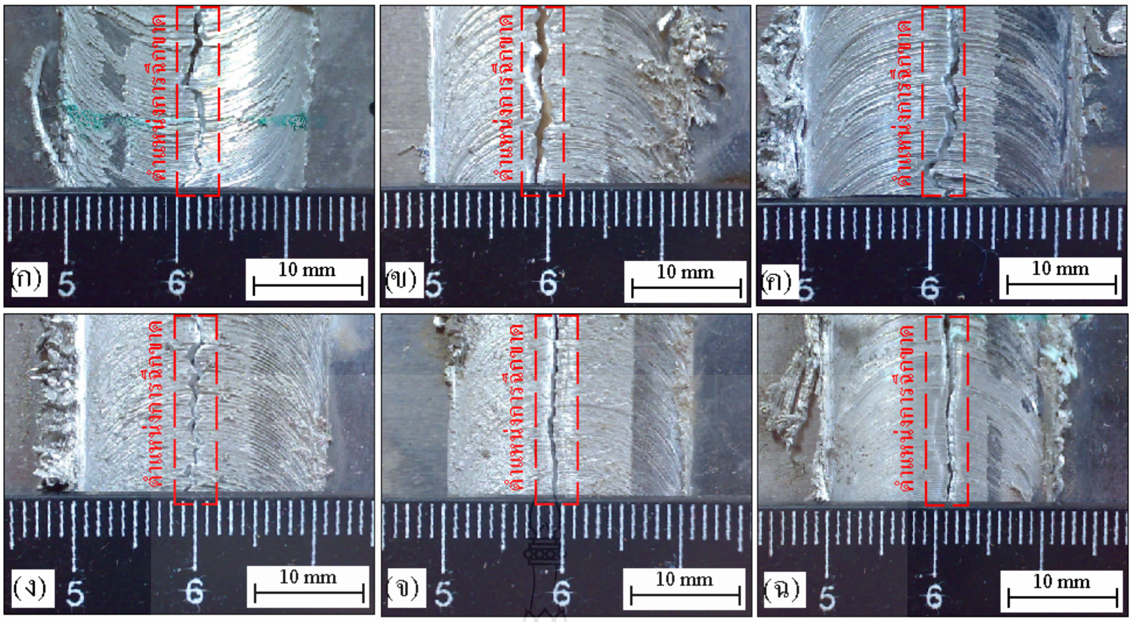
ในส่วนนี้ พบว่ามีลักษณะเดียวกันกับการเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่ 250 rpm คือผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ทั้งหมด ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น แต่มีความแตกต่างกันโดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง จึงคาดว่าโครงสร้างของแนวเชื่อมอาจมีความแตกต่างกันจึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม และตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง

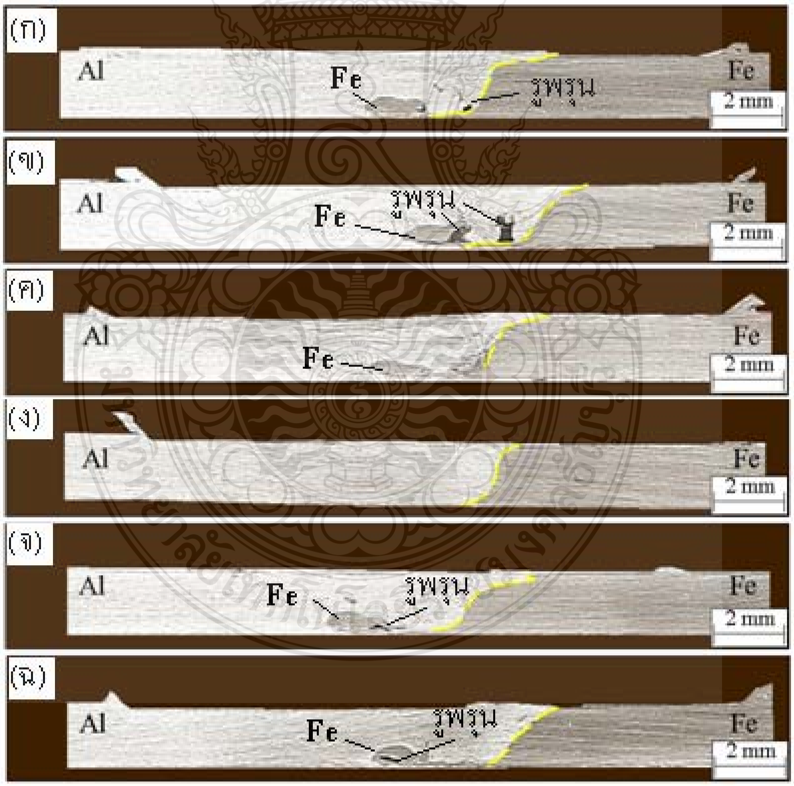
4.3.2 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม โดยแทนสัญลักษณ์ (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) แทนระดับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ ชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการทดสอบแรงดึงจะพบว่ามีลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด เช่นเดียวกันกับที่ระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่ 250 rpm รูปที่ 4.16 (ก) เกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ซึ่งต่างกับรูปที่ 4.16 (ข) ที่เกิดการฉีกขาดบริเวณด้านซ้ายของแนวเชื่อมซึ่งเป็นด้านวัสดุอลูมิเนียม มีลักษณะการฉีกขาดเป็นเส้นตรง รูปที่ 4.16 (ค) และรูปที่ 4.16 (ง) มีลักษณะการฉีกขาดที่คล้ายคลึงกันคือเกิดการฉีกขาดบริเวณแนวเชื่อมเป็นเส้นตรงบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.16 (จ) ลักษณะการฉีกขาดคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.16 (ข) คือเกิดการฉีกขาดบริเวณด้านซ้ายของแนวเชื่อมซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียมการฉีกขาดเกิดขึ้นเป็นเส้นตรง รูปที่ 4.16 (ฉ) เกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามสิ่งที่สามารถยืนยันลักษณะการฉีกขาดของแนวเชื่อมอย่างชัดเจน สามารถทำการยืนยันได้จากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม



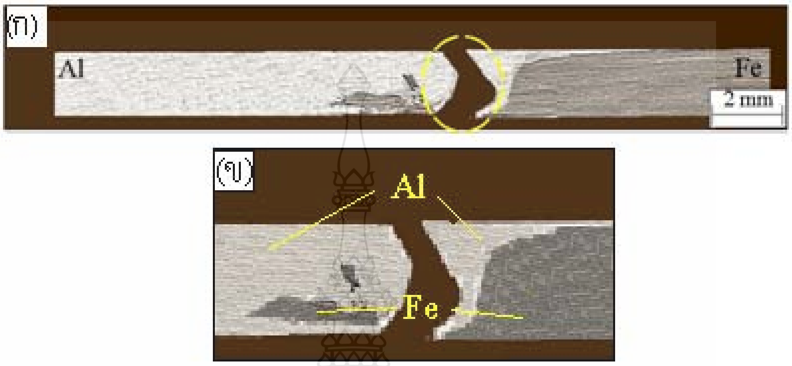
รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm

4.3.3 โครงสร้างมหภาค

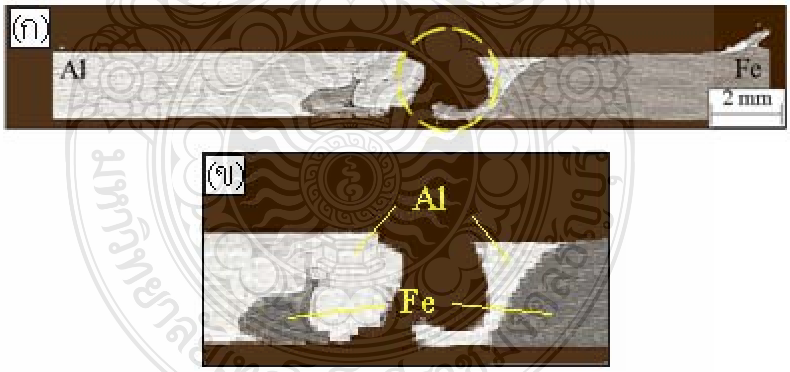


รูปที่ 4.17 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

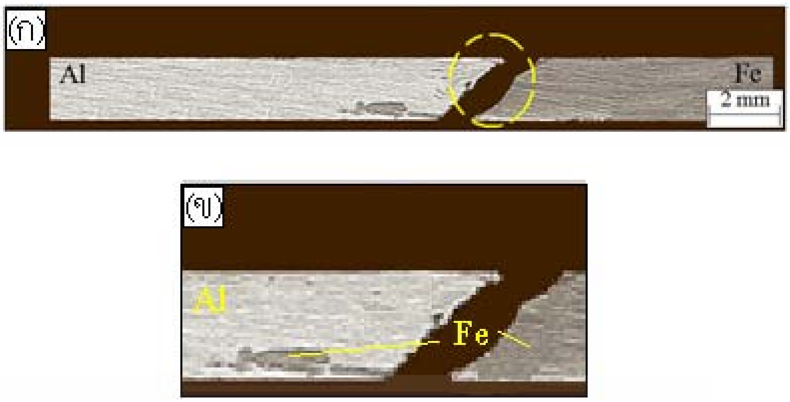
รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ พบว่าวัสดุจะมีการผสมผสานกันของวัสดุซึ่งมีลักษณะที่มีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min พบจุดบกพร่องขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นโพรง จึงต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายหลังจากการทดสอบแรงดึง



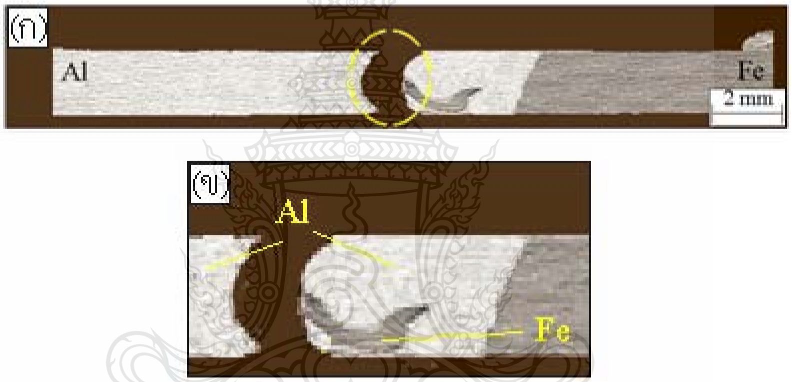
รูปที่ 4.18 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min



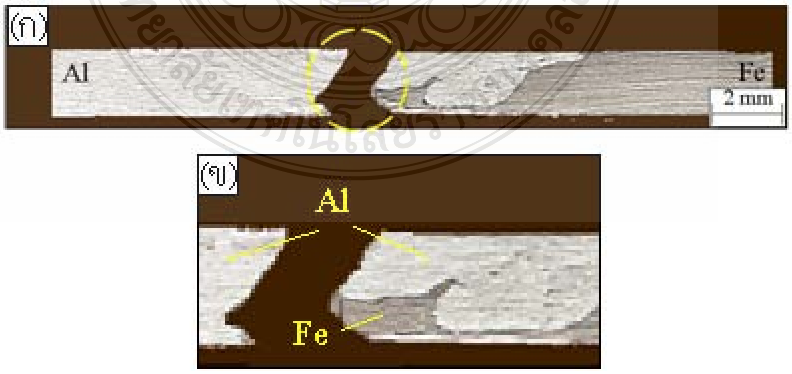
รูปที่ 4.19 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min



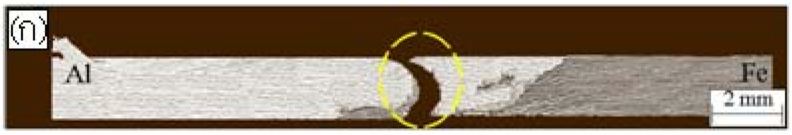
รูปที่ 4.20 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min

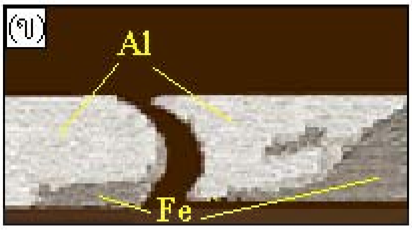


รูปที่ 4.21 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min



รูปที่ 4.22 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min



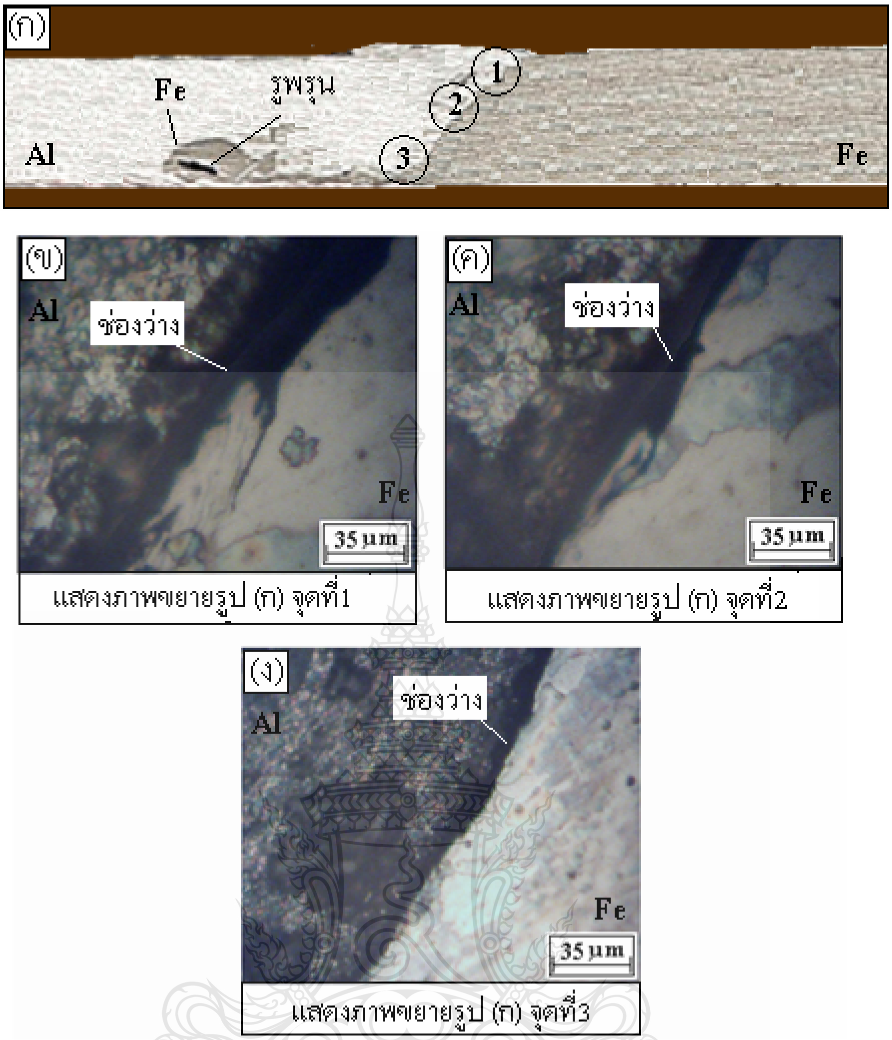


รูปที่ 4.23 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

โครงสร้างมหภาคหลังจากการทดสอบแรงดึงพบว่าการพังทลายมีความแตกต่างกันออกไป รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณกลางระหว่างแนวเชื่อมกับจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคจะพบว่าทั้ง 2 สภาวะการเชื่อมนี้มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อม เมื่อทำการทดสอบแรงดึงจึงพบว่า ตำแหน่งการพังทลายหลังจากทำการทดสอบแรงดึงทั้ง 2 สภาวะนี้ เกิดขึ้นที่บริเวณจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น จึงคาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.20 และ รูปที่ 4.21 ที่ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น โดยรูปที่ 4.20 วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการแทรกตัวเข้าไปในด้านอลูมิเนียม แต่อย่างไรก็ตามการพังทลายจากการทดสอบแรงดึงเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ขณะที่รูปที่ 4.21 เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะเป็นแนวยาวออกไป หลังจากทำการทดสอบแรงดึงพบว่าการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณจุดที่มีการแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม รูปที่ 4.22 มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.21 คือมีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม และการพังทลายยังเกิดขึ้นที่จุดเดียวกัน คือบริเวณที่เป็นจุดแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างไรก็ตามจากการสังเกตและทำการเปรียบเทียบกันจะพบว่า รูปที่ 4.22 ในส่วนที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมนั้น จะเป็นการแทรกตัวอย่างต่อเนื่องไม่แยกขาดจากกัน ในขณะที่รูปที่ 4.21 การแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะขาดออกจากกัน และรูปที่ 4.23 พบว่าเกิดการพังทลายบริเวณจุดที่เป็นการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางของการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม โดยขั้นตอนต่อไปได้ทำการทดสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายที่เกิดขึ้น

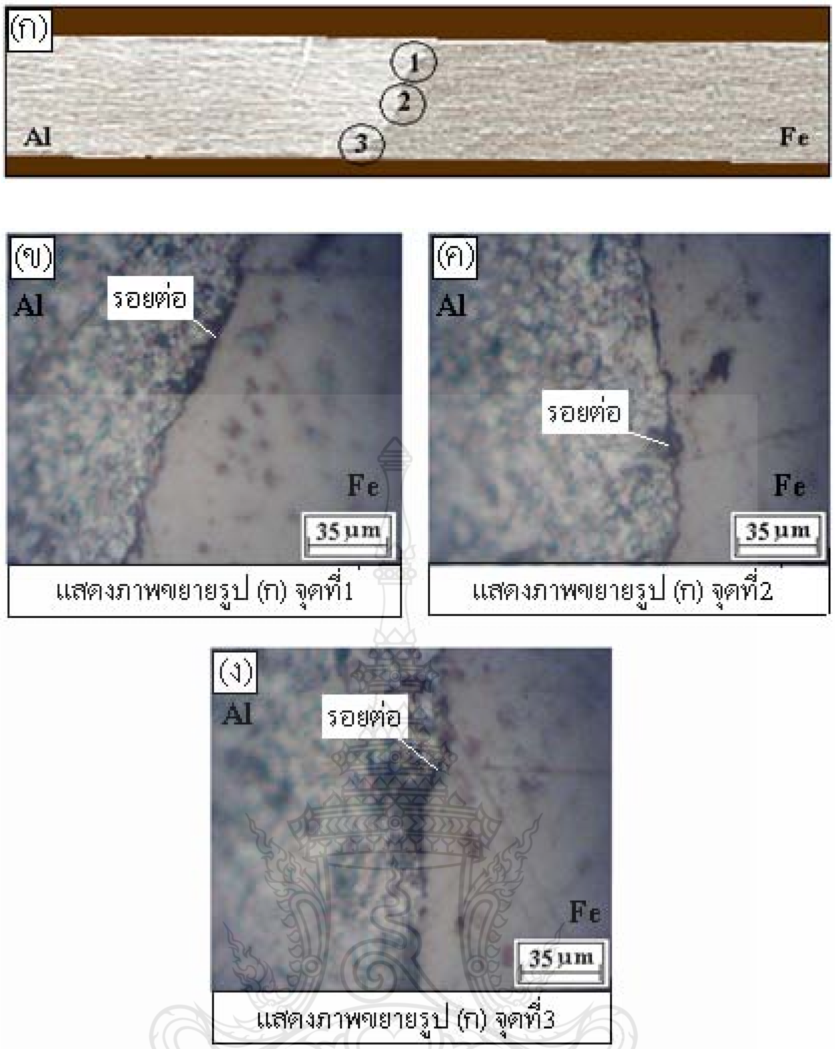
4.3.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โดยในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดมาทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดในระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm



รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm
ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

รูปที่ 4.24 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 225 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า เกิดส่วนที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยโครงสร้างมหภาคเกิดขึ้นจุดที่ 1 ซึ่งเป็นด้านบนของแนวเชื่อมบนว่า เกิดช่องว่างที่ไม่เกิดการเชื่อมติดกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิดเกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะเป็นโพรงแนวยาวไปตามแนวเชื่อม จุดที่ 2 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางแนวเชื่อมยังคงพบว่ามีลักษณะที่เป็นโพรงแนวยาวไปตามแนวเชื่อมเช่นเดียวกัน เมื่อทำการตรวจสอบจุดที่ 3 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กันกับจุดที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่า ยังคงเกิดโพรงหรือจุดที่ไม่เกิดการเชื่อมเกิดขึ้นเพียงแต่มีขนาดที่เล็กลงไปจากจุดที่ 1 และจุดที่ 2

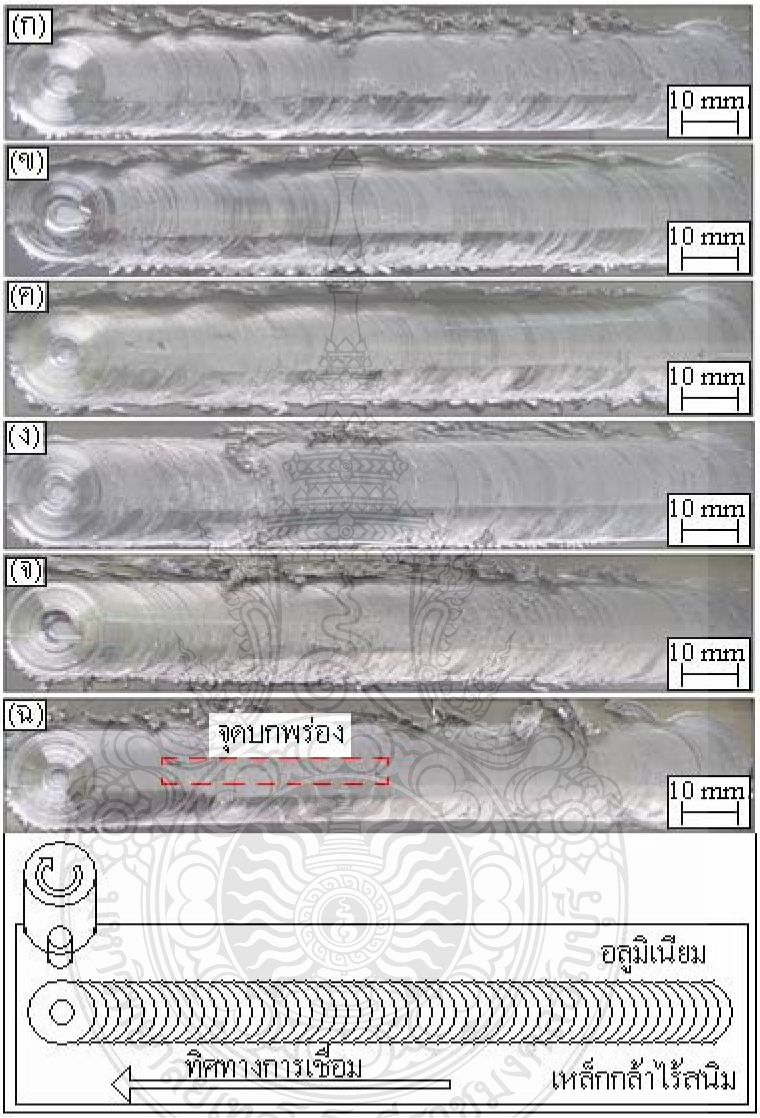


รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 rpm
ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min

รูปที่ 4.25 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 175 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด หลังจากทำการถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ที่สภาวะนี้ไม่พบการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม แนวเชื่อมมีลักษณะเกิดขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อตรวจสอบที่โครงสร้างจุลภาคพบว่า การประสานกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิดเกิดการประสานกันเป็นเส้นตรง ไม่พบว่าเกิดจุดบกพร่องขึ้นเป็นโพรงเมื่อเปรียบเทียบกันกับที่ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุดของระดับความเร็วรอบ 250 rpm พบว่าการประสานกันของวัสดุทั้ง 2 มีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับ 250 rpm มีการประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ระดับความเร็วรอบที่ 500 rpm การประสานกันเกิดขึ้นเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามที่สภาวะนี้เป็นสภาวะที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดในดับความเร็ว

รอบ 500 rpm จึงต้องทำการวิเคราะห์ในระดับความเร็วรอบที่ 750 rpm การเปลี่ยนแปลงระยะสอด และการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงต่อไป

4.4 ผลที่ได้จากการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm



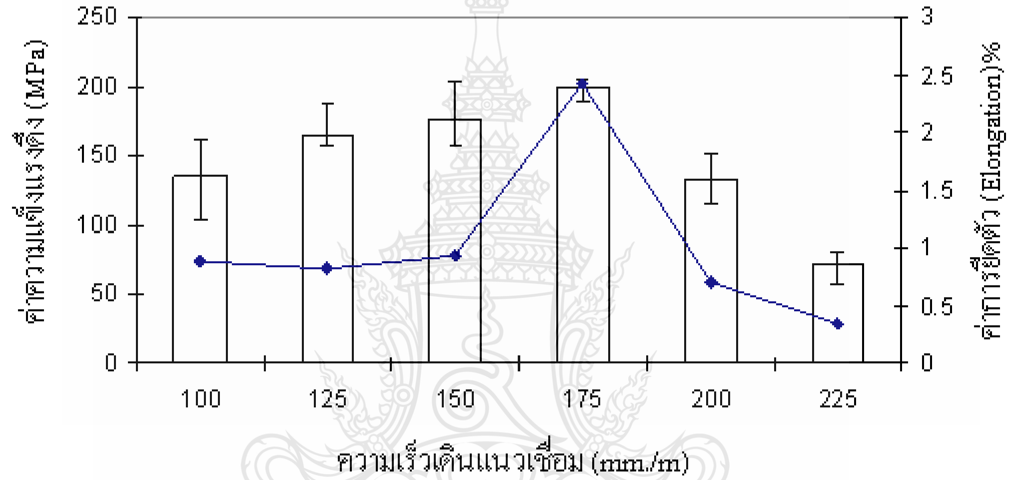
รูปที่ 4.26 ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min (ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

รูปที่ 4.26 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะจากการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ โดยในสภาวะการเชื่อมเหล่านี้ทำการเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบของตัวกวนที่ 750 rpm จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะ มีลักษณะผิวหน้าที่มีความแตกต่างกัน รูปที่ 4.26 (ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นมีเศษของวัสดุเกิดขึ้นเล็กน้อย โดยคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากความเร็วรอบที่ต่ำ เช่นเดียวกันกับความเร็วรอบ 250 rpm รูปที่ 4.26 (ข) (ค) (ง) และ (จ) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความคล้ายกันทั้งหมด โดยพบว่าแนวเชื่อมมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์ เกิดการเดินแนวที่สม่ำเสมอและไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น รูปที่ 4.26 (ฉ) พบว่าแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณด้านอลูมิเนียม มีลักษณะเป็นรอยเส้นตรงบนแนวเชื่อมซึ่งอาจเป็นผลทำให้แนวเชื่อมเกิดความไม่แข็งแรง ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้ คาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากระดับความเร็วรอบตัวกวน กับระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ไม่สัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตามนอกจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ ไม่พบจุดบกพร่องอื่นๆ จากการทดลองความเร็วรอบที่ระดับ 750 rpm ซึ่งเป็นระดับความเร็วที่สูงที่สุดในการทดลองนี้ พบว่า บริเวณจุดเริ่มต้นของแนวเชื่อม เกิดการไม่สม่ำเสมอของแนวเชื่อมในทุกๆระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม คาดว่าระดับความเร็วรอบที่สูงนี้ อาจจะส่งผลให้เกิดการเดินอย่างไม่สม่ำเสมอบริเวณจุดเริ่มต้นของแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามการทดสอบหาค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึงโดยกรรมวิธีทดสอบแรงดึงจะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น

4.4.1 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

จากการที่นำผลที่ได้จากการเชื่อมตามตัวแปรเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ซึ่งเป็นระดับความเร็วรอบที่สูงที่สุดในการทดลอง มาทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะพบว่า ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 135 MPa และที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 125 mm/min พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงดึงมีค่าที่สูงขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 164 MPa ที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min พบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงยังคงมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงอยู่ที่ระดับ 176 MPa จึงได้ทำการเชื่อมที่ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่สูงขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 175 mm/min พบว่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยจากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงยังคงสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงขึ้นสูงมาอยู่ที่ระดับ 199 MPa เมื่อทำการเชื่อมโดยการเชื่อมความเร็วในการเดินแนวเชื่อมให้สูงขึ้นมาที่ระดับ 200 mm/min กลับพบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึงมีค่าต่ำลงมากจากเดิม โดยมีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 132 MPa เมื่อทำการเชื่อมที่ระดับ 225 mm/min ซึ่งเป็นระดับความเร็วรอบที่สูงที่สุด พบว่าค่าเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึงยังคงมีค่าต่ำลงและเป็นค่าที่ต่ำลงจากเดิมมาก โดยได้ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่ 71 MPa โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้งหมดพบว่า ความเร็วใน

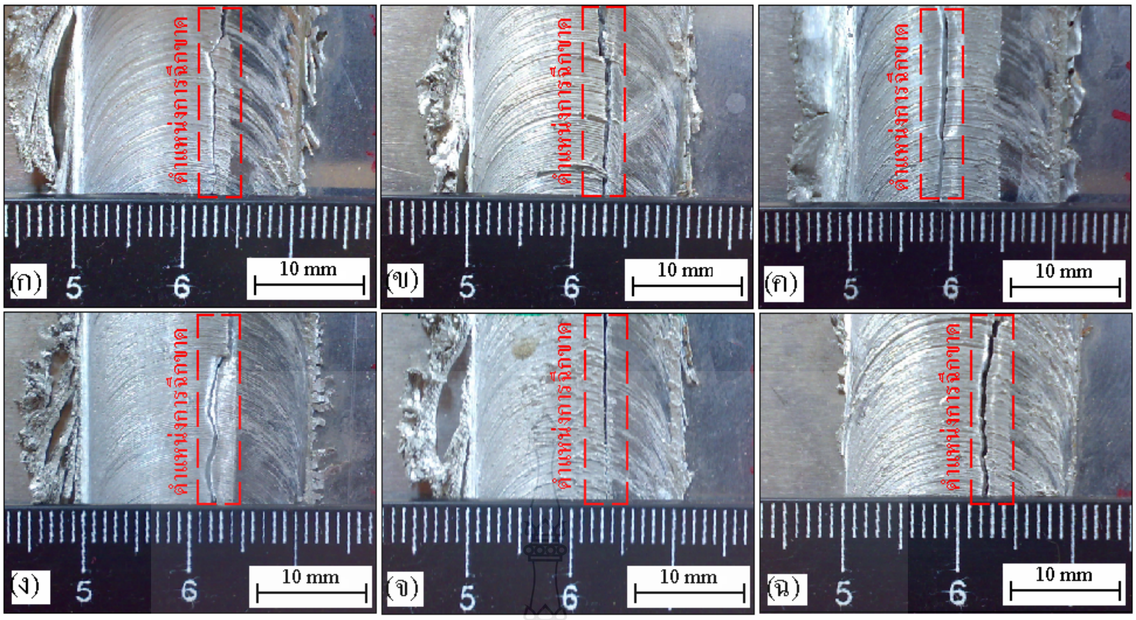
การเดินแนวเชื่อม 175 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 199 MPa เป็นค่าแรงดึงที่สูงที่สุด และ การเดินแนวเชื่อม 225 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 71 MPa เป็นค่าแรงดึงที่ต่ำที่สุด จากการตรวจสอบความสัมพันธ์กันระหว่างผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น กับผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง พบว่า ผิวหน้าแนวเชื่อม รูปที่ 4.26 (ฉ) มีลักษณะผิวหน้าที่เกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้น โดยในสภาวะการเชื่อมนี้เป็นสภาวะการเชื่อมที่ระดับการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 71 MPa เป็นค่าแรงดึงที่ต่ำที่สุด จากผลที่ได้นี้จึงคาดว่าจุดบกพร่องเกิดขึ้นมีลักษณะเป็นรอยเส้นตรงบนแนวเชื่อมอาจเป็นผลทำให้แนวเชื่อมเกิดความไม่แข็งแรง อย่างไรก็ตามจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ จึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม และตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และค่าการทดสอบแรงดึง

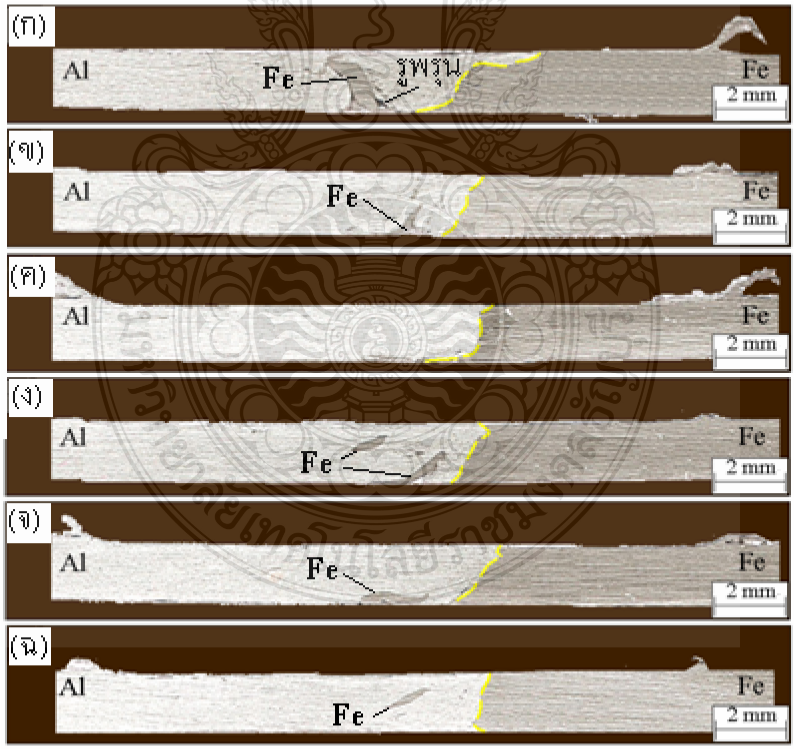
4.4.2 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม โดยแทนสัญลักษณ์ (ก) (ข) (ค) (ง) จ) และ ฉ) แทนระดับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ระดับ 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ ชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการทดสอบแรงดึงจะพบว่ามีลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด โดยรูปที่ 4.28 (ก) เกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.28 (ข) จะพบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกันกับรูปที่ 4.28 (ก) คือเกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.28 (ค) จะพบว่าหลังจากทำการทดสอบแรงดึงตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้นบริเวณด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียม รูปที่ 4.28 (ง) (จ) และ (ฉ) พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมด คือเกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม การฉีกขาดเป็นเส้นตรง แต่ทั้งนี้ผลที่จะสามารถยืนยันว่าลักษณะการฉีกขาดที่เกิดขึ้นนั้น สามารถทำการยืนยันได้จากภาพตัดด้านข้างของแนวเชื่อม



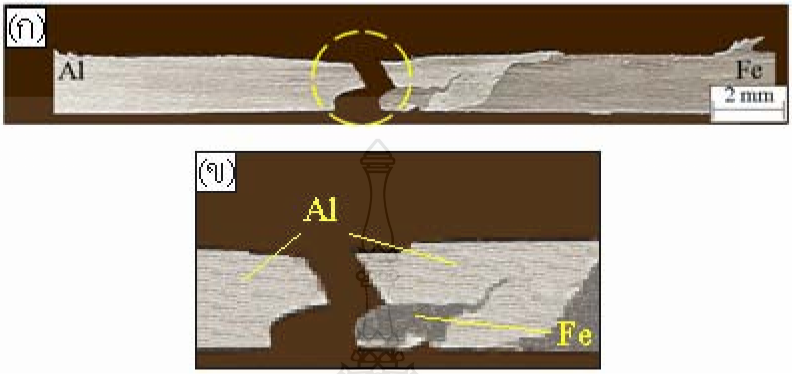
รูปที่ 4.28 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm

4.4.3 โครงสร้างมหภาค

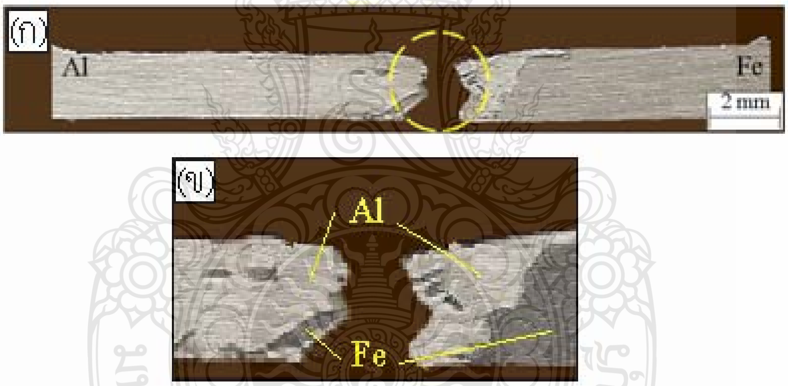


รูปที่ 4.29 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm : (ก) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 mm/min (ข) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 125 mm/min(ค) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 150 mm/min (ง) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 mm/min (จ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200 mm/min (ฉ) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

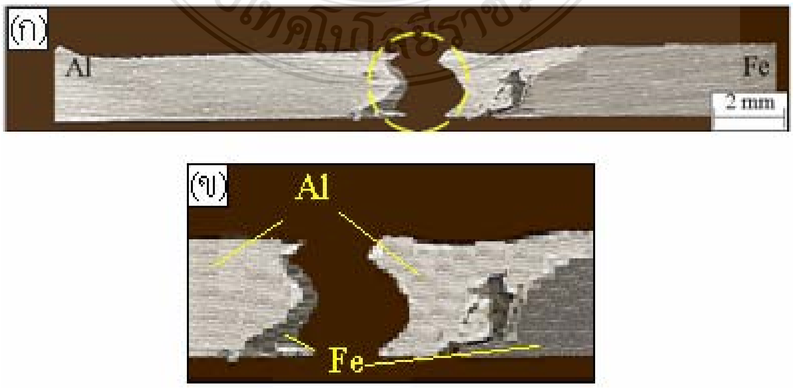
รูปที่ 4.29 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 125 150 175 200 และ 225 mm/min ตามลำดับ จากรูปที่แสดงพบว่า วัสดุจะมีการผสมผสานกันของวัสดุซึ่งมีลักษณะที่มีความแตกต่างกัน พบจุดบกพร่องน้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 500 rpm จึงต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายหลังจากการทดสอบแรงดึง



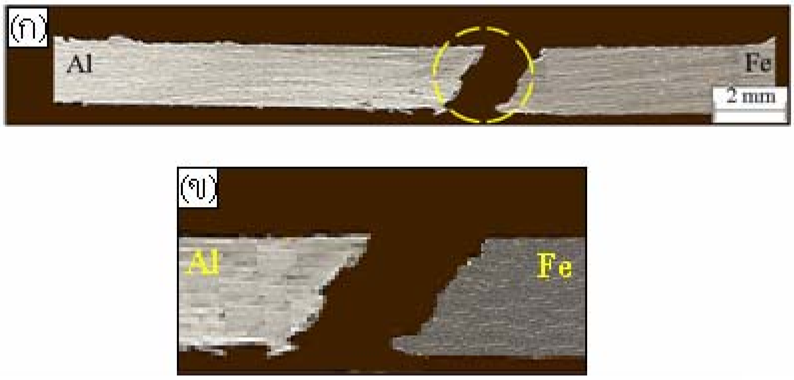
รูปที่ 4.30 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min



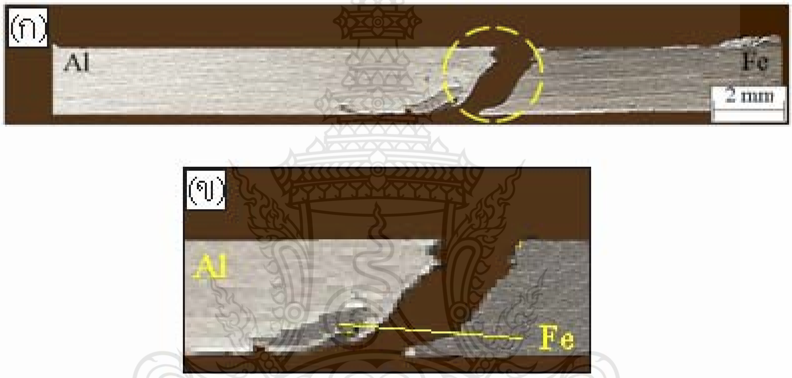
รูปที่ 4.31 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min



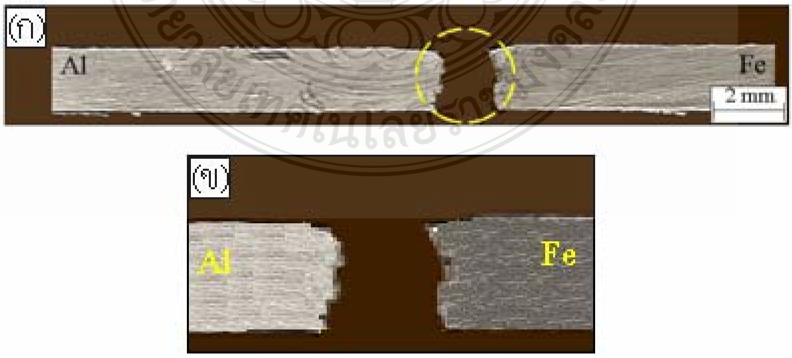
รูปที่ 4.32 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min



รูปที่ 4.33 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min



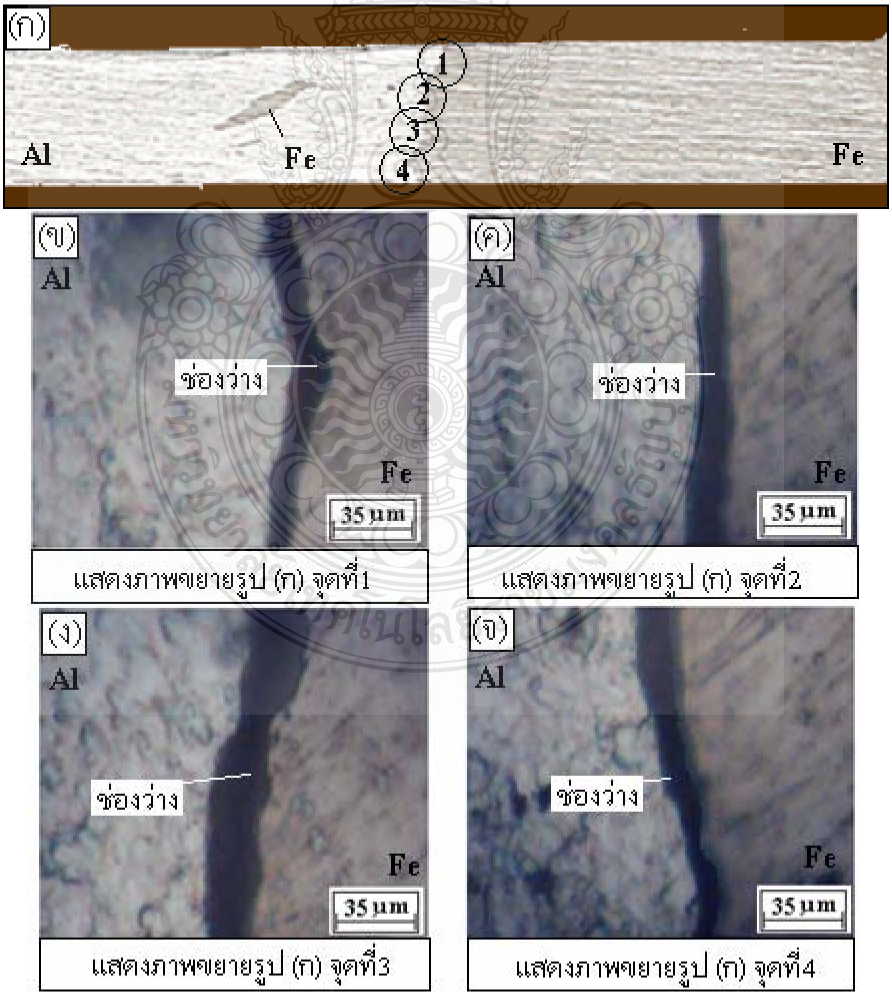
รูปที่ 4.34 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min



รูปที่ 4.35 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

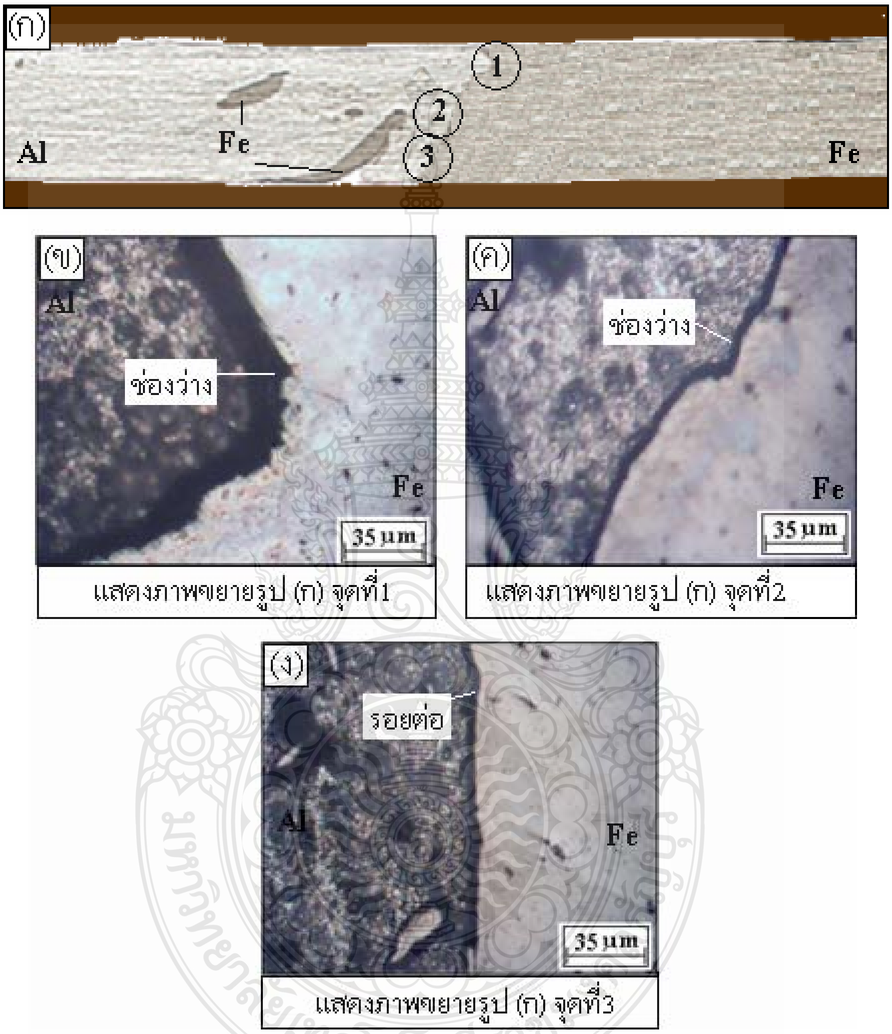
โครงสร้างมหภาคพบว่าการพังทลายมีความแตกต่างกันออกไป รูปที่ 4.30 รูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณจุดที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าทั้งหมด รูปที่ 4.33 ไม่มีจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า มีลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม โดยรูปที่ 4.34 มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าเล็กน้อยแต่การพังทลายเกิดขึ้นที่แนวเชื่อม รูปที่ 4.35 มีลักษณะเดียวกับ รูปที่ 4.33 คือมีจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า มีลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม โดยจากการเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายของทุกสภาวะความเร็วในการเดินแนวเชื่อม พบว่า รูปที่ 4.35 มีลักษณะการขาดของแนวเชื่อมเป็นเส้นตรง เมื่อดูจากผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่ามีจุดบกพร่องเกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามเมื่อดูจากโครงสร้างมหภาคก่อนทำการทดสอบแรงดึงพบว่าไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม ขณะเดียวกันที่สภาวะนี้ได้ผลจากการทดสอบแรงดึงที่ต่ำที่สุดในระดับความเร็วรอบ 750 rpm และยังเป็นผลการทดลองที่ได้ค่าแรงดึงต่ำที่สุดในทุกระดับความเร็วรอบ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ดังนั้นจึงได้ทำการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคในหัวข้อต่อไป เพื่อวิเคราะห์ว่าลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลอย่างไรต่อค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม

4.4.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



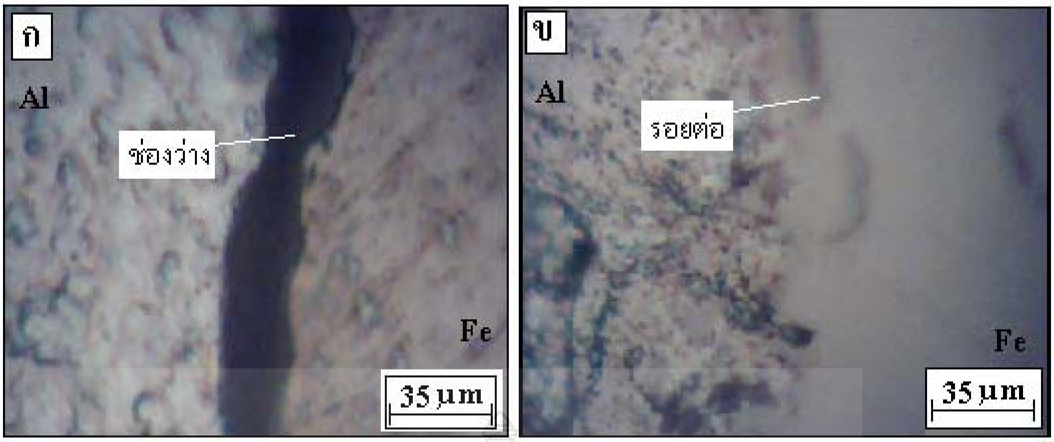
รูปที่ 4.36 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min

รูปที่ 4.36 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 225 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด พบว่าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างพบว่า จุดที่ 1 2 3 และ 4 เกิดจุดที่ไม่เกิดการเชื่อมติดกัน มีลักษณะเป็นโพรงเส้นตรงยาว อย่างไรก็ตามในส่วนที่อยู่ลึกลงไปมีการประสานกันบางส่วน จึงเป็นผลให้เกิดค่าความต้านทานแรงดึงอยู่บ้าง



รูปที่ 4.37 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min

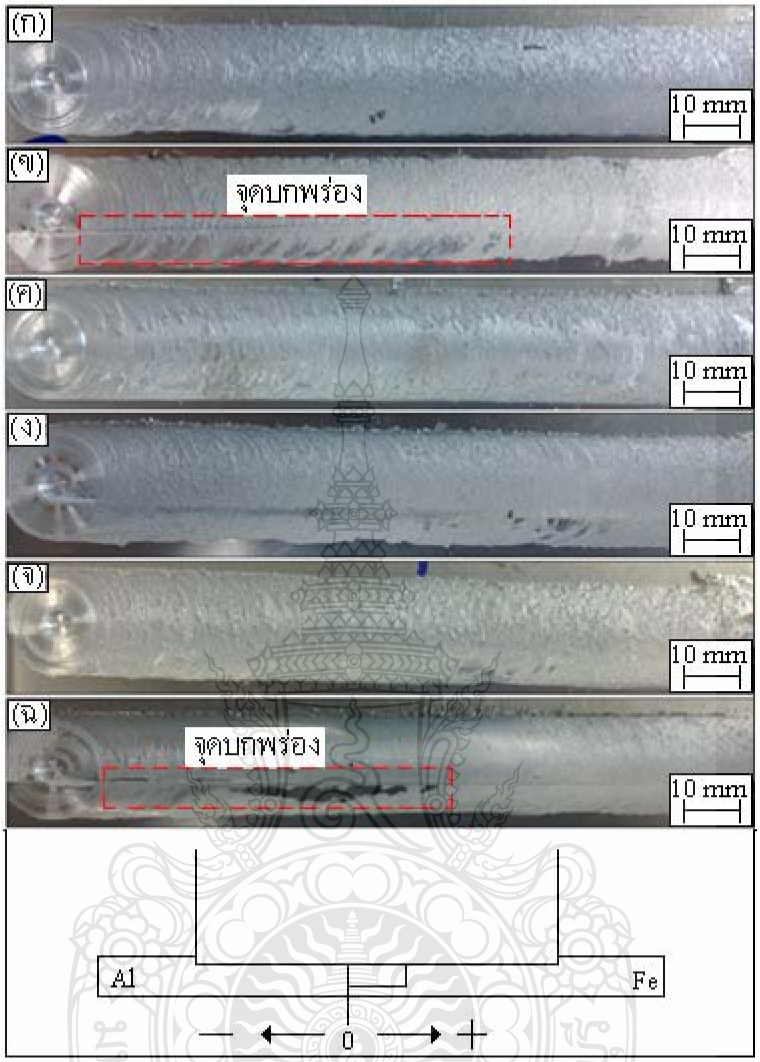
รูปที่ 4.37 แสดงส่วนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมที่ระดับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 175 mm/min ซึ่งเป็นระดับที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด พบว่าจุดที่ 1 พบว่าแนวเชื่อมมีลักษณะโค้งงอเป็นโพรงขนาดใหญ่ แต่กลับพบว่าจุดที่ 2 แนวเชื่อมมีการประสานกันมีลักษณะเหมือนมีช่องว่างเกิดขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกันกับจุดที่ 3 ที่พบว่าช่องว่างเริ่มมีขนาดที่เล็กลงจนแทบจะประสานกันอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้งหมด

รูป (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 225 mm/min เป็นสภาวะที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุดจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้งหมด รูปที่ 4.38 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min เป็นสภาวะที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้งหมด เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ 2 สภาวะนี้พบว่า รูปที่ 4.38 (ก) แนวเชื่อมเกิดส่วนที่ไม่เกิดการเชื่อมเป็นแนวยาวติดกันตลอดทั้งแนว คาดว่าการไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ เนื่องจากเกิดการประสานกันระหว่างวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมและอลูมิเนียมเพียงบางส่วน ในขณะที่รูปที่ 4.38 (ข) เกิดการประสานกันระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับอลูมิเนียมแบบสมบูรณ์ ไม่พบโพรง ไม่พบจุดที่ไม่เกิดการเชื่อมติด และไม่พบจุดบกพร่องใดๆตลอดทั้งแนวเชื่อม การประสานกันอย่างสมบูรณ์นี้คาดว่าอาจส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีสูง ดังนั้นที่ระดับการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm และระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min จึงคาดว่าเป็นระดับที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการเชื่อม อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ยังได้ทำการเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวน เพื่อดูว่าลักษณะที่เกิดขึ้นของแนวเชื่อม และค่าความต้านทานแรงดึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

4.5 ผลที่ได้จากการเชื่อมโดยเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน



รูปที่ 4.39 ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน : (ก) ระยะสอดตัวกวน -0.1 mm. (ข) ระยะสอดตัวกวน 0 mm. (ค) ระยะสอดตัวกวน 0.1 mm. (ง) ระยะสอดตัวกวน 0.2 mm. (จ) ระยะสอดตัวกวน 0.3 mm. (ฉ) ระยะสอดตัวกวน 0.4 mm.

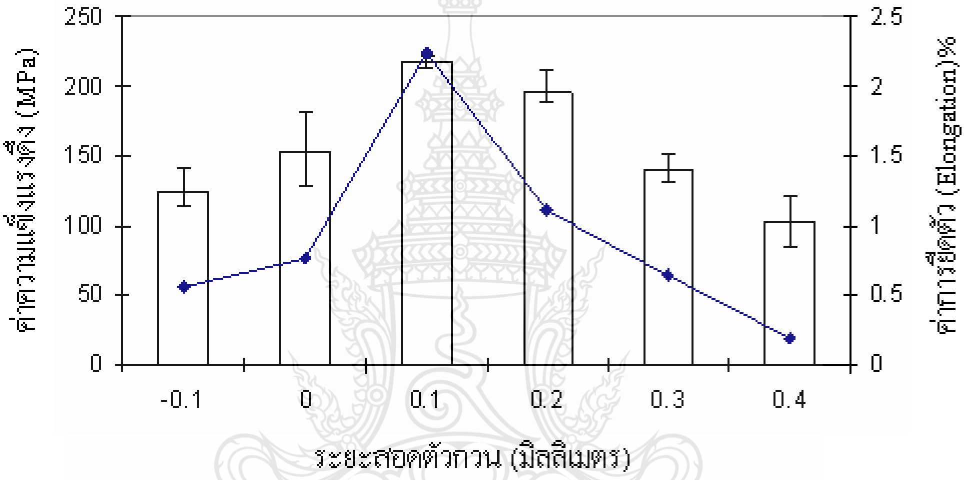
รูปที่ 4.39 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะจากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวนที่ระยะ -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 6 สภาวะ มีลักษณะผิวหน้าที่มีความแตกต่างกัน รูปที่ 4.39 (ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น รูปที่ 4.39 (ข) พบว่าแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้น มีลักษณะเป็นรอยเส้นตรงบนแนวเชื่อม จุดเชื่อมต่อระหว่างอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าเกิดการเกลี่ยผิวหน้าที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเป็นผลทำให้แนวเชื่อมเกิดความไม่แข็งแรง ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้

คาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากระดับความเร็วรอบตัวกวนกับระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ไม่สัมพันธ์กัน นอกจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ยังพบว่าแนวเชื่อมเกิดแนวเชื่อมที่ไม่มีความสม่ำเสมอกัน รูปที่ 4.39 (ค) และ (ง) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความคล้ายกัน โดยพบว่าแนวเชื่อมมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์ เกิดการเดินแนวที่สม่ำเสมอและไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น รูปที่ 4.39 (จ) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น มีเศษของวัสดุเกิดขึ้นเล็กน้อย มีผิวหน้าแนวเชื่อมคล้ายกับรูปที่ 4.39 (ก) แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดแนว รูปที่ 4.39 (ฉ) พบว่าแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณด้านเหล็กกล้า ผิวหน้ามีลักษณะการเกลี่ยแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ และไม่พบจุดที่เกิดการเชื่อมเลยในบางส่วน คาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากระดับความเร็วรอบที่สูง ทำการเชื่อมเข้ากับระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่สูงเช่นกัน คาดว่าอาจทำให้เครื่องมือเชื่อมเกิดการรับภาระการเชื่อมที่สูงเกินไปเป็นเหตุให้เกิดจุดบกพร่องนี้ อย่างไรก็ตามการทดสอบหาค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึงโดยกรรมวิธีทดสอบแรงดึงจะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น

4.5.1 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

จากการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วรอบตัวกวน ทำการเชื่อมเข้ากับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมทั้งหมด ผลจากการทดสอบแรงดึงพบว่า ที่ระดับความเร็วรอบที่ระดับ 250 rpm และระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min ได้ผลการทดสอบแรงดึงที่สูงที่สุด คือ 217 MPa จึงนำระดับความเร็วรอบที่ระดับ 250 rpm และระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min มาทำการเชื่อมเพื่อหาระยะในการสอดของตัวกวน ที่ระยะ -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่า ที่ระยะสอด -0.1 mm. เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 125 MPa และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะสอดมาอยู่ที่ระดับ 0 mm. พบว่าเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้น โดยได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยที่ระดับ 153 MPa จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มระยะสอดมาอยู่ที่ระดับ 0.1 mm. พบว่ามีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้น เกิดค่าเฉลี่ยของความความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้นมาอยู่ที่ระดับ 217 MPa เมื่อทำการเพิ่มระยะสอดจากเดิมมาอยู่ที่ระดับการสอดที่ 0.2 mm. พบว่าเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ต่ำลงจากเดิม ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงลงมาอยู่ที่ระดับ 196 MPa จึงได้ทำการเชื่อมโดยการเพิ่มระยะสอดต่อไป โดยใช้ระยะสอดที่ระดับ 0.3 mm. พบว่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงยังคงมีค่าที่ต่ำลงอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงลงมาอยู่ที่ระดับ 139 MPa เมื่อทำการเพิ่มระยะในการสอดมาอยู่ที่ระดับ 0.4 mm. พบว่าเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ต่ำลงมาอีก โดยได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงที่ระดับ 102 MPa โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้งหมดพบว่า ที่ระยะสอด 0.1 mm. เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 217 MPa เป็นค่าแรงดึงที่สูงที่สุด และที่ระยะสอด 0.4 mm. เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 102 MPa เป็นค่าแรงดึงที่ต่ำที่สุด จากการตรวจสอบความสัมพันธ์กันระหว่างผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นกับผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง พบว่า ผิวหน้าแนวเชื่อม รูปที่ 4.39 (ค) มีลักษณะผิวหน้าที่มี

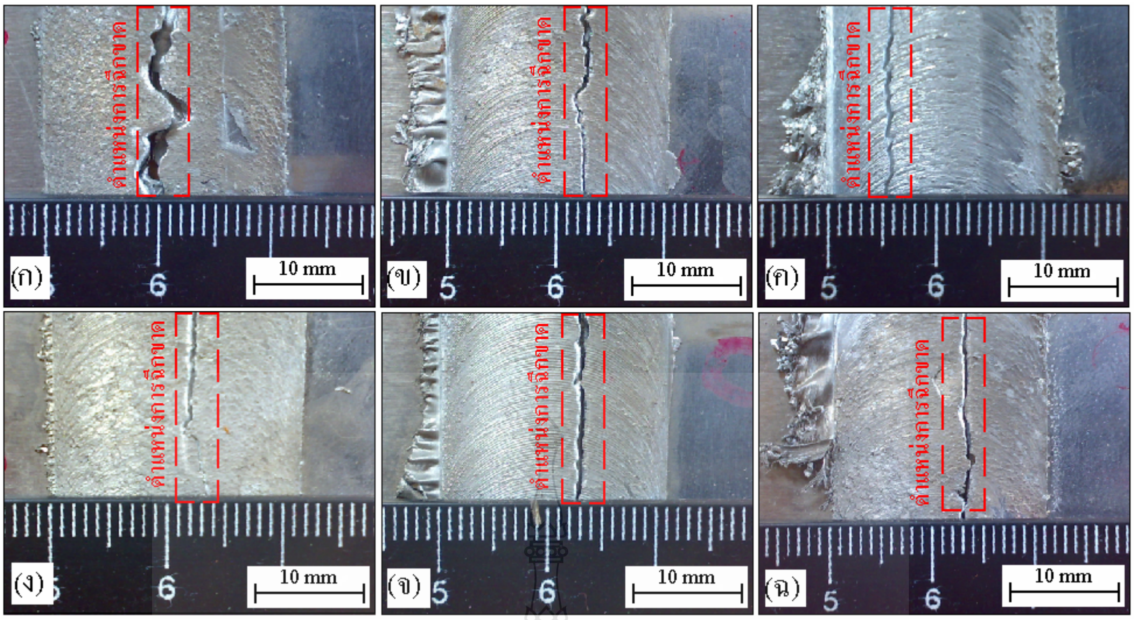
ความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่ รูปที่ 4.39 (ฉ) พบว่าแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณด้านเหล็กกล้า ผิวหน้ามีลักษณะการเกลี่ยแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ และไม่พบจุดที่เกิดการเชื่อมเลยในบางส่วน ซึ่งคาดว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ อาจเป็นผลให้เกิดความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ต่ำ รูปที่ 4.39 (ข) เป็นการเชื่อมที่ระยะสอด 0 mm. พบว่าแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องเช่นกัน โดยผลการทดสอบแรงดึงเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 153 MPa โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.39 (ก) เป็นการเชื่อมที่ระยะสอด -0.1 mm. แล้วพบว่า รูปที่ 4.39 (ก) ไม่พบจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น แต่การเชื่อมที่ระยะสอด -0.1 mm. มีค่าการทดสอบแรงดึงที่ต่ำกว่า ซึ่งในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์กว่า อาจไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงที่สูงกว่า จึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม และตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะสอดของตัวกวน และค่าการทดสอบแรงดึง

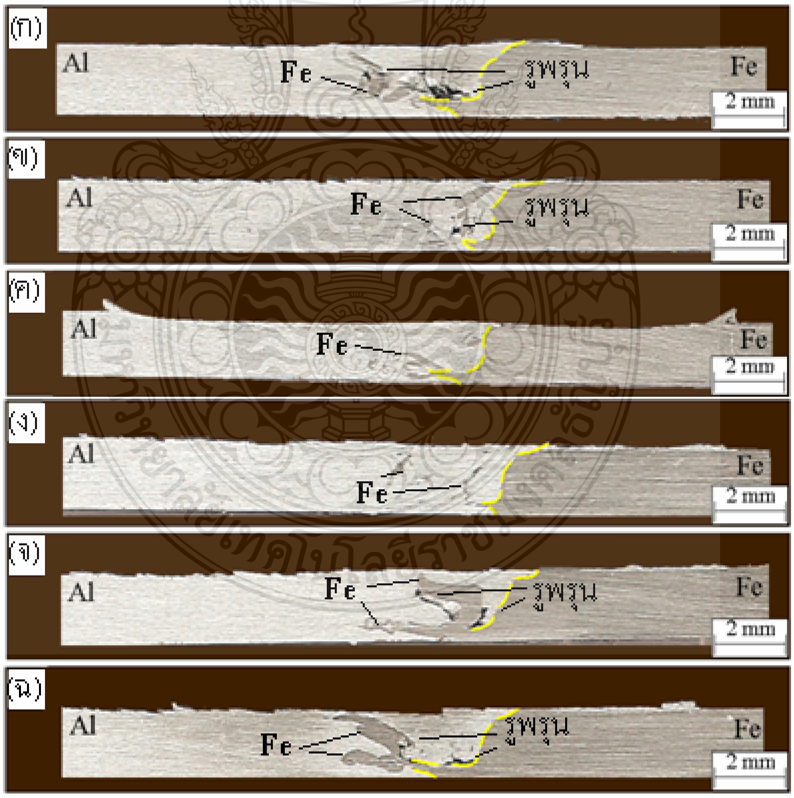
4.5.2 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม โดยแทนสัญลักษณ์ (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) แทนการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวนที่ระยะ -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่า ชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการทดสอบแรงดึงจะพบว่ามีลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด รูปที่ 4.41 (ก) เกิดการฉีกขาดเป็นบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม รูปที่ 4.41 (ข) เกิดการฉีกขาดเป็นเส้นตรงลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม การฉีกขาดเป็นเส้นตรง รูปที่ 4.41 (ค) จะพบว่าหลังจากทำการทดสอบแรงดึงตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้นบริเวณด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียม รูปที่ 4.41 (ง) (จ) และ (ฉ) พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมด คือเกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม เพื่อแสดงให้เห็นรูปภาพโครงสร้างของการฉีกขาดของชิ้นทดสอบในการเดินแนวเชื่อมที่มีความแตกต่างกันของการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน จึงได้นำตัวอย่างของการฉีกขาดของชิ้นทดสอบมาทำการหล่อเรซิ่น และนำไปทำการขัดผิวหน้าเพื่อใช้ในการตรวจสอบโครงสร้าง



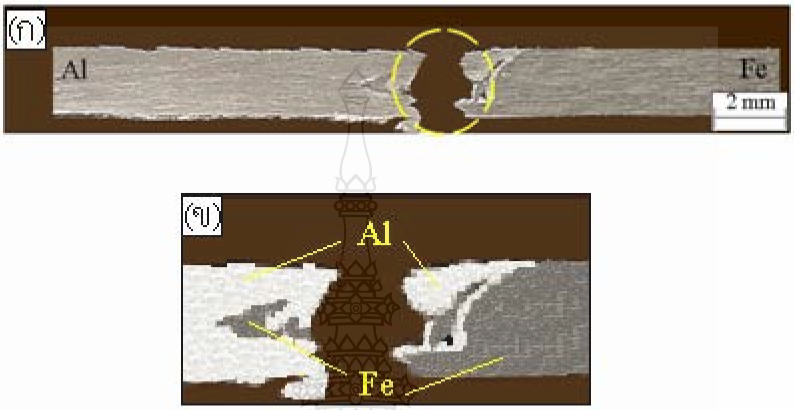
รูปที่ 4.41 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน

4.5.3 โครงสร้างมหภาค

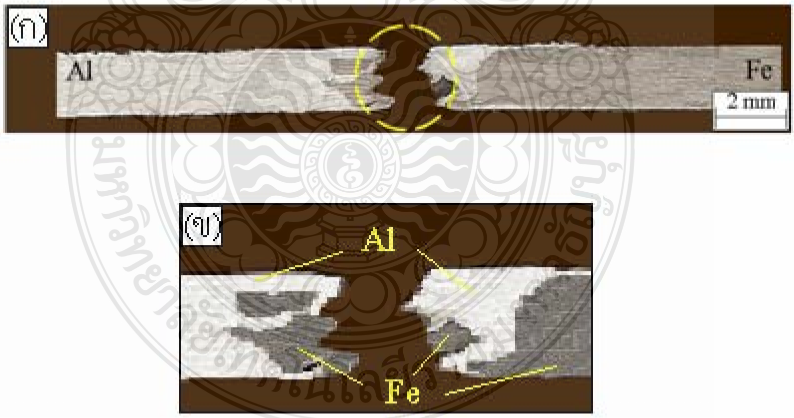


รูปที่ 4.42 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน : (ก) ระยะสอดตัวกวน -0.1 mm. (ข) ระยะสอดตัวกวน 0 mm. (ค) ระยะสอดตัวกวน 0.1 mm. (ง) ระยะสอดตัวกวน 0.2 mm. (จ) ระยะสอดตัวกวน 0.3 mm. (ฉ) ระยะสอดตัวกวน 0.4 mm.

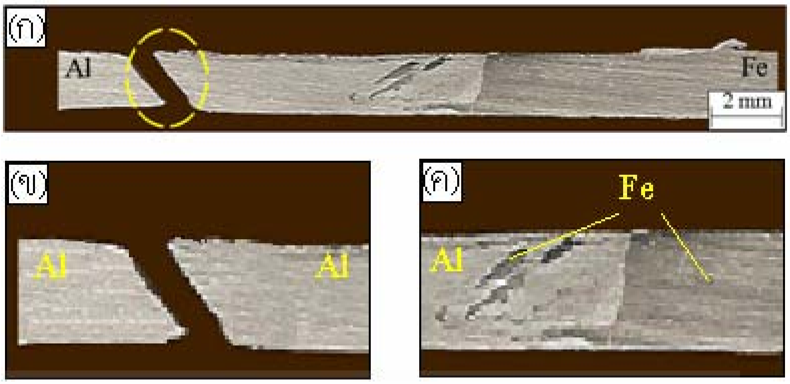
รูปที่ 4.42 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวนที่ระยะ -0.1 0 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวนจะพบว่า เหล็กกล้ามีการแทรกตัวเข้าไปในด้านที่เป็นอลูมิเนียมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของตัวกวน จึงต้องการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายหลังจากการทดสอบแรงดึง



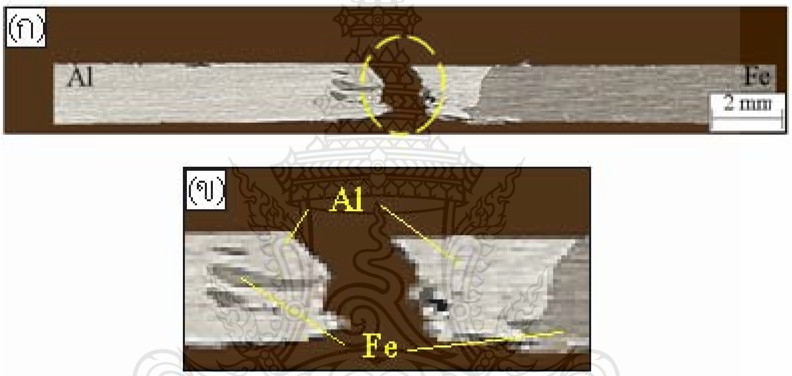
รูปที่ 4.43 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด -0.1 mm.



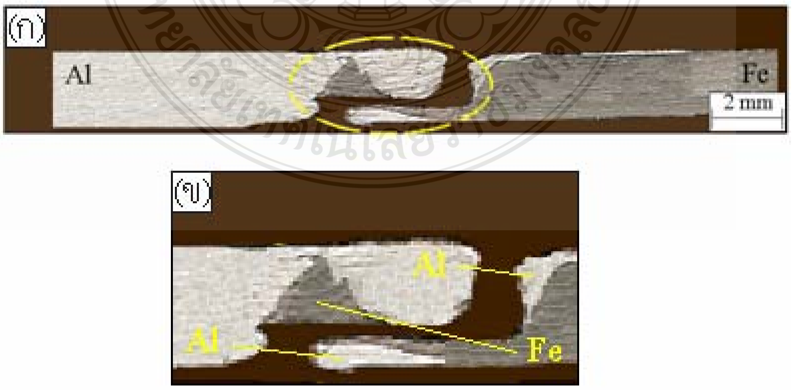
รูปที่ 4.44 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด 0 mm.



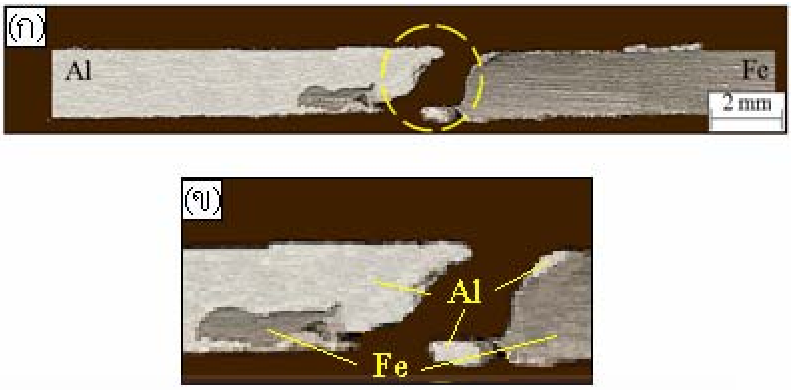
รูปที่ 4.45 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด 0.1 mm.



รูปที่ 4.46 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด 0.2 mm.



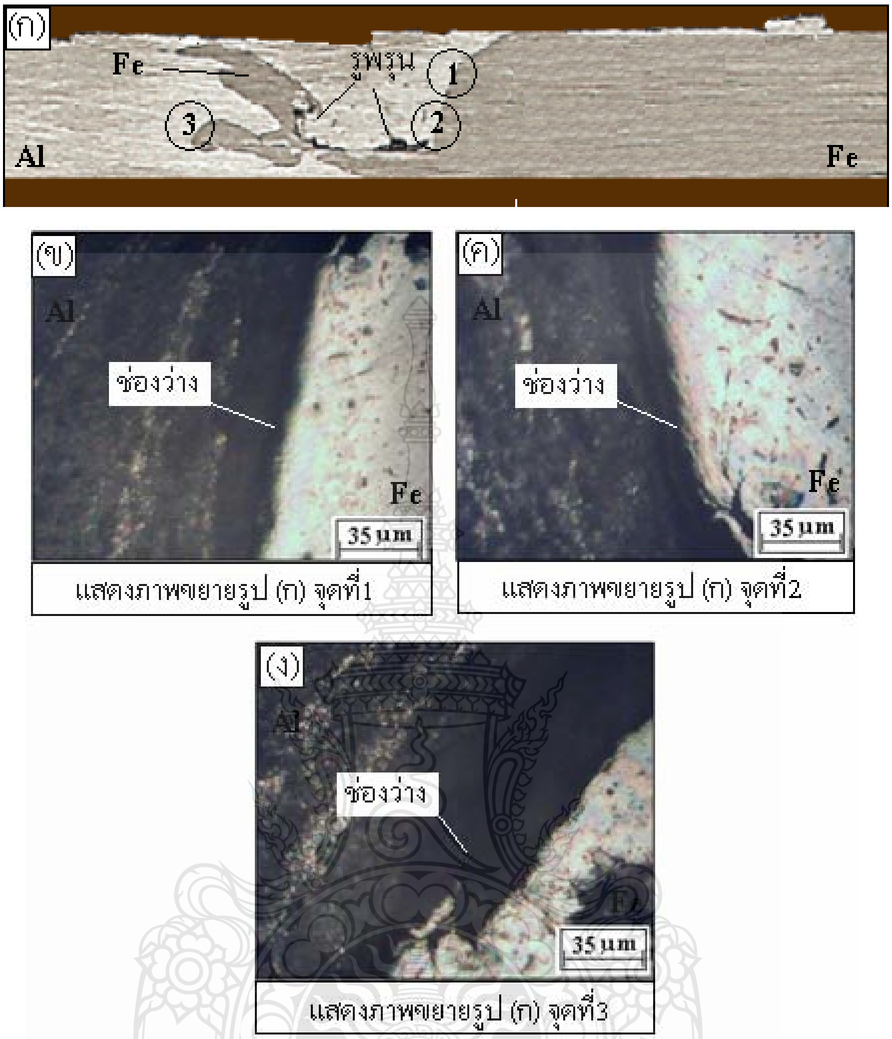
รูปที่ 4.47 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด 0.3 mm.



รูปที่ 4.48 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ระยะสอด 0.4 mm.

โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานหลังจากการทดสอบแรงดึงพบว่าการพังทลายมีความแตกต่างกันออกไป โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.42 จะพบว่าจุดที่เกิดการพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณที่เป็นจุดบกพร่อง รูปที่ 4.43 เมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.42 (ก) พบว่ามีจุดบกพร่องมีลักษณะเป็นโพรง เมื่อทดสอบแรงดึง การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณจุดบกพร่องนั้น เช่นเดียวกันกับ รูปที่ 4.44 การพังทลายเกิดขึ้นบริเวณจุดบกพร่องเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า รูปที่ 4.45 การพังทลายเกิดขึ้นที่วัสดุอลูมิเนียม จากการเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงพบว่าที่สภาวะนี้มีค่าความแข็งแรงดึงที่ดีที่สุด คาดว่าการเชื่อมที่สภาวะนี้ ความเร็วรอบตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง รูปที่ 4.46 การพังทลายเกิดขึ้นที่จุดแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า รูปที่ 4.47 และรูปที่ 4.48 การพังทลายเกิดขึ้นที่จุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นโพรง และเป็นจุดที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า จากการเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาคกับค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมพบว่า ที่การเลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวนที่ -0.1 0 3 และ 4 mm. ตามลำดับ พบว่า ที่ 4 สภาวะนี้พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นทั้งหมด และมีค่าความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การเชื่อมที่ระยะสอด 0.1 และ 0.2 mm. ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น และมีค่าความแข็งแรงดึงไม่ต่างกันมาก เมื่อเทียบกับระยะสอดสภาวะอื่น ดังนั้นจึงได้ทำการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค เพื่อวิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดในหัวข้อต่อไป

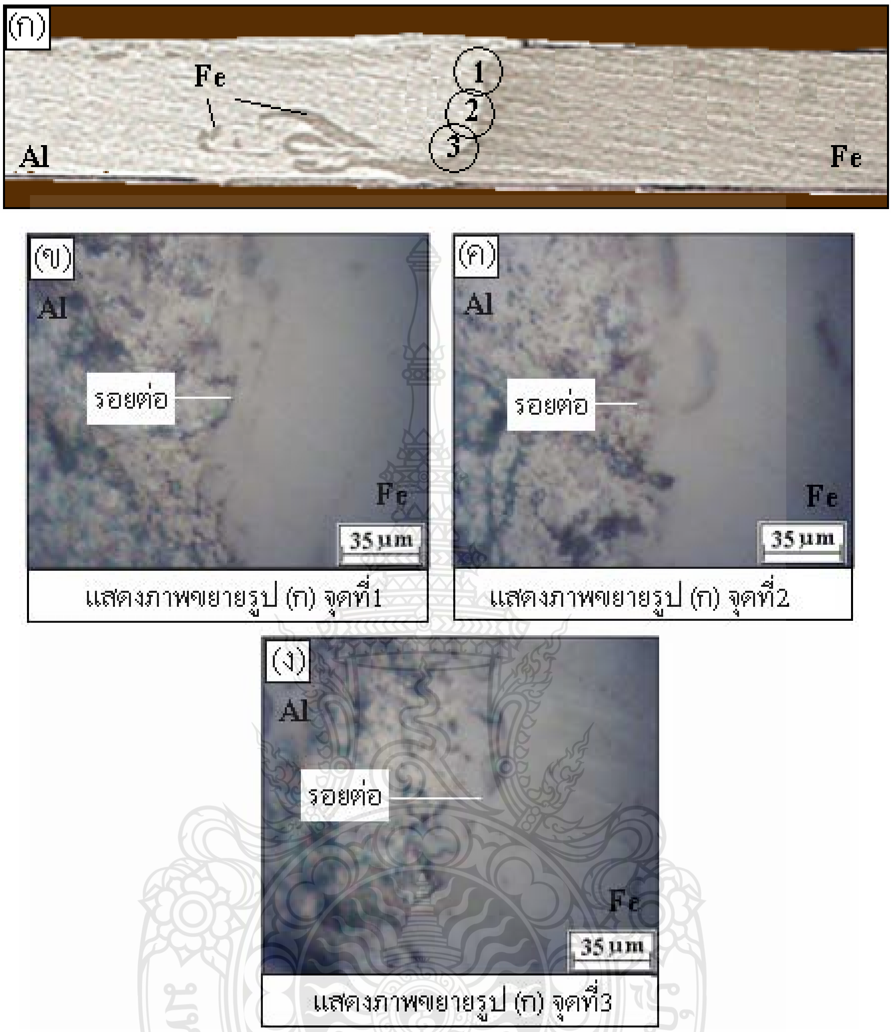
4.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 4.49 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะการสอดของตัวกวน 0.4 mm.

จากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวนพบว่า ที่ระยะการสอดของตัวกวน 0.4 mm. ซึ่งเป็นค่าที่ได้ค่าต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด แนวเชื่อมมีการแทรกตัวเกิดขึ้นขนาดใหญ่ และยังพบว่าเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้นมากมาย เมื่อทำการถ่ายจุลภาคพบว่าจุดที่ 1 บริเวณแนวเชื่อมเกิดส่วนที่ไม่เกิดการประสานกัน เช่นเดียวกับจุดที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณใกล้กับจุดที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมก็พบจุดที่เกิดส่วนที่ไม่ประสานกันของวัสดุ จุดที่ 3 เป็นบริเวณที่วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมแทรกตัวเข้าไปในด้านที่เป็นวัสดุอลูมิเนียมพบว่าเกิดเป็นจุดบกพร่อง มีลักษณะเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ วัสดุทั้ง 2 เกิดระยะห่างจากกันเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งระยะการสอดของตัวกวน 0.4 mm.นี้ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาค จะพบว่าตำแหน่งการพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ซึ่งเป็นจุดที่มีจุดบกพร่องตามแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น จึงเป็นผลที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึง

ต่ำ และจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวนพบว่า การเลี่ยนแปลงระยะการสอดนี้ ไม่ได้ส่งผลให้เกิดการประสานกันของวัสดุทั้งสองที่ดีขึ้น

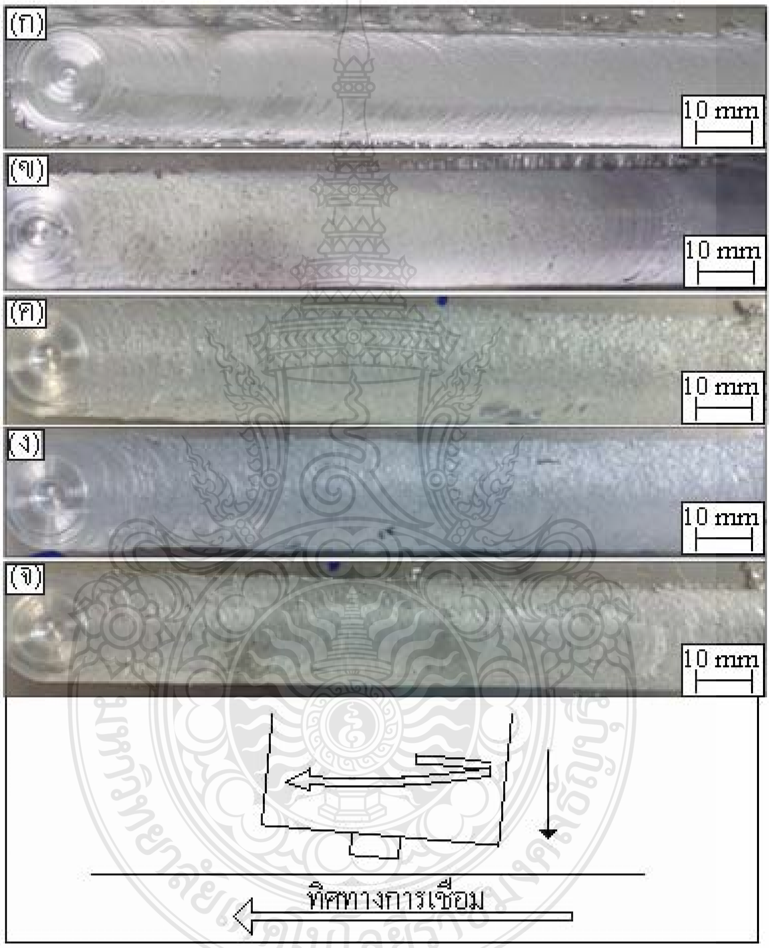


รูปที่ 4.50 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm
ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm.

รูปที่ 4.50 ชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะสอดของตัวกวน 0.1 mm. พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะสอดที่ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 mm. ตามลำดับ พบว่าที่ระสอด 0.1 mm. ยังคงเป็นค่าการทดสอบที่ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด และแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นยังคงมีความสมบูรณ์มากกว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะสอด เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับทุกระยะสอดที่เปลี่ยนแปลงไปโครงสร้างจุลภาคไม่พบว่าเกิดการประสานกันของวัสดุทั้ง 2 ที่ดีขึ้น ที่ระยะการสอดที่ 0.1 mm. โครงสร้างยังคงมีความสมบูรณ์ การประสานกันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ไม่พบจุดที่เกิดเป็นโพรงหรือจุดที่เกิดการไม่ประสานกัน แม้ว่าเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างแล้วจะพบว่ามีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดขึ้น แต่ในบริเวณที่เกิดการแทรก

ตัวนั้นก็ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นเลย และเมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง การพังทลายไม่ได้เกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อมหรือบริเวณที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม แต่เกิดขึ้นบริเวณที่เป็นด้านวัสดุอลูมิเนียม จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูง อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้ยังได้ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวนเพื่อดูว่าลักษณะที่เกิดขึ้นของแนวเชื่อม และค่าความต้านทานแรงดึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

4.6 ผลที่ได้จากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน



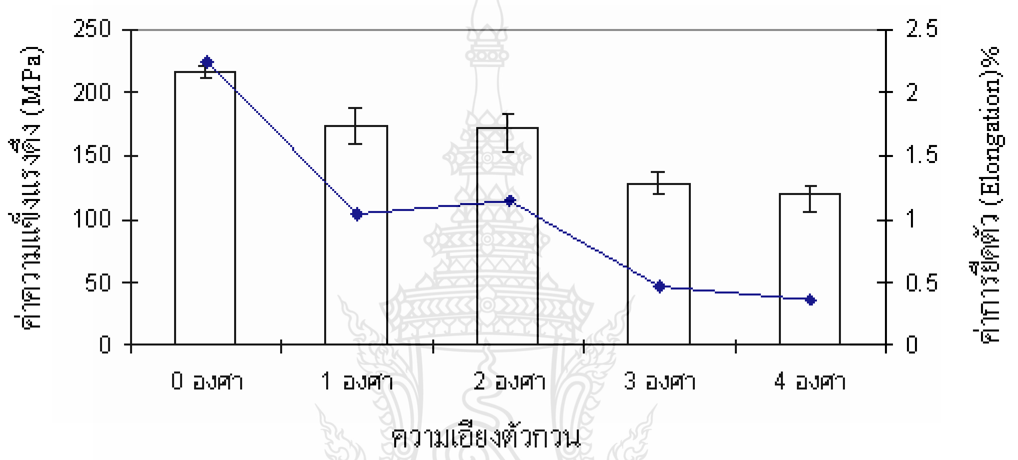
รูปที่ 4.51 ผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน : (ก) ความเอียงของตัวกวน 0 องศา (ข) ความเอียงของตัวกวน 1 องศา (ค) ความเอียงของตัวกวน 2 องศา (ง) ความเอียงของตัวกวน 3 องศา (จ) ความเอียงของตัวกวน 4 องศา

รูปที่ 4.51 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 5 สภาวะจากการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน 0 1 2 3 และ 4 องศา ตามลำดับ จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยตาเปล่าพบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 5 สภาวะ มีลักษณะผิวหน้าที่มีความคล้ายกันทั้งหมด โดยพบว่าแนวเชื่อมมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น โดยรูปที่ 4.51 (ก) และรูปที่ 4.51 (ข) แนวเชื่อมมีลักษณะที่คล้ายกัน โดยมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์ รูปที่ 4.51 (ค) (ง) และ (จ) แนวเชื่อมมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งหมด แนวเชื่อมมีลักษณะผิวหน้าที่สมบูรณ์ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น มีลักษณะของเศษวัสดุเกิดขึ้น จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมของการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวนทั้งหมด ผิวหน้าแนวเชื่อมคล้ายกัน คาดว่าความเอียงของตัวกวนที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจไม่มีผลต่อผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น เนื่องจากตัวแปรความเอียงของตัวกวนนี้ ทำการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวนเพียงเล็กน้อย จึงอาจส่งผลให้ผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการทดสอบหาค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึงโดยกรรมวิธีทดสอบแรงดึงจะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้น

4.6.1 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

จากการเชื่อมตามตัวแปรความเร็วรอบตัวกวน ทำการเชื่อมเข้ากับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมและระยะสอดของตัวกวนทั้งหมดพบว่า ที่ระดับความเร็วรอบที่ระดับ 250 rpm ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min และระยะการสอดตัวกวนที่ 0.1 mm. ได้ผลการทดสอบแรงดึงที่สูงที่สุด จึงนำระดับความเร็วรอบที่ระดับ 250 rpm ระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 mm/min และระยะการสอดตัวกวนที่ 0.1 mm. มาทำการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวนที่ระดับ0 1 2 3 และ 4 องศา ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่ามุมเอียงของตัวกวน ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมลดลง ที่ระดับความเอียงของตัวกวน 0 องศาเกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 217 MPa เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับความเอียงของตัวกวนมาอยู่ที่ระดับ 1 องศา พบว่า เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ต่ำลงมาอยู่ที่ระดับ 173 MPa จากนั้นเมื่อทำการเชื่อมที่ระดับความเอียงของตัวกวนมาอยู่ที่ระดับ 2 องศา พบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยความแรงดึงยังคงมีแนวโน้มที่ต่ำลงจากเดิม โดยได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงอยู่ที่ระดับ 172 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำลงจากเดิมเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระดับความเอียงของตัวกวนที่ 1 องศา เมื่อทำการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเอียงของตัวกวนมาอยู่ที่ระดับ 3 องศา พบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มว่าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ระดับความเอียง 3 องศานี้ พบว่าได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงตกลงมาอยู่ที่ระดับ 128 MPa และที่ระดับความเอียงของตัวกวนที่ระดับ 4 องศา ก็ยังคงพบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึงมีค่าต่ำลงมาอยู่ที่ระดับ 119 MPa โดยผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงทั้งหมดพบว่า ที่ระดับความเอียงของตัวกวน 0 องศา เกิดค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดึงที่ระดับ 217 MPa เป็นค่าแรงดึงที่สูงที่สุด และที่ระดับความเอียงของตัวกวน 4 องศา เกิดค่าเฉลี่ยของ

ความแข็งแรงดึงที่ระดับ 119 MPa เป็นค่าแรงดึงที่ต่ำที่สุด จากการตรวจสอบความสัมพันธ์กันระหว่างผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นกับผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกสภาวะมีความสมบูรณ์ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นอย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงพบว่า ค่าการทดสอบแรงดึงมีความแตกต่างกันถึงแม้ว่าทุกสภาวะจะมีผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว และไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นเหมือนกันหมด จึงคาดว่าผลการทดสอบแรงดึงที่มีความแตกต่างกันนี้อาจมีสาเหตุจากโครงสร้างแนวเชื่อม จึงต้องมีการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเชื่อม และตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงาน เพื่อให้สามารถทราบถึงข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อม



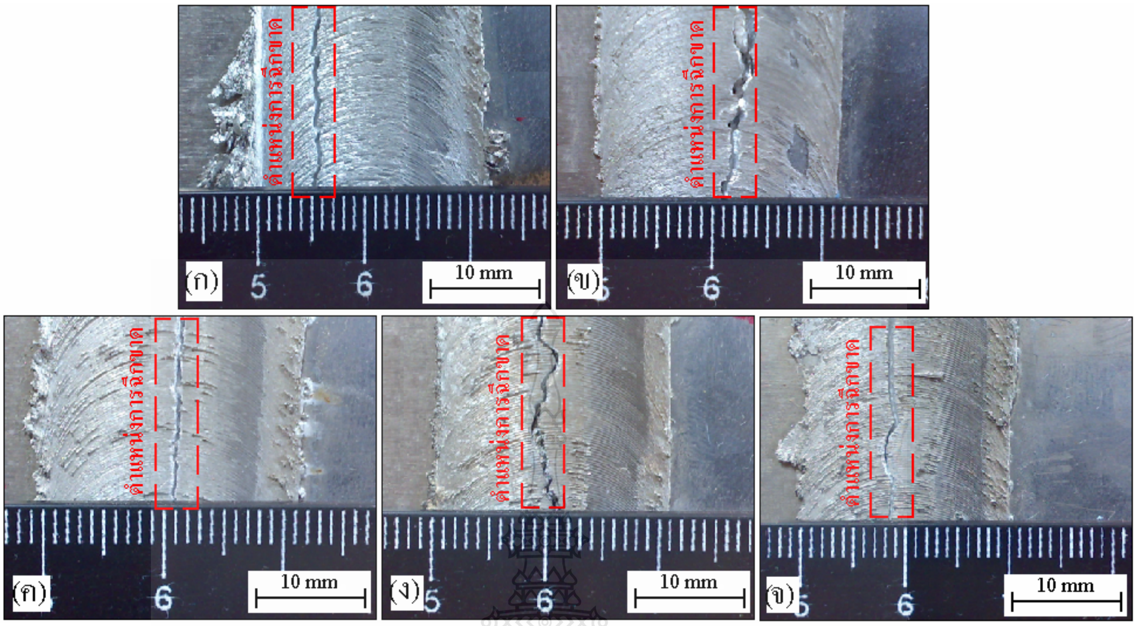
รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความเอียงของตัวกวน และค่าการทดสอบแรงดึง

4.6.2 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานหลังจากทำการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงเพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อม โดยแทนสัญลักษณ์ (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) แทนระดับความเอียงของตัวกวน 0 1 2 3 และ 4 องศา ตามลำดับ ชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการทดสอบแรงดึงจะพบว่ามีลักษณะการฉีกขาดเกิดขึ้นในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด เช่นเดียวกันกับผลการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน รูปที่ 4.53 (ก) ระดับความเอียงของตัวกวน 0 องศา จะพบว่าหลังจากทำการทดสอบแรงดึงตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้นบริเวณด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียม รูปที่ 4.53 (ข) (ค) (ง) และ (จ) พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมด คือเกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม การฉีกขาดเป็นเส้นตรงทั้งหมด

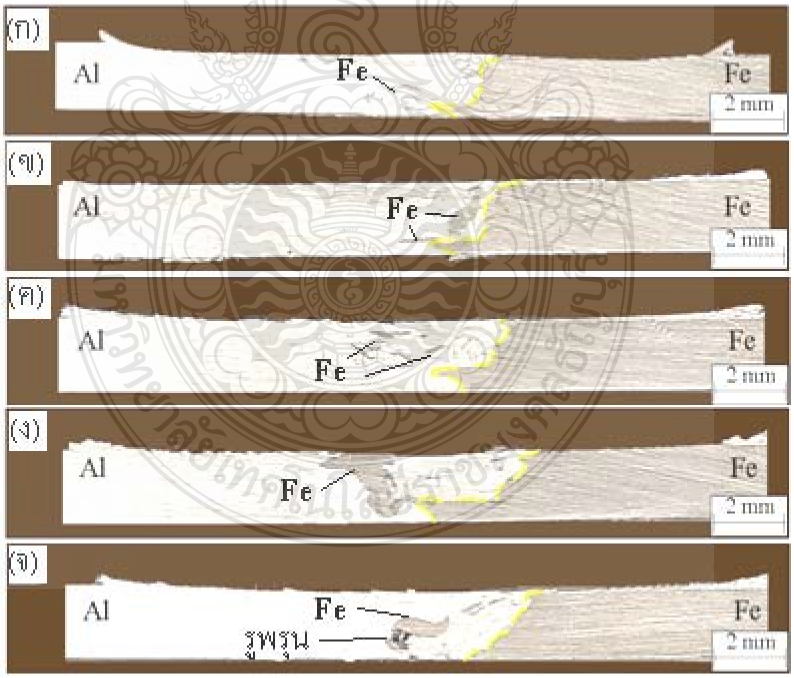
จากการตรวจสอบลักษณะการฉีกขาดที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทั้งในส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบ การเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงระดับความเอียงของตัวกวน พบว่าเกิดการฉีกขาดในตำแหน่งของรอยเชื่อมทั้งหมด มีจุดที่เกิดการฉีกขาดที่มีความแตกต่างกันเพียงบริเวณด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของวัสดุอลูมิเนียมในบางส่วน จึงได้ทำการนำแนวเชื่อมที่ได้ไป

ทำการหล่อเรซิ่น แล้วทำการนำไปขัด เพื่อตรวจสอบโครงสร้างภาพตัดด้านข้าง ที่สามารถยืนยันลักษณะการฉีกขาดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



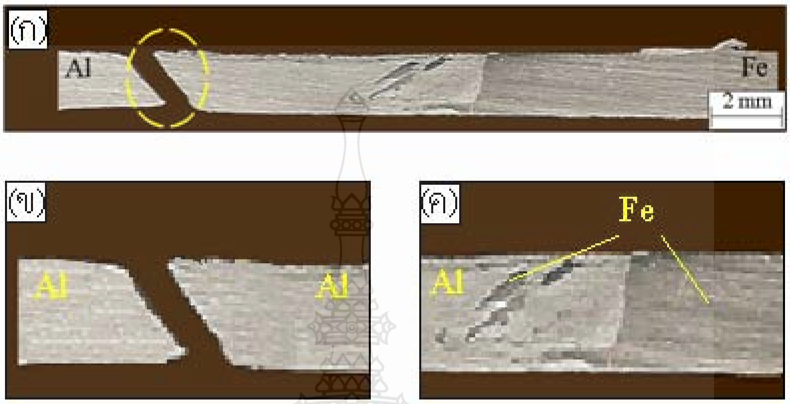
รูปที่ 4.53 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน

4.6.3 โครงสร้างมหภาค

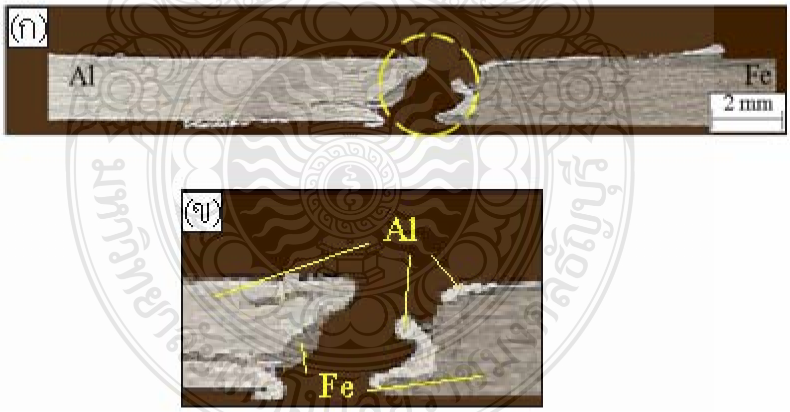


รูปที่ 4.54 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน : (ก) ความเอียงของตัวกวน 0 องศา (ข) ความเอียงของตัวกวน 1 องศา (ค) ความเอียงของตัวกวน 2 องศา (ง) ความเอียงของตัวกวน 3 องศา (จ) ความเอียงของตัวกวน 4 องศา

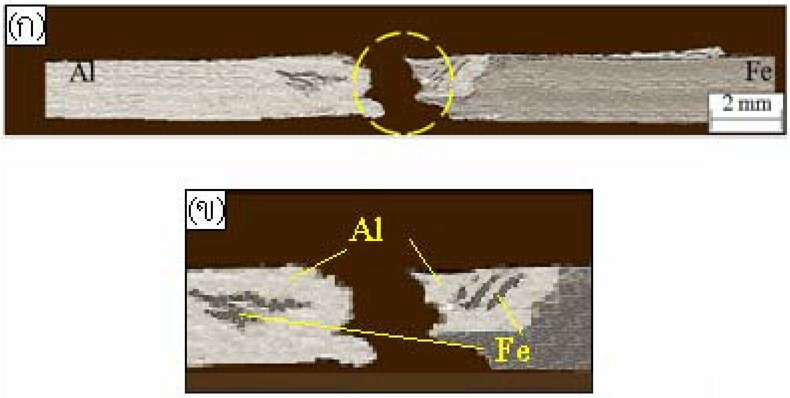
รูปที่ 4.54 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงความเอียงของตัวกวน 0 1 2 3 และ 4 องศา ตามลำดับ จากรูปที่แสดงพบว่า วัสดุจะมีการผสมผสานกันของวัสดุซึ่งมีลักษณะที่มีความแตกต่างกัน จากรูปที่แสดงพบว่า รูปที่ 4.54 (จ) ที่ระดับความเอียงของตัวกวน 4 องศา พบว่ามีจุดบกพร่องเกิดขึ้น จึงต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายหลังจากการทดสอบแรงดึง



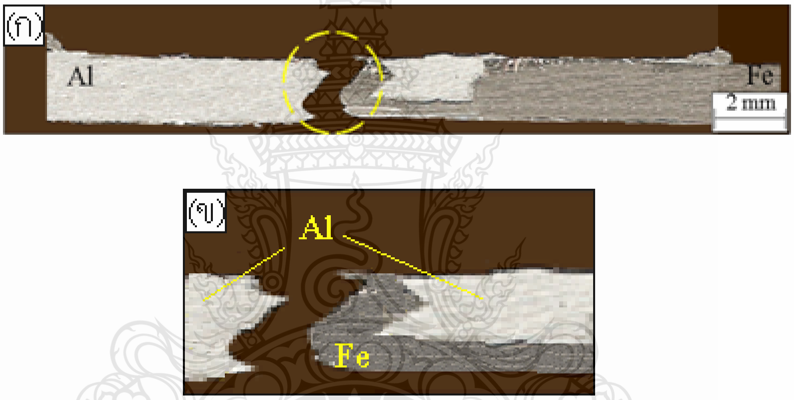
รูปที่ 4.55 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ความเอียงของตัวกวน 0 องศา



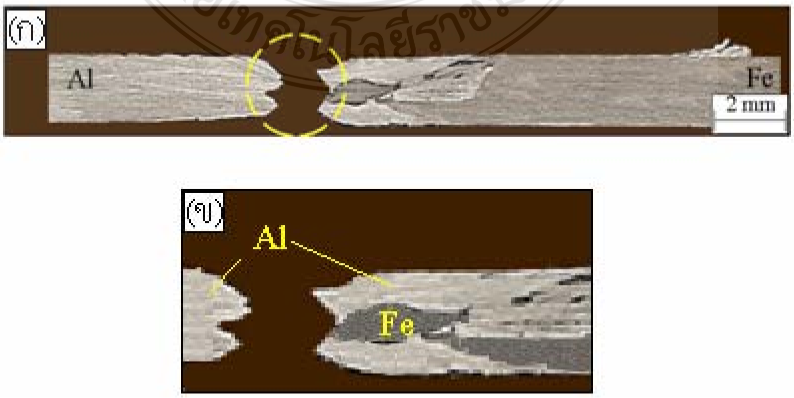
รูปที่ 4.56 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ความเอียงของตัวกวน 1 องศา



รูปที่ 4.57 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ความเอียงของตัวกวน 2 องศา



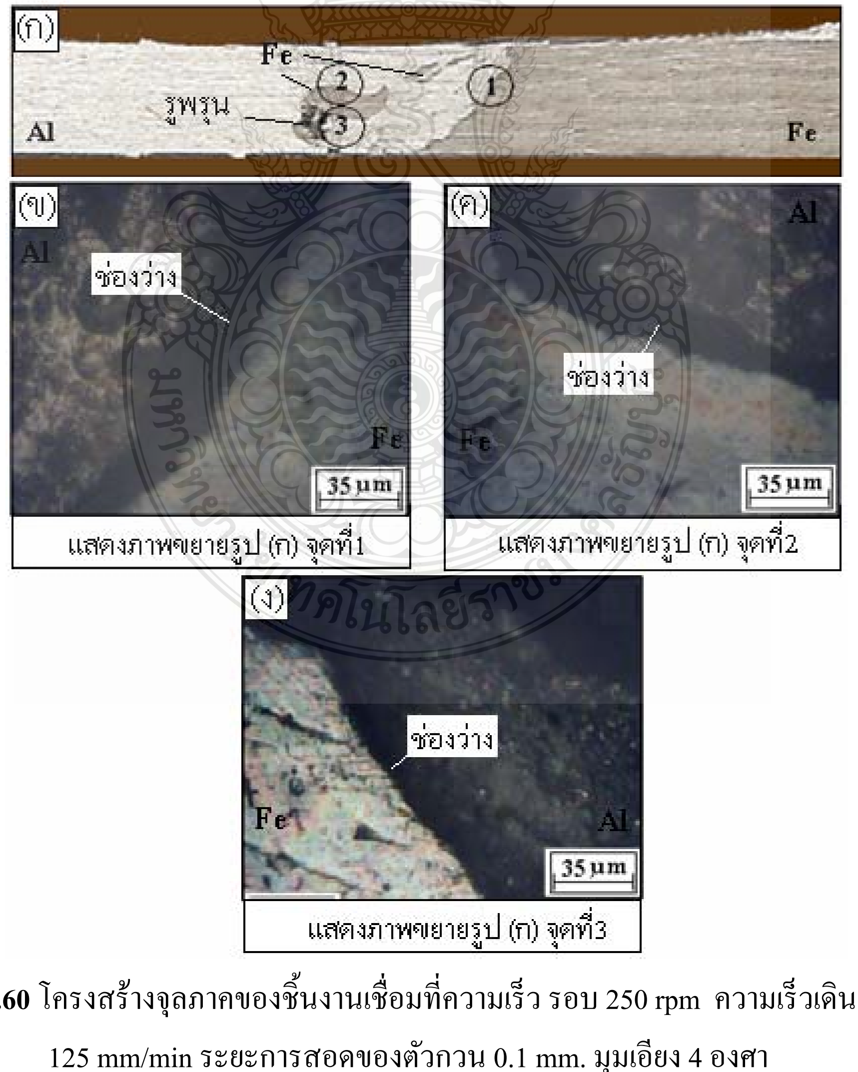
รูปที่ 4.58 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ความเอียงของตัวกวน 3 องศา



รูปที่ 4.59 โครงสร้างมหภาคแสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่ความเอียงของตัวกวน 4 องศา

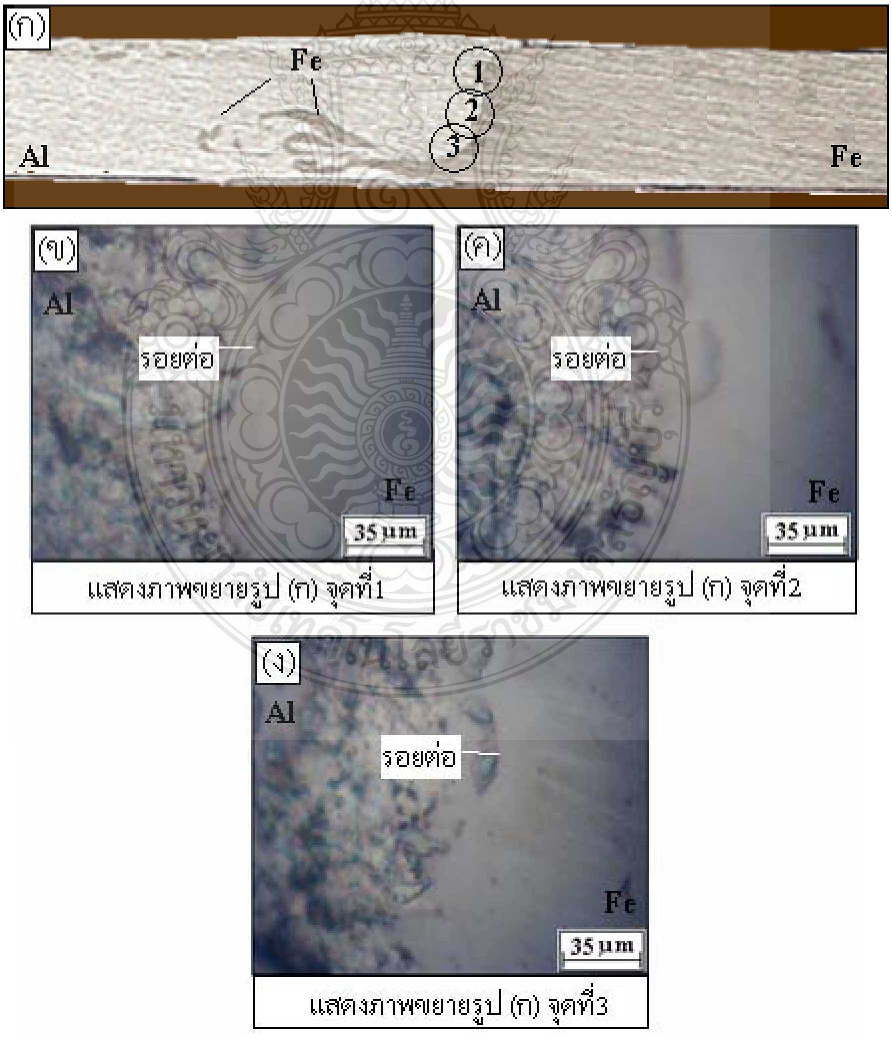
รูปที่ 4.54 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานหลังจากการทดสอบแรงดึงพบว่าการพังทลายมีความแตกต่างกันออกไป รูปที่ 4.55 การพังทลายเกิดขึ้นที่วัสดุอลูมิเนียม มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุด คาดว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรง เมื่อทำการทดสอบแรงดึงการพังทลายจึงเกิดขึ้นที่บริเวณด้านวัสดุอลูมิเนียม รูปที่ 4.56 การพังทลายเกิดขึ้นที่จุดแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า รูปที่ 4.57 มีลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 4.56 คือเกิดการพังทลายเกิดขึ้นที่จุดแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า และทั้ง 2 สภาวะนี้มีค่าความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.58 พบว่าวัสดุเหล็กกล้ามีการแทรกตัวเข้าไปในด้านวัสดุอลูมิเนียมเป็นแนวยาวลึก การพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า รูปที่ 4.59 พบว่าวัสดุเหล็กกล้ามีการแทรกตัวเข้าไปในด้านวัสดุอลูมิเนียมเช่นเดียวกันกับ รูปที่ 4.58 เมื่อสังเกตจากโครงสร้างมหภาคก่อนทำการทดสอบแรงดึงพบว่า ที่สภาวะนี้เป็นสภาวะเดียวที่พบว่ามีจุดบกพร่องเกิดขึ้น และจากการทดสอบแรงดึงที่สภาวะนี้ได้ค่าความแข็งแรงที่ต่ำที่สุด การพังทลายเกิดขึ้นที่บริเวณแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้า ในหัวข้อต่อไปได้ทำการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคจากการทดลองเพื่อสามารถวิเคราะห์ลักษณะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

4.6.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 4.60 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียง 4 องศา

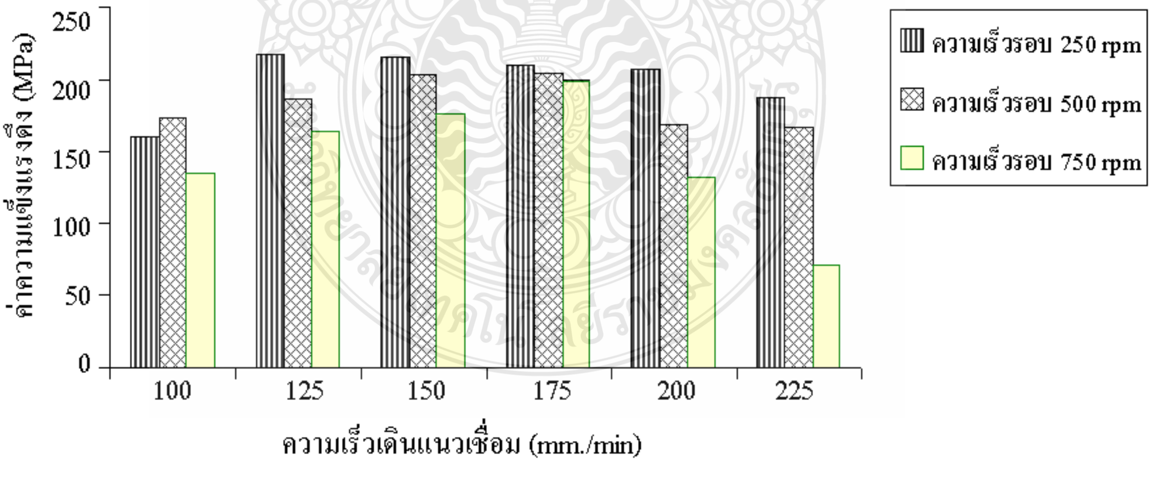
รูปที่ 4.60 ชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียงของตัวกวน 4 องศา พบว่าที่สภาวะนี้เมื่อตรวจสอบที่โครงสร้างมหภาคจะพบว่าชิ้นงานเกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม และที่บริเวณแทรกตัวนี้พบว่าเกิดจุดบกพร่องเกิดขึ้น มีลักษณะเป็นโพรง เมื่อทำการตรวจสอบแนวเชื่อมโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์พบว่า จุดที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นโพรง เกิดจากการไม่ประสานกันของอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าไร้สนิม จุดที่ 2 และจุดที่ 3 เป็นส่วนที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่า มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถมองเห็นได้ทั้งในแบบโครงสร้างมหภาค เมื่อทำการถ่ายโครงสร้างจุลภาคพบว่า บริเวณที่เกิดการแทรกตัวนี้นอกจากจะพบจุดบกพร่องที่เป็นโพรงแล้วยังพบว่าขอบวัสดุที่เป็นส่วนของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมยังเกิดการไม่ประสานกันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคพบว่า เมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเกิดการพังทลายที่บริเวณที่เกิดการแทรกตัวนี้ ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดโพรงและยังเป็นส่วนที่เกิดการไม่ประสานกันของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมอีกด้วย จึงคาดว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำ



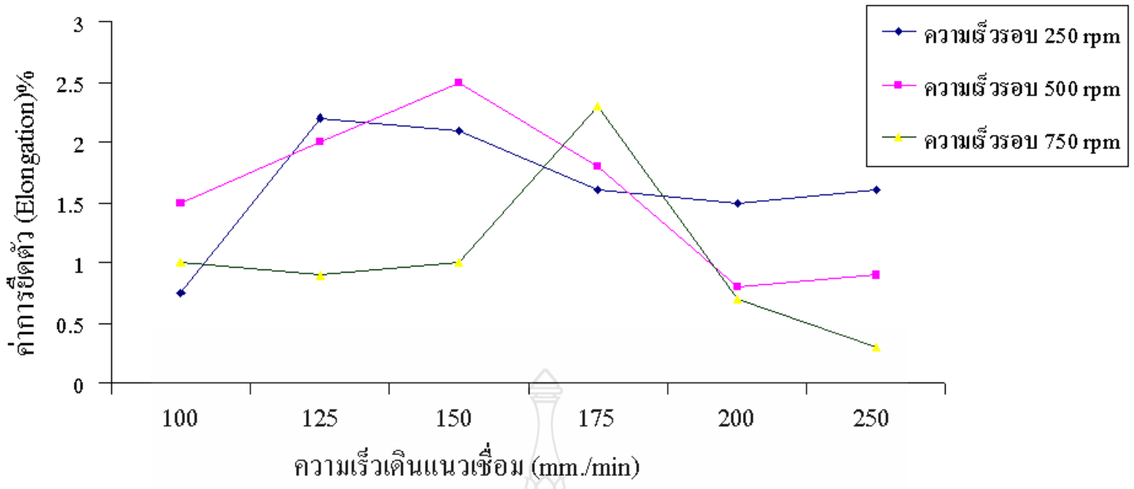
รูปที่ 4.61 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็ว รอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะการสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียง 0 องศา

รูปที่ 4.61 ชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียงของตัวกวน 0 องศา ที่สภาวะนี้พบว่า เป็นสภาวะที่ดีที่สุดเมื่อได้ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบของตัวกวน การเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมของตัวกวน การเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวน ซึ่งเมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง พบว่าสภาวะนี้ได้ค่าแรงดึงที่สูงที่สุดคืออยู่ที่ระดับ 217 MPa พบจุดที่เกิดการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณด้านที่เป็นวัสดุอลูมิเนียม เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคพบว่า เกิดจุดที่เกิดการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ให้สามารถเห็นภาพที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า และโครงสร้างมหภาค พบว่าโครงสร้างมีการประสานกันของวัสดุทั้ง 2 เข้ากันอย่างสมบูรณ์ ถึงแม้จะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังการขยายสูง แต่ก็ไม่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อม และบริเวณที่มีการแทรกตัวของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม

จากการทดลองโดยการโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วรอบของตัวกวน การเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมของตัวกวน การเปลี่ยนแปลงระยะการสอดของตัวกวน และการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตัวกวน พบว่าที่สภาวะการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระยะสอดของตัวกวน 0.1 mm. มุมเอียงของตัวกวน 0 องศา ได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดอยู่ที่ระดับ 217 MPa



รูปที่ 4.62 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงระหว่างความเร็วรอบตัวกวนและความเร็วเดินแนวเชื่อม



รูปที่ 4.63 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบค่าการยืดตัวระหว่างความเร็วรอบตัวกวนและความเร็ว เดินแนวเชื่อม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลการดำเนินการวิจัย

การศึกษาและวิจัยนี้เป็นการทดลองศึกษาอิทธิพลหลักของตัวแปรสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่อชน ระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ที่มีการศึกษาตัวแปรการเชื่อม ประกอบไปด้วย ความเร็วรอบตัวกวน ความเร็วในการเดินของตัวกวน ระยะสอดของตัวกวน มุมเอียงของตัวกวน โดยทำการเชื่อมแบบต่อชนระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ชิ้นงานทดลองมีขนาด 75 x 150 x 2 mm. เพื่อหาสภาวการณ์เชื่อมที่เหมาะสม และให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดในการเชื่อมเสียดทานต่อกลสมบัติของรอยต่อชน นอกจากนั้นได้ทำการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง ตรวจสอบโครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค ผลที่ได้จากการทดลองสรุปดังนี้

5.1.1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ที่ระดับความเร็วตัวกวน 250 rpm ระดับความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ระดับระยะสอดที่ 0.1 mm. และระดับมุมเอียงของตัวกวน 0 องศา จะได้ค่าความต้านทานแรงดึง 217 MPa ซึ่งคิดเป็น 83% ของอลูมิเนียม 5052 ที่ใช้เป็นวัสดุหลัก

5.1.2 ระดับความเร็วรอบตัวกวนที่ 750 rpm ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุด และระดับความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 225 mm/min ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดในการเดินแนวเชื่อม ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุดเนื่องจากระดับความเร็วรอบตัวกวนที่สูงเกินไป ทำการเชื่อมโดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่สูงเกินไป เกิดการไม่สัมพันธ์กันส่งผลให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม

5.1.3 ที่ระดับความเร็วรอบตัวกวน 250 rpm เมื่อทำการลดระดับความเร็วรอบตัวกวนจะส่งผลให้ไม่สามารถเชื่อมได้ และเมื่อทำการเพิ่มความเร็วตัวกวนจะมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดลงเช่นกัน

5.1.4 การเปลี่ยนแปลงระยะสอดของตัวกวน มีผลทำให้ตัวกวนเกิดการสึกกร่อนมากขึ้น ส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงลดน้อยลง

5.1.5 จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม เมื่อมองจากโครงสร้างจุลภาค มีผลทำให้เกิดการพังทลายจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงในบริเวณนั้น

5.2 ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

5.2.1 ศึกษาสมบัติทางกลด้านอื่น ที่มีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม เพื่อสามารถนำไปใช้งานได้ตามลักษณะที่จะนำไปใช้

5.2.2 สภาวะที่ดีที่สุดในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียม 5052 และ เหล็กกล้าไร้สนิม 430 นี้ อาจมีการเปลี่ยนไปจากเดิม ในกรณีที่ทำการเปลี่ยนแปลงวัสดุเป็นชนิดอื่นๆ หรือ เปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ

5.2.3 สามารถนำหลักการทำงานไปทำการเปลี่ยนแปลงการกวนหรือขนาดของตัวกวนเพื่อศึกษาสมบัติทางกลที่เปลี่ยนแปลงต่อไป

5.2.4 การทดลองนี้ใช้ความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเป็นตัวแปรหลัก แล้วทำการนำค่าที่ดีที่สุดมาทำการทดลองตัวแปรระยะสอดตัวกวนและมุมเอียงของตัวกวนซึ่งผลการทดลองอาจมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีที่เปลี่ยนแปลงตัวแปรหลักหรือทำการทดลองแบบใช้ระดับตัวแปรทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

[1] Sun, Z. and karppi, R., **The Application of Electron Beam Welding for the Joining of Dissimilar Metals: An Overview**. J. of Matrials Processing Technology 59 (996), pp.257-267.

[2] Branes, T.A. and Pashyby, I.R., **Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding.** J. of Matrials . Processing Technology 99 , 2000, pp.62-71.

[3] Brandon, D. and Kaplan, W.D., **Joining Processes, An introduction**. Newyork : John Wiley & Sons, 1997, p. 364.

[4] Anucha, K. and Somnuk, W., "**Mechanical Properties Comparison Of Welded Aluminum Alloy AA6063-T1 By Friction Stir Welding Using Cylindrical Pin Tool With Smooth Surface And Threaded Surface,"** 24 Oct 2550.

[5] Thomas et al., **Friction Stir Welding**. Patent Application, G.B., 1991, No.9125978.8.

[6] http://www.m-osaka.com/fsw/en/fsw/images/about_fsw.gif

[7] Adamowski, J. and Szkodo, M., **Division of Faculty of Materials Engineering**. Gdansk University of Technology, Poland.

[8] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, "อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุดต่อความแข็งแรงรอยต่อเกยอลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304",**การประชุมวิชาการงานวิศวกรรมอุตสาหการ**, 24ตุลาคม 2550 , 2550. หน้า539-544.

[9] http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/5/aluminum/aluminum1.htm

[10] Kittipong Kimapong., "Influence of FSW Welding Parameter on Mechanical Property of Aluminum Alloy and Ferritic Stainless Steel Butt Joint" .

[11] ประภาส เกตุไทย , **หนังสือการเชื่อมโลหะ1** (ออนไลน์), เข้าถึงได้จาก : www.repairmans.ner/welder-th/welder-metal/solder-in-metal.asp. (30 ตุลาคม 2551).

[12] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, **การเชื่อมโลหะ** (ออนไลน์), 2551. เข้าถึงได้จาก: http://th.wikipedia.org/wiki/ (25 ตุลาคม 2551).

[13] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, บุญส่ง จงกลนี, และสมควร แววดี, **"อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI1015,"** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[14] สมศักดิ์ ศรีป่าหมาก, "อิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน," **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ "ราชมงคลอีสานวิชาการ",** ครั้งที่ 1, 9-13 มกราคม 2552, ณ ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา, 2552. หน้า 35.

[15] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย , 2541 . **เหล็กกล้าไร้สนิม** [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก : http://www.cigweld.com.au/pages/images/techinfo/consumtech/st_steel.pdf (2 กุมภาพันธ์ 2551).

[16] **stainless steel 430** (ออนไลน์), 2551. เข้าถึงได้จาก : www.430 stainless steel material property data sheet.com (29 ตุลาคม 2551).

[17] **งานอลูมิเนียม** (ออนไลน์) , 2550. เข้าถึงได้จาก : **http://www.aluminiumlearning.com** (31 สิงหาคม 2551).

[18] Engineering Materials : Nonferrous metal (ออนไลน์), 2551. เข้าถึงได้จาก : www. course.eau.ac.th (29 ตุลาคม 2551).

[19] **โลหะนอกกลุ่มเหล็ก** (ออนไลน์), 2551. เข้าถึง ได้จาก : http://www.gprecision.net/metallurgy-Nonferrous-Metals.html. (18 ตุลาคม 2551).

[20] เชิดเชลง ชิตชวนกิจ และคณะ, **วิศวกรรมการเชื่อม**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, กรุงเทพฯ, 2524, หน้า 123-130.

[21] ภาควิชา ครุศาสตร์อุตสาหการ คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, **Instruction for Aluminium** (ออนไลน์), เข้าถึงได้จาก: http://www. The WebPage Assisted Instruction for Aluminium.com (30 ตุลาคม 2551).

[22] http://ivandwisaputra.wordpress.com/2008/05/09/phase-diagram-fe-al/

[23] แหล่งที่มาThe American National Standards Institute . 2003 . American Welding Society.

[24] **การทดสอบแรงดึง (Tension Test)** (ออนไลน์), 2551. เข้าถึงได้จาก: http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/courses/5513101/chaptor_6/tension_test.doc (20 มีนาคม 2551).

[25] มณฑล ฉายอรุณ. 2536. **การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ**. ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, กรุงเทพฯ.

[26] แหล่งที่มา http://images.google.co.th/imgres?imgurl=http://www.ponpe.com/images/stories/cmt/microscope/microscope

[27] แหล่งที่มา http://www.princess-it.org/kp9/hrhprojects/file/20060327_sammakkee/Aee/Lunla/index.htm

[28] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, อนินท์ มีมนต์, “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์ต่อกลสมบัติรอยต่อชนอลูมิเนียมและเหล็กกล้า,**” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี,** ปีที่ 4, ฉบับที่ 7, มกราคม – มิถุนายน 2549.

[29] ณัฐ แก้วสกุล, เรวัฒน์ ซ่อมสุข และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ , “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วย การเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304,” 2550. **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,** ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551 , หน้า 98.

[30] อนุชา ขวัญสุข, **เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอลูมิเนียมเจือ AA6063 - T1,** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายสิทธินัน บุญเลิศ
วัน เดือน ปีเกิด	11 มกราคม 2526
ที่อยู่	4/1 หมู่ 5 ตำบล บ้านกุ่ม อำเภอ บางบาล จังหวัด พระนครศรีอยุธยา 13250
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

สิทธินัน บุญเลิศ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และบุญส่ง จงกลนี, "อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430," การประชุมทางวิชาการ , ครั้งที่ 5, 8 – 9 ธันวาคม 2551, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2551.