

อิทธิพลของการเชื่อมเสียดทานแบบวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่าง
อลูมิเนียม AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

EFFECT OF MULTI-PASSES FSW ON AA6063 ALUMINUM
AND AISI430 STAINLESS STEEL LAP JOINT PROPERTIES

เอกลักษณ์ ตันติพิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

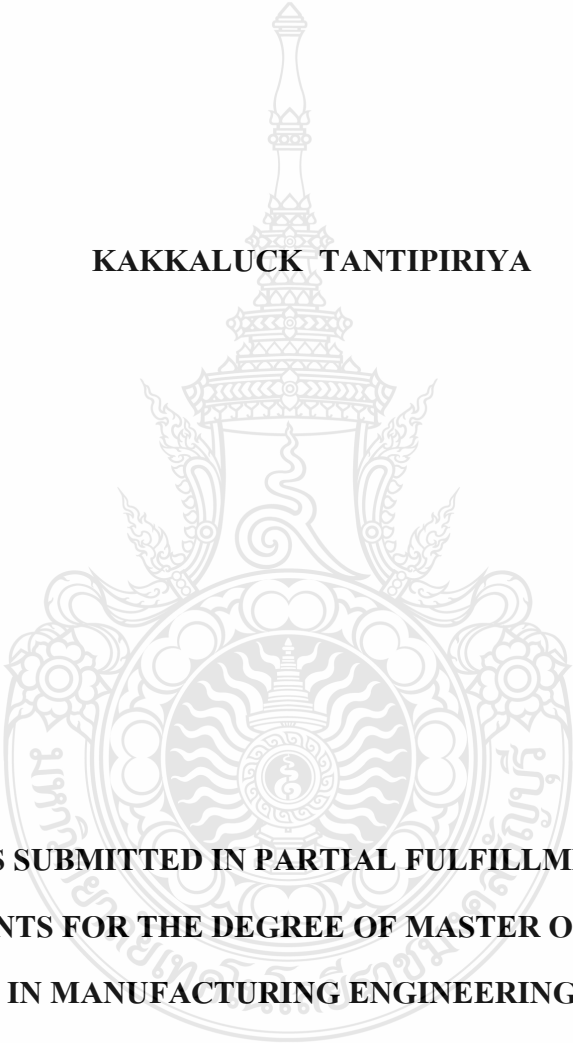
อิทธิพลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่าง
อลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430

เอกสิทธิ์ ตันติพิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**EFFECT OF MULTI-PASSES FSW ON AA6063 ALUMINUM
AND AISI430 STAINLESS STEEL LAP JOINT PROPERTIES**

KAKKALUCK TANTIPIRIYA



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN MANUFACTURING ENGINEERING FACULTY OF
ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

THANYABURI ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY

OF TECHNOLOGY THANYABURI

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่าง
อลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430

Effect of Multi-passes FSW on AA6063 Aluminum and AISI430 Stainless

Steel Lap joint Properties

ชื่อ - นามสกุล

นายเอกกฤษณ์ ตันติพิริยะ

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr-Ing.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 23 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่าง อลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430
ชื่อ-นามสกุล	นายเอกลักษณ์ ตันติพิริยะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

รอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าถูกใช้งานในอุตสาหกรรมรถยนต์เนื่องจากความต้องการโครงสร้างน้ำหนักเบาที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและรักษาสีเงาผิวถึงแม้ว่าการเชื่อมหลอมละลายระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กเป็นสิ่งที่ยากลำบาก แต่รอยต่อเกยนี้สามารถเชื่อมในสถานะของแข็งด้วยการเชื่อมเสียดทานกวนซ้ำด้วยกันและแสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่มีค่าสูงกว่าโลหะฐานอลูมิเนียม ในการเชื่อมเสียดทานกวนซ้ำนี้ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อการรวมตัวของวัสดุรอยต่อเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการเพิ่มการรวมตัวของวัสดุรอยต่อโดยการประยุกต์การเชื่อมเสียดทานกวนซ้ำแนวในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430

วัสดุในการทดลองคือ อลูมิเนียมผสม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ขนาดของแผ่นเท่ากับยาว 200 มม. กว้าง 105 มม. และหนา 3 มม. รอนต่อถูกเชื่อมเสียดทานกวนด้วยความเร็วรอบ 250-750 รอบต่อนาที การเดินแนว 175 มม./นาที ระยะการเชื่อมซ้ำ 0-2 มม. และความเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา รอยต่อที่ผ่านการเชื่อมถูกนำไปตรวจสอบความแข็งแรง ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาค

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มระยะการเชื่อมซ้ำส่งผลทำให้ความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเพิ่มขึ้นตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้ความแข็งแรงดึงเฉือน 17460 นิวตัน คือความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนว 175 มม./นาที ระยะการเชื่อมซ้ำ 2 มม. และมุมเอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา การเพิ่มส่วนของเหล็กที่ถูกกวนผ่านผิวสัมผัสเข้าสู่พื้นที่การกวนส่งผลทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่การยึดเหนี่ยวของวัสดุ โครงสร้างจุลภาคที่ผิวสัมผัสแสดงการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะ FeAl ซึ่งบ่งชี้ให้ทราบว่ารอยต่อมีสมบัติความเหนียวและความแข็งแรง

คำสำคัญ: อลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม การเชื่อมเสียดทานแบบกวน รอยต่อเกย

Thesis Title Effect of Multi-passes FSW on AA6063 Aluminum alloy and AISI430 Stainless Steel Lap joint Properties

Name-Surname Mr.Eakkaluck Tantipiriya

Program Manufacturing Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.

Academic Year 2014

ABSTRACT

Aluminum/steel lap joint is applied in automobile industry because of a requirement of the light weight structure that can affect to save energy and preserve environment. Although, fusion welding of aluminum/steel joint is difficult, however, this joint could be solid state welded using friction stir weld (FSW) and show a higher tensile strength than that of the base aluminum. In FSW, an increase of the joint strength could be reached when a combination of the materials around the joint interface was increased. This research aims to investigate the materials combination around the joint interface by applying multi-passes FSW on dissimilar AA6063 aluminum alloy/ AISI430 stainless steel lap joint.

Materials in this experiment were AA6063 aluminum alloy and AISI430 stainless steel. Plates dimension was 200 mm. in length, 105 mm. in length and 3.0 mm. in thick. FSW applied to weld the lap joint using a rotating speed of 250-750 rpm, a travelling speed of 175 mm/min, multi-passes distance of 0-2 mm, and a tool tilt angle of 2 degrees. The FSW lap joint was investigated for joint strength, hardness and microstructure.

The experimental results showed that increase of the multi-passes distance affected to increase the tensile shear strength of the lap joint. The optimum welding parameter that showed the tensile shear strength of 17460 N was a rotating speed of 750 rpm, a travelling speed of 175 mm/min, multi-passes distance of 2 mm, and a tool tilt angle of 2 degrees. Increase of the steel parts that were stirred by the FSW tool across the joint interface to the stir zone affected to increase the tensile shear strength of the joint because of the bonding area between aluminum and steel was increased. Interface structure of maximum tensile shear strength lap joint also showed the formation of FeAl intermetallic compound phase that implied the ductile properties.

Keyword: aluminum, stainless steel, friction stir welding, lap joint,

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ชัยยะ ปรานิตพลกรัง อาจารย์ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบ และ อาจารย์พิชัย จันทรมณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคนิคอุตสาหกรรมยานยนต์ วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาบุรี วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิและ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลา ของการศึกษา ทำการวิจัย และขอขอบคุณ นางสาวนิภา ทะจัด

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกลักษณ์ ตันติพิริยะ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(14)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุ.....	4
2.2 ตัวแปรการเชื่อ.....	8
2.3 การเชื่อม.....	9
2.4 โลหะวิทยาการรวมตัวระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก.....	11
2.5 การทดสอบสมบัติชิ้นงาน.....	13
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	20
2.7 เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	33
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	33
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิจัย	47
4.1 อิทธิพลของระยะห่างการเชื่อมต่อ ความเร็วรอบ ความเร็วเดินตัวกวน และที่มีผลต่อผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย	47
4.2 อิทธิพลของตัวแปรเชื่อมที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือน	51
4.3 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกย	54
4.4 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกย	56
4.5 ลักษณะรอยพังทลายบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณรอยต่อเกย	60
4.6 ลักษณะรอยพังทลายบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณรอยต่อเกย	62
4.7 ศึกษาค่าความแข็งของรอยเชื่อม	67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง	71
รายการอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ตารางผลค่าความแข็งแรงดึงเฉือน	77
ภาคผนวก ข ลักษณะโครงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม	85
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	95
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	6
ตารางที่ 2.2 การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม.....	7
ตารางที่ 2.3 สมบัติของอลูมิเนียมผสม	7
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการเชื่อมแบบหลอมเหลวกับการเชื่อมใน สภาวะของแข็ง.....	10
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นตรวจสอบที่เป็นเหล็ก	17
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นตรวจสอบที่เป็น โลหะนอกกลุ่มเหล็ก.....	19
ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมแผ่นรีด AA6063 และเหล็กกล้าสไตน์ AISI430	68



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน(FSW).....	11
รูปที่ 2.2 แผนภาพสมมูลเฟสของอะลูมิเนียมและเหล็ก.....	12
รูปที่ 2.3 หลักการของแรงเฉือนเดี่ยว.....	14
รูปที่ 2.4 การเตรียมชิ้นทดสอบ โครงสร้างจุลภาค.....	16
รูปที่ 2.5 การขัดผิวชิ้นทดสอบ	16
รูปที่ 2.6 อำนาจแยกแยะของ SEM.....	20
รูปที่ 2.7 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	21
รูปที่ 2.8 สัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร	22
รูปที่ 2.9 สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ.....	22
รูปที่ 2.10 สัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ.....	23
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จิสเพอร์ซีฟสเปกโตรเมตรี (EDS)	23
รูปที่ 2.12 ลักษณะหวัคคและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers	25
รูปที่ 3.1 แบบการวางชิ้นงานก่อนการเชื่อม.....	34
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองชิ้นงาน	35
รูปที่ 3.3 การจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อม.....	35
รูปที่ 3.4 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ทำการเชื่อม	36
รูปที่ 3.5 เครื่องจัดกระจายทราย	37
รูปที่ 3.6 รูปที่ทำการเชื่อมด้วยตัวกวน.....	38
รูปที่ 3.7 เครื่องกัดอัด โนมตีแนวตั้ง	39
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม	39
รูปที่ 3.9 เครื่องตัดชิ้นงาน.....	40
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานที่ตัดแล้ว.....	40
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	41
รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่นำไปทำสอบแรงดึงเฉือนเดี่ยว	42
รูปที่ 3.13 เครื่องหล่อเรซิน	43
รูปที่ 3.14 ชิ้นงานหลังการหล่อเรซิน	43

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบ.....	44
รูปที่ 3.16 กล้องตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคชนิดสะท้อนแสง.....	44
รูปที่ 3.17 บริเวณชิ้นงานที่ดู โครงสร้าง.....	45
รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด Scanning Electron Microscope` (SEM)	46
รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่กวนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min. ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง	48
รูปที่ 4.2 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่กวนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min. ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง.....	49
รูปที่ 4.3 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่กวนด้วยความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm./min. ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง	50
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเดือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 175 mm./min. มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0-2 mm.	51
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเดือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 175 mm./min. มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0-2 mm.	52
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเดือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 175 mm./min. มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0-2 mm.	53
รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง 0 mm. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที.....	54
รูปที่ 4.8 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง 1 mm. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที.....	55
รูปที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง 2 mm. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที.....	55
รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา	57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ด้วยความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา	58
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ด้วยความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา	59
รูปที่ 4.13 รอยฉีกขาดที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที ก)ระยะห่าง 0 มม. ข)ระยะห่าง 1 มม. ค) ระยะห่าง 0 มม.....	60
รูปที่ 4.14 รอยฉีกขาดที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที ก)ระยะห่าง 0 มม. ข)ระยะห่าง 1 มม. ค) ระยะห่าง 1 มม.....	61
รูปที่ 4.15 รอยฉีกขาดที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที ก)ระยะห่าง 0 มม. ข)ระยะห่าง 1 มม. ค) ระยะห่าง 2 มม.....	62
รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึง เนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	63
รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึง เนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	64
รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึง เนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	65
รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคและการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของธาตุนบนพื้นที่ตำแหน่ง พังทลายความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที เชื่อมด้วยตัว กวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย	66

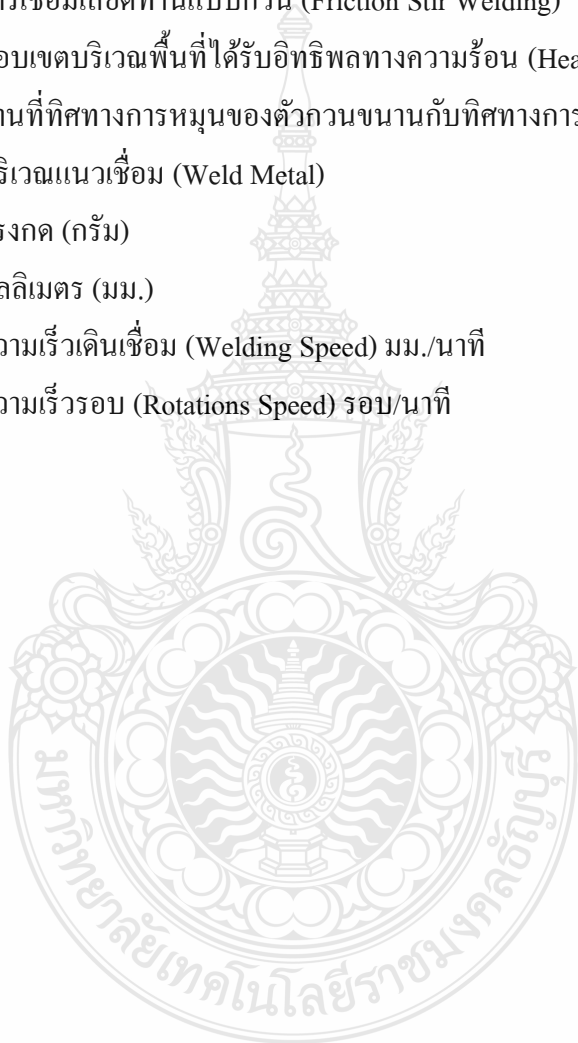
สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งของรอยเชื่อม.....	68
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความแข็งของรอยเชื่อมแต่ละระยะห่าง.....	68



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AA	สมาคมอะลูมิเนียม (Aluminum Association)
AS	ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม (Advancing Side)
BM	บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal)
FSW	การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding)
HAZ	ขอบเขตบริเวณพื้นที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (Heat Affect Zone)
RS	ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม (Retreating Side)
WM	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)
gf	แรงกด (กรัม)
mm	มิลลิเมตร (มม.)
mm/min	ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) มม./นาที
rpm	ความเร็วรอบ (Rotations Speed) รอบ/นาที



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ในปัจจุบันมีการนำเอาวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เช่น อะลูมิเนียมผสมมาใช้ทดแทนชิ้นส่วนบางอย่างที่ทำจากเหล็ก เพื่อเป็นการลดน้ำหนักโครงสร้างของยานยนต์ ส่งผลให้ยานยนต์ที่ผลิตออกมามีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและเชื้อเพลิงมากขึ้นด้วยเหตุนี้ การนำเหล็กและอะลูมิเนียมมาต่อเข้าด้วยกันจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการผลิตโครงสร้างของยานยนต์ แต่การเชื่อมเหล็กและอะลูมิเนียมเข้าด้วยกันนั้นมีความยากลำบากเนื่องจากวัสดุต่างชนิดกันมีสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางกลที่แตกต่างกัน จึงมักเกิดปัญหาต่างๆขึ้นเช่น เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนผสมของวัสดุทำให้เกิดสารประกอบกึ่งโลหะที่แข็งและเปราะอาจส่งผลให้ความแข็งแรงของรอยต่อลดลงหรือความแตกต่างในเรื่องการนำความร้อนของวัสดุ เมื่อทำการเชื่อมอาจทำให้เกิดการกระจายความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลให้วัสดุเกิดความเค้นมีความต้านทานต่อแรงกระทำได้ต่ำ ดังนั้นการใช้กระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมในการต่อวัสดุที่ต่างชนิดกันจึงมีความสำคัญในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเรื่อยมา [1] การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน เป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็งที่มีการคิดค้นโดยสถาบันการเชื่อมประเทศอังกฤษ เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย เช่น อะลูมิเนียมผสม [2] กระบวนการเชื่อมนี้เป็นการเชื่อมวัสดุต่างชนิดให้ติดกัน ที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบัน ลักษณะของกระบวนการเสียดทานแบบกวน เริ่มจากตัวกวนสอดเข้าไปบริเวณรอยต่อของวัสดุทั้งสองแผ่น เมื่อความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างตัวกวนกับวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวอยู่ในสถานะคล้ายของไหล และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้ป่าของเครื่องมือเชื่อม เมื่อเครื่องมือเชื่อมเคลื่อนที่วัสดุในสถานะของไหลจะถูกถ่ายเทมาอยู่ด้านหลังของตัวกวน จากนั้นตัวกวนจะเกิดการเคลื่อนที่ ปาด้านหลังของเครื่องมือเชื่อมจะกดอัดและผสมวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวเกิดเป็นแนวเชื่อมขึ้น [3]

ในการศึกษากระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนที่ผ่านๆมามีการศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างของการต่อชนระหว่างอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ด้วยตัวกวนที่มีรูปร่างต่างๆ [4] การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติทางกลของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด A 5083 และเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS 400 โดยตัวแปรคือความเร็วรอบของตัวกวน ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และความลึกของตัวกวนที่สอดเข้าไปในเนื้อโลหะเท่านั้น [4] การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นเทคนิคการเชื่อมประสานโลหะโดยการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นความร้อน

บริเวณรอยต่อที่มีอุณหภูมิสูงใกล้จะถึงจุดหลอมละลายหรืออยู่ในสภาวะพลาสติก(Plastic Stage)โดยมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องกัดโลหะแกนตั้งที่ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์หรือแบบกึ่งอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยผู้ปฏิบัติงานผู้ทำวิจัยจึงสนใจทำการศึกษาว่าเทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยประยุกต์ใช้งานเครื่องกัดโลหะแกนตั้งแบบกัดปาดหน้าชิ้นงานที่มีใช้งานกันทั่วไปให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการศึกษาตัวแปรในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่อเกย อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 1100 และ อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063 (Friction Stir Welding) ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมขบวนการเชื่อมอลูมิเนียมต่างชนิดกัน ได้แก่ อัตราการป้อนความเร็วเดินเชื่อมความเร็วรอบ และความลึกของเครื่องมือเชื่อม

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประยุกต์ในการเชื่อมซ้ำด้วยการเสียดทานแบบกวนโดยใช้เครื่องมือกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย โดยมีจุดประสงค์ในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ด้วยตัวกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้ายซึ่งมีระยะห่างจากจุดรอยเชื่อมเดิม 0 - 1 มม. แล้วเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อเกย โดยคาดว่า การรวมตัวกันระหว่างวัสดุจะสามารถทำได้ดีขึ้นและค่าความแข็งแรงของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ในการเชื่อมซ้ำต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ในแนวเชื่อมเดิมและมีระยะห่างการกวน

1.2.2 ศึกษาสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 เพื่อเปรียบเทียบการกวนซ้ำในแต่ละครั้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 เชื่อมรอยต่อแบบเกยแผ่นอลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 ขนาด กว้าง 105 มม. ยาว 150 มม.หนา 3 มม. และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ขนาด กว้าง 105 มม. ยาว 150 มม. และหนา 2 มม.

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของการกวนซ้ำแบบต่าง ได้แก่ กวนซ้ำห่างจากตำแหน่งเดิม 1 มม. และ 2 มม.

1.3.3 ศึกษาตัวแปรการเชื่อม

1.3.3.1 ความเร็วรอบตัวกวนที่(S) 250 500 750 รอบ/นาที

1.3.3.2 ระยะห่างในการกวนของแนวกวนที่ 1 มม. และ 2 มม.

1.3.3.3 ความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที

1.3.3.4 ความเอียงของตัวกวนเมื่อเทียบกับแกนหมุนของเครื่องกัด 2 องศา

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม โดยทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือ

1.3.5 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน การแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ในอะลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063

1.3.6 ศึกษาลักษณะรอยร้าวของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด และหาส่วนผสมทางเคมีบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของอิเล็กตรอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ประยุกต์การเชื่อมเสียดทานที่สามารถนำไปเชื่อมชิ้นงานเชื่อมเดิมเพื่อซ่อมแซมรอยเชื่อมและการทดสอบงานเชื่อมตามแบบมาตรฐาน

1.4.2 สามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในภาคส่วนของอุตสาหกรรมยานยนต์ภายในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.3 สามารถเสนอข้อมูลเพื่อการพัฒนาและทำการศึกษาต่อ การศึกษาสมบัติการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกาะระหว่างอะลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430

1.4.4 ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำมีความแข็งแรงมากกว่าหรือเมื่อเทียบกับลักษณะการเชื่อมแบบอื่นๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุ [9]

2.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิม ไม่ใช่อัลลอยด์แต่ถูกจัดอยู่ในชนิดของเหล็ก อัลลอยด์จะมี ส่วนประกอบเป็นโครเมียมอย่างน้อย 10.5% ส่วนประกอบอื่นๆ ได้ถูกผสมเพิ่มขึ้นมาเพื่อเพิ่มการ ป้องกันการเกิดสนิมและการเกิดความร้อนได้ดีขึ้นเพิ่มคุณสมบัติทางกลไกและส่วนผสมใหม่ๆ เข้าไป ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมจึงมีมากกว่า 50 ชนิดโดยถูกกำหนดขึ้น โดยองค์กร The American Iron And Steel Institute (AISI) การแยกชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปแล้วมีอยู่ 3 ข้อ คือ ส่วนประกอบทาง เทคนิคของโลหะ ระบบเรียงลำดับของ AISI และการจัดกลุ่มเดียวกันของระบบเรียงลำดับ ได้ถูก พัฒนาโดยองค์กรของอเมริกาที่ทำหน้าที่ทดสอบแร่ธาตุ (ASTM) และองค์กรยานยนต์วิศวกรรม โดย จะกำหนดตัวเลขให้กับโลหะและอัลลอยด์ทุกชนิด

สเตนเลส ตามศัพท์บัญญัติเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน ต่ำ(น้อยกว่า 2%) มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5% เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่าการเติม นิกเกิล โมลิบดีนัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิดของคุณสมบัติเชิงกลและการ ใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้

1. ประเภทของอัลลอยด์

1.1 เบอร์ 304 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมพื้นฐานที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อความ สวยงามเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้ง่ายต่อการขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี

1.2 เบอร์ 304 L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 304 ที่ใช้คาร์บอนเป็นส่วนประกอบ น้อยลงมาใช้ในงานการเชื่อมอย่างกว้างขวาง

1.3 เบอร์ 316 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ถูกออกแบบให้มาป้องกันการเกิดสนิมได้ เป็นอย่างดี ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมหนักและสถานที่ใกล้ทะเล

1.4 เบอร์ 316 L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 316 ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนน้อย

1.5 เบอร์ 430 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 พวกนี้นิยมใช้ตกแต่งภายใน [6]

2. สมบัติทางกายภาพสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อเปรียบเทียบกับ วัสดุประเภทอื่นในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนความสามารถทนความร้อนของเหล็กกล้าไร้ สนิม มีข้อสังเกต 3 ประการคือ

2.1 การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีอัตราความคืบติ เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

2.2 การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายเทความร้อน)

2.3 การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมาก ๆ ได้โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย เช่น ในการทำหลังคา [6]

3. สมบัติเชิงกลเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70 – 80 % จึงทำให้มีสมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งและความแกร่ง จะเห็นว่าพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และ โมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิมให้ค่าที่เป็นกลางของทั้งความแข็ง ความแกร่ง และความเหนียว เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเหล็กอยู่มาก

โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์บนผิวโลหะหรือออกไซด์ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไปจะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่เหล็กกล้าไร้สนิม มีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นฟิล์มปกป้อง หรือพาสซีฟเลเยอร์ (Passive layer) ที่เหมือนเกราะป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พาสซีวิตี (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสเตนเลสบางขนาด 1 มม. ฟิล์มหรือพาสซีฟ เลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวงกระดาษ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้องสเตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งหมด หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา

ความคงทนของพาสซีฟเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณโครเมียมจะช่วยเพิ่มความต้านทาน การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม การเติมนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดีนัมจะช่วยเพิ่ม ความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) [6]

2.1.2 อลูมิเนียม [8,12] อลูมิเนียม (Aluminum) จัดอยู่ในกลุ่ม โลหะเบาที่มีการนำไปใช้งาน ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ด้วยคุณลักษณะเด่นของอลูมิเนียมที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าโลหะ เหล็กประมาณสามเท่า แต่ให้กำลังวัสดุต่อน้ำหนักที่สูงกว่า มีค่าการนำไฟฟ้าและความร้อนดี ทนทาน ต่อการกัดกร่อนได้ดีในบางสภาวะการัน มีการสร้างผิวออกไซด์มาเคลือบผิวได้เองหรือนำไปชุบ เคลือบผิวให้สวยงามได้หลากหลาย และยังสามารถนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ง่ายและรุนแรงโดยไม่ เกิดการแตกร้าว เนื่องจากมีความเหนียวสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำให้อัตราการไหลตัวสูง จึงมีคุณสมบัติที่ ดีด้านการหล่อหลอม จากข้อดีหลายประการของอลูมิเนียม ทำให้มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าวัสดุใน กลุ่มเหล็ก

การเชื่อมอลูมิเนียม ถูกจำกัดอยู่ที่การใช้หมุคย้าเท่านั้น การเชื่อมต่ออลูมิเนียมเป็น เรื่องที่ยุ่ยาก เนื่องจากอลูมิเนียมสร้างฟิล์มออกไซด์ปกคลุมผิวหน้า ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงทำให้การ รวมตัวของลวดเชื่อมกับบ่อหลอมยากขึ้น บริเวณรอยเชื่อมจึงเกิดความไม่สมบูรณ์ได้ง่าย และต้องใช้ พลังงานสูงในการหลอมละลาย ตลอดจนการเชื่อมยังต้องใช้ช่างฝีมือที่มีทักษะสูง เพราะสีของ อลูมิเนียมที่หลอมละลายจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมจึงยากต่อการสังเกต และเมื่อมีการค้นพบ เทคนิคการเชื่อมแบบอาร์คไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซเฉื่อยคลุมขณะที่ยเชื่อม เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาจาก ออกซิเจน คุณภาพรอยเชื่อมอลูมิเนียมดีขึ้น ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสมัยใหม่อลูมิเนียมยัง เป็นที่สนใจในการศึกษาพัฒนาเครื่องมือเชื่อม ที่ให้ความร้อนด้วยแรงเสียดทาน เพื่อแก้ปัญหาการ เชื่อมให้มีคุณภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์ [8]

สัญลักษณ์	Al
หมายเลขอะตอม	13
ความถ่วงจำเพาะ	2.7
โครงสร้างผลึก	FCC
จุดหลอมเหลว	660°C
โมดูลัสยืดหยุ่น	69,000 MPa
สินแร่	บอไซด์ (สารมลทินผสมระหว่าง Al_2O_3 และ $Al(OH)_3$)
ธาตุผสม:	Cu, Mg, Mn, Si, Zn
การใช้งาน:	บรรจุภัณฑ์ อลูมิเนียมแผ่นบาง ตัวนำไฟฟ้า หม้อ กระจก ชิ้นส่วน โครงสร้าง ยานอวกาศ รถยนต์ หรือชิ้นส่วนที่ต้องการน้ำหนักเบา

การแบ่งชนิดของอลูมิเนียมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม [2] ดังแสดงในตารางที่ 2.2 คือ กลุ่มของอลูมิเนียมที่ผ่านการรีด และกลุ่มของอลูมิเนียมที่ผ่านการหล่อ ในที่นี้ขอกล่าวถึงอลูมิเนียมกลุ่มที่ผ่านการรีดเท่านั้น โดยที่อลูมิเนียมที่ผ่านการรีดนั้นสามารถแบ่งแยกได้โดยใช้ตัวเลข 4 ตัวดังรายละเอียดด้านล่าง และตัวอย่างของอลูมิเนียมบางกลุ่มแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม [8]

กลุ่ม	บริสุทธิ์	Cu	Mn	Si	Zn	Sn
ผ่านการรีด	1XXX	2XXX	3XXX	4XXX	7XXX	8XXX
ผ่านการหล่อ	1XXX	2XX.X		4XX.X	7XX.X	2XX.X

ตารางที่ 2.3 สมบัติของอลูมิเนียมผสม [12]

รหัส	ส่วนผสมทางเคมี (%)						การอบ	ความแข็งแรง	
	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si		(MPa)	%การยืดตัว
1100	99.0	-	0.6	-	-	0.3	O	90	40
							H18	165	10
2024	93.5	4.4	0.5	1.5	0.6	0.5	O	185	20
							T3	485	18
3034	96.5	0.3	0.7	1.0	1.2	0.3	O	180	22
							H36	260	7
4043	93.6	0.3	0.8	-	-	5.2	O	130	25
							H18	285	1
5050	96.9	0.2	0.7	1.4	0.1	0.4	O	125	18
							H38	200	3
6063	98.5	-	0.3	0.7	-	0.4	O	90	25
							T4	172	20

2.1.3 อลูมิเนียมเกรด 1100 อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (อนุกรม 1xxx) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมที่ 99.0 % ถึง 99.9 % อลูมิเนียมในกลุ่มนี้ยังจะมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีสามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี และยังสามารถสะท้อนแสงได้ดีจึงนิยมใช้ในการแผง

สะท้อนแสงในไฟหน้ารถยนต์ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่ายทั้งการตัดเฉือนและขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการต่าง ๆ ความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่อลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีข้อเสีย คือในด้านของความแข็งแรง และคุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าวัสดุอื่น แต่ก็สามารถปรับปรุงได้ โดยการเติมธาตุเจืออื่นเพื่อให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป หรือการขึ้นรูปเย็น คือการทำให้แข็งได้ด้วยความเค้น (Strain Hardening)

2.1.4 อลูมิเนียมเกรด 6063 อลูมิเนียมแมกนีเซียม – ซิลิกอน (อนุกรม 6xxx) อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ มีความแข็งแรง และคุณสมบัติทางกลที่ดีพอสมควร ความต้านทานการกัดกร่อนและความสามารถในการแปรรูปและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้ แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อนำอลูมิเนียมผสมชนิดนี้ไปทำการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการให้ความร้อนแบบต่าง ๆ จะทำให้บริเวณแนวเชื่อมอ่อน

2.2 ตัวแปรการเชื่อม [5]

2.2.1 รูปร่างตัวกวน หน้าที่หลักของตัวกวน คือ เป็นตัวสัมผัสกับวัสดุชิ้นงานโดยทำให้เกิดความร้อน และเกิดการรวมของวัสดุรอบรอยต่อในแนวเชื่อมเข้าด้วยกัน ในการทดลองนั้นจะมีรูปร่างตัวกวนหลายแบบ โดยแต่ละแบบนั้นจะให้ความแข็งแรงแก่รอยเชื่อมแตกต่างกัน

2.2.2 ความเร็วรอบ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และมุมเอียงของตัวกวน ตัวแปรต่างๆ เหล่านี้จะทำให้วัสดุบริเวณแนวเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความเร็วรอบที่แตกต่างกันนั้น ทำให้วัสดุรอบๆ ตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนวนที่แตกต่างกันไป ในขณะที่เดียวกันความเร็วเดินแนวเชื่อมก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายวัสดุจากด้านหน้าของตัวกวน ไปสู่ด้านหลังของตัวกวนทำให้แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์ที่แตกต่างกันไป ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความเร็วเดินแนวเชื่อมว่าสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด ส่วนความเอียงของตัวกวนที่ทำมุมกับแกนตั้งฉากของเครื่องกั้นนั้นหากมีค่าเหมาะสมจะทำให้ด้านหลังของตัวกวนกดและกวนวัสดุรอบๆ ตัวกวนให้มีการผสมรวมกันได้มากทำให้แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์มากขึ้น

2.2.3 ความลึกของตัวกวนที่กดลงไปในเหล็กกล้าไร้สนิม ระยะความลึกของตัวกวนที่กดลงไปขึ้นอยู่กับเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อค่าความแข็งแรงตั้งแต่ระยะที่กดลงไปนั้น ต้องมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบและความเร็วเดินด้วย ถ้าความสัมพันธ์กันมีค่าที่เหมาะสมแล้วค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบแรงดึงก็มีค่าที่มากตามกันไปด้วย

2.3 การเชื่อม (Welding) [7]

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ กล่าวว่า การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยขณะที่โลหะที่บริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น

การเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state welding) คือ การประสานโลหะสองชนิดให้ติดกันโดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานโดยอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว เช่น การเชื่อมจุด (Spot welding) การเชื่อมจากเปลวแก๊ส (Gas press welding) การเชื่อมจากสารเคมีพร้อมแรงอัดไม่ใช้ความร้อนเช่น การเชื่อมอัดเย็น (Cold press welding) และการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding) เป็นต้น [8]

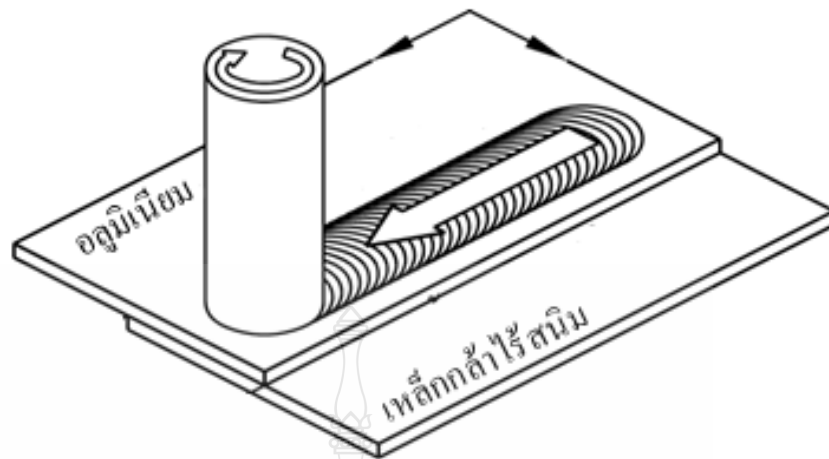
2.3.1 การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding : FSW) [9] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ กล่าวว่า การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยขณะที่โลหะที่บริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูง สอดเข้าไปในแนวต่อชนหรือต่อเกยของแผ่นวัสดุ 2 แผ่นและทำให้เกิดความร้อนเสียดทานภายใต้เครื่องมือและทำให้วัสดุอ่อนตัวลง วัสดุที่อ่อนตัวจะถูกดันให้เคลื่อนที่รอบๆ ตัวกวน และเมื่อตัวกวนรวมตัวของวัสดุเป็นแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW) [9]

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างการเชื่อมแบบหลอมเหลวกับการเชื่อมในสถานะของแข็ง [8]

การเชื่อม (Welding)	ข้อดี	ข้อเสีย
การเชื่อมแบบหลอมเหลว (Fusion welding)	<ul style="list-style-type: none"> - ต้นทุนการผลิตต่ำ - ได้แนวเชื่อมที่แข็งแรง - วิธีการเชื่อมไม่ซับซ้อน - เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก 	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นอันตรายกับสายตา - เกิดการบิดงอหลังการเชื่อม - เกิดฝุ่นควันระหว่างการเชื่อม - แนวเชื่อมที่ได้จะไม่เท่ากันตลอด - เกิดแนวปกคลุมหลังการเชื่อม - ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญสูงในการเชื่อม

ลักษณะการทำงาน การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน เป็นการเชื่อมที่ระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลาย (Melting temperature) ของวัสดุทุกชนิดโดยไม่ต้องใช้โลหะเติม (Filler) และสารปกคลุม (Flux) โดยในการเชื่อมจะใช้เครื่องกัดแนวตั้ง ที่หมุนด้วยความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สัมพันธ์กัน ตามรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งตัวกวนจะไม่หลอมติดกับวัสดุชิ้นงาน เนื่องจากตัวกวนทำมาจากวัสดุที่ต้านทานความร้อนได้สูง และมีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุชิ้นงาน [8]

ข้อดีเนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็ง ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวเป็นของแข็งของการเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบหลอมละลาย เช่น อะลูมิเนียมจะหดไป นอกจากนั้นผิวออกไซด์หนาที่เคลือบอยู่บนผิวของอะลูมิเนียมจะถูกทำให้แตกออกด้วยการขัดหมุนของตัวกวนและกระจายไปทั่วทั้งแนวเชื่อม และลดปัญหาการเสื่อมสภาพของแนวเชื่อมลง แนวเชื่อมที่ได้ส่วนใหญ่เป็นแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นกระบวนการเชื่อมราคาไม่แพง สามารถใช้เครื่องกัดในการเชื่อมได้ผิวหน้าแนวเชื่อมคุณภาพดีเยี่ยม ใช้พลังงานน้อย เชื่อมวัสดุหนาสูงสุดได้ 12 มม. ความแข็งแรงต่อความล้า (Fatigue strength) ดีเยี่ยม



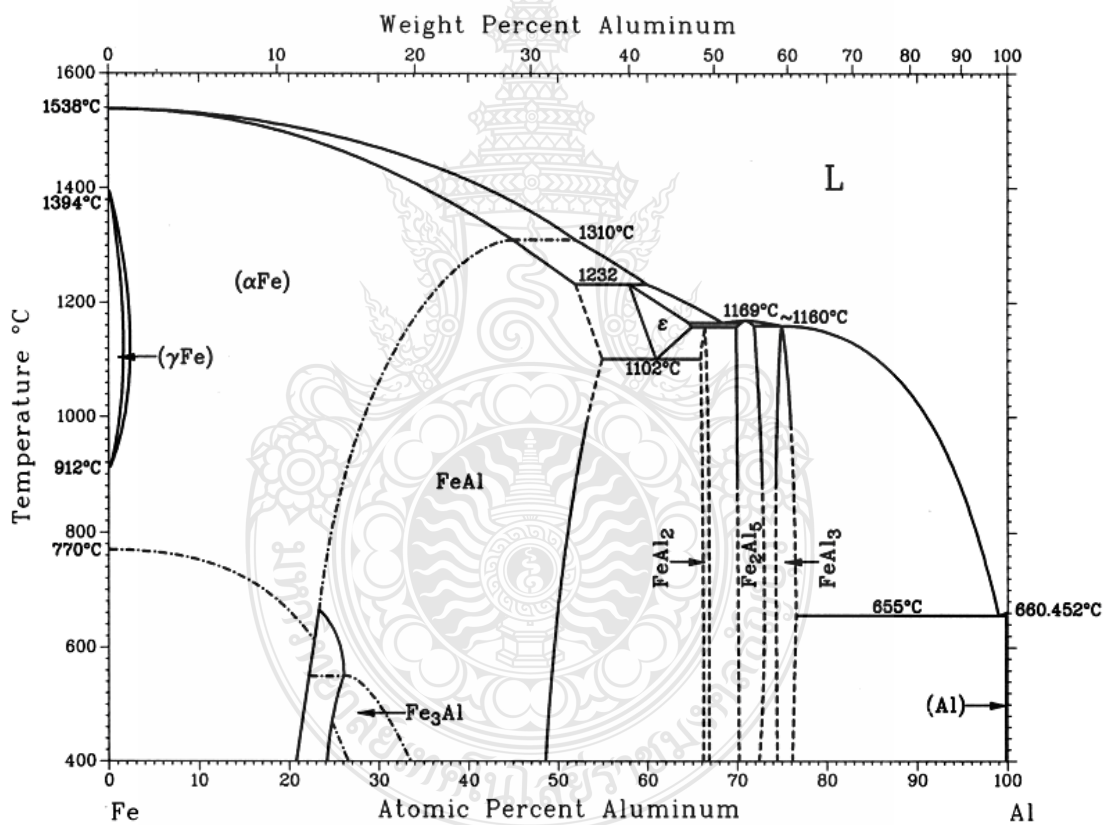
รูปที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW) [9]

ข้อเสีย ต้องจับยึดชิ้นงาน ให้แน่นเสมอเพราะแรงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงผลจากการเชื่อมทำให้เกิดความเค้นตกค้างในชิ้นงาน ดังนั้นจึงต้องมีการอบชุบ ด้วยความร้อนเพื่อให้ได้สมบัติเดิมตลอด ชิ้นงานมีจุดบกพร่องที่มักเกิดขึ้นที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อม ที่เกิดจากการถอดตัวกวนออกจากแนวเชื่อมเหมาะสมกับการเชื่อมทำราบ ชิ้นงานแบนยาวช่องว่างระหว่างแผ่นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 10% ของความหนาแผ่นชิ้นงานที่เชื่อมในลักษณะต่อชน [9]

2.4 โลหะวิทยาการรวมตัวระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็ก [12]

การต่อเชื่อมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกันเป็นวิธีที่ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากวัสดุต่างชนิดกันมีสมบัติทางกล กายภาพ และเคมีที่แตกต่างกัน และเมื่อทำการเชื่อมหรือรวมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกัน มักเกิดปัญหาต่างๆ ขึ้น เช่น ความแตกต่างของโมดูลัสอีลาสติก (Elasticity modulus) ก่อให้เกิดความไม่เข้ากันทางกล (Mechanical incompatibility) และก่อให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น (Stress concentration) หรือความเค้น ไม่ต่อเนื่อง (Stress discontinuities) ที่บริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของการนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดเมื่อทำการเชื่อมยึด ทำให้เกิดการกระจายความร้อนของวัสดุที่แตกต่างกัน และทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal stresses) ซึ่งส่งผลทำให้วัสดุมีความสามารถต้านทานต่อแรงกระทำได้น้อยกว่า [10] ส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างทำให้เกิดการก่อให้เกิดสารประกอบกึ่งโลหะ (Intermetallic compound : IMC) ที่มีความแข็งและเปราะซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ลดความแข็งแรงของรอยต่อ IMC ที่มักก่อตัวขึ้นในการรวมตัวกันระหว่างอะลูมิเนียม

และเหล็กก็มี 5 ชนิดใหญ่ๆ คือ Fe_3Al , $FeAl$, $FeAl_2$, Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และสามารถแบ่งกลุ่มตามส่วนผสมทางเคมีออกได้เป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณของเหล็กผสมอยู่มาก (Iron-rich IMC) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ มีสมบัติ คือ มีความต้านทานการสึกกร่อน (Wear resistance) มีความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistance) และมีความแข็งแรง (Strength) สูง จึงเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ขณะที่อีกกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณอะลูมิเนียมสูง (Aluminum-rich IMC) ประกอบด้วย $FeAl_2$, Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งมีสมบัติที่แข็งและเปราะ ความต้านทานต่อแรงกระทำต่ำ เป็นกลุ่มที่ควรหลีกเลี่ยงในการนำมาใช้งาน [11] ดังนั้นการหากระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมในการต่ออะลูมิเนียมและเหล็กกล้า เข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้งานจึงเป็นเรื่องสำคัญที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.2 แผนภาพสมดุลเฟสของอะลูมิเนียมและเหล็ก [12]

แผนภาพสมดุลเฟสของอะลูมิเนียมและเหล็กจะเห็นว่า กราฟการเชื่อมในสภาพของแข็งนั้น จะเป็นการวิ่งเข้าหากันของอะตอมระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศา

เซลเซียส ซึ่งเป็นการแทรกเข้าหากันในอุณหภูมิต่ำกว่าการหลอมละลาย เหล็กบริสุทธิ์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1,538 องศาเซลเซียส และอะลูมิเนียมบริสุทธิ์หลอมละลายที่อุณหภูมิ 660 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการเชื่อมในสภาพของแข็งนี้ พอสรุปได้ว่าเป็นการเคลื่อนตัวของอะตอมเข้าหากัน

2.5 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน [13]

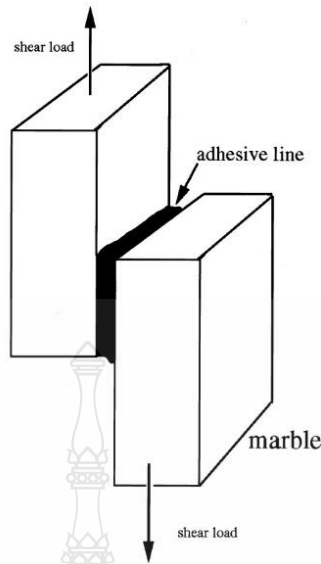
2.5.1 การทดสอบแรงเฉือน ชูชาติ ดั่งวงศ์ ได้อธิบายหลักการทดสอบของชิ้นงานเชื่อมเบื้องต้น คือ เป็นกรรมวิธีที่ใช้แรงพลศาสตร์ (Dynamic load test) เพื่อวัดความเหนียวแน่น (Toughness) ของวัสดุชิ้นงานเชื่อม หรือเนื้อโลหะเชื่อม ในงานเชื่อมพอกผิวแข็ง งานเชื่อมรอยต่อของเหล็กกล้าคาร์บอน เป็นต้น การทดสอบแรงเฉือนเป็นการใส่แรงกระทำในแนวขนานกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบ การเฉือนนี้แตกต่างจากการดึงและการคดซึ่งใส่แรงในแนวตั้งฉากกับแนวแกนของชิ้นงาน

การทดสอบแรงเฉือนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1) แรงเฉือนโดยตรง (Direct shear)

2) แรงเฉือนจากการบิด (Torsional shear)

3) แรงเฉือนจะเกิดขึ้นถ้ามีการใส่แรงสวนทางกันสองทิศทาง โดยแรงเฉือนตรงสามารถ แยกออกได้เป็นสองแบบคือแรงเฉือนเดี่ยว (Single shear) กับแรงเฉือนคู่ (Double shear) แรงเฉือนเดี่ยวจะเกิดขึ้นตลอดแนวระนาบเดี่ยว ในขณะที่แรงเฉือนคู่จะเกิดระหว่างสองระนาบ พร้อมกันในทางทฤษฎีความแข็งแรงเฉือนในการทดสอบแรงเฉือนเดียวกับแรงเฉือนคู่ควรมีค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการคดงอจึงทำให้แรงเฉือนทั้งสองอาจไม่เท่ากันเสมอไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงหลักการของแรงเฉือนเดี่ยว [14]



รูปที่ 2.3 หลักการของแรงเฉือนเดี่ยว [15]

ข้อจำกัดในการใช้การทดสอบแรงเฉือนตรง เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนที่ได้เป็นค่าโดยประมาณของกำลังรับแรงเฉือนของวัสดุ หน่วยแรงดัด (Bending stress) ที่เกิดขึ้นจากแรงเฉือน/ระยะเยื้องศูนย์แรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือทดสอบ ระดับความแข็งและความคมของแผ่นเหล็กที่ใช้เชื่อมตัวอย่างทดสอบ ไม่สามารถหาสมบัติอื่นๆ เช่น Elastic strength และ Shearing modulus of elasticity ของวัสดุได้ เนื่องจากไม่สามารถวัดหาค่า Shearing strain [10]

2.5.2 ชิ้นทดสอบ (Specimens) ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบนั้นผ่านกระบวนการตัดเฉือนที่เหมาะสมกับขนาดของเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ ความสะอาดของชิ้นงานก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดสอบเช่นกัน ชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบนั้น ต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อป้องกันค่าคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่ร้อนและเย็นเกินไป

2.5.3 วิธีการทดสอบ การเฉือนตรงและการเฉือนบิดส่วนใหญ่จะทดสอบด้วยการทดสอบแรงเฉือน โดยในการทดสอบแรงเฉือนตรงหรือแบบสวนทางนั้น ชิ้นทดสอบจะถูกดึงสวนทางกัน การทดสอบแรงเฉือนแบบสวนทางนี้ค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าความแข็งแรงแรงเฉือนของ วัสดุ โดยความแม่นยำของค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแข็งและความคมของชุดอุปกรณ์ดึงยึด ชิ้นทดสอบ ข้อจำกัดอื่นๆในการทดสอบแรงเฉือนแบบสวนทางคือไม่สามารถทำการจัดเก็บ ข้อมูลความเครียดที่เกิดขึ้นได้ และเมื่อไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลส่วนนี้ได้ทำให้ไม่สามารถ คำนวณหาค่าความแข็งแรงช่วงยืดหยุ่นหรือ โมดูลัสสรีจิสได้สมบัติทางกลที่สามารถบอกได้จากการทดสอบแรงเฉือนแบบสวนทางมีเฉพาะ

แรงที่จำเป็นในการเลื่อน ชิ้นทดสอบเท่านั้น และเมื่อนำไปเทียบกับขนาดหน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบทำให้สามารถ คำนวณค่าความแข็งแรงเลื่อนของวัสดุโดยประมาณได้ [8]

2.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างมหภาค [8]

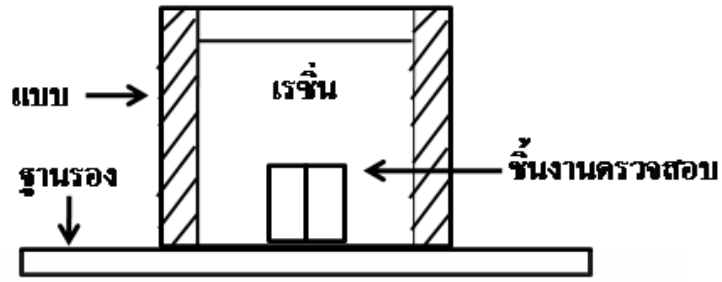
1) การเตรียมชิ้นตรวจสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคนั้นควรตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดดังกล่าวต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดการผิดพลาดสำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบ ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มม. หรือ 1 นิ้ว และความสูงไม่น้อยกว่า 15 มม. แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด 25×25×20 มม. ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่าย แต่ถ้าชิ้นตรวจสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน โดยให้หน้าตัดของชิ้นตรวจสอบอยู่ภายนอกเรซิน และขนาดของเรซินนั้นก็ควรมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงการเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค [8]

2) การขัดผิวชิ้นตรวจสอบ ควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 600 800 1,000 และขัดจนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหน้าเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระล้างสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะและซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไป ควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.5

3) การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้ เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium oxide) หรืออาจจะใช้เพชรขัดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งแรงสูงมาก โดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่

4) การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อชิ้นตรวจสอบถูกกัดด้วยน้ำยาเรียบรอยแล้ว ซึ่งผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องศึกษาการทำงานของกล้องจุลทรรศน์จากคู่มือการใช้เครื่องให้เข้าใจและเกิดทักษะเสียก่อน [8]

2.5.5 การส่องกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ซึ่งไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ด้วยตาเปล่า สามารถเลือกใช้กล้องได้ตามกำลังขยายของภาพที่ต้องการ กล้องจุลทรรศน์มี 2 แบบ คือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) [7]



รูปที่ 2.4 การเตรียมชิ้นทดสอบ โครงสร้างจุลภาค[15]



รูปที่ 2.5 การตัดผิวชิ้นทดสอบ [8]

1) ลักษณะกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

(1) Light microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่พบอยู่ทั่วไป โดยเวลาส่องดูจะเห็นพื้นหลังเป็นสีขาว และจะเห็นเชื้อจุลินทรีย์มีสีเข้มกว่า

(2) Dark field microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีพื้นหลังเป็นสีดำเห็นเชื้อจุลินทรีย์ สว่าง เหมาะสำหรับใช้ส่องจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ที่ติดสียาก

(3) Phase contrast microscope ใช้สำหรับส่องเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังไม่ได้ทำการย้อมสี จะเห็นชัดเจนกว่า Light microscope

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นตรวจสอบที่เป็นเหล็ก [8]

น้ำยากัดผิวตรวจสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก (Nitric acid and hydrochloric)	กรดไนตริก (HNO ₃) 3 มิลลิลิตร, ไฮโดรคลอริก (HCl) 10 มิลลิลิตรและเมทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	เหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้าคาร์บอน	จุ่มชิ้นตรวจสอบ นาน 10-30 วินาที
เฟอร์ริกคลอไรด์และกรดไนตริก (Ferric chloride and nitric)	ผสมเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl ₃) ในกรดไฮโดรริก	เหล็กกล้าไร้สนิม	จุ่มแช่หรือเช็ดด้วย สำลี นาน 5 - 120 วินาที
ไนตริกและอะเซติก (Nitric and acetic acid)	ไนตริกแอซิด (HNO ₃) 30 มิลลิลิตร เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl ₃) 2 มิลลิลิตร ผสมกรดน้ำส้ม อะเซติกแอซิด (CH ₃ COOH) 20 มิลลิลิตร	เหล็กไร้สนิมที่มี ส่วนผสมของนิกเกิล และ โคบอลต์เป็น จำนวนมาก	เช็ดถูด้วยสำลีชุบ กรด นาน 10-30 วินาที
โซเดียมเมตาบิสซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite)	โซเดียมเมตาบิสซัลไฟต์ (Na ₂ S ₂ O ₅) 15 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร	เหล็กกล้าเครื่องมือ รอบสูง	กัดด้วยกรดในเวลา 10-60 วินาที
ไนตัล (Nital)	100 มิลลิลิตร	เหล็กกล้าที่มี	กัดด้วยกรด
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	ไฮโดรคลอริกแอซิด (HCl) 50 มิลลิลิตร ผสมแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร	ส่วนผสมของ โครเมียมและนิกเกิล	นาน 10-15 วินาที กัดด้วยกรด นาน 10-30 วินาที

(4) Fluorescence microscope ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น อัลตราไวโอเล็ต ส่งดู จุลินทรีย์ที่ย้อมด้วยสารเรืองแสง ซึ่งเมื่อกระทบกับแสง UV จะเปลี่ยนเป็นแสงช่วงที่มองเห็นได้ แล้วแต่ชนิดของสารที่ใช้ พื้นหลังมักมีสีดำ

2) ประโยชน์ของกล้องจุลทรรศน์

(1) ช่วยในการมองเห็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กกว่าตาเราจะมองเห็น

(2) ช่วยในการศึกษาหาข้อมูลหลักฐานทางชีววิทยา

3) หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการมองวัตถุที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเครื่องช่วยตาในการศึกษาลักษณะ โครงสร้างของเซลล์ให้ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งกล้องจุลทรรศน์มีความสามารถขยาย (magnification) ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการแจกแจงรายละเอียด (Resolution / Resolving power) หมายถึงความสามารถของกล้องจุลทรรศน์ในการแยกจุดสองจุด ซึ่งอยู่ใกล้กันที่สุดให้มองเห็น แยกเป็นสองจุดได้ (Two points of discrimination) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ส่องผ่านเลนส์ และความสามารถในการรวมแสงของเลนส์วัตถุ

2.5.6 การทดสอบความแข็ง กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ [9] ได้อธิบายหลักการทดสอบความแข็งเป็นการทดสอบเพื่อวัดความต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนหรือรอยกดบนผิววัสดุด้วยวัสดุที่มีความแข็งมากกว่า ขณะที่ชูชาติ ค้างสงค์ [13] ได้เขียนบรรยายอธิบายหลักการ คำว่า ความแข็งจุลภาค (Micro-Hardness) เป็นขนาดของรอยกดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบขนาดเล็กมากในการทดสอบความแข็งจุลภาคทั่วไปใช้แรงกดที่ 1 กรัมแรง (gmf) ถึง 2 กิโลกรัมแรง หรือไม่เกิน 1 กิโลกรัมแรง โดยทำการขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย ตั้งแต่ 100 เท่า ถึง 500 เท่า เป็นต้น

การแบ่งแยกประเภทของการทดสอบความแข็งจุลภาคสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Test)

2) การทดสอบความแข็งจุลภาคแบบนูป (Micro-Knoop Test)

3) การทดสอบความแข็งแบบอัลตราโซนิคไมโครวิกเกอร์ส (Ultrasonic Micro-Vicker Test)

ในบทนี้ขออธิบายเฉพาะการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์สโดยชูชาติ ค้างสงค์ ได้อธิบายหลักการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส คือ หัวกดทดสอบเป็นรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมมีมุมแหลม 136 ° โดยทดสอบกดลงบนผิวของวัสดุใช้แรงกดทดสอบตั้งแต่ 1 กรัม ถึง 2 กิโลกรัม (kgf) และทำการวัดขนาดของรอยกดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 100 เท่า ถึง 500 เท่า

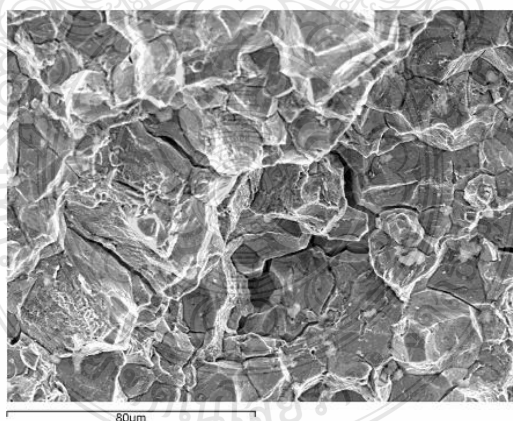
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของน้ำยาคัดชั้นตรวจสอบที่เป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก [8]

น้ำยาคัดผิวตรวจสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดไนตริก	กรดไนตริก (HNO ₃) 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 90 มิลลิลิตร	ทองแดงและทองเหลือง	จุ่มหรือเช็ด นาน 10-30 วินาที
เฟอร์ริกคลอไรด์และกรดไฮโดรคลอริก (Ferric chloride and hydrochloric acid)	เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl ₃) 2-5 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5-30 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตร	ทองแดงผสม	จุ่มหรือเช็ดด้วยสำลี นาน 5-15 วินาที
กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid)	กรดไฮโดรฟลูออริก ½ ถึง 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร	อะลูมิเนียมผสม	จุ่มหรือเช็ด นาน 15-45 วินาที
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตร	อะลูมิเนียมผสม	เช็ดด้วยสำลี นาน 10-15 วินาที
กรดอะเซติก (Acetic acid)	กรดอะเซติก 2-5 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร	แมกนีเซียมผสม	จุ่มแช่
กรดไนตริกและกรดอะเซติก (Nitric acid and acetic acid)	กรดไนตริก (HNO ₃) 50 มิลลิลิตร ผสมกับกรดอะเซติก	นิกเกิลผสม	ควรรจุ่มหรือเช็ด น้ำยาในทันทีที่ผสม น้ำยาเสร็จ

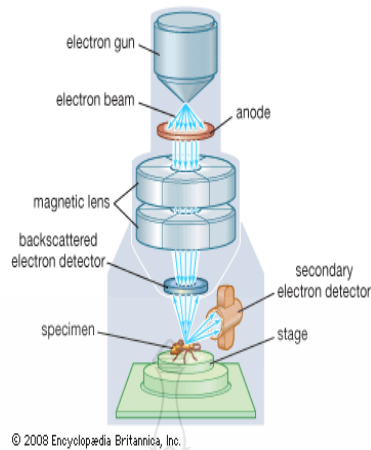
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [14]

ในเวบไซท์ <http://www.nano.kmitl.ac.th/> [14] ได้อธิบายหลักการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) คือ การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งรูปที่ได้จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope : SEM) เป็นเทคนิคเฉพาะทางที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติบางประการของสสาร ที่มีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แสง ทั้งนี้เป็นเพราะ SEM จะใช้สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ทำให้ SEM มีอำนาจแยกแยะได้ถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆ ได้ทำให้ภาพมีความชัดลึกสูง แสดงดังรูปที่ 2.6 นอกจากนี้ SEM ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์การกระจายตัวรังสีเอ็กซ์ (Energy dispersive spectrometry : EDS) และเวฟเล็งชิตติสเพอร์ซีฟสเปกโตรเมตรี (Wavelength dispersive spectrometry : WDS) เพื่อให้ข้อมูลในเชิงเคมีด้วย



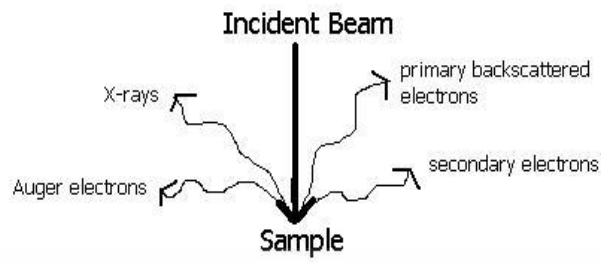
รูปที่ 2.6 อำนาจแยกแยะของ SEM [18]



รูปที่ 2.7 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [18]

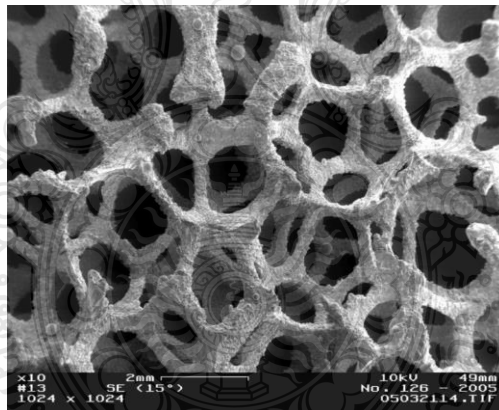
ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง SEM ในส่วนบนสุดจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source) หรือ ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งภายในมีสภาพสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ในช่วง 0-30 kV (บางครั้งเครื่องอาจทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่าและปริมาณของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดย แอพเพอเจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันตามลักษณะการใช้งาน เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (First condenser lens) อาจนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสูงสุดต่อการควบคุมทรานส์มิสชันของอิเล็กตรอน (Electron optics) เนื่องจากเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (Demagnification) ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นทำหน้าที่โฟกัสอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมายโดยคอยกราดภาพ (Scan coil) ทำหน้าที่กราดอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในกรอบสี่เหลี่ยม คล้ายกับการกราดภาพบนจอโทรทัศน์ดังรูปที่ 2.7

2.6.1 สัญญาณต่าง ๆ (Various types of signal)



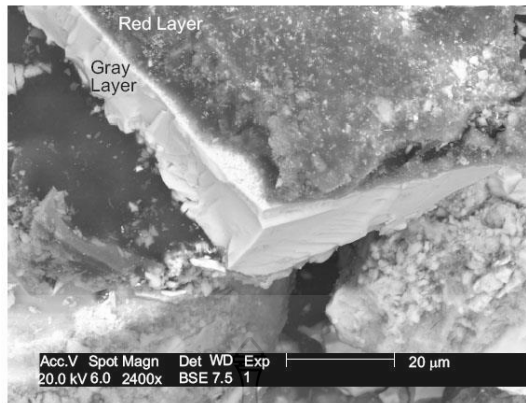
รูปที่ 2.8 สัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร [18]

1) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron: SE) ให้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว และเป็นสัญญาณที่เรานำมาสร้างภาพมากที่สุด อิเล็กตรอนทุติยภูมิยังมีแบบย่อย ๆ อีกหลายแบบตามกลไกและแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสสาร และอันตรกิริยาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมาแสดงดังรูปที่ 2.8



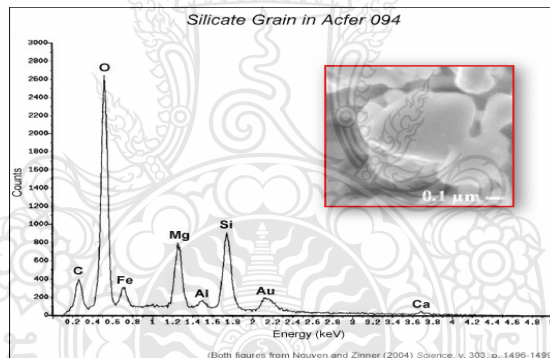
รูปที่ 2.9 สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ [18]

2) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Back scattered electron : BSE) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี และลักษณะโทโพกราฟฟีของพื้นผิว



รูปที่ 2.10 สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ของกระจกกลับ [18]

3) สัญญาณแบบเอ็กซ์เรย์ (X-ray) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบ เป็นสัญญาณที่ใช้เทคนิค EDS และ WDS



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโตรเมตรี (EDS) [19]

2.7 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers [20]

ความแข็งเป็นการแสดงสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานในการเกิดรอยกดที่พื้นผิว ในการทดสอบความแข็งไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่จะสามารถทำการทดสอบได้กับทุกวัสดุ ซึ่งในบทนี้ได้แสดงถึงกระบวนการทดสอบความแข็งแบบต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแบบรอยกด (Indentation) แบบกระดอน (Rebound) แบบขีดข่วน (Scratch) แบบสึกหรอ (Wear) และในแบบของความสามารถในการกลึงไส (Machinability) โดยการทดสอบความแข็งส่วนใหญ่ เป็นการวัดแรงที่กระทำเกี่ยวกับรอยกดที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำนั้นด้วยกระบวนการเคลื่อน หัวกดลงบนวัสดุ ซึ่งเป็นการทดสอบ

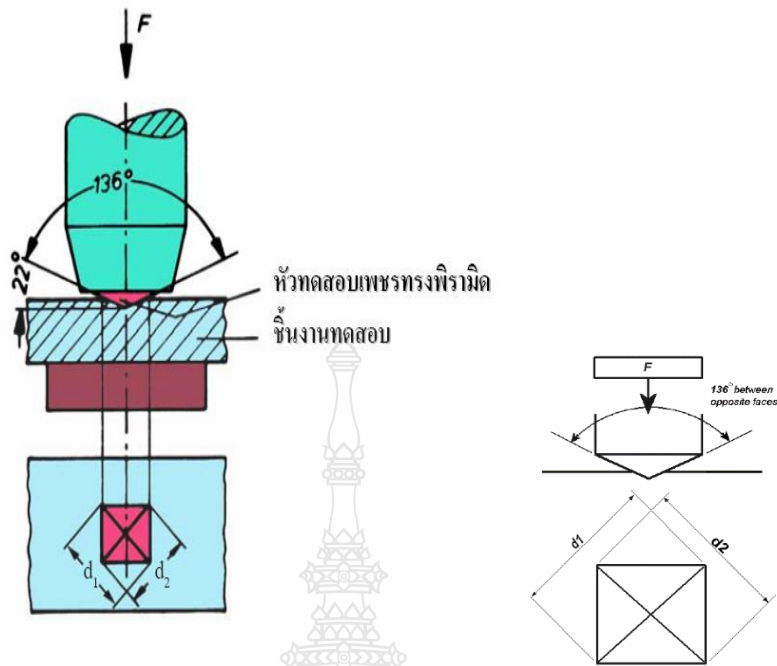
ความแข็งแบบรอยกด ส่วนการทดสอบในลักษณะการ ปล่อยลูกตุ้มที่ทราบน้ำหนักลงบนผิววัสดุ จากนั้นวัดการกระดอนของลูกตุ้มเรียกว่าความแข็ง แบบกระดอน และการทดสอบความแข็งที่สะดวกสุดคือการทดสอบความแข็งแบบรอยขีด ข่วน โดยการขีดข่วนพื้นผิววัสดุด้วยวัสดุต่างๆ ขนาดและคุณภาพของผลการทดสอบจะใช้ เป็นตัวบ่งบอกค่าความแข็งของวัสดุ ส่วนปริมาณการสึกหรอของพื้นผิววัสดุภายใต้เงื่อนไข การทดสอบจะใช้ในการทดสอบความแข็ง การสึกหรอและความต้านทาน การขีดสี และ สุกท้ายความสามารถในการกลึงไสใช้เป็นตัวบ่งบอกความยากง่ายในการกลึงวัสดุ

หลักการ หลักการเกี่ยวกับการทดสอบความแข็งจะเกี่ยวข้องกับ การวัดความต้านทานต่อการ เกิดเป็นรอยกด ซึ่งใช้เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความแข็งแบบต่างๆ หัวกดมีทั้งที่เป็นแบบหัวบอล แบบระนาบ หรือแบบกรวยปลายมนหรือปิรามิด ซึ่งปกติทำจากเหล็กกล้า แข็งหรือเพชร และใช้ทดสอบภายใต้สภาวะน้ำหนักกดที่ โดยการวัดน้ำหนักที่จะทำให้เกิดรอย กดตามที่กำหนดหรือ วัดรอยกดที่เกิดขึ้นภายใต้แรงกระทำนั้น ส่วนความแข็งแบบกระดอนการทดสอบความแข็งกับวัสดุ โลหะส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบ Brinell หรือ Rockwell ส่วนการทดสอบแบบอื่นคือการทดสอบแบบ Shore scleroscope, Vickers, Monotron, Rockwell superficial และเครื่องทดสอบ Herbert จะใช้ในการทดสอบโลหะที่มี ความแข็งสูงหรือเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบผิวแข็ง นอกจากนี้ในการทดสอบความแข็งบางครั้ง ต้องทำการทดสอบกับวัสดุที่เล็กและบางมาก หรือวัสดุที่มีระดับความแข็งแตกต่างกันที่ พื้นผิวเป็นบริเวณแคบๆ จึงจำเป็นต้องพัฒนา เครื่องทดสอบความแข็งระดับจุลภาค (Microhardness tester) เช่น นูพ (Knoop) เป็นต้น

เมื่อ H_v = ความแข็ง

F = แรงกด (N หรือ kgf)

S = พื้นที่ผิวหัวตัด (mm^2)



รูปที่ 2.12 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็ง Vickers [22]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมศักดิ์ ศรีป่าหมาก และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [23] การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมอะลูมิเนียม 6063-T1 และทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม คือ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-225 มม./นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงและโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่าง ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่า 106 MPa เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 มม./นาที การเพิ่มความเร็วเดินแนวเชื่อมทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อเพิ่มขึ้น

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และอนินท์ มีมนต์ [24] การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนแบบต่อเกลียวระหว่างอะลูมิเนียมผสมเบอร์ A 5083 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเบอร์ SS 400 ได้ถูกทำการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบฟริกชันสเตอร์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงการเชื่อม เช่นความเร็วในการเชื่อม ความลึกกวนเข้าไปในเนื้อของวัสดุ ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความเร็วจึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจากการเพิ่มความเร็วจึงทำให้ IMC ชนิดเปราะที่มีค่าความหนาเพิ่มขึ้น และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลดลงของความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบกวนต่ำการพังทลายเกิดในอะลูมิเนียมเป็นแบบคัต ไทล์ ขณะที่ความเร็วรอบสูงเป็นการพังทลายแบบเปราะ

เกิดขึ้นที่ชั้นหนาของ IMC การเพิ่มความเร็วเดินแนวเชื่อมทำให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การเพิ่มความลึกของตัวกวนสอดลงในแนวเชื่อมที่ก่อให้เกิดจุดบกพร่อง

ขวัญชัย อยู่สะอาด และชวลิต นุชวงษ์ [25] การศึกษาอิทธิพลรูปร่างตัวกวนในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบตัวกวนต่อสมบัติรอยต่อชนอะลูมิเนียม A6063-T1 โดยใช้เครื่องมือเชื่อมแบบเกลียวขวา ความเร็วรอบเครื่อง 2000 รอบ/นาที เครื่องมือเชื่อมเปิดทำมุมกับชิ้นงาน 2 องศา ทำการเชื่อมได้แนวเชื่อมที่แข็งแรงสุด โดยให้ค่าความแข็งที่ 170 MPa และมีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวเท่ากับ 29% ของความยาวเดิม โดยที่สภาวะการเชื่อมนี้ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ในแนวเชื่อม

กิตติพงษ์ กิมะพงษ์, บุญส่ง จงกลณี และสมควร แววดี [2] การศึกษาอิทธิพลของตัวกวนรูปแบบต่างๆ เช่น ตัวกวนทรงกระบอก ตัวกวนทรงกรวย และตัวกวนเกลียว ของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอะลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ได้จากรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มม./นาที และความเร็วรอบ 500 รอบ/นาทีที่ค่าประมาณ 165 MPa

ณัฐ แก้วสกุล และกิตติพงษ์ กิมะพงษ์ [26] การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่างๆ คือ ความเร็วรอบของตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสามารถทำให้เกิดรอยต่อชนที่สมบูรณ์ คือ รอยต่อชนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม 102 มม./นาที ที่ค่าความแข็งแรงดึง 71 MPa

กิตติพงษ์ กิมะพงษ์, บุญส่ง จงกลณี และสมควร แววดี. ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวกวนรูปแบบต่างๆ เช่น ตัวกวนทรงกระบอก ตัวกวนทรงกรวย และตัวกวนเกลียว ของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอะลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ผลการทดลองที่ได้พบว่า รอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปแบบต่างๆ ให้ค่าความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่แตกต่างกัน ค่าความแข็งแรงสูงสุดได้จากรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min และความเร็วรอบ 500 rpm ที่ค่าประมาณ 165 MPa หรือร้อยละ 78 ของความแข็งแรงของอะลูมิเนียมหลัก ผลที่เกิดขึ้นนี้ เนื่องจากตัวกวนทรงกระบอกแสดงการเพิ่มขึ้นของผิวเสียดทานระหว่างเหล็กและผิวตัวกวน และส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มผิวกระตุ้นที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ ในการสร้างการเกาะยึดระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็ก นอกจากนี้การเกิดช่องว่างจุดบกพร่องขนาดต่างๆ ที่มุมล่างของตัวกวนด้านแอดวานซ์ของรอยต่อมีขนาดลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น [21]

G. Buffa. et al., (2006) ศึกษาการเชื่อมเทเลออร์แบลิ่งค์ (Tailor Welded Blank; TWB) เป็นวิธีการแบบเดิมสำหรับการผลิตโดยใช้กระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์หรือแบบเดิม ไม่ว่าจะเป็ นกระบวนการใด รอยต่อถูกสร้างขึ้นมาโดยการเปลี่ยนสถานะเฟสของแข็ง-ของเหลว-ของแข็งที่มีผล ต่อโครงสร้างระดับจุลภาคที่ไม่ต้องการและความเค้นตกค้างแรงดึงที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสมรรถนะ ของรอยต่อ การศึกษาเป็นการตรวจสอบความเป็นไปได้ของกระบวนการสร้างรอยต่อที่เป็นทางเลือก คือ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน การต่ออะลูมิเนียม AA7075-T6 ที่มีความหนาต่างกันถูกทำการ ตรวจสอบการทดลองผ่านการวิเคราะห์แบบ FE ที่มีการควบคุม และยังถูกพบว่าสำหรับรอยต่อที่ ประสบความสำเร็จ พารามิเตอร์การเชื่อมต้องมีการออกแบบอย่างรอบคอบเพื่อให้การไหลของโลหะ ที่ได้และเรื่องของอุณหภูมิระหว่าง FSW มีความสอดคล้องกับความหนาสองค่า [23]

K. Elangovan, V. Balasubramanian ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างสลักแกนหมุนและ ความโตของบ่าให้ความร้อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงบริเวณ HAZ บนอลูมิเนียมเกรด AA6061 ทำ การทดลองโดยศึกษาจากรูปร่างของสลักแกนหมุน 5 แบบคือ แบบทรงกระบอกตัดตรง แบบ ทรงกระบอกผิวเกลียว แบบผิวเรียบ แบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม และแบบหน้าตัดสามเหลี่ยมโดยใช้ความเร็ว รอบที่ 1200 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 1.25 มิลลิเมตร/วินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ บ่าให้ความร้อน 15, 18 และ 21 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางสลักแกนหมุน 6 มิลลิเมตร ยาว 5.8 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมบนอลูมิเนียม AA6061 หนา 6 มิลลิเมตร ผลจากการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่เชื่อม ด้วยสลักแกนหมุนแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ขนาดความโตของบ่าให้ความร้อนที่ 18 มิลลิเมตรให้ความ แข็งแรงของแนวเชื่อมดีที่สุด โดยเกิดสิ่งบกพร่องภายในแนวเชื่อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสลักแกน หมุนแบบอื่น [22]

M. Ericsson, R. Sandstrom ทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อ ความต้านการล้าตัวของกระบวนการเชื่อมแบบ FSW เปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อม MIG และ TIG โดยทำการศึกษานวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6082-T6 หนา 4 มิลลิเมตร โดยกำหนดตัวแปรในการ เชื่อมสำหรับกระบวนการเชื่อม MIG และ TIG ตามที่ใช้งานจริงคือทำงานเชื่อมต่อชนใช้กระแส Pulse ในการเชื่อมโดยใช้ลวดเติมชนิด AISi5 ใช้ก๊าซคลุมเป็นอาร์กอน ความเร็วในการเดินเชื่อม 120-140 มิลลิเมตร/นาที สำหรับการกระบวนการเชื่อม TIG และที่ความเร็ว 525 มิลลิเมตร/นาที สำหรับการ เชื่อม MIG โดยทั้งสองกระบวนการมีการให้ความร้อน (Heat Input) ที่ 2.4 kJ/mm และ 0.46 kJ/mm ตามลำดับ ส่วนการกระบวนการเชื่อม FSW กำหนดให้ใช้ความเร็วรอบหมุนที่ 2200-2500 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 700-1400 มิลลิเมตร/นาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าให้ความร้อน 14 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักแกนหมุน 6 มิลลิเมตร ยาว 3.8 มิลลิเมตร ในการวัด

ผลการวิจัยทำการทดสอบความต้านการล้า ความต้านแรงดึง และทดสอบความแข็งบริเวณ HAZ การทดสอบความต้านการล้าตัวกำหนดค่า $R = 0.5$ ควบคุมภายใต้ภาระงานคงที่มีรูปแบบความถี่คลื่นแบบ Sine ที่ 9-15 Hz ผลจากการวิจัยพบว่าค่าความแข็งบริเวณ HAZ ของกระบวนการเชื่อม FSW มีความแข็งมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นคือค่าความแข็งลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเนื้อวัสดุเดิมส่วนกระบวนการ MIG ลดลง 28 เปอร์เซ็นต์ และกระบวนการ TIG ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ในด้านของความแข็งแรงจะทดสอบด้วยการดึงซึ่งพบว่ากระบวนการเชื่อมแบบ FSW มีความต้านแรงดึงสูงกว่ากระบวนการเชื่อมแบบอื่น โดยชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการ FSW มีความแข็งแรงลดลง 23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเนื้อวัสดุเดิมส่วนกระบวนการ MIG ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ และกระบวนการ TIG ลดลง 31 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งการขาดเกิดขึ้นที่ในบริเวณ HAZ และขอบ HAZ ในด้านของค่าความต้านการล้าตัวเมื่อพิจารณาที่รอบวัฏจักร 500,000 รอบ กระบวนการเชื่อมแบบ FSW เกิดความเสียหายที่ค่าความเค้น 90 MPa และกระบวนการ MIG เกิดความเสียหายที่ค่าความเค้น 60 MPa และ 70 MPa สำหรับกระบวนการ TIG [24]

นราธิป แสงชัย สงกรานต์ บางศรีรัชทิพย์และกิตติพงษ์ กิมะพงษ์ อธิธิพลรูปร่างตัวถวน การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบถวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 โดยทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตัวถวน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมพบว่าตัวถวนทรงเกลียววนซ้าย และวนขวาทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องภายในแนวเชื่อมความแข็งแรงสูงสุดในการทดลองมีค่าเท่ากับ 168 MPa ที่ตัวถวนทรงเกลียววนซ้าย ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนว 125 mm/min [6]

P. Cavaliere ,G. Campanile ,F. Panella ,A. Squillace ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปร ในการเชื่อมที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและ โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม AA6056 ในการเชื่อม ด้วยกระบวนการความเสียดทานหมุนวน โดยทำการเชื่อมบนวัสดุหนา 4 มิลลิเมตร ใช้สลักแกนหมุน แบบทรงกระบอกหัวตัดตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าให้ความร้อน 14 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสลักแกนหมุน 6 มิลลิเมตร และความยาวสลักแกนหมุน 3.9 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมโดยใช้ ความเร็วรอบหมุน 3 ระดับที่ 500 ,800 และ 1000 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 3 ระดับที่ 40 ,56 และ 80 มิลลิเมตร/นาที โดยขณะเชื่อมทำการเอียงหัว 3° จากนั้นทำการทดสอบ โครงสร้างจุลภาคและ ทดสอบความแข็งแรงด้วยการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้ทำการทดสอบความต้านการล้าตัว โดยการดึง ด้วยเครื่อง Resonant Electro-Mechanical Testing ควบคุมภายใต้ภาระงานคงที่มีความถี่คลื่นแบบ Sine 250 Hz ที่ค่า $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0.1$ ที่ทำการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของแนว เชื่อมที่ใช้ความเร็วรอบหมุนที่ 1000 รอบ/นาที ให้ผลด้านความแข็งแรงดีที่สุดที่ความเร็วในการเดิน

เชื่อม 80 มิลลิเมตร/นาทึ ในด้านของความละเอียดของเกรนที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 56 มิลลิเมตร/นาทึ ให้ผลที่ดีกว่าความเร็วในระดับอื่นที่เทียบกันและที่ความเร็วนี้ยังให้ผลในด้านความต้านการล้าตัวที่ดีกว่าเงื่อนไขการทดลองแบบอื่นอีกด้วย วิจัย พุ่มจันทร์ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ได้ศึกษาการเชื่อม อลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยทำการเปลี่ยนแปลง ตัวแปรการ ความเร็วเดินแนวเชื่อม พบว่าความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความ สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าสูงหรือต่ำเกินไป ก่อให้เกิดความไม่ สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม [25]

G. Buffa, L. Fratini, R. Shivpuri. (2006) ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (FSW) ถูก นำมาใช้ประสบความสำเร็จในการเชื่อมวัสดุที่ยากต่อ โดยวิธีการเชื่อมบัดกรีหรือการเชื่อมแบบหลอม ละลาย การเชื่อมนั้นก็ยังคงอยู่ในขั้นของการพัฒนาประสิทธิภาพช่วงแรกและจึงยังไม่ได้นำมาใช้ ประโยชน์อย่างเต็มที่ซึ่ง FSW ดูเหมือนจะเป็นกระบวนการที่มีแนวโน้มมากสำหรับการเชื่อมเทเลอร์ แบตเตอรี่ที่ยากลำบากต่อสำหรับในกระบวนการเชื่อมหลอมละลายที่พบการเชื่อมแบบดั้งเดิม ที่ส่งผล ต่อความเรียบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมดี และในบทความนี้กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ของเทเลอร์แบตเตอรี่ของอะลูมิเนียมผสมเป็นการพิสูจน์ด้วยกระบวนการ FEM โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ที่ศึกษาความหนาต่างกัน สำหรับการออกแบบจำลองการเชื่อมที่ แตกต่างกัน จะพิจารณาและจำลองเชิงตัวเลขถูกดำเนินการในลำดับความเป็นไปได้ที่จะคาดการณ์ของ กระบวนการรูปร่างสุดท้ายของว่างเชื่อมและการกระจายของตัวแปรกระบวนการหลักอุณหภูมิเช่น [26]

G. Buffa, L. Fratini, R. Shivpuri. (2007) ได้ศึกษาการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) พบว่าเป็น กระบวนการที่มีแนวโน้มเมื่อมีการเชื่อมของแผ่น โลหะที่มีความหนาหรือชนิด แตกต่างกัน โดยเฉพาะการเชื่อมเทเลอร์แบตเตอรี่ (TWB) ซึ่งมักจะนำมาอธิบายลักษณะความเหนียวที่ ลดลงจากการใช้กระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาความ เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน(FSW) เทเลอร์ แบตเตอรี่ของอะลูมิเนียมกับความหนาที่ต่างกัน พบว่าผลของทั้ง 2 การทดลองและการวิเคราะห์ FE สามารถ [27]

Amir Abbas Zadpoor. et al., (2008) ศึกษาสมบัติลักษณะ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทาง กลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของโลหะที่ต่างกันและความหนาแตกต่างกันและเชื่อมที่ความ หนาต่างกัน 5 ระดับ วัสดุเป็นแผ่นอะลูมิเนียม AA2024-T3 และ AA7075-T6 ที่มีความหนาต่างกัน และทำการศึกษาหาประสิทธิภาพตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดค่าต่างๆดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบ และบทความจะแบ่งออกเป็นสองตอน: โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ในตอนแรกบทความ,

เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมแสดงให้เห็นว่าสารเคมีผสมกันบริเวณพื้นที่จำกัดที่แสดงในการเชื่อมที่บริเวณพื้นที่กวนและวงกลมวงแหวนแสดงพื้นผิวที่แตกต่างกันสำหรับค่าที่กำหนด ศึกษาความแข็งและความแข็งแรงดึงและพื้นผิวการแตกหักในบทที่สอง แสดงให้เห็นว่าพื้นที่วงมีค่าอ่อนซึ่งเป็นเรื่องยากที่ความแข็งที่ด้านadvancing จะขยายเข้ามาบริเวณในด้านออกจากบริเวณพื้นที่กวนและมีสมบัติทางกลที่ลดลงที่อัตราส่วนความหนาเพิ่มขึ้น การแตกหักบางส่วนเป็นแบบเหนียวและบางส่วนเป็นแบบเปราะทุกค่าทั้งหมดที่กำหนด [27]

พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์, บุญส่ง จงกลณี และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอะลูมิเนียม 6063-T1 การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึง และโครงสร้างมหภาคที่ต่างกันอย่างชัดเจน ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่า 110 MPa เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สูงกว่าทำให้จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมมีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามความเร็วรอบที่สูงเกินไปทำให้เกิดจุดบกพร่องบริเวณผิวหน้าและจุดบกพร่องขนาดใหญ่ที่บริเวณด้านแอดวานซ์ของรอยต่อและส่งผลโดยตรงต่อการลดความแข็งแรงดึง โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อแสดงการเกิดเกรนใหม่ ที่มีรูปร่างที่กลมมนและมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมหลัก [28]

P. Cavaliere ,G. Campanile ,F. Panella ,A. Squillace ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการเชื่อมที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมเกรด AA6056 ในการเชื่อมด้วยกระบวนการความเสียดทานหมุนกวน โดยทำการเชื่อมบนวัสดุหนา 4 มิลลิเมตร ใช้สลักแกนหมุนแบบทรงกระบอกหัวตัดตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าให้ความร้อน 14 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสลักแกนหมุน 6 มิลลิเมตร และความยาวสลักแกนหมุน 3.9 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมโดยใช้ความเร็วรอบหมุน 3 ระดับที่ 500 ,800 และ 1000 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 3 ระดับที่ 40 ,56 และ 80 มิลลิเมตร/นาที โดยขณะเชื่อมทำการเอียงหัว 3° จากนั้นทำการทดสอบ โครงสร้างจุลภาคและทดสอบความแข็งแรงด้วยการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้ทำการทดสอบความต้านการล้าตัวโดยการดึงด้วยเครื่อง Resonant Electro-Mechanical Testing ควบคุมภายใต้ภาระงานคงที่ความถี่คลื่นแบบ Sine 250 Hz ที่ค่า $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0.1$ ที่ทำการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วรอบหมุนที่ 1000 รอบ/นาที ให้ผลด้านความแข็งแรงดีที่สุดที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตร/นาที ในด้านของความละเอียดของเกรนที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 56 มิลลิเมตร/นาที ให้ผลที่ดีกว่าความเร็วในระดับอื่นที่เทียบกันและที่ความเร็วนี้ยังให้ผลในด้านความต้านการล้าตัว

ที่ดีกว่าเงื่อนไขการทดลองแบบอื่นอีกด้วย วิจัย พุ่มจันทร์ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ได้ศึกษาการเชื่อม อลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยทำการเปลี่ยนแปลง ตัวแปรการ ความเร็วเดินแนวเชื่อม พบว่าความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความ สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าสูงหรือต่ำเกินไป ก่อให้เกิดความไม่ สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม [25]

G. Buffa, L. Fratini, R. Shivpuri. (2006) ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (FSW) ถูก นำมาใช้ประสบความสำเร็จในการเชื่อมวัสดุที่ยากต่อ โดยวิธีการเชื่อมบัดกรีหรือการเชื่อมแบบหลอม ละลาย การเชื่อมนั้นก็ยังคงอยู่ในขั้นของการพัฒนาประสิทธิภาพช่วงแรกและจึงยังไม่ได้นำมาใช้ ประโยชน์อย่างเต็มที่ซึ่ง FSW ดูเหมือนจะเป็นกระบวนการที่มีแนวโน้มมากสำหรับการเชื่อมเทเลอร์ แบลิ่งค์ที่ยากลำบากต่อสำหรับในกระบวนการเชื่อมหลอมละลายที่พบการเชื่อมแบบดั้งเดิม ที่ส่งผล ต่อความเรียบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมดี และในบทความนี้กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ของเทเลอร์แบลิ่งค์ของอะลูมิเนียมผสมเป็นการพิสูจน์ด้วยกระบวนการ FEM โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ที่ศึกษาความหนาต่างกัน สำหรับการออกแบบจำลองการเชื่อมที่ แตกต่างกัน จะพิจารณาและจำลองเชิงตัวเลขถูกดำเนินการในลำดับความเป็นไปได้ที่จะคาดการณ์ของ กระบวนการรูปร่างสุดท้ายของว่างเชื่อมและการกระจายของตัวแปรกระบวนการหลักคุณหมุมิเช่น [26]

G. Buffa, L. Fratini, R. Shivpuri. (2007) ได้ศึกษาการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) พบว่าเป็น กระบวนการที่มีแนวโน้มเมื่อมีการเชื่อมของแผ่น โลหะที่มีความหนาหรือชนิด แตกต่างกัน โดยเฉพาะการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์ (TWB) ซึ่งมักจะนำมาอธิบายลักษณะความเหนียวที่ ลดลงจากการใช้กระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาความ เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน(FSW) เทเลอร์ แบลิ่งค์ของอะลูมิเนียมกับความหนาที่ต่างกัน พบว่าผลของทั้ง 2 การทดลองและการวิเคราะห์ FE สามารถ [27]

Amir Abbas Zadpoor, et al., (2008) ศึกษาสมบัติลักษณะ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทาง กลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของโลหะที่ต่างกันและความหนาแตกต่างกันและเชื่อมที่ความ หนาต่างกัน 5 ระดับ วัสดุเป็นแผ่นอะลูมิเนียม AA2024-T3 และ AA7075-T6 ที่มีความหนาต่างกัน และทำการศึกษาหาประสิทธิภาพตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดค่าต่างๆดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบ และบทความจะแบ่งออกเป็นสองตอน: โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ในตอนแรกบทความ, เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมแสดงให้เห็นว่าสารเคมีผสม กันบริเวณพื้นที่จำกัดที่แสดงในการเชื่อมที่บริเวณพื้นที่กวนและวงกลมวงแหวนแสดงพื้นผิวที่

แตกต่างสำหรับค่าที่กำหนด ศึกษาความแข็งและความแข็งแรงดึงและพื้นผิวการแตกหักในบทที่สอง แสดงให้เห็นว่าพื้นที่งมีค่าอ่อนซึ่งเป็นเรื่องยากที่ความแข็งที่ด้านadvancing จะขยายเข้ามาบริเวณในด้านถอยจากบริเวณพื้นที่กวนและมีสมบัติทางกลที่ลดลงที่อัตราส่วนความหนาเพิ่มขึ้น การแตกหักบางส่วนเป็นแบบเหนียวและบางส่วนเป็นแบบเปราะทุกค่าทั้งหมดที่กำหนด [27]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนซ้ำโดยใช้ตัวกวนที่มีลักษณะทรงกระบอกเกลียวซ้าย อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินการทดลองและสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นกันคือ การวางแผนการดำเนินงาน การจัดบันทึกการทำงานรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลองที่ได้ย่อมมีเหตุผล ก่อให้เกิดการทำงานที่เป็นระบบพร้อมทั้งสอดคล้องกับระยะเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งแผนการดำเนินงานและขั้นตอนในการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

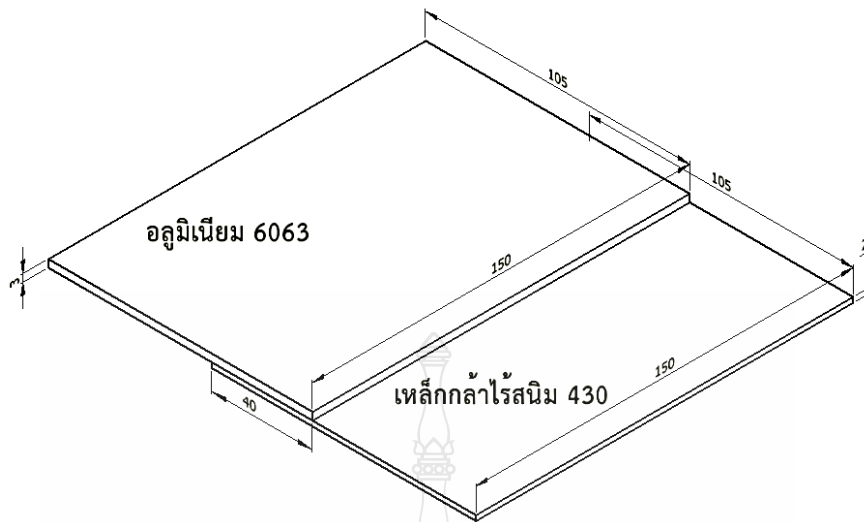
3.1 แผนการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวระหว่งอะลูมิเนียม แผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ในลักษณะต่อเกลยโดยใช้ตัวกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในความเร็วรอบ 250 500 750 รอบ/นาที และความเร็วในการเดินกวนที่ 175 เมตร/นาที ซึ่งการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่เหมาะสม

3.2 การออกแบบการทดลอง/เครื่องมือ

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- 1) อะลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 ขนาดที่ใช้เชื่อม ความยาว 150 มม. ความกว้าง 105 มม. และ ความหนา 3 มม
- 2) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ขนาดที่ใช้เชื่อมความยาว 150 มม. ความกว้าง 105 มม. และ ความหนา 2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ที่แสดงถึงลักษณะการต่อเกลย 40 มม. ของวัสดุทั้งสองชนิด

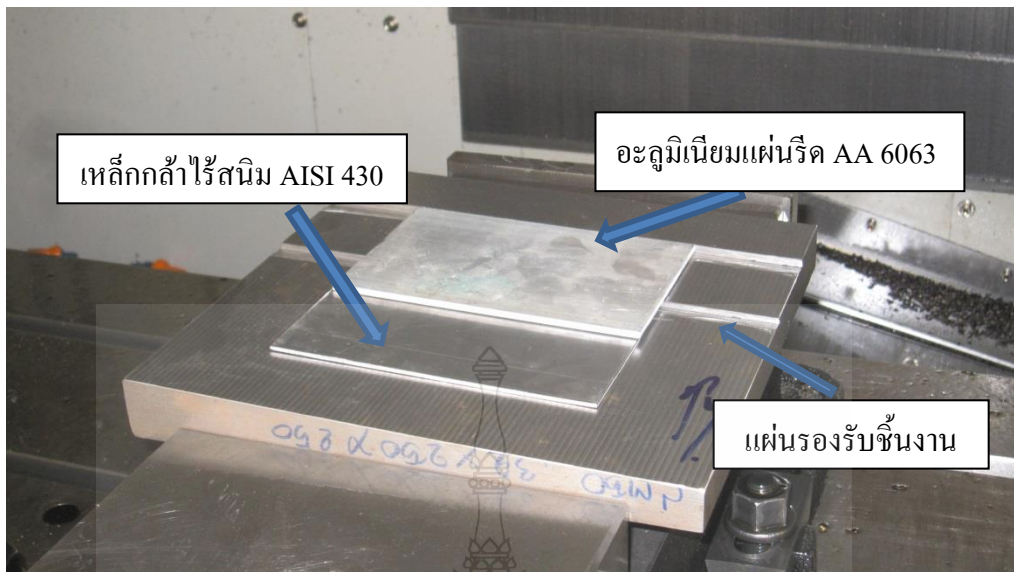


รูปที่ 3.1 แบบการวางชิ้นงานก่อนการเชื่อม (มม.)

3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture)

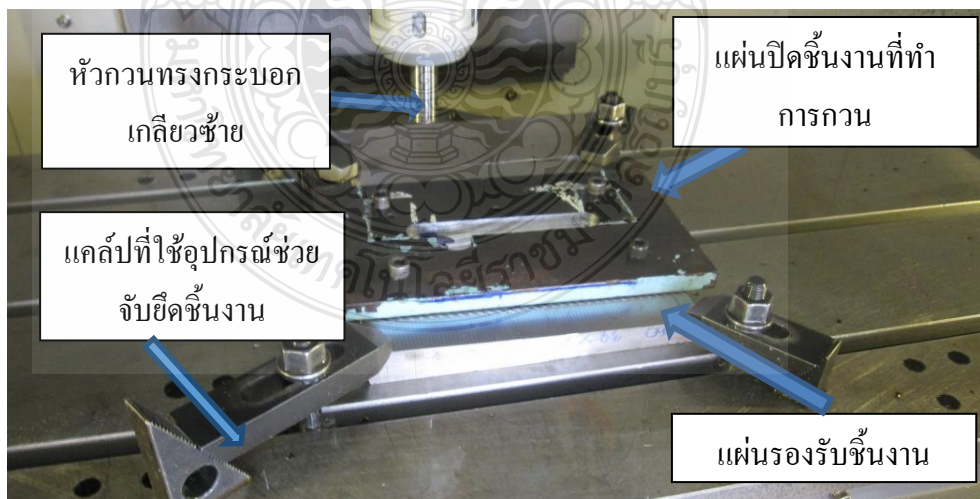
อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อการดำเนินงานของโครงการเนื่องจากการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW) ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่สูงระหว่างการเชื่อม จึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์ในการจับยึดชิ้นงานให้มีความแข็งแรงมั่นคง มีความสามารถในการต้านการสั่นสะเทือนหรือลดการสั่นสะเทือนให้ได้มากที่สุด เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของชิ้นงานในระหว่างการเชื่อม โดยสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงเสมอในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1) แผ่นรองชิ้นงานทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ ทำการชุบแข็งที่ผิว มีหน้าที่ในการรองรับชิ้นงานในระหว่างการเชื่อม จะต้องเป็นวัสดุที่สามารถรองรับแรงกดได้ดี ทนต่อสภาวะอุณหภูมิที่สูงได้ ไม่เสียรูปทรงในระหว่างและหลังการเชื่อม และที่สำคัญสามารถจับยึดกับโต๊ะจับชิ้นงานได้อย่างแน่นและมั่นคง โดยแผ่นรองชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนครั้งนี้ มีขนาดความกว้าง 200 มม. ความยาว 300 มม. และความหนา 25 มม. โดยทำการกัดชิ้นงานรองรับชิ้นงานเป็นขั้นตามรูปที่ 3.2 และมีการตั้งระยะในการต่อเกย ขนาด 40 มม. พร้อมทั้งตัวกั้นชิ้นงานให้ได้ความยาวของชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดการวางที่แน่นอนและเที่ยงตรง



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองรับชิ้นงาน

2) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็งที่ผิวแล้ว อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองรับชิ้นงานทำหน้าที่ในการจับยึดแผ่นรองรับชิ้นงานให้แน่นขณะทำการเชื่อม สามารถทนต่อแรงกระแทกและแรงสั่นสะเทือนได้ดี อุปกรณ์ในการจับยึดชิ้นงานก็จะมีหน้าที่ที่คล้ายกับอุปกรณ์จับยึดแผ่นรองรับชิ้นงาน แต่จะทำหน้าที่ในการจับยึดชิ้นงาน โดยการจับยึดจะทำการจับยึดกับชิ้นงานโดยตรงและผ่านแผ่นกดทับชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานไม่เคลื่อนที่ในขณะที่ทำการเชื่อม



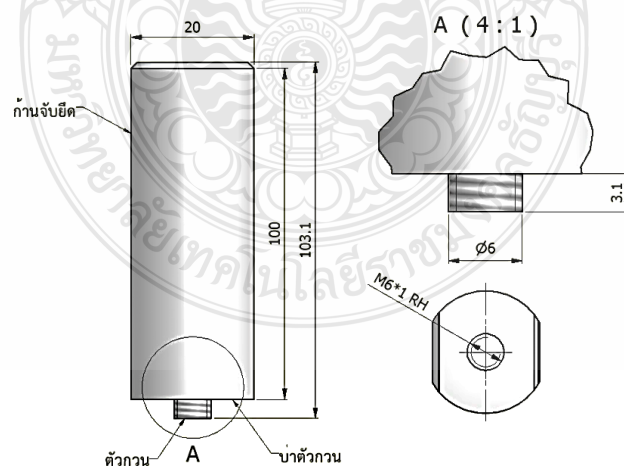
รูปที่ 3.3 การจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อม

3) ทำการประกอบชุดอุปกรณ์จับยึดทั้งหมดโดยเริ่มจากการยึดแผ่นรองรับชิ้นงานกับโต๊ะรองรับงานของเครื่องกัด จากนั้นนำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าไปวางในช่องที่ทำขึ้นมาซึ่งมีขนาด 105X150X2 มม. แล้วนำแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 105X150X3 วางทับไว้บนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยต่อเกยขนาด 40 มม. ในระยะของเครื่องมือรองรับชิ้นงานไว้อยู่แล้ว จากนั้นนำเครื่องมืออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมาจับยึดชิ้นงานให้ได้ศูนย์และแน่น ตรวจสอบทั้งแผ่นรองรับชิ้นงานกับโต๊ะงานของเครื่อง และชิ้นงานบนแผ่นรองรับชิ้นงานอีกครั้ง

3.2.3 การออกแบบเครื่องมือที่ใช้เป็นตัวกวน (Tool)

ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW) สิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากก็คือตัวกวน ซึ่งมีหน้าที่กวนเนื้อวัสดุให้ประสานติดกัน โดยจะต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนต่อแรงกด แรงสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่สูงได้และที่สำคัญต้องมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุที่นำมาทดสอบด้วย โดยทั่วไปจะมีส่วนที่ทำหน้าที่หลักอยู่ 3 ส่วน คือ

- 1) ก้านจับยึด (Body) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นพื้นที่ในการจับยึดของหัวจับของเครื่องกัด
- 2) บ่า (Shoulder) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กดและเกลี่ยเนื้อของวัสดุจนเกิดความร้อนจากการเสียดทานจึงทำให้วัสดุผสมติดกัน ในการเชื่อมครั้งนี้บ่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม.
- 3) สลัก (Pin) มีหน้าที่กวนเนื้อภายในของวัสดุให้เกิดความอ่อนตัวจนเกิดการหลอมผสมติดกันระหว่างวัสดุทดสอบพร้อมทั้งสร้างความแข็งแรงของแนวการเชื่อมภายในเนื้อวัสดุด้วย โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 3.2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW) นอกจากเครื่องมือที่ได้ ออกแบบและทำการสร้างเพื่อใช้ในกระบวนการแล้ว เครื่องจักรก็มีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากเช่นกัน หัวข้อนี้อธิบายถึงขั้นตอนของการดำเนินงาน โดยมีเครื่องมือกลต่างๆ ที่ใช้ด้วยกัน ได้แก่ เครื่องกัด อัตโนมัติ เครื่องตัด เครื่องอัดเรซิน เครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องขัดเพื่อส่งคู โครงสร้าง ก่อฉล จุลทรรศน์แบบลำแสง ก่อฉลจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด และเครื่องทดสอบความแข็ง เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 การเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อม

1) นำอะลูมิเนียมหนา 3 มม. ตัดให้ได้ขนาด กว้าง 105 มม. ยาว 150 มม. และ เหล็กกล้าไร้สนิมหนา 2 มม. ตัดให้ได้ขนาด กว้าง 105 มม. ยาว 150 มม.

2) ลบคมที่ขอบของอะลูมิเนียม และเหล็กกล้าไร้สนิมที่เกิดครีบจากการตัดโดยเน้น หน้าสัมผัสระหว่างการต่อของวัสดุทั้งสอง โดยทำการขัดโดยใช้เครื่องขัดกระดาษทราย ดังแสดง ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องขัดกระดาษทราย

3) ทำการขัดชิ้นงานบริเวณหน้าผิวสัมผัสของรอยต่อของวัสดุทั้งสอง โดยขัด ด้วยกระดาษทราย เบอร์ 400 และเบอร์ 600 ตามลำดับ เพื่อกำจัดความสกปรกที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุ

ทั้งสองชิ้น จากนั้นทำการเชื่อมด้วยอะซิโตนอีกรอบเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่เกิดจากการขัดด้วยกระดาษทราย

4) ทำการจับยึดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดที่เตรียมไว้ในรูปแบบการต่อเกย (Lap joint) โดยวางแผ่นอะลูมิเนียมทับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมในระยะ 40 มม.

5) ประกอบตัวกวนเข้ากับเครื่องกัดแล้วทำการตั้งค่าจุดเริ่มต้นในการเริ่มการเชื่อม

3.3.2 การตั้งค่าโปรแกรมการเดินเครื่องกัดอัตโนมัติและกระบวนการเชื่อม

1) ตั้งค่าเงื่อนไขในการเดินเครื่องกัดอัตโนมัติดังต่อไปนี้

1.1 ความเร็วรอบของตัวกวน (S) 250 500 750 รอบ/นาที

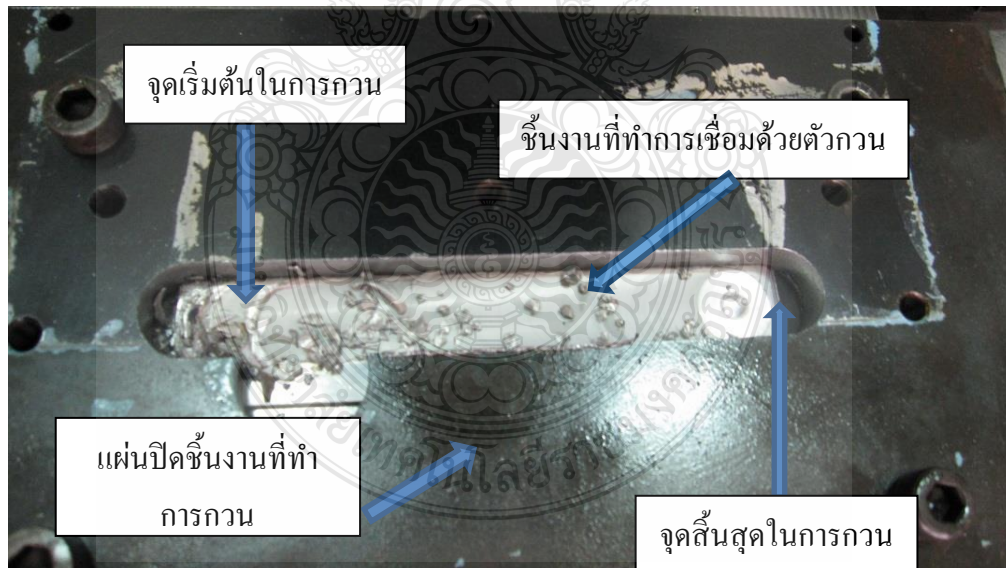
1.2 ความเร็วเดินของแนวเชื่อม (F) 125 175 มม./นาที

1.3 ความเอียงของตัวกวนเมื่อเทียบกับแกนหมุนของเครื่องกัด 2 องศา

1.4 ความลึกของตัวกวนที่ตกลงในเหล็กกล้าไร้สนิม ลึก 0.2 มม.

1.5 ระยะห่างจากจุดเดินกวน 1 มม. , และ 2 มม.

2) เริ่มทำการเชื่อม โดยเปิดเดินเครื่องแบบอัตโนมัติไปตามทิศทางที่กำหนดจนถึงสิ้นสุดของขนาดความยาวของชิ้นงานที่ตั้งค่าไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 รูปที่ทำการเชื่อมด้วยตัวกวน

- 3) นำชิ้นงานออกและตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงานที่ทำการเชื่อมเสร็จแล้ว
- 4) ตรวจสอบระยะของตัวกวนทุกครั้งหลังการเชื่อมและปล่อยให้ตัวกวนเย็นตัวในอากาศประมาณ 20 นาที ก่อนการลงมือเชื่อมชิ้นงานชิ้นต่อไป ซึ่งได้ชิ้นงานเชื่อมที่สมบูรณ์
- 5) หลังจากปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วทำการเชื่อมซ้ำระยะห่าง 1 และ 2 มม.



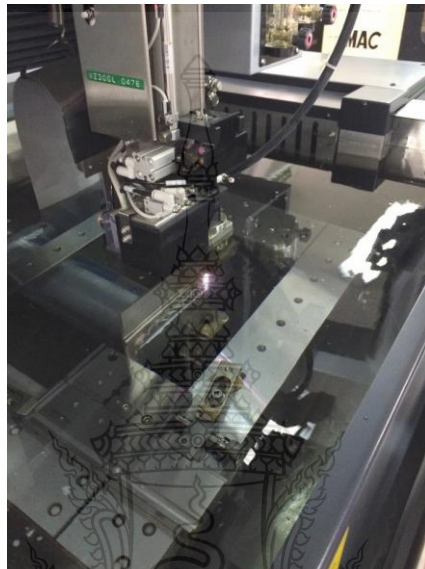
รูปที่ 3.7 เครื่องกัดอัตโนมัติแนวตั้ง



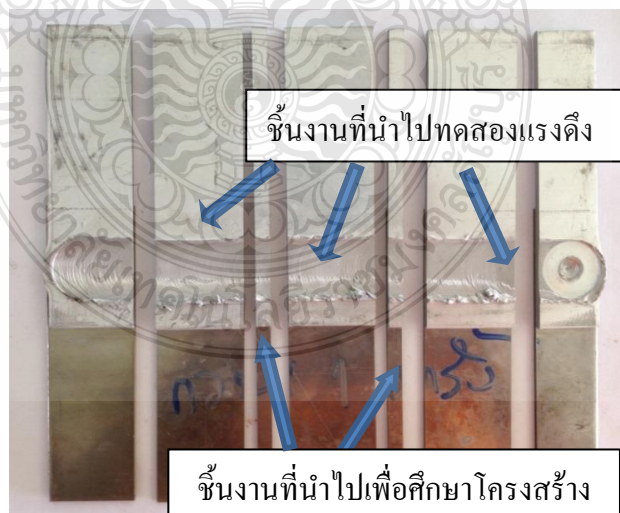
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม

3.3.3 การเตรียมชิ้นงานเชื่อมทดสอบแรงดึงเฉือน

นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมมาทำการตัดหัวและตัดท้ายออก และตัดเป็นชิ้น ๆ ตามขนาดที่กำหนด เพื่อจะนำไปทดสอบแรงดึงและศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน โดยตัดหัวท้ายทิ้ง และตัดให้มีความกว้าง 30 มม. 3 ชิ้น และ กว้าง 5 มม. 2 ชิ้นด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 เครื่องตัดโลหะด้วยลวด



รูปที่ 3.10 รูปชิ้นงานที่ตัดแล้ว

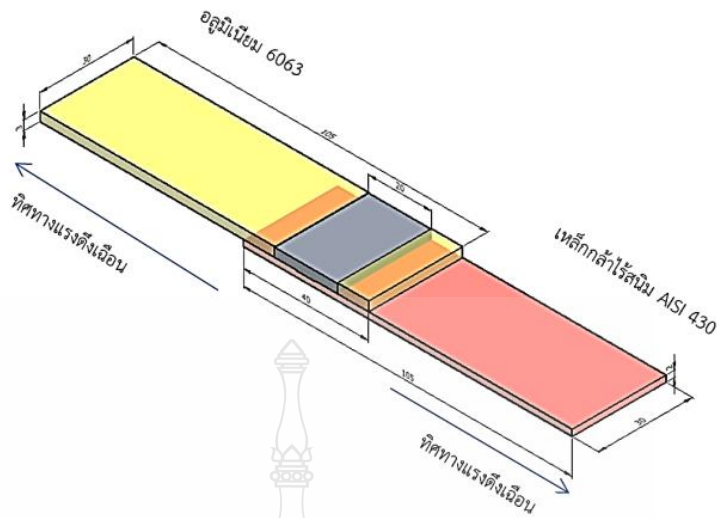
3.3.4 การทดสอบหาค่าการรับแรงดึง

โดยในการทดสอบจะใช้การดึงชิ้นงานทดสอบตามแนวขวางของแนวเชื่อม โดยมี การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006 ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ก่อนนำเข้าทดสอบแรงดึง โดยในการดึงทดสอบเพื่อหาค่าการรับแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมที่สามารถ รับได้ โดยใช้เครื่องดึงมาตรฐานASTM D1002-05 แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบแรงดึง

หลังจากที่ได้ทำการตัดชิ้นงานที่ทำการทดสอบเรียบร้อยแล้วดังแสดงในรูปที่ 3.11 เลือกชิ้นงานที่มีความกว้าง 30 มม. ทั้ง 3 ชิ้น ไปทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงใน แนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยกำหนดค่าของแรงและความเร็วในการดึงที่เหมาะสมกับชิ้นงาน ซึ่งดึง ให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ไปเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงในการวน ซ้ำ



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานที่นำไปทำสอบแรงดิ่งเฉือน

3.3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นตรวจสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคนั้นควรตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดดังกล่าวต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดการผิดพลาด สำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 mm หรือ 1 นิ้ว และความสูงไม่น้อยกว่า 15 mm แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด $25 \times 25 \times 20$ mm ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่าย แต่ถ้าชิ้นตรวจสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซินโดยให้หน้าตัดของชิ้นตรวจสอบอยู่ภายนอกเรซินและขนาดของเรซินนั้นก็ควรมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นตรวจสอบ

1) นำชิ้นงานที่ได้จากการตัดที่มีขนาดความกว้าง 5 มม. มาทำการตัดส่วนที่ไม่ใช่แนวเชื่อมออก แล้วนำส่วนที่เป็นแนวเชื่อมมาทำการหล่อเรซิน ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 เครื่องหล่อเรซินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว



รูปที่ 3.14 ชิ้นงานหลังการหล่อเรซิน

2) นำชิ้นงานที่ทำการหล่อเรซินเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.14 มาทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับด้วยเครื่องขัดเพื่อส่งดูโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากนั้นนำไปขัดด้วยผ้าสักหลาดอีกครั้งในขั้นสุดท้ายเพื่อให้ชิ้นงานมีความเรียบและเกิดความมันวาวยิ่งขึ้น

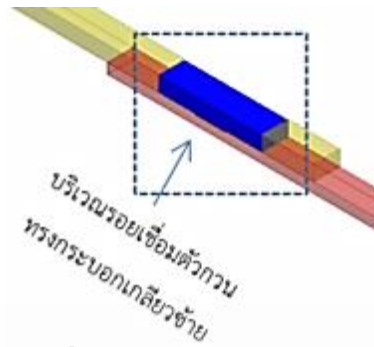


รูปที่ 3.15 เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.16 กล้องส่องดูโครงสร้าง

3) หลังจากขัดชิ้นงานเสร็จแล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการกัดด้วยกรดผสมการกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา



รูปที่ 3.17 บริเวณชิ้นงานที่ดูโครงสร้าง

4) นำชิ้นงานที่กัดกรดแล้วไปทำการส่องโครงสร้างด้วยกล้องส่องโครงสร้างจุลภาค และทำการวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.17

3.3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

การส่องโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)เตรียมโดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดพอเหมาะที่จะเอาเข้าเครื่องได้ นำไปขัดผิว (Grinding) ให้เรียบ ด้วยกระดาษทรายขัดเหล็ก (Silicon carbide) หล่อลื่นด้วยน้ำในขณะที่ขัด โดยเริ่มขัดจากหยาบไปหาละเอียด เริ่มจากกระดาษทรายเบอร์ 220 320 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ ในบางกรณีอาจใช้ถึงเบอร์ 3000 การขัดแต่ละครั้งจะต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวตลอดผิวงาน แล้วจึงหมุนชิ้นงานไป 90 องศา ขัดต่อจนรอยเดิมหายไป จากนั้นนำไปขัดเงา (Polishing) ด้วยผงอะลูมินา (Alumina) บนผ้าสักหลาด ด้วยเครื่องขัดแบบจานหมุน ปกติจะนิยมใช้ผง อะลูมินา ที่มีเม็ดขนาด 1 μm 0.25 μm และ 0.05 μm ตามลำดับ ล้างน้ำทุกครั้งที่เปลี่ยนผงขัด การขัดเป็นการขัดผิวตัวอย่างส่วนที่เล็กรูปไปเนื่องจากการตัด ซึ่งจะต้องขัดให้ผิวเดิมออกหมด จนถึงบริเวณที่เป็นโครงสร้างที่แท้จริง ดังแสดงรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด Scanning Electron Microscope SEM



บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาตัวแปรการเชื่อมประกอบ ด้วยตัวกวน ทรงกระบอกเกลียวซ้าย โดยการใช้ค่าความเร็วรอบของตัวกวนที่ 250 500 และ 750 รอบ/นาที ใน ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที โดยมีระยะห่างในการกวนแนวเชื่อม ที่ 0 - 2 มม. ทำการทดสอบ สมบัติทางกลของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) การเปรียบเทียบลักษณะรอยขาด ของแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการทดลองตามค่าตัวแปรที่กำหนด แล้วนำชิ้นทดลองมาทำการทดสอบทางกล วิเคราะห์โครงสร้างทั้งภายในและภายนอกของรอยเชื่อม และทำการเปรียบเทียบเพื่อทำการหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนซ้ำ ของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ซึ่งได้ผล จากการทดลองดังนี้

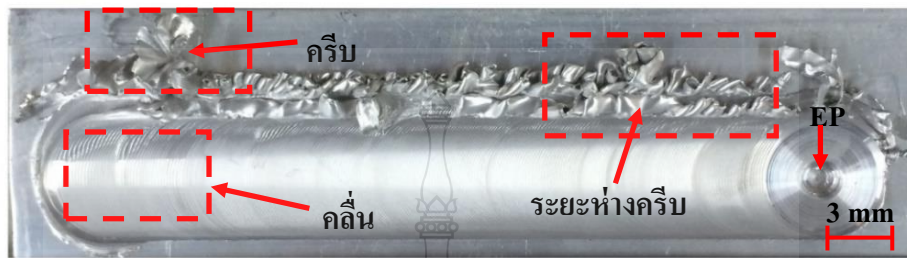
4.1 อิทธิพลของระยะห่างการเชื่อมซ้ำ ความเร็วรอบ ความเร็วเดินตัวกวนและที่มีผลต่อ ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย

ตัวแปรการเชื่อมสำคัญที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อเกย คือตัวกวนรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ซ้าย กวนลึกกลงไปในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 0.2 มม. โดยมีระยะห่างในแนวเชื่อมซ้ำ 0 1 และ 2 มม. ความเร็วรอบตัวกวน 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ความเอียง ของตัวกวน 2 องศา เข้าอลูมิเนียมเกรด 6063 ผลการทดลองที่น่าสนใจมีดังนี้

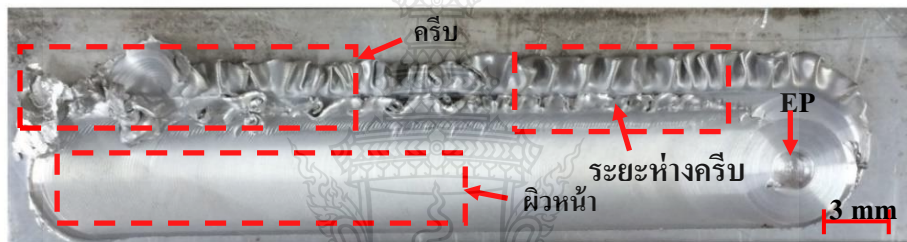
รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้ารอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยสภาวะความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า ผิวหน้ารอยเชื่อมที่มีระยะห่างจากแนวเชื่อมเดิม 0 1 และ 2 มม. ดังรูปที่ 4.1 (ก) มีจุดบกพร่อง เกิดขึ้น บนผิวหน้าแนวเชื่อมมีรอยคลื่น ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีการกวนซ้ำในตำแหน่งเดิมและเปลี่ยน ตำแหน่งในการกวนซ้ำ ส่งผลทำให้อลูมิเนียมอ่อนตัวดันออกมาบริเวณผิวและด้านข้างเพิ่มมากขึ้น เกิดเป็น 2 ครีบริบรอบๆ ส่วนรูปที่ 4.1 (ข)และ(ค)ซึ่งมีขนาดห่างของครีบริบตามขนาดที่ทำการกวน มี จุดบกพร่องเพียงเล็กน้อยบริเวณผิวรอยเชื่อมและเกิดครีบริบขึ้นไม่มาก ผิวแนวเชื่อมมีความเรียบขึ้นและ การเกิดครีบริบน้อยลง อย่างไรก็ตามที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อม



(ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 0 มม.



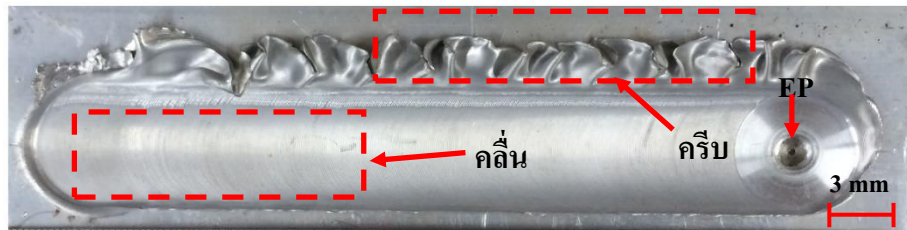
(ข) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 1 มม.



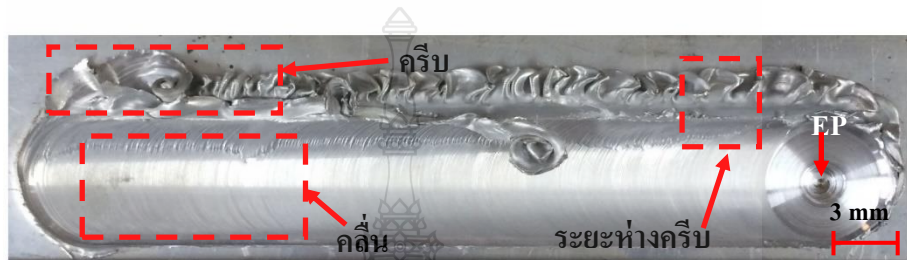
(ค) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่กวาดด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ในการเชื่อมซ้ำแนวระยะต่างๆ

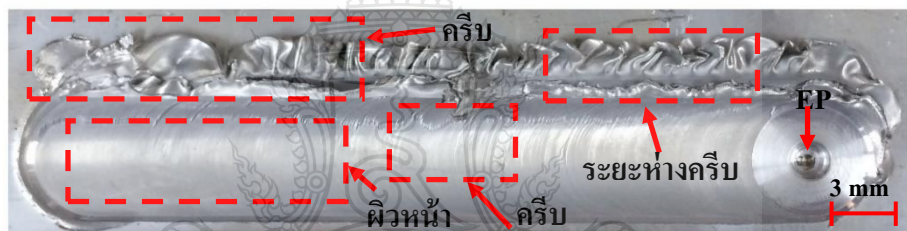
จุดบกพร่องรูปวงกลมขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.1 รูปกลมที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการถอนตัวกวาดที่กำลังหมุนขณะทำการเชื่อมออกจากแนวเชื่อมพิจารณา ด้านข้างของผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า มีครีปของอลูมิเนียมที่ถูกกวาด อัด และดันออกมาด้านข้างของแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามลักษณะและรูปร่างของครีปมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กและมีระยะห่างของครีปที่เกิดขึ้นด้วย ในการทดลองเห็นได้ชัดว่าผิวหน้าแนวเชื่อมซ้ำระยะห่าง 0 มม. มีผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีคลื่นมากกว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมซ้ำระยะห่าง 2 มม. โดย ผิวหน้าแนวเชื่อม 2 มม. มีผิวหน้าแนวเชื่อมสมบูรณ์ไม่มีคลื่น เป็นผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความมั่นคงตลอดแนวเชื่อม ซึ่งได้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 14200 นิวตัน ซึ่งมากกว่า ผิวหน้าแนวเชื่อมซ้ำที่มีระยะห่าง 0 และ 1 มม.



(ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 0 มม.



(ข) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 1 มม.



(ค) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.2 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่กวนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาทีในการเชื่อมซ้ำแนวระยะต่างๆ

รูปที่ 4.2 แสดงผิวหน้ารอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยสภาวะความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า ผิวหน้ารอยเชื่อมที่มีระยะห่างจากแนวเชื่อมเดิม 0 - 2 มม. ผิวหน้าการเชื่อมที่มีระยะห่างการเชื่อมซ้ำแนว แนวมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นบนผิวหน้าแนวเชื่อมมีรอยคลื่นไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการกวนซ้ำในตำแหน่งเดิม และเปลี่ยนตำแหน่งในการกวนซ้ำ ส่งผลทำให้หลุมนิยมนุ่มอ่อนตัวดันออกมาบริเวณผิว และด้านข้างเพิ่มมากขึ้น เกิดเป็น 2 ครีปรอบๆ ขณะที่ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ทำการเชื่อมซ้ำมีระยะห่าง 1 และ 2 มม. ดังรูปที่ 4.2 (ข) และ (ค) มีขนาดระยะห่างของครีปตามขนาดที่ทำการกวน มีจุดบกพร่องเพียงเล็กน้อยบริเวณผิวรอยเชื่อมยังมีคลื่นอยู่เล็กน้อยและเกิดครีปขึ้นสองครีป ห่างกัน 1 และ 2 มม.

รูปร่างของครีบบมีขนาดที่ค่อนข้างเล็ก ครีบบมีลักษณะรอยย่นที่ใหญ่ขึ้นกว่ารูปที่ 4.1 ที่มีการเพิ่มความเร็วยรอบที่มากขึ้น



(ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 0 มม.



(ข) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 1 มม.



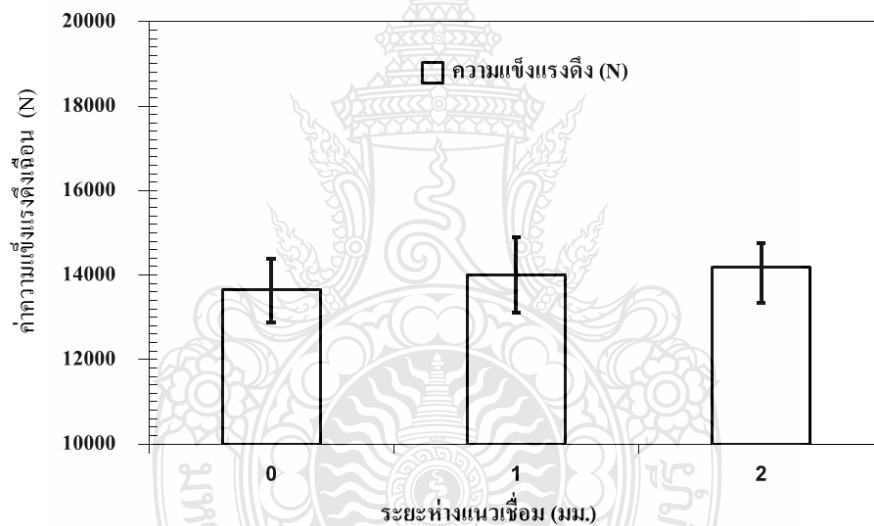
(ค) ผิวหน้าแนวเชื่อมระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.3 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ถวนด้วยความเร็วยรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ในการเชื่อมขั้วแนวระยะต่างๆ

รูปที่ 4.3 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมขั้วที่มีระยะห่างที่ 0 1 และ 2 มม. ผิวหน้ารอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมขั้วที่ระยะห่าง 0 มม. ดังรูปที่ 4.3 (ก) เป็นผิวรอยเชื่อมที่เชื่อมครั้งแรก มีผิวคลื่นรอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นคลื่นตลอดผิวแนวเชื่อมที่ไม่สม่ำเสมอและในการถวน อย่างไรก็ตามที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อม พบจุดบกพร่องรูปร่างกลมขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมเกิดขึ้น (EP) รูกลมที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นจากการถวนตัวถวนที่กำลังหมุนขณะทำการเชื่อมออกจากแนวเชื่อม ผิวหน้าเรียบ(ข)เป็นผิวหน้ารอยเชื่อมขั้วที่มีระยะห่าง 1 มม. โดยทำการเชื่อมด้วยค่าความเร็วยรอบ

750 รอบ/นาที ในการกวนซ้ำระยะห่าง 1 มม. ทำให้ผิวหนังรอยเชื่อม มีขนาดกว้างขึ้นกว่า ผิวรอยเชื่อม (ก) ครีบของการกวนซ้ำถูกดันออกไปทำให้ครีบมี 2 ครีบจากการกวนซ้ำห่าง 1 มม. ครีบที่เกิดขึ้นมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ ผิวหนังรอยเชื่อมมีผิวหนังที่เรียบขึ้นมีคลื่นน้อยกว่า ผิวหนังที่เชื่อมซ้ำครั้งแรก ผิวหนังรอยเชื่อมซ้ำระยะห่าง 1 มม. มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือน 17460 นิวตัน ผิวหนังรอยเชื่อมดังรูปที่ 4.3 (ค) เป็นการเชื่อมซ้ำที่มีระยะห่าง 2 มม. ผิวหนังรอยเชื่อมมีลักษณะมีคลื่นเล็กน้อย ขนาดผิวหนังรอยเชื่อมกว้างตามระยะการเชื่อม 2 มม. ทำให้เกิดครีบขึ้น 2 ครีบและมีลักษณะครีบที่มีการรวมตัวของครีบที่เกิดขึ้นจากการกวนซ้ำระยะห่าง 2 มม.

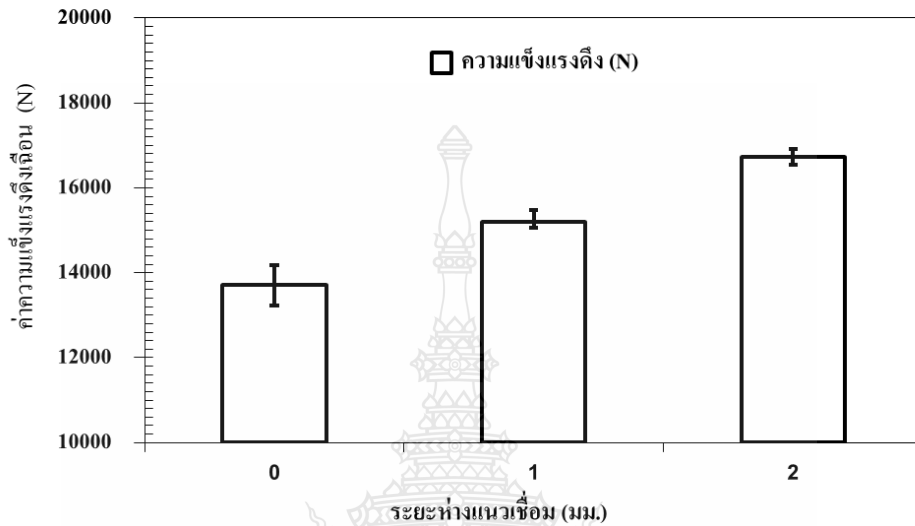
4.2 อิทธิพลของตัวแปรเชื่อมที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0 - 2 มม.

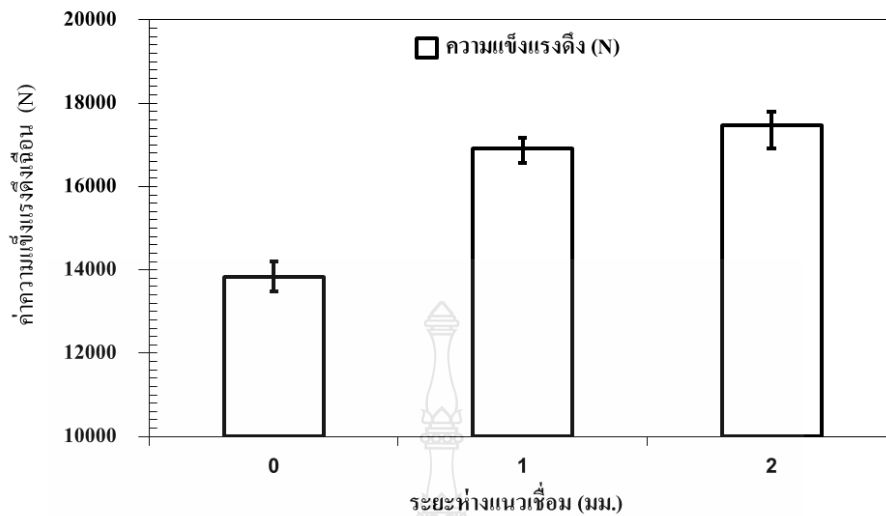
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแนวเชื่อมชิ้นงานกับค่าความแข็งแรงดึงเฉือน ของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยระยะห่าง 0 - 2 มม. พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉือนนั้นมีแนวโน้มที่สูงขึ้นจากการเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมที่มีระยะห่างเพิ่มขึ้น ซึ่งได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือน 14200 นิวตัน ในระยะห่างการเชื่อมซ้ำ ที่ 2 มม. เป็นค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดในการเชื่อมซ้ำด้วยความเร็วรอบ 250

รอบ/นาที พบว่ามีความสัมพันธ์กับผิวหน้าการเชื่อมซ้ำดังรูปที่ 4.1 (ค) ที่แสดงถึงผิวหน้ารอยเชื่อมที่มีความเรียบมันวาวสมบูรณ์ไม่มีคลื่นตลอดแนวเชื่อม



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0 - 2 มม.

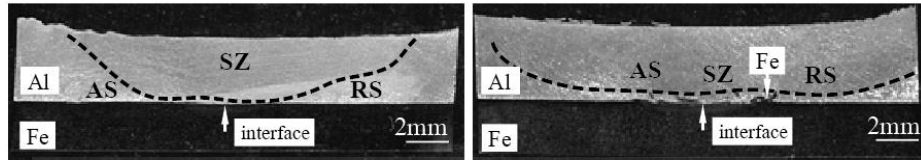
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแนวเชื่อมซ้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นของระยะห่าง 0-2 มม. ดังรูปที่ 4.5 ในความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุด 16720 นิวตัน ในการเชื่อมซ้ำที่มีระยะห่าง 2 มม. และเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4 ทำการเชื่อมซ้ำแนว ที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เมื่อมีการเพิ่มความเร็วรอบในการเชื่อมดังรูปที่ 4.5 นั้นทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นของ ทุกๆระยะห่างในการเชื่อมซ้ำแนวโดยได้ค่า ความแข็งแรงดึง 14200 นิวตัน ที่ระยะห่าง 2 มม.



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที มีระยะห่างเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเดิม 0 - 2 มม.

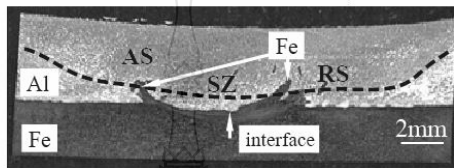
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแนวเชื่อมซ้ำพบว่าการเชื่อมซ้ำแนวเชื่อมเมื่อมีการเพิ่มระยะห่างในการเชื่อมซ้ำจะได้ค่าแนวโน้มที่สูงขึ้นดังรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ของทุก ระยะห่างของแนวเชื่อม ตั้งแต่ระยะห่าง 0-2 มม. โดยการแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.6 สังกตจาก กราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมความเร็วรอบ 750 รอบ ความเร็ว เดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที มีแนวโน้มที่สูงขึ้นทุกๆระยะห่างในการเชื่อมซ้ำ การเชื่อมซ้ำในระยะห่าง 2 มม. มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ 17460 นิวตัน เนื่องจากมีระยะในการเชื่อมมากขึ้น

4.3 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกย



(ก) ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

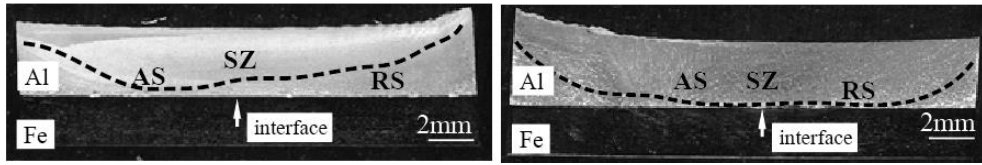
(ข) ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที



(ค) ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

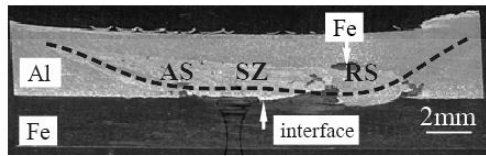
รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมขั้วแนวมีระยะห่าง 0 มม. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที

รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 500 และ 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนว 175 มม./นาที มีระยะห่างแนวเชื่อม 0 มม. โดยระนาบที่แสดงนั้นเป็นระนาบที่เตรียมจากการตัดตั้งฉากกับทิศทางการเชื่อม และทิศทางการเชื่อมมีทิศทางที่พุ่งออกมาจากรูปที่ 4.7 (ค) ลักษณะการเกิดบริเวณอินเทอร์เฟซ ทางด้าน Advancing (AS) และ Retreating (RS) มีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ Kittipong Kimapong and Takehiko Watanabe ที่ทำการเชื่อม Lap Joint of A5083 Aluminum Alloy and SS400 Steel by Friction Stir Welding [27, 28] อลูมิเนียม 6063 ซึ่งถูกวางที่ด้านบน และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ที่ถูกวางไว้ที่ด้านล่างอยู่ด้านล่างของรูปที่ 4.7 (ก) - (ค) แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงบริเวณอินเทอร์เฟซที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นมีเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเนื้อของอลูมิเนียมเพิ่มขึ้น ตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่แสดงพบรอยเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ไม่ปรากฏจุดบกพร่องใดๆ



(ก) ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

(ข) ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที



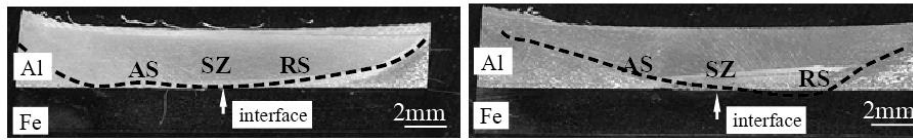
(ค) ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

รูปที่ 4.8 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมซ้ำแนวมีระยะห่าง 1 มม. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที

รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างมหภาคที่ทำการเชื่อมด้วยการเชื่อมซ้ำที่ระยะห่าง 1 มม. ผลการตรวจสอบพบว่าความเร็วรอบการหมุนของเครื่องมือเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ชิ้นส่วนขนาดเล็กของเหล็กกล้าไร้สนิมถูกดันขึ้นมาสู่พื้นที่กวนของอลูมิเนียมมากขึ้น ดังรูปที่ 4.8 (ก) - (ค) เมื่อเปรียบเทียบการเชื่อมซ้ำที่ระยะห่าง 0.0 มม. ดังรูปที่ 4.7 พบว่าโครงสร้างมหภาคของการเชื่อมซ้ำที่ระยะห่าง 1 มม. แสดงพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดที่กว้างกว่าและมีเศษเหล็กถูกดันเข้ามาสูงกว่า

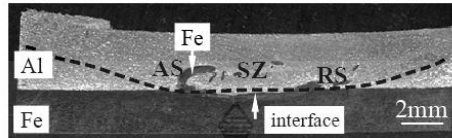
เมื่อระยะห่างการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 2 มม. ดังรูปที่ 4.9 พื้นที่การกวนของโลหะเชื่อมที่ค่าเพิ่มและกว้างมากขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นปริมาณของเศษเหล็กขนาดเล็กที่ถูกกวนมีความยาวมากกว่า 2 มม. และสูงมากกว่า 2 มม. ดังรูปที่ 4.9 (ค) นอกจากนั้นเมื่อทำการตรวจสอบพื้นที่การกวน เศษของเหล็กที่ถูกกวนเข้าสู่พื้นที่กวนนั้นมีขนาดและปริมาณเพิ่มขึ้น

การเพิ่มขึ้นของปริมาณของเศษเหล็กที่ถูกดันขึ้นสู่พื้นที่การกวนและมีขนาดของเหล็กถูกดันผ่านอินเทอร์เฟซเข้าสู่อลูมิเนียมที่มากขึ้นเป็นเหตุสำคัญที่มีความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อทำการวัดขนาดและปริมาณของเหล็กที่ถูกดันเข้าไปในพื้นที่การกวนแปรผันโดยตรงกับความแข็งแรงดึงเฉือนที่เพิ่มมากขึ้น



(ก) ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

(ข) ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที

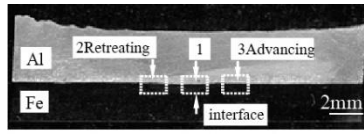


(ค) ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

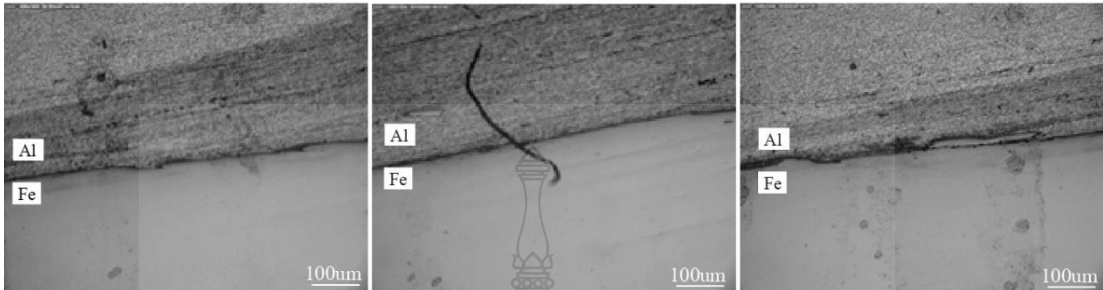
รูปที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้าย ในการเชื่อมขั้วแนวมีระยะห่าง 2 มม. ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที

4.4 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกลย

จากการศึกษาอิทธิพลตัวแปรที่ใช้กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนั้น ทำให้ทราบถึงค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคเพื่อทำการตรวจสอบการเชื่อมติดกันระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดหรือที่เรียกว่า “อินเทอร์เฟซ” เพื่อทำการพิสูจน์โครงสร้างภายในรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับลักษณะการนิกษาดและค่าความแข็งแรงคึงเนื่องอย่างไร จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบดังนี้



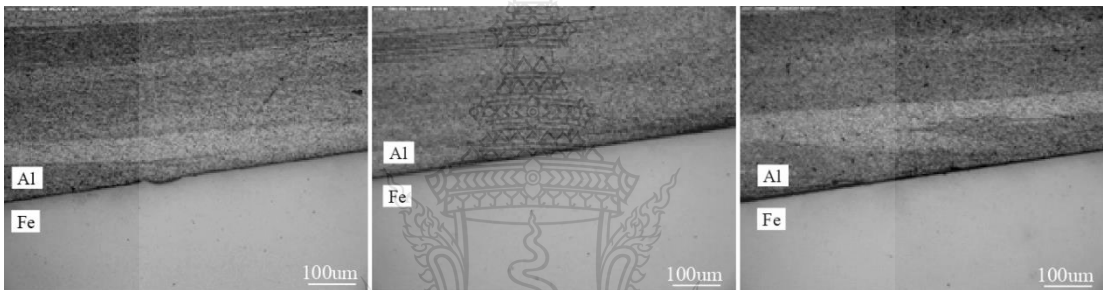
(ก) โครงสร้างมหภาพอินเทอร์เฟซ



(ข) /ระยะห่าง 0 มม.

(จ) /ระยะห่าง 0 มม.

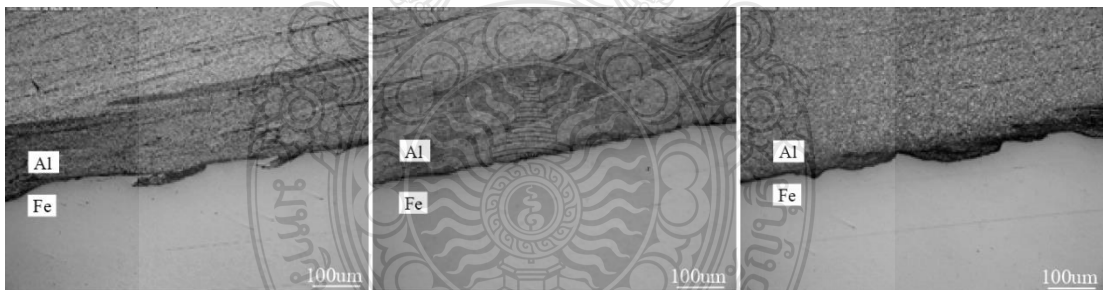
(ช) /ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.



(ง) /ระยะห่าง 2 มม.

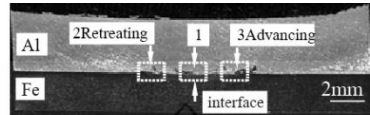
(ช) /ระยะห่าง 2 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 2 มม.

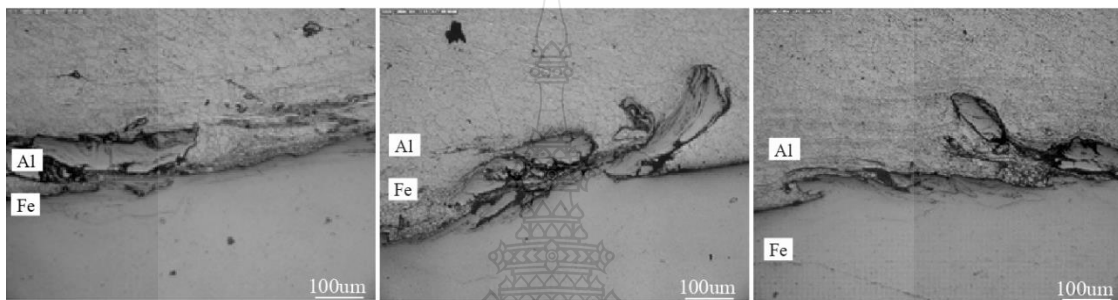
รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวถ่วงรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วย ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวถ่วงเอียง 2 องศา

โครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าทุกระยะห่างแนวเชื่อม 0 1 และ 2 มม. ที่เนื้อของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะที่แนบกันในดังแสดงดังรูปที่ 4.10 (ข)-(ง) เป็นรูปที่แสดงด้าน Interface ในทุกระยะห่างของการเชื่อม รูปที่ 4.10 (จ) - (ช) เป็นรูปที่แสดงด้าน Retreating แสดงภาพเนื้อของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะที่แนบกัน ส่วนรูป

ที่ 4.10 (ซ)-(ญ) เป็นรูปที่แสดงด้าน Advancing โดยส่วนของระยะห่างการการเชื่อมชิ้นนั้น มีลักษณะที่พบปรากฏว่าเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมแทรกตัวไปในอลูมิเนียมมากที่สุดที่ความเร็วรอบ 250 รอบ ความเร็วเดิน 175 มม./นาที ส่งผลให้ค่าของแรงดึงมีค่ามากขึ้นตามระยะห่างของการเชื่อมเข้าไปด้วย ดังรูปที่ 4.4



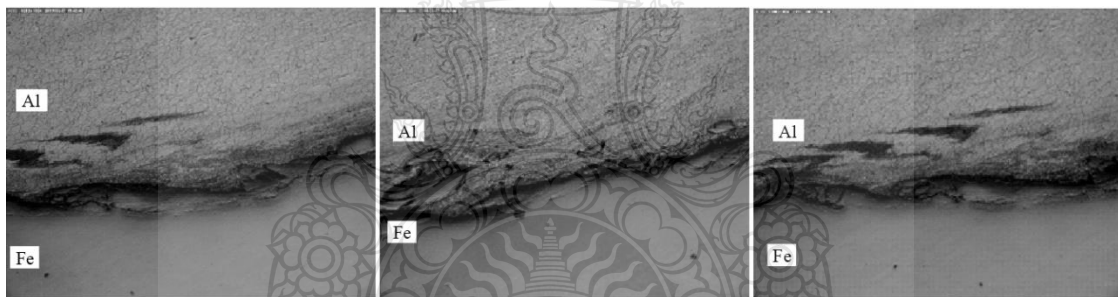
(ก) โครงสร้างมหภาคอินเทอร์เฟส



(ข) /ระยะห่าง 0 มม.

(จ) /ระยะห่าง 0 มม.

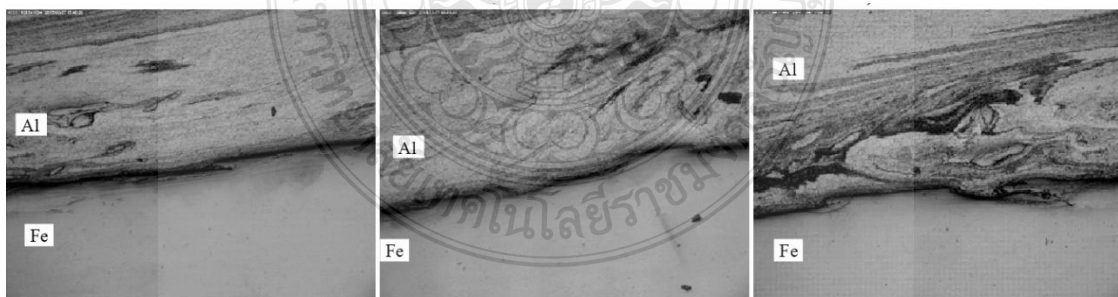
(ช) /ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.



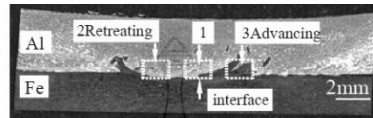
(ง) /ระยะห่าง 2 มม.

(ช) /ระยะห่าง 2 มม.

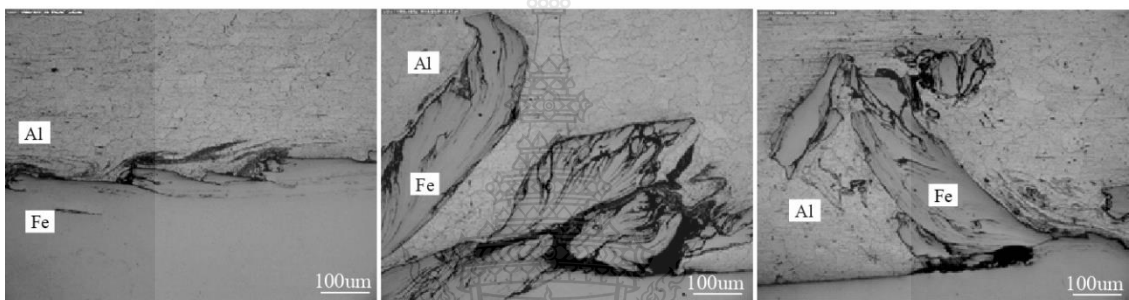
(ญ) /ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วยความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา

โครงสร้างจุลภาคความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ดังแสดงดังรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าทุก ระยะห่างการเดินเชื่อมชิ้นที่ระยะห่าง 0-2 มม. นั้นมีการแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม(Fe) เข้าไปใน เนื้อของอลูมิเนียม(Al)ในปริมาณที่มากขึ้นทางด้าน Retreating และ Advancing ดังรูปที่ 4.11 (ข)-(ง) และ (ช)-(ญ)การแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนถึงระยะห่าง 2 มม. เมื่อเปรียบเทียบค่าของ แรงดึงที่เพิ่มขึ้นตามระยะห่างการเชื่อมซ้ำ ดังรูปที่ 4.5



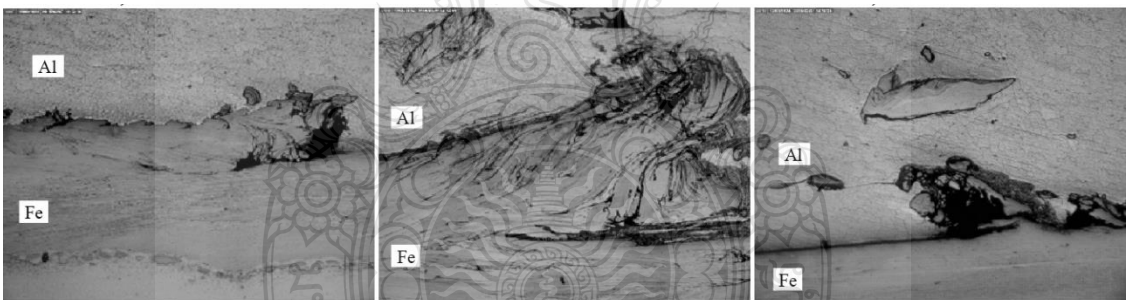
(ก) โครงสร้างมหภาพอินเทอร์เฟส



(ข) /1ระยะห่าง 0 มม.

(จ) /2ระยะห่าง 0 มม.

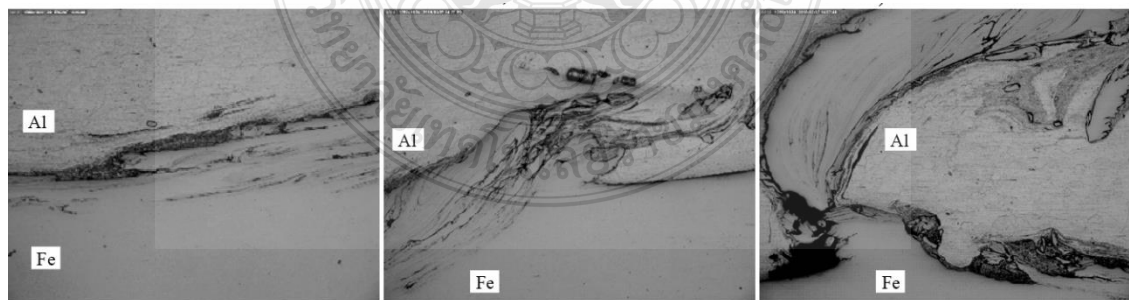
(ช) /3ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /1ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /2ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /3ระยะห่าง 1 มม.



(ง) /1ระยะห่าง 2 มม.

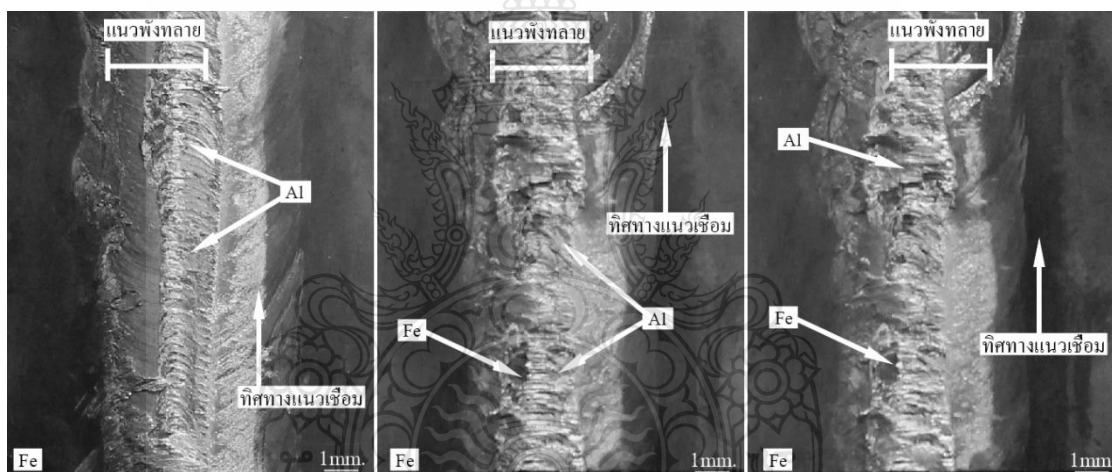
(ช) /2ระยะห่าง 2 มม.

(ญ) /3ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วยความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา

โครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ดังแสดงดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าทุก ระยะห่างแนวเชื่อม 0 - 2 มม. ที่เนื้อของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะที่แนบกันในดัง แสดงดังรูปที่ 4.12 (ข) - (ง) เป็นรูปที่แสดงด้าน Interface ในการทุกระยะห่างของการเชื่อม รูปที่ 4.12 (จ) - (ช) เป็นรูปที่แสดงด้าน Retreating แสดงภาพเนื้อของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะที่ แนบกัน ส่วนรูปที่ 4.12 (ซ) - (ญ) เป็นรูปที่แสดงด้าน Advancing โดยส่วนของระยะห่างการเชื่อมซ้ำ นั้นลักษณะที่พบว่าเนื้อของเหล็กกล้าไร้สนิมแทรกเข้าไปในอลูมิเนียมในลักษณะที่แตกต่างกัน โดย เนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมแทรกตัวไปในอลูมิเนียมมาก ส่งผลให้ค่าของแรงดึงมีค่าสูง ขึ้นตามระยะห่าง ของการเชื่อมซ้ำ ดังรูปที่ 4.6

4.5 ลักษณะรอยฟุ้งทลายบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณรอยต่อเกย

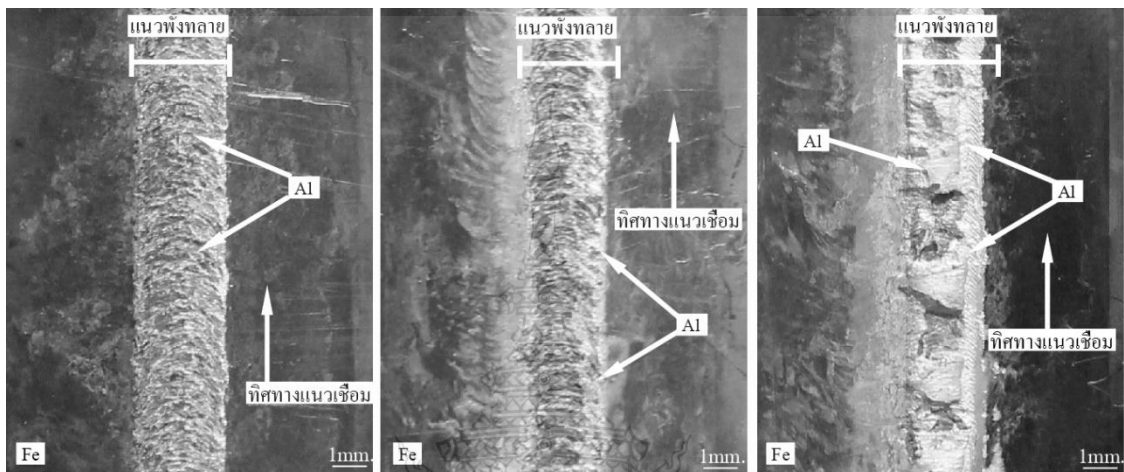


(ก) ระยะห่าง 0 มม. (ข) ระยะห่าง 1 มม. (ค) ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.13 รอยฉีกขาดด้านแผ่นเหล็กที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาทีความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที (ก)ระยะห่าง 0 มม. (ข)ระยะห่าง 1 มม. (ค) ระยะห่าง 2 มม.

ลักษณะของแนวฉีกขาดด้านแผ่นเหล็กที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องของ ชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยโดยการดึงความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ดังแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่ามีเศษ ของเนื้ออลูมิเนียม หลุดออกมาเกาะติดทุกทุกระยะห่างของแนวเชื่อม โดยระยะห่าง 0 มม. แสดงดังรูป ที่ 4.13 (ก) สามารถตรวจสอบพบเศษอลูมิเนียมติดอยู่บนพื้นผิวเหล็กในปริมาณสูง จากนั้นเมื่อทำการ

เชื่อมซ้ำ และระยะห่างการเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ข-ค การหลุดของเศษอลูมิเนียม มาเกาะติดที่เหล็กกล้ามีค่าลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแรงดึงที่แสดงดังรูปที่ 4.4 สามารถกล่าวได้ว่าการหลุดออกของเศษอลูมิเนียมมาเกาะติดที่เหล็กกล้าไร้สนิม มีการแปรผันตรงกับค่าของความแข็งแรงดึงเหนือนที่เกิดขึ้น



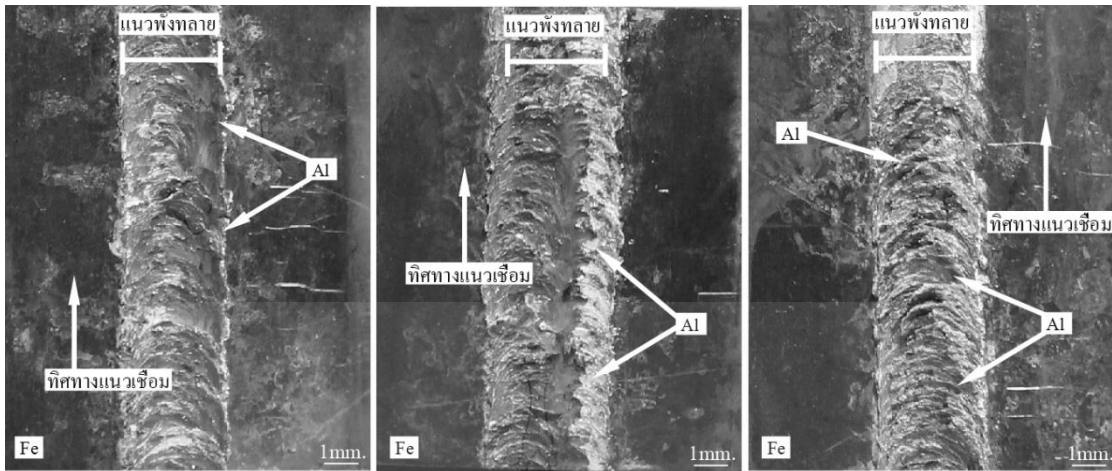
(ก) ระยะห่าง 0 มม.

(ข) ระยะห่าง 1 มม.

(ค) ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.14 รอยฉีกขาดด้านแผ่นเหล็กที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือนที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที

ในการเชื่อมซ้ำโดยที่ขนาดของรอยฉีกขาดมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของตัวกวนมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ ระยะห่างที่ 1 และ 2 มม. แสดงดังรูปที่ 4.14 (ข) (ค) พบว่าเศษของอลูมิเนียม หลุดออกมาเกาะที่เหล็กกล้าไร้สนิม ทุกระยะห่าง ค่าที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงโดยการดึง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรอยฉีกขาด พบว่ารอยฉีกขาดที่มีเศษของอลูมิเนียมมาเกาะยึดที่เหล็กกล้าไร้สนิม มาก ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.14 (ค) แสดงรอยฉีกขาดด้านแผ่นเหล็กที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือนที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที ที่ระยะห่าง 2 มม. ดังรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงเหนือนของแนวเชื่อม



(ก) ระยะห่าง 0 มม.

(ข) ระยะห่าง 1 มม.

(ค) ระยะห่าง 2 มม.

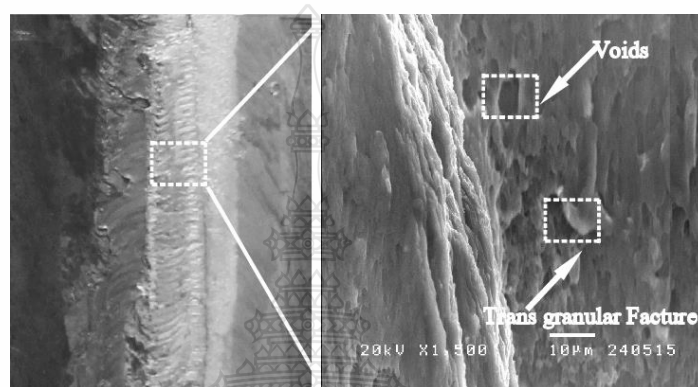
รูปที่ 4.15 รอยฉีกขาดด้านแผ่นเหล็กที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเดือนที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาที

การทดสอบความแข็งแรงดึงเดือนและได้ลักษณะของแนวฉีกขาดที่เกิดโดยการดึงความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที ดังแสดงดังรูปที่ 4.15 เมื่อค่าของความเร็วรอบมีค่าเพิ่มมากขึ้นขนาดของรอยเชื่อมพบว่ารอยฉีกขาดที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเริ่มจากระยะห่างที่ 1 มม. ดังแสดงดังรูปที่ 4.15 (ก) เศษของอลูมิเนียม หลุดออกมาเกาะที่เหล็กกล้าไร้สนิม ในปริมาณที่น้อยขนาดของรอยเชื่อมมีขนาดน้อยกว่าขนาดจริงของตัวกวนประมาณ 2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ค) มีค่าใกล้เคียงกับขนาดของตัวกวน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแรงดึงที่แสดงดังรูปที่ 4.5 ที่ได้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดจนกระทั่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดจริงของตัวกวนประมาณ 1 มม. ดังแสดงดังรูปที่ 4.15 (ค)

4.6 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาครอยพังทลายของแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

รอยต่อของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม ถูกเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ความเร็วรอบตัวกวน ความเร็วเดินแนวเชื่อมและระยะห่างในการกวนซ้ำที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีลักษณะของผิวหน้าแนวเชื่อมที่แตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ส่วนลักษณะการฉีกขาดหลังจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเดือน พบว่าที่ผิวภายในรอยเชื่อมเกิดลักษณะการฉีกขาดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงดึงเดือนที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการฉีกขาดด้วย ผู้วิจัยไม่สามารถระบุได้ว่ารอยฉีกขาดที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไร จากการ

วิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย จึงได้ทำการตรวจสอบพื้นผิวรอยร้าวภายในรอยเชื่อม หลังจากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงเฉือนแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ทุกสภาวะที่มีระยะห่าง 0 – 2 มม. โดยความเร็วรอบตัวกวน 250 500 และ 750 รอบ/นาที ที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ด้วยตัวกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย ซึ่งมีลักษณะของรอยร้าวที่เหมือนกันและต่างกัน อธิบายได้ดังนี้



(ก) อลูมิเนียม AA 6063

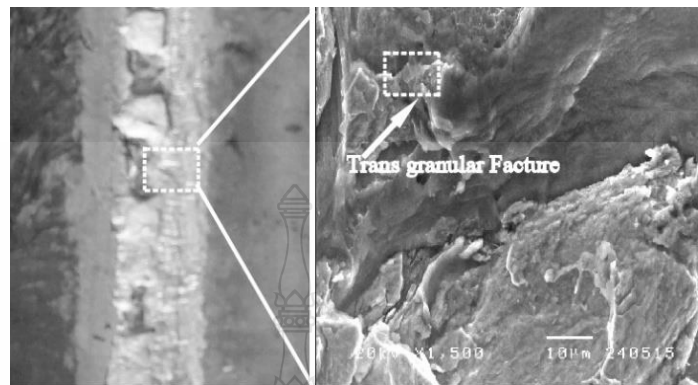


(ข) อลูมิเนียม AISI 430

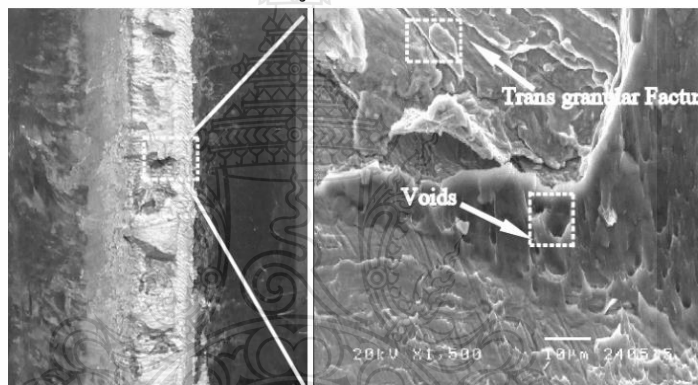
รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยร้าวภายในรอยเชื่อมหลังจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

รูปที่ 4.16 พื้นผิวจะเห็นเป็นโพรงพื้นที่สูงต่ำไม่เท่ากันและเกิดช่องว่าง (Voids) ด้านอลูมิเนียม โครงสร้างการขาดชิ้นงานบริเวณความหนา 3 มม. ระยะห่าง 2 มม. ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วการเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ด้านอลูมิเนียมมีลักษณะโครงสร้างผิวเซลล์เป็นแบบตา

ถ่าย ดังรูปที่ 4.17 (ก) เมื่อเพิ่มกำลังขยาย ตรงกลาง โพรง แต่มี โพรงและพื้นสูงต่ำไม่เท่ากันมีหลายชั้น สลับซับซ้อนกันมากกว่าการขาดแบบขาดข้างรอยเชื่อม



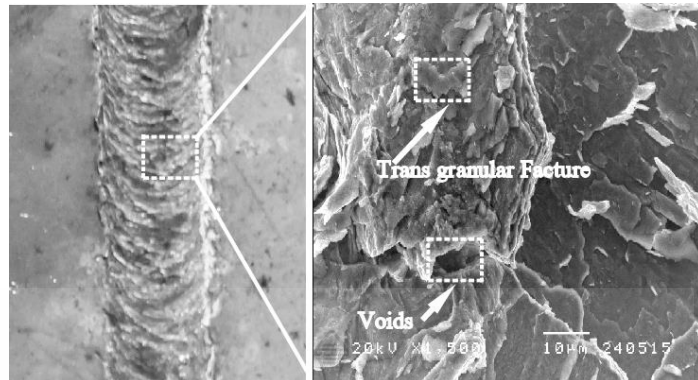
(ก) อลูมิเนียม AA 6063



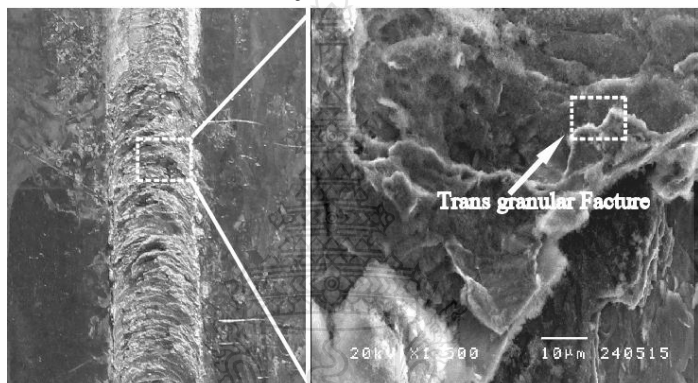
(ข) อลูมิเนียม AISI 430

รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที

รูปที่ 4.17 โครงสร้างผิวเซลล์ของการขาดบริเวณข้างรอยเชื่อม ระยะห่าง 1 มม. ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วการเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ด้านอลูมิเนียมมีลักษณะโครงสร้างผิวเซลล์เป็นแบบตาข่ายและเกิดช่องว่าง (Voids) ดังรูปที่ 4. 17 (ก) เมื่อเพิ่มกำลังขยายพื้นผิว จะเห็นเป็นโพรงพื้นที่สูงต่ำไม่เท่ากันและเกิดช่องว่าง (Voids) ตรงกลางโพรง ดังรูปที่ 4. 17 (ข)



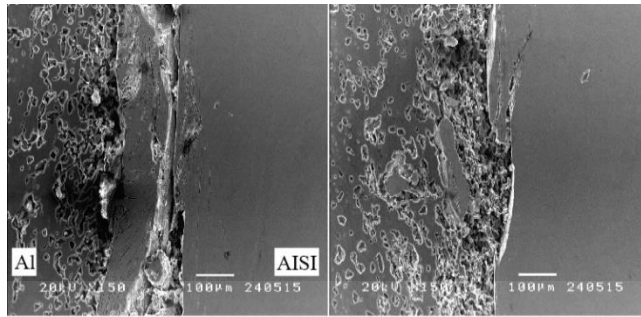
(ก) อลูมิเนียม AA 6063



(ข) อลูมิเนียม AISI 430

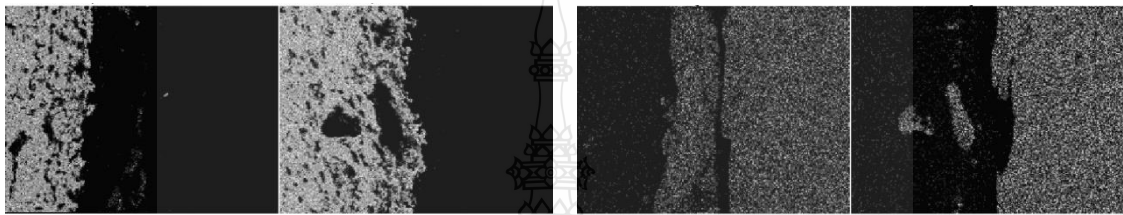
รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 2 มม รอยแตกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาทีความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

รูปที่ 4.18 บริเวณอลูมิเนียม ระยะห่าง 2 มม. ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที ความเร็วการเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที โครงสร้างผิวเซลล์ของการ โพรงพื้นที่สูงต่ำไม่เท่ากันและเกิดช่องว่าง (Voids) ตรงกลางโพรง ขาดชิ้นงาน ด้านอลูมิเนียมมีลักษณะโครงสร้างผิวเซลล์เป็นแบบตาข่าย ดังรูปที่ 4.18 (ก) เมื่อเพิ่มกำลังขยายพื้นผิว จะเห็นเป็น โพรงและพื้นสูงต่ำไม่เท่ากันมีหลายชั้นสลับซับซ้อนกันมากกว่าการขาดแบบขาดข้างรอยเชื่อม ดังรูปที่ 4. 18 (ข)



(ก) ระยะห่าง 0 มม.

(ข) ระยะห่าง 2 มม.

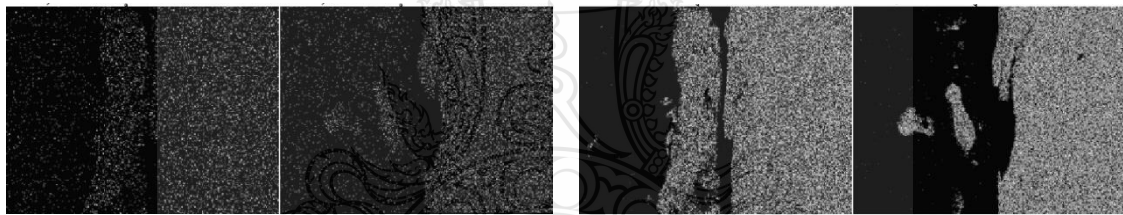


(ข) ปริมาณธาตุ Al
ระยะห่าง 0 มม.

(ค) ปริมาณธาตุ Al
ระยะห่าง 2 มม.

(ง) ปริมาณธาตุ Cr
ระยะห่าง 0 มม.

(ฉ) ปริมาณธาตุ Cr
ระยะห่าง 2 มม.



(ง) ปริมาณธาตุ Mn
Mn

(ฉ) ปริมาณธาตุ Mn

(จ) ปริมาณธาตุ Fe
ระยะห่าง 0 มม.

(ฉ) ปริมาณธาตุ Fe
ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคและการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของธาตุบนพื้นที่ตำแหน่งพังทลาย ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที เชื่อมด้วยตัวกวน ทรงกระบอกเกลียวซ้าย

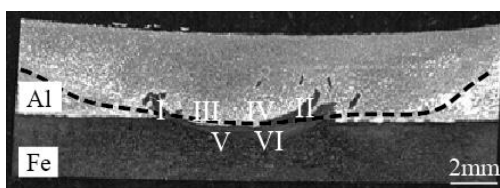
รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที เอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา มีระยะห่าง 0 มม. ดังรูปที่ 4.19 (ก) - (จ) มีค่าความแข็งแรง ดังรูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่ได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ใช้แสงที่กำลังขยาย 750 เท่า โครงสร้างจุลภาคของออลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม บริเวณการอินเตอร์เฟซ ดังรูปที่ 4.19

เมื่อเปรียบเทียบในการรวมตัวของธาตุซึ่งพบว่าปริมาณอลูมิเนียมที่รวมตัวกันมาก เนื่องจากแนวเชื่อมมีอุณหภูมิสูงเพราะความเร็วรอบสูง แต่ความเร็วเดินต่ำจึงส่งผลให้รอยเชื่อมนี้มีค่าพังทลายสูงสุดแต่เมื่อเพิ่มความเร็วเดินมากขึ้นทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างเครื่องมือและชิ้นงานมากเกิดการอ่อนตัวของแนวเชื่อมมากไปด้วยทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนน้อยกว่าระยะห่างที่ 2 มม.

ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที เอียงเครื่องมือเชื่อม 2 องศา มีระยะห่าง 2 มม. ดังรูปที่ 4.24 (ฉ) – (ญ) มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของชิ้นทดสอบสูงสุด ผลการทดลองที่ได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)ใช้แสงที่กำลังขยาย 750 เท่า รูปที่ 4.24 (ฉ) โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณการอินเทอร์เฟซ ดังรูปที่ 4.19 (ฉ) โดยมีธาตุประกอบ เมื่อเปรียบเทียบในการรวมตัวของธาตุซึ่งพบว่าปริมาณ อลูมิเนียมที่รวมตัวน้อย ทำให้มีความแข็งที่สูง จึงส่งผลให้รอยเชื่อมในความเร็วรอบนี้มีค่าพังทลายมากกว่าทุกระยะห่างการเชื่อมซ้ำและทุกความเร็วรอบ

4.7 ศึกษาค่าความแข็งของรอยเชื่อม

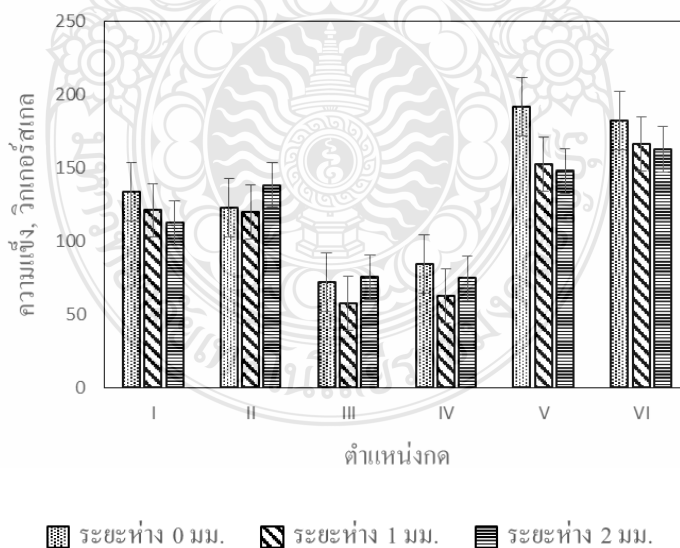
ตัวแปรเชื่อมเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบเสียดทานแบบกวนนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบแบบวิกเกอร์บริเวณอินเทอร์เฟซ โดยได้ผลการทดสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนดีที่สุดในแต่ละระยะห่างในการกวนซ้ำ โดยใช้แรงกดที่ (Load) 100 gf. ณ ตำแหน่งต่างๆเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งมาตรฐาน ของอลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งของรอยเชื่อม

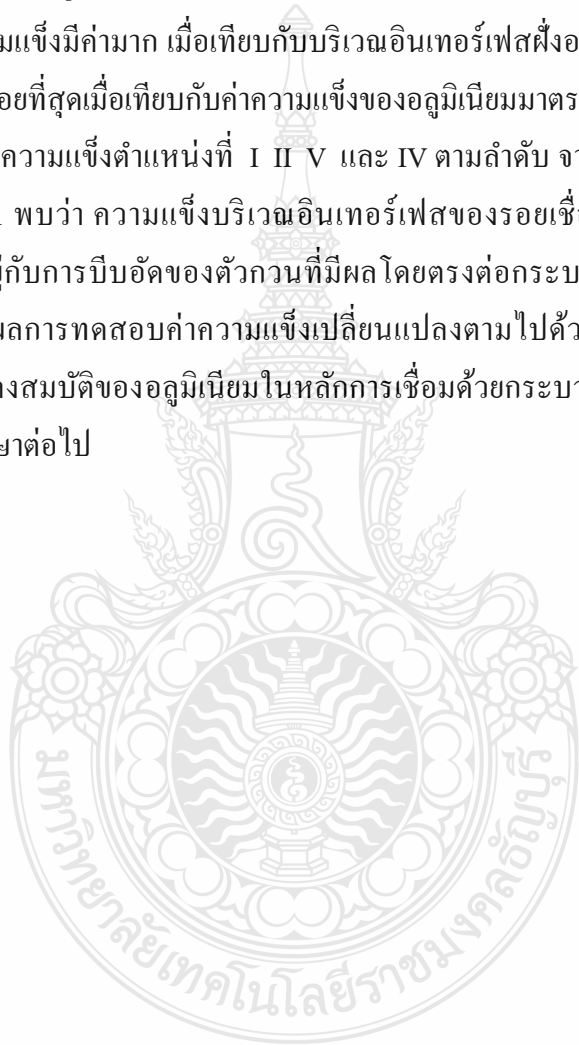
ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งของอลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

วัสดุทดสอบ	ค่าความแข็ง (Scale Hv)			
	Load 100 gf.			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
อลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063	48.3	41.8	49.9	49.66
เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430	130.1	128.4	139.9	132.80



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความแข็งของรอยเชื่อมแต่ละระยะห่าง

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมจากการทดสอบความแข็งแรงบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อม ตำแหน่งที่ I และ II เป็นบริเวณที่เกิดการแทรกตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าไปในส่วนของอลูมิเนียมของรอยเชื่อมที่ทำการเชื่อมทุกชนิดตัวกวน ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากตัวกวนและเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนบนรอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงที่ค่อนข้างมากซึ่งถือว่าเป็นค่าความแข็งแรงที่สูงรองจากตำแหน่ง V และ VI ที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด เมื่อเทียบกับค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของเหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากเป็นบริเวณอินเทอร์เฟซของเหล็กกล้าไร้สนิมจึงทำให้มีค่าความแข็งแรงมีค่ามาก เมื่อเทียบกับบริเวณอินเทอร์เฟซฝั่งอลูมิเนียม ตำแหน่ง III และ IV ได้ค่าความแข็งแรงที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.1 แต่มีค่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงตำแหน่งที่ I II V และ IV ตามลำดับ จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่า ความแข็งแรงบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมที่ตำแหน่งต่างๆ มีค่าที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการบิพอัดของตัวกวนที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการเชื่อม [28] อิทธิพลเหล่านี้ส่วนแต่ทำให้ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอลูมิเนียมในหลักการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ยังต้องมีการศึกษาต่อไป



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 กับ เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 โดยใช้ระยะห่างการเชื่อมต่าง ได้แก่ 0 - 2 มม. เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 250 500 และ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม คือ 175 มม./นาที ความลึก ที่ 0.2 มม. ตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย เอียงทำมุม 2 องศาเพื่อทำการศึกษาสมบัติทางกลและ โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมดีที่สุด โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของระยะห่างการเชื่อมซ้ำ ความเร็วรอบและความเร็วเดินตัวกวนที่มีผลต่อผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายก่อให้เกิดจุดบกพร่องบนผิวหน้าแนวเชื่อม การเปลี่ยนแปลงระยะห่างแนวเชื่อมมากขึ้น ความเร็วรอบตัวกวนสูงหรือต่ำเกินไป ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม และการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนความเร็วเดินเชื่อมสูงหรือต่ำเกินไป ส่งผลต่อจุดบกพร่องและความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม

5.1.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมคือ สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ดีที่สุด คือ การเชื่อมซ้ำที่มีระยะห่างเพิ่มขึ้นจากแนวเชื่อมเดิมที่ระยะห่าง 2 มม. ใช้ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาทีความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 175 มม./นาทีให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดคือ 17460 นิวตัน ที่ความลึก 0.2 มม. ขาดที่บริเวณแนวเชื่อม

5.1.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนแบบต่อเกย การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดพบว่าเนื้อวัสดุทั้งสองชนิดการแทรกตัวของเนื้อเหล็กเข้าไปในเนื้ออะลูมิเนียม ปริมาณที่น้อยมากจนแทบที่จะไม่สามารถมองเห็นได้ จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด

5.1.4 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะรอยพังทลายบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณรอยต่อเกยลักษณะพบอะลูมิเนียมหลุดติดที่รอยเชื่อมของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมในปริมาณที่มาก และทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด พบลักษณะของรอยฉีกขาดบนผิวอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมพื้นผิวขรุขระเป็นชั้นไม่เรียบ ที่มีความสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ให้ค่าดีที่สุดของระยะการเชื่อมซ้ำ

5.1.5 การตรวจสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การกระจายตัวของอิเล็กตรอน พบสารประกอบกึ่งโลหะ คือ FeAl ในปริมาณที่มาก แสดงให้เห็นว่าปริมาณ เหล็ก (Fe) ที่แทรกตัวเข้าไปในส่วนของอะลูมิเนียมเป็นสาเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมเกิดความแข็งแรงมาก จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงเฉือนทุกๆสภาวะที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม

5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง

ข้อเสนอแนะในการทดลองการศึกษาศมบัติการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อกระหว่างอะลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ปัญหาที่พบในการดำเนินการทดลองและทำการเชื่อม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าต่อไปของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของรอยต่อเกลจึงได้รวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรเปลี่ยนรูปทรงของตัวกวนการเชื่อมซ้ำที่มีความหลากหลายมากกว่าการทดลองในครั้งนี้อย่างน้อย 3 รูปทรงสามเหลี่ยม และตัวกวนรูปทรงสี่เหลี่ยม เป็นต้น

5.2.2 ปรับเปลี่ยนวัสดุในการทดลองเช่น อะลูมิเนียม 1100 กับ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

5.2.3 ควรเชื่อมเสียดทานแบบเชื่อมซ้ำต่อกระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ในลักษณะที่ตัวกวนทำมุม 45 องศา บนรอยต่อเกล

5.2.4 เปลี่ยนการทดลองการเชื่อมซ้ำแบบต่อเกลเป็นรูปแบบอื่นๆ เชื่อม รอยต่อชน รอยต่อรูปทรงกระบอก

บรรณานุกรม

- [1] Thomas, WM., Nicholas, ED., Needham, JC., Murch, MG., Temple-Smith, P., Dawes, CJ., "Friction Stir Welding," **International Patent Application**, GB Patent No. 9125978.8, 1991.
- [2] Thomas, W.M., and Nicholas, E.D., "Friction Stir Welding for the Transportation Industries," **Materials & Design**, Vol. 18, Nos. 4/6, 1997. pp. 269-273.
- [3] วิชัยพุ่มจันทร์, และกิตติพงษ์ กิมะพงค์, "การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน," การประชุมข่างานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552, 21-22 ตุลาคม 2552, ขอนแก่นประเทศไทย, 2552. หน้า 1039-1043.
- [4] ชงชัยเครือผือ, และประภาศ เมืองจันทร์บุรี, "อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบของหัวพินที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลในการเชื่อมอลูมิเนียมผสม A356 ที่หล่อโดยเทคโนโลยีหล่อกิ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน," การประชุมข่างานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551, 20-22 ตุลาคม 2551, ประเทศไทย, 2551. หน้า 933-939.
- [5] ณัฐแก้วสกุล, และกิตติพงษ์ กิมะพงค์, "อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่อเกยอลูมิเนียม AA6063 และ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI430, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [6] กิตติพงษ์ กิมะพงค์, "การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน: การแก้ปัญหาการต่อวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย," การประชุมข่างานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551, 20-22 ตุลาคม 2551, ประเทศไทย, 2551. หน้า 712-717.
- [7] กิรพัฒน์แป้นดวง, โครงสร้างจุลภาคและพฤติกรรมการทวิรอยร้าวจากความล้าของอลูมิเนียมผสม 6063 T-5 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานหมุนกวน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552.
- [8] Mishra, R.S., and Ma, Z.Y., "Friction Stir Welding and Processing," **Materials Science and Engineering: R: Reports**, Vol.50, 2005. pp.1-78.

บรรณานุกรม(ต่อ)

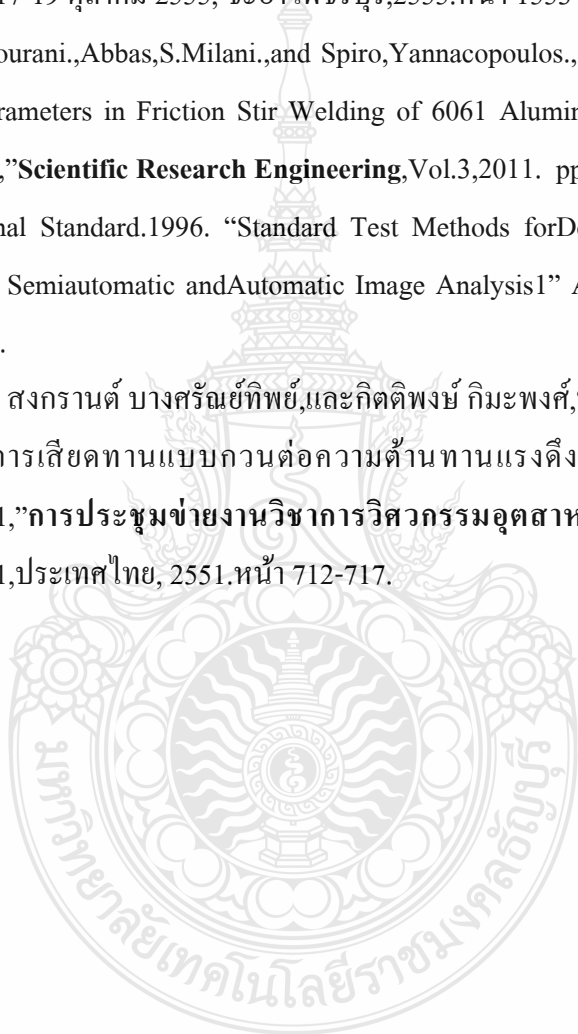
- [9] มนัส สติรจินดา,เหล็กกล้า (STEEL). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มิถุนายน 2538
- [10] Zhao, Y., Lin, S., Wu, L., and Qu, F., “The Influence of Pin Geometry on Bonding and Mechanical Properties in Friction Stir Weld 2014 Al Alloy,” **Materials Letters**, Vol.59, 2005. pp.2948-2952.
- [11] A.Meyer., and B.Wietbrock.,“Increasing of DrawingDepth Using Tailor Rolled Blanks - Numerical and Experimental Analysis,”**International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol. 48,2008. pp. 552-531.
- [12] อนุชา ขวัญสุข,เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด AA 6063-T1 โดยการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเรียบและผิวเกลียว,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [13] บรรเจิด ดอนเนตรงาม, อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนหัวโค้งของการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด AA 6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [14] ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,อลูมิเนียมอะลูมิเนียมAluminium(Online), 2000. Available: http://www.aluminiumlearning.com/html/index_w6xxx.html(17 April 2012).
- [15] ASTM International., “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E 8M-04,” **Annual Book of ASTM Standard**, Volume 03.01, 1996.pp. 1-24.
- [16] ASTM International., “Standard Test Method for Macroetching Metals and AlloysE 340-00,” **Annual Book of ASTM Standard**,Volume 03.01, 1996.pp. 1-11.
- [17] ASTM International., “Standard Practice for Microetching Metals and AlloysE 407-99,” **Annual Book of ASTM Standard**, Volume 03.01, 1996.pp. 1-21.

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [18] ASTM International., “Standard Test Methods for Determining Average Grain Size E 112-96 and Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis E 1382-97,” **Annual Book of ASTM Standard**, Volume 03.01, 1996. pp. 1-26.
- [19] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, บุญส่ง จงกลณี, และสมควร แววดี, “อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI1015,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, สงขลา ประเทศไทย, 2551. หน้า 555-560.
- [20] พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์, บุญส่ง จงกลณี, และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, “อิทธิพลความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, สงขลา ประเทศไทย, 2551. หน้า 560-565.
- [21] G. Buffa., L. Fratini., and R. Shivpuri., “Finite Element Studies on Friction Stir Welding Processes of Tailored Blanks,” **Computers and Structures**, Vol.86, 2008, pp.181-189.
- [22] ณัฐ แก้วสกุล, เรวัตน์ ช่อมสุข, และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, สงขลา ประเทศไทย, 2551. หน้า 567-572.
- [23] American National Standard. 1996. “Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials 1” **Annual Book of ASTM Standard**, ASTM E 92-82, Vol.03, New York.
- [24] รศ.แมน อมรสิทธิ์, รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, อ.ชรรมนูญ อุดมมัน, **วัสดุวิศวกรรม (Foundations of Materials Science and Engineering 4/E)**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล, 2008. หน้า 226.

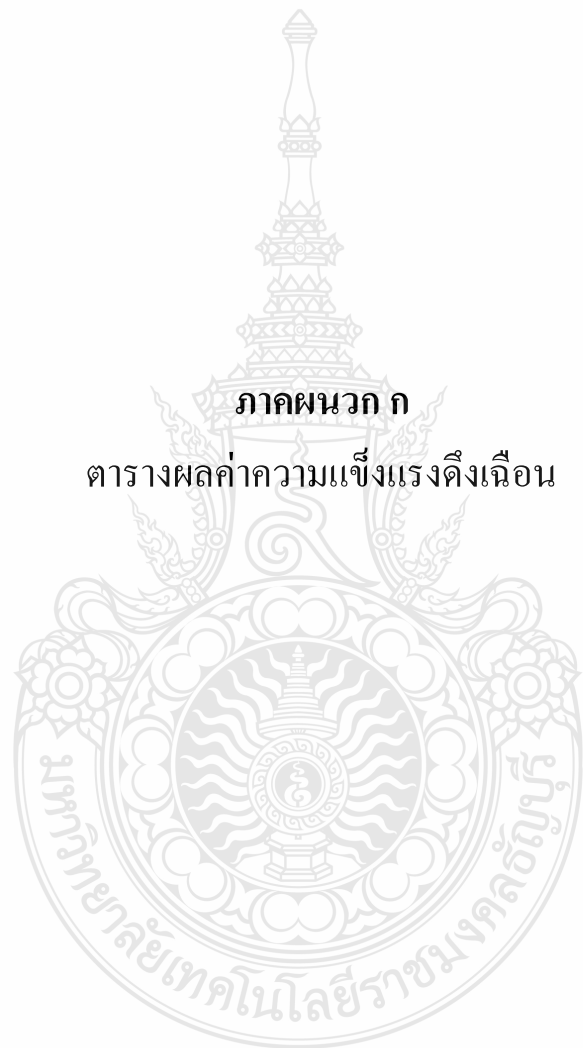
บรรณานุกรม(ต่อ)

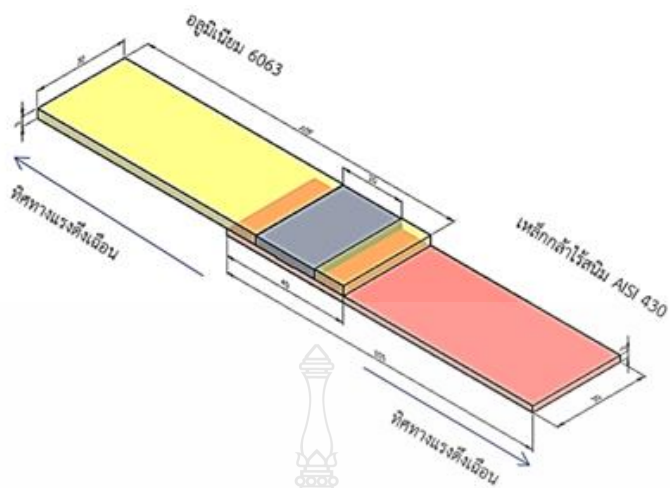
- [25] ณัฐ แก้วสกุล, เรืองศักดิ์ ภูธรราช,และกิตติพงษ์ กิมะพงษ์,“ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของตัวกวนและอุณหภูมิการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่มีผลต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนอลูมิเนียม6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304,”การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ. 2555,17-19 ตุลาคม 2555, ชะอำ เพชรบุรี,2555.หน้า 1553-1558.
- [26] Mohamadreza,Nourani.,Abbas,S.Milani.,and Spiro,Yannacopoulos., “Taguchi Optimization of Process Parameters in Friction Stir Welding of 6061 Aluminum Alloy: A Review and Case Study,”**Scientific Research Engineering**,Vol.3,2011. pp.144-155.
- [27] American National Standard.1996. “Standard Test Methods forDetermining Average Grain Size Using Semiautomatic andAutomatic Image Analysis1” ASTM E 1382-97, Vol.03, New York.
- [28]นราธิป แสงซ้าย, สกรรนต์ บางศรีณย์ทิพย์,และกิตติพงษ์ กิมะพงษ์,“อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA6063-T1,”การประชุมช่างงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551, 20-22 ตุลาคม2551,ประเทศไทย, 2551.หน้า 712-717.





ภาคผนวก

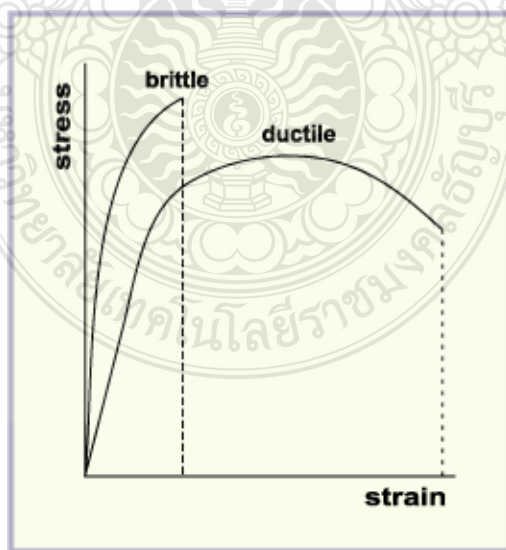




รูปที่ ก.1 ลักษณะชิ้นงานทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงเฉือน

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างค่าคงที่ และ ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	Modulus of elasticity 10^6 psi	Shear Modulus 10^6 psi
Aluminium alloy	10.5	4.0
Stainless Steel (18/.8)	28.0	9.5



รูปที่ ก.2 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก

ตารางที่ ก.2 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกระบอก

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	8.853	12.924	10.915	10.897
	50	14.366	11.868	13.67	13.301
	75	9.593	8.212	9.416	9.074
	100	6.936	12.384	7.546	8.955
	125	9.134	9.099	8.769	9.001
	150	8.003	7.181	10.51	8.565
	175	10.103	8.183	7.083	8.456
500	25	6.836	12.567	13.285	10.896
	50	15.834	11.138	13.231	13.401
	75	8.546	8.728	8.483	8.586
	100	9.972	11.926	10.742	10.88
	125	9.385	9.342	9.657	9.461
	150	9.685	9.186	8.972	9.281
	175	8.354	11.922	10.484	10.253
750	25	9.138	9.108	8.769	9.005
	50	8.789	9.695	9.491	9.325
	75	10.922	10.86	8.304	10.029
	100	10.181	7.035	9.543	8.92
	125	8.06	8.113	8.219	8.131
	150	9.121	8.381	7.281	8.261
	175	8.069	7.519	7.136	7.575

ตารางที่ ก.3 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียว
ขวา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	8.691	7.603	9.611	8.635
	50	10.824	8.968	9.849	9.88
	75	8.216	6.858	7.147	7.407
	100	7.127	7.212	8.225	7.521
	125	10.242	7.278	8.875	8.798
	150	7.082	6.252	8.188	7.174
	175	7.511	7.272	7.002	7.262
500	25	8.085	7.593	7.984	7.887
	50	11.839	8.004	7.295	9.046
	75	10.823	8.677	9.652	9.717
	100	10.74	10.833	10.014	10.529
	125	11.887	10.583	12.29	11.587
	150	11.172	12.004	10.383	11.186
	175	11.524	7.368	8.149	9.014
750	25	12.079	13.184	10.704	11.989
	50	7.461	8.302	8.385	8.049
	75	13.512	9.157	11.601	11.423
	100	12.257	13.471	9.848	11.859
	125	13.302	9.705	11.011	11.339
	150	12.872	12.985	12.494	12.784
	175	7.104	8.227	7.393	7.575

ตารางที่ ก.4 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียว
ซ้าย

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	11.3419	14.403	10.19	11.978
	50	10.842	10.68	10.011	10.511
	75	12.986	12.765	10.055	11.935
	100	11.326	11.965	10.375	11.222
	125	13.026	12.316	12.912	12.751
	150	11.526	12.975	12.793	12.431
	175	12.958	11.0535	8.245	10.752
500	25	10.05	7.465	8.008	8.508
	50	9.216	10.109	6.821	8.715
	75	8.662	8.789	8.227	8.559
	100	9.118	10.364	8.047	9.176
	125	9.333	10.248	8.229	9.27
	150	12.81	11.432	9.071	11.104
	175	14.38	14.875	11.995	13.75
750	25	8.955	9.632	9.547	9.378
	50	7.212	9.521	7.267	8
	75	7.117	7.948	8.159	7.741
	100	8.848	8.185	8.409	8.481
	125	10.302	11.513	8.097	9.971
	150	9.546	8.863	9.244	9.218
	175	7.657	9.769	7.06	8.162

ตารางที่ ก.5 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกรวย

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	10.382	11.098	13.253	11.578
	50	9.703	11.035	10.066	10.268
	75	10.927	8.571	8.982	9.493
	100	9.963	8.279	8.491	8.911
	125	11.003	12.575	8.35	10.643
	150	8.501	8.546	8.33	8.459
	175	7.204	7.638	7.003	7.282
500	25	10.016	7.038	7.163	8.072
	50	12.675	10.685	11.029	11.463
	75	9.686	8.326	9.517	9.176
	100	8.285	8.466	8.38	8.377
	125	10.555	6.585	9.339	8.826
	150	7.275	7.298	6.288	6.954
	175	9.551	6.575	7.606	7.911
750	25	7.469	4.998	6.494	6.32
	50	11.83	6.009	10.005	9.281
	75	8.013	6.007	10.281	8.1
	100	10.469	6.295	7.132	7.965
	125	7.25	6.039	5.845	6.378
	150	6.148	6.742	6.115	6.335
	175	7.823	7.251	8.398	7.824

ตารางที่ ก.6 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกรวย
เกลียวขวา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	8.056	6.003	7.009	7.023
	50	8.091	8.001	5.509	7.2
	75	12.22	11.05	11.319	11.53
	100	7.255	7.103	6.677	7.012
	125	9.001	6.411	6.189	7.2
	150	12.66	10.302	10.038	11
	175	11.004	6.015	8.003	8.341
500	25	8.222	8.511	8.33	8.354
	50	11.7211	9.101	10.123	10.315
	75	14.058	13.575	12.868	13.5
	100	8.924	8.74	8.655	8.773
	125	9.665	8.295	8.001	8.654
	150	9.301	7.514	8.782	8.532
	175	8.259	7.958	7.471	7.896
750	25	11.749	6.828	7.951	8.843
	50	6.79	9.198	8.549	8.179
	75	7.913	6.078	7.01	7
	100	9.835	6.225	8.047	8.036
	125	9.395	6.919	6.435	7.583
	150	8.001	7.028	7.172	7.4
	175	6.043	8.25	7.287	7.193

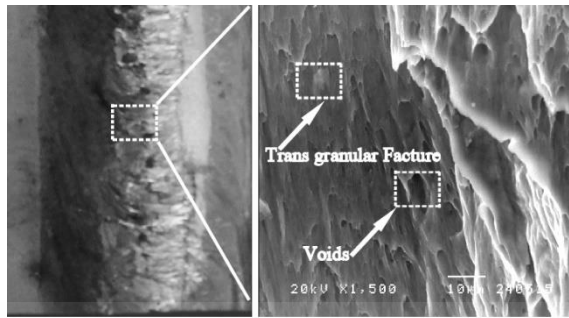
ตารางที่ ก.7 ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวกวนทรงกรวย
เกลียวซ้าย

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเร็วเดิน (มม./นาที)	ค่าความแข็งแรงดึง (kN)			ค่าความแข็งแรงดึง เฉลี่ย (kN)
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
250	25	12.351	12.558	12.302	12.404
	50	11.004	10.779	10.65	10.811
	75	14.111	10.939	10.755	11.935
	100	11.425	11.409	11.83	11.555
	125	15.519	11.611	12.01	13.047
	150	13.502	11.967	12.187	12.552
	175	9.801	10.923	10.816	10.513
500	25	8.139	8.54	8.778	8.486
	50	7.277	11.621	7.248	8.715
	75	9.631	8.747	8.409	8.929
	100	9.373	9.155	9.202	9.243
	125	7.442	10.745	10.533	9.573
	150	11.528	11.776	11.595	11.633
	175	10.203	12.526	12.192	11.64
750	25	8.499	9.779	9.855	9.378
	50	8.004	8.117	7.888	8.003
	75	8.031	7.26	7.134	7.475
	100	8.103	8.71	8.001	8.271
	125	12.565	7.679	7.593	9.279
	150	9.54	9.801	9.552	9.631
	175	8.518	8.521	8.218	8.419

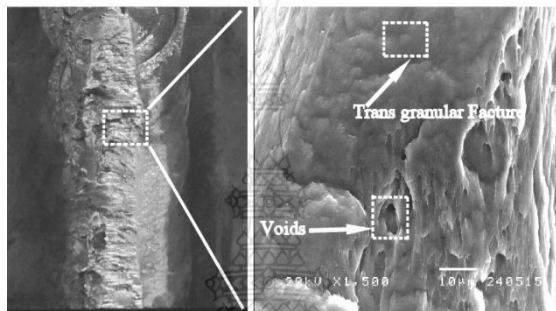
ภาคผนวก ข

ลักษณะ โครงสร้างมหาภาคและ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม





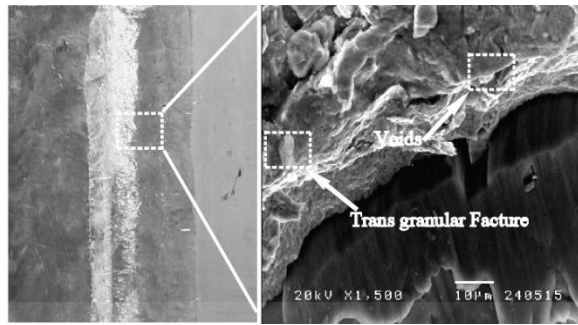
(ก) อลูมิเนียม 6063



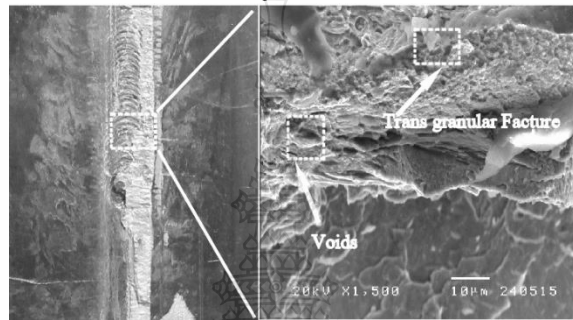
(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.1 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ของระยะห่าง 0 มม. รอยแตกขาดหลังทดสอบแรงดึง เนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที





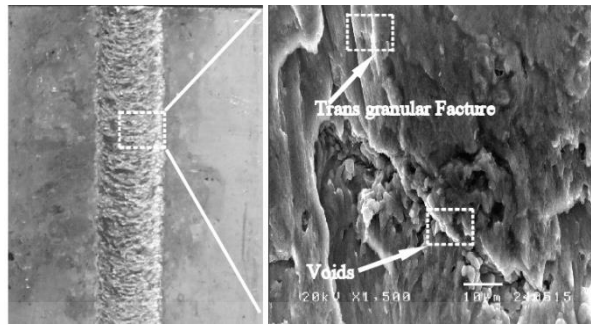
(ก) อลูมิเนียม 6063



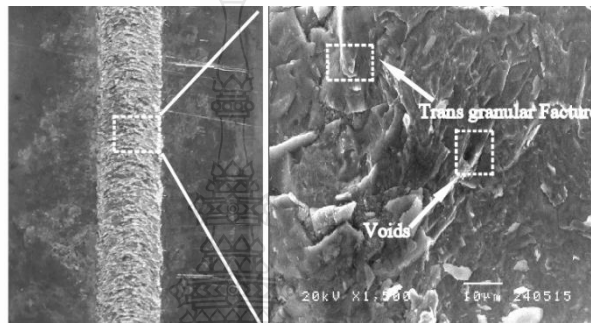
(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.2 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 1 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175มม./นาที ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที





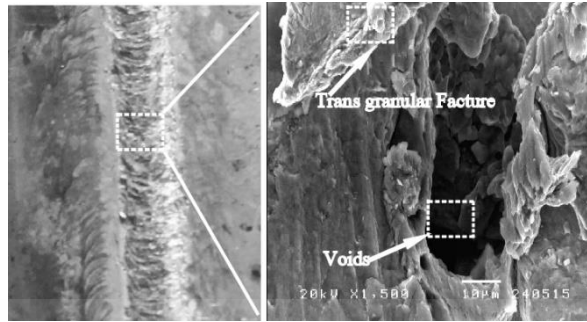
(ก) อลูมิเนียม 6063



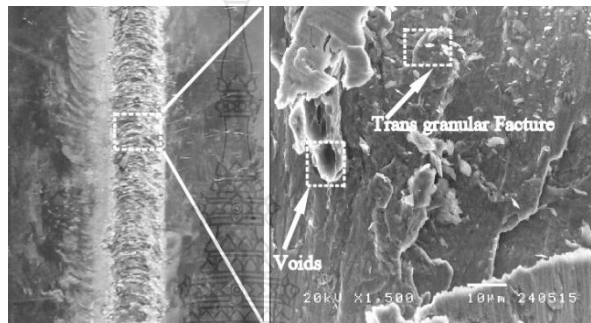
(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.3 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 0 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที





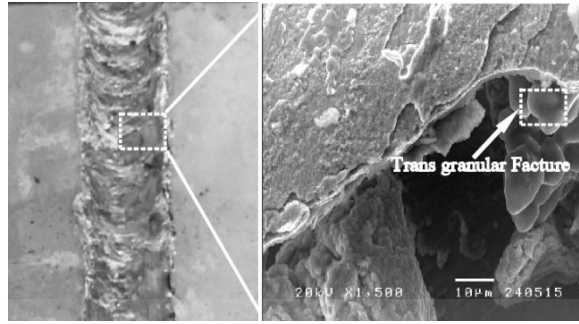
(ก) อลูมิเนียม 6063



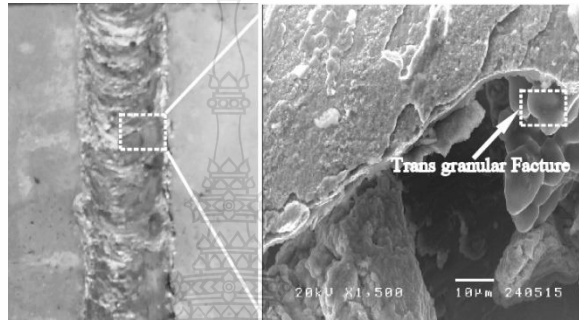
(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.4 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 1 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที



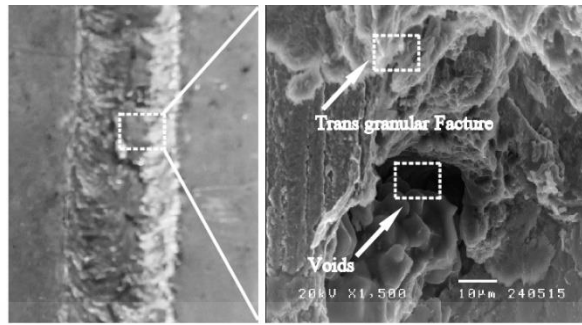


(ก) อลูมิเนียม 6063

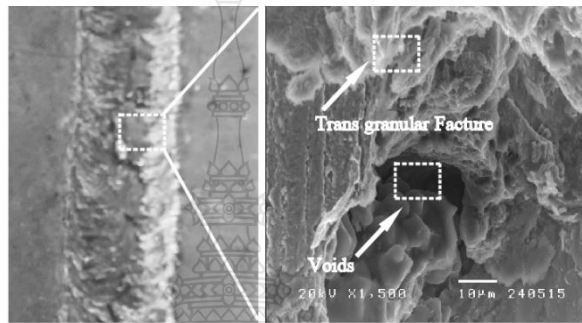


(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.5 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 0 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 125 มม./นาที ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

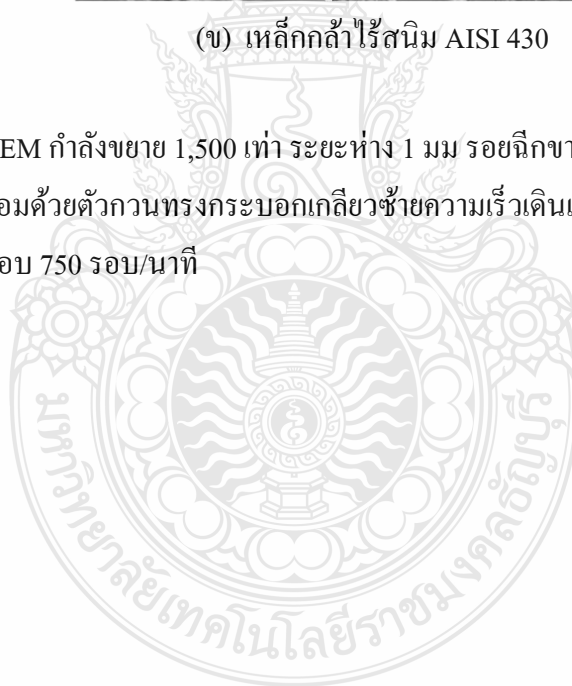


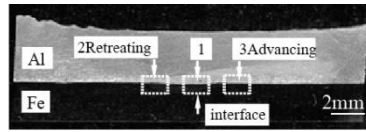
(ก) อลูมิเนียม 6063



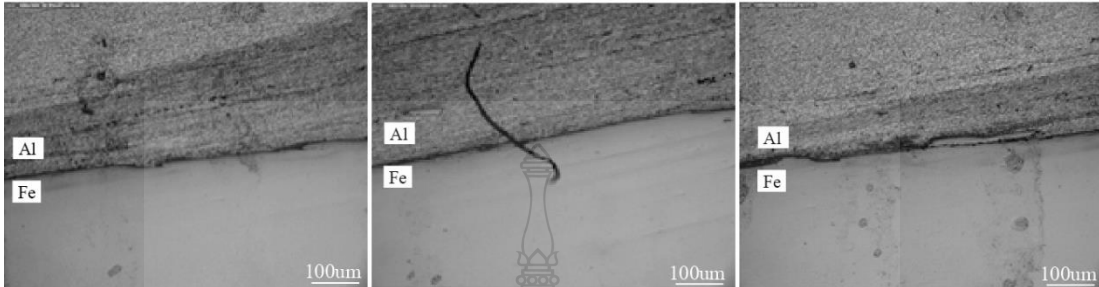
(ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430

รูปที่ ข.6 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า ระยะห่าง 1 มม รอยฉีกขาดหลังทดสอบแรงดึงเนื่องจากการเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายความเร็วเดินเชื่อม 175 มม./นาที ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที





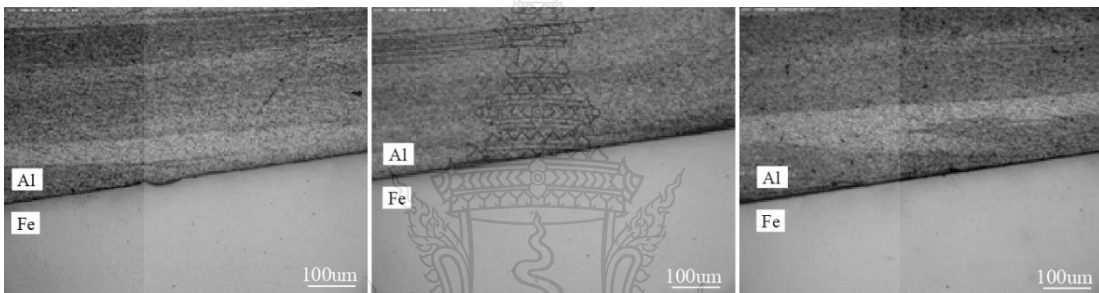
(ก) โครงสร้างมหภาพอินเทอร์เฟส



(จ) /ระยะห่าง 0 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 0 มม.

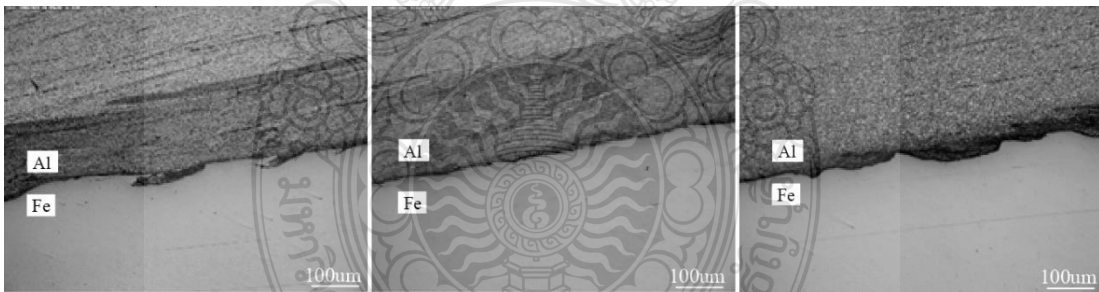
(ช) /ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /ระยะห่าง 1 มม.

(ด) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.

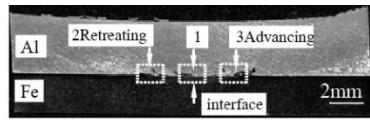


(ง) /ระยะห่าง 2 มม.

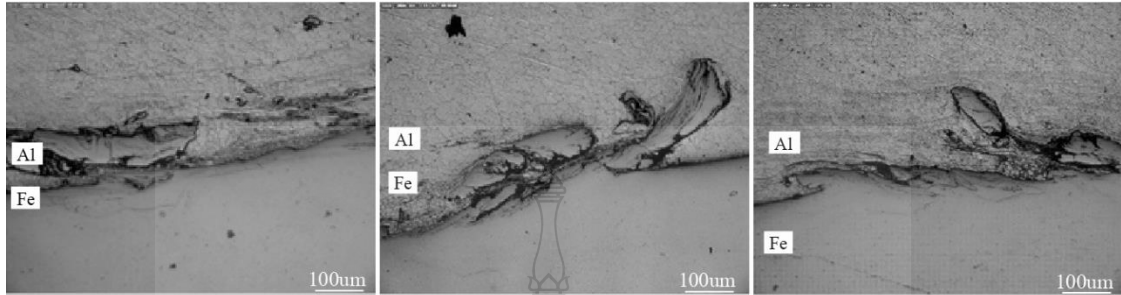
(ช) /ระยะห่าง 2 มม.

(ญ) /ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ ข.7 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟสรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา



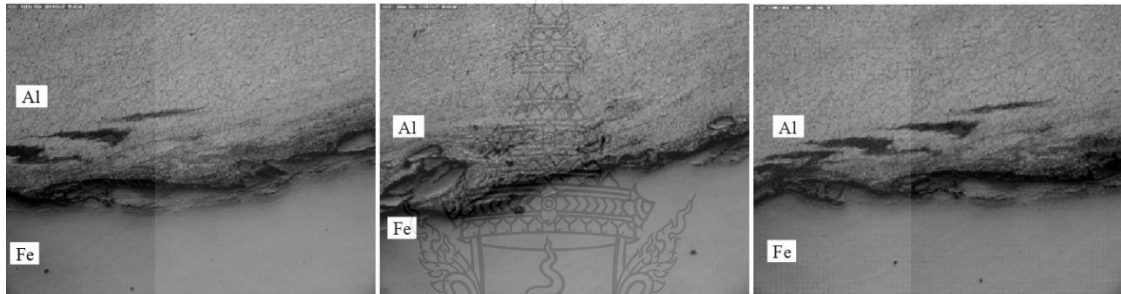
(ก) โครงสร้างมหภาพอินเทอร์เฟซ



(ข) /ระยะห่าง 0 มม.

(จ) /ระยะห่าง 0 มม.

(ช) /ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฅ) /ระยะห่าง 1 มม.

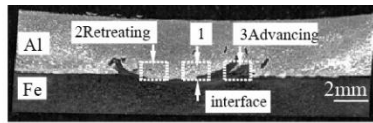


(ง) /ระยะห่าง 2 มม.

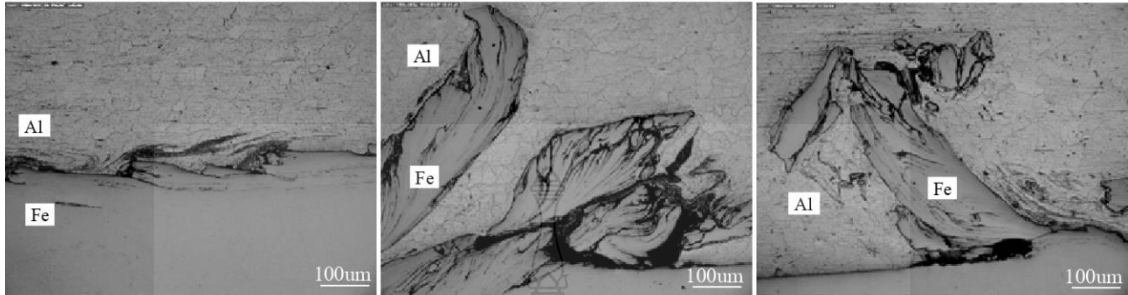
(ช) /ระยะห่าง 2 มม.

(ญ) /ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ ข.8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วย
ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา



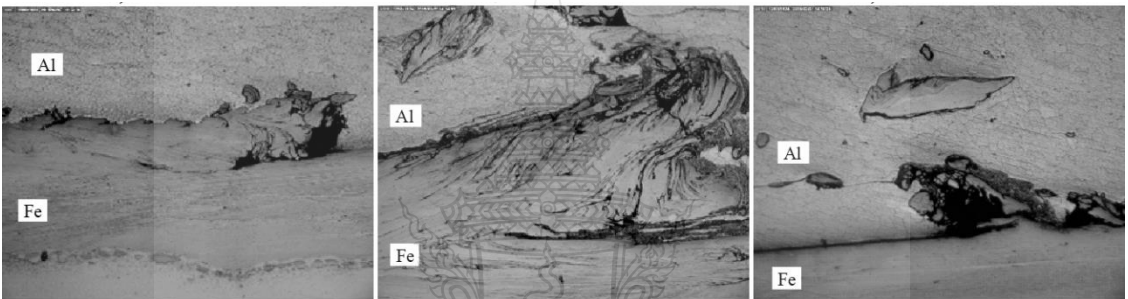
(ก) โครงสร้างมหภาคอินเทอร์เฟซ



(ข) /ระยะห่าง 0 มม.

(จ) /ระยะห่าง 0 มม.

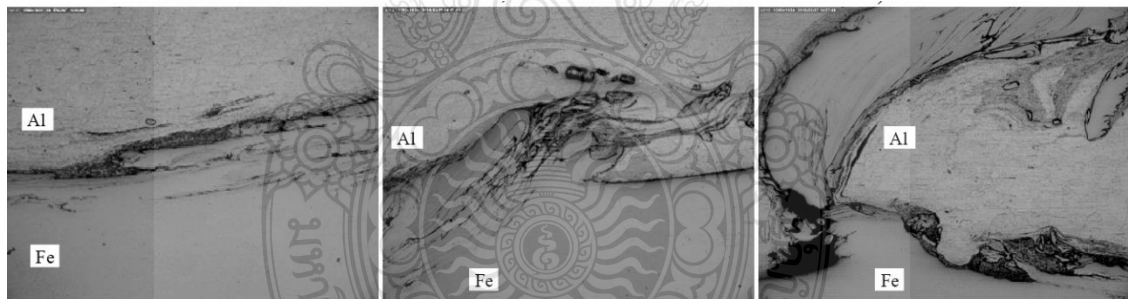
(ช) /ระยะห่าง 0 มม.



(ค) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.

(ฉ) /ระยะห่าง 1 มม.



(ง) /ระยะห่าง 2 มม.

(ช) /ระยะห่าง 2 มม.

(ญ) /ระยะห่าง 2 มม.

รูปที่ ข.9 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซรอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายด้วย
ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 175 มม./นาที ตัวกวนเอียง 2 องศา



ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
 ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการสัมมนา

IE Network Conference 2012

การประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555
 17 - 19 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

สาขาวิชาในการประชุม

1. Operations Research
2. Production and Operation Management
3. Work Study, Plant Layout, Safety Engineering and Ergonomics
4. Quality Management and Statistical Applications
5. Energy and Environmental Management
6. Materials, Production, and Manufacturing Engineering
7. Logistics and Supply Chain Management
8. Innovation Management and Industrial Technology Transfer
9. Maintenance Management
10. Engineering Economy and Cost Management
11. Others that Related to Industrial Engineering
12. Special Topic: ASEAN Economic Community



กำหนดการสำคัญ

เปิดรับบทคัดย่อ	14 ก.พ. - 30 เม.ย. 55
ประกาศผลพิจารณาบทคัดย่อ	14 พ.ค. 55
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์	30 มิ.ย. 55
ประกาศผลพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์	31 ก.ค. 55
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับแก้ไข	31 ส.ค. 55
การลงทะเบียนล่วงหน้า	1 ก.ค. - 31 ส.ค. 55
ประชุมวิชาการ	17-19 ต.ค. 55

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 SRIPATUM
 สอนภาษาอังกฤษเพิ่มเติม
 ผศ.ดร.สุทัศน์ตรา เกษราพงษ์, ผศ.วราดิศร มณีศรี
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 โทรศัพท์: 0-2579-1111x1355 ถึง x2177 โทรสาร: 0-2579-1111x2147
 เว็บไซต์: <http://ienetwork2012.spu.ac.th> อีเมล: ienetwork2012@spu.ac.th

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เภสัชเสถียรวิวัฒน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คาริษา สุธีวงศ์.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสงศ์ โอสทธิศิลป์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรียวเดชะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสัจเจริญ

อาจารย์สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริง ปรีชานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประเสริฐ อัครประถมพงศ์

อาจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย

อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ อดาวจิตรกุล

อาจารย์ภูมิ เหลืองจามีกร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาจารย์ ดร.ปุกณเฒ่า สัจจกมล

อาจารย์ ดร.พัชรี ไตแก้ว ทองรัตนะ

อาจารย์ ดร.รมิตายุ อยู่สุข

อาจารย์ ดร.สุदारัตน์ วงศ์วีระเกียรติ

อาจารย์ ดร.สุวิษภรณ์ วิชกุล

อาจารย์ ดร.ไอลดา ศิริรัตน์ตระกูล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อาจารย์อดฉ ฉัยมณี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

อาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง

อาจารย์ ดร.นัฐวิภา จันทร์ศรี

อาจารย์ ดร.เพ็ญสุดา พันธุ์คำ

อาจารย์นันทวุฒิ ศรีอริยวัฒน์

อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หมิ่นฉิมกุล

อาจารย์ ดร.สิริวงศ์ กลั่นคำสอน

อาจารย์จักรินทร์ กลั่นเงิน

อาจารย์ประภาพรณ เกษราพงศ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์

อาจารย์ ดร.จุมพล วรสายัณห์

รองศาสตราจารย์ ดร.दनัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวรินทร์ สุขโต

อาจารย์ ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวิศ เจริญใจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินโหว
อาจารย์ ดร.วรวพจน์ เสรีรัฐ

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ โสภางแดง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤต เล็กสกุล
อาจารย์ ดร.กรกฎ ไบบัวเทศ ทิพย์วงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.เต๋อใจ สมบูรณ์วิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตรวราภรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยา คำคำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พจมาน เต๋อวัฒนรัฐติกาล
อาจารย์ ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์
อาจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข
อาจารย์ ดร.พีเนษฐ์ ศรีโยธา
อาจารย์มงคล สีนะวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.อาษา ประทีปเสนา
รองศาสตราจารย์ ดร.วชิระ มีทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ พรหมบุญพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์นา อุดมศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ สุทธราภรณ์ชัย
อาจารย์ ดร.ไพบูรณ์ ช่างทอง
อาจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ บุญเกียรติ
อาจารย์ ดร.อุษณีย์ คำพูล
อาจารย์เจษฎา จันทวงษ์โส
อาจารย์สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งผล
รองศาสตราจารย์วันชัย แผลมเหล็กสกุล
อาจารย์ ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์
อาจารย์ ดร.กฤษดา อัครรุ่งแสงกุล
อาจารย์ ดร.กุลล พิมานันท์ศรี
อาจารย์ ดร.ชัชชัย เผือกสามัญญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นราธิป แสงชัย
อาจารย์ ดร.ธนสาร อินทรกำธรชัย
อาจารย์ ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิต
อาจารย์ ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์
อาจารย์สงกรานต์ บางศรีณีย์ทิพย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

อาจารย์ ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา
อาจารย์ธนิดา สุনারักษ์
อาจารย์พัฒนพงษ์ แสงหัตถ์วัฒนา

อาจารย์วรินทร์ เกียรติคุณกุล
อาจารย์อรณิชา อนุชิตชาญชัย
อาจารย์พรเทพ แก้วเชื้อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์ขันธ์

อาจารย์ ดร.ชัยยะ ปราณีไพลกรัง

อาจารย์ศุภเอก ประมูลมาก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ ตรีวนพงษ์

อาจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พายัพ เชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนวิภา อวีนันท์

อาจารย์ ดร.นเรศ อินทรีย์วงศ์

อาจารย์ ดร.บรรเจิด แสงจันทร์พิสา

อาจารย์ ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พายัพ เชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนวิภา อวีนันท์

อาจารย์ ดร.นเรศ อินทรีย์วงศ์

อาจารย์ ดร.บรรเจิด แสงจันทร์พิสา

อาจารย์ ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เดช เหมื่อนขาว

อาจารย์ ดร.มาตามะสุไสมี่ มะแข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระว่างวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

อาจารย์สัญญา คำจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล

อาจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงกช เสริมสุขีอนุวัฒน์

อาจารย์ ดร.ปภากร ทิพย์ชวาล

อาจารย์ ดร.วีระชัย มโนพิเชษฐวัฒนา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.จิรรัตน์ วีระวาทฤกษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ตรีทศ เหล่าศิริพงษ์ทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสมอจิตร์ หอมรสสุคนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.จิรศิริพงศ์ เจริญภัณฑารักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุฑตตามระ

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล
อาจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
อาจารย์ ดร.สัทเห์ รัฐวิบูลย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์
อาจารย์ ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

รองศาสตราจารย์ ดร.กวีณ สอนธิเพิ่มพูน
อาจารย์ ดร.ขวัญณิธิ คำเมือง
อาจารย์วิสาข์ เจ้าสกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุพงษ์ พงษ์เจริญ
อาจารย์ ดร.ภาณุ บรมนจารุกร
อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

มหาวิทยาลัยบูรพา

รองศาสตราจารย์เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์ทา นาควิชิตระกุล
อาจารย์ ดร.จักรวาล คุณะติลลิก
อาจารย์ ดร.อุวัลย์ จันทร์สา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรพต ลีลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ
อาจารย์ ดร.กฤษดา ประสพชัยชนะ

มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รองศาสตราจารย์สุคนธ์ อากฤทธิ์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์
อาจารย์ ดร.พิษณุ มนัสปิติ
อาจารย์พรคพงษ์ แก่นณรงค์
อาจารย์สมพร พรหมดวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพียงจันทร์ จริงจิตร
อาจารย์ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า
อาจารย์ศิลปชัย วัฒนเสย
อาจารย์สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา พิศลบุตุตร
อาจารย์ ดร.เลิศเลขา ธนะชัยพันธ์
อาจารย์นุกูล อุบลมาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชณี ภูวพัฒนะพันธ์
อาจารย์นันทวรรณ อำเอี่ยม
อาจารย์มารีสา แก้วสุวรรณ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ธนรัตน์ แต้วัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์
อาจารย์ ดร.พิลดา หวังพานิช
อาจารย์พงษ์เพ็ญ จันทนะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มิตรมาณี ศรีวัฒนวงศ์
อาจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ
อาจารย์สิริเดชชาตินิยม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโหม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชานา สินชวาลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญ เจตวิจิตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีเชษฐ ตระการชัยศิริ

รองศาสตราจารย์วินิตา รัตนมณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพชนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนกิสพร มีมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ สังข์พงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยอดดวง พันธุ์นรา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สงวน ตั้งโพธิธรรม

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนะ เบียงกมลสิงห์
อาจารย์ ดร.วัฒนชัย พฤกานนท์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

อาจารย์จิตลดา ชัมเจริญ
อาจารย์นิตากร สมสุข

อาจารย์วรลักษณ์ เสถียรรังษฤษฎ์
อาจารย์อรอุมา กอสนาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร ภูนิคม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชสรุา เกรียงกรกฎ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี
อาจารย์ ดร.จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์
อาจารย์ ดร.ธารชูดา พันธุ์นิกุล
อาจารย์ไท แสงเทียน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพ็ชรทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรียา ไชคสวัสดิ์
อาจารย์ ดร.สันต์ โอพาพิริยกุล
อาจารย์ตะวันฉาย โพธิ์หอม
อาจารย์สุรเจษฎ์ ก้อนจันทร์

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดชา พวงดาวเรือง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี

โรงเรียนนายเรืออากาศ

รองศาสตราจารย์สุทธิ ศรีบุรพา

อาจารย์อวยชัย วิตต์เอื้อ

อาจารย์อมฤต ศรีบุรพา

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพฤกษ์ อาภาเวท

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประยูร สุรินทร์

อาจารย์เจษฎา วงษ์อ่อน

อาจารย์พิทักษ์ พนาวัน

อาจารย์สุนทร มุลทา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฤดี มาสุขจันทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

อาจารย์ ดร.ชุมพล ยวงไย

อาจารย์ ดร.วิภู ศรีสืบสาน

อาจารย์ ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฎิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์เพ็ญ อนุรักษ์นานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ลีลาขวิวงศ์

อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหลิม

อาจารย์ ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์

อาจารย์ ดร.กณศก พลอยคนันท์

อาจารย์กวีนิธร์ สัยเจริญ

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ศุภชัย นาทะพันธ์

อาจารย์ ดร.กนกวรรณ กิ่งผ่อง

อาจารย์ ดร.มงคล เทียนวิบูลย์

อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย

อาจารย์ ดร.รณชัย ศิริเวชญกุล

อาจารย์ดวงยศ สุภักดิ์

อาจารย์ศุภชัย ราษฎร์ศิริ

อาจารย์ธนา สาตรา

อาจารย์สิทธิพันธ์ ตัฒทวีรุพท์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รองศาสตราจารย์ ดร.กิติ ชยะกุลศิริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรีณี มณีศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมตะ ทศนภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนาภัทร พรหมวัฒน์ภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัศวีร์ ศรีโหมด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต เครือสุข

อาจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ ทองซูป

อาจารย์ ดร.วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์

อาจารย์จักรพันธ์ กันหา

อาจารย์ธัญญ์ เรือนคง

อาจารย์อศวิน วงศ์วิวัฒน์

อาจารย์ศิระ สัตย์ไพศาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรอุฒิกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒตรา เกษราพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถาวร อมตภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัฒนพงศ์ อธิยสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต มณีศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ

อาจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย

อาจารย์ก่อศักดิ์ อาชวากร

อาจารย์ชนิน ศรีระมย์

อาจารย์ชวินท์ นฤนาท

อาจารย์วันวิสา ค่วนตระกูลศิลป์



สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
MPM075	อิทธิพลของกรรมวิธีทางความร้อนต่อค่า ซีสเตอร์วีซีของการยึดหดของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ เมื่อรับแรงลึงคิงค์ เอี่ยมชราธานี* สมนึก วิวัฒน์วิบูลย์ ทศนัย แสนพลพัฒน์	251
MPM076	การประยุกต์นำเลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์มาสอบเทียบดิจิตอลไฮเกจกัมปนาท ย่วมกุล* อรุณิชา ตุภางค์วิพุธ	252
MPM077	อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเกลยของอลูมิเนียมผสมเกรด AA1100 และ AA6063 ชวิญชัย โพธิ์ขวัญ* กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	253
MPM078	อิทธิพลของธาตุทองแดงกับซิลิกอนต่อสมบัติเชิงกลของอลูมิเนียมผสมเกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ* มนตรี ทองปลิว วิชัย มีสีดา สุกกิจ ลักษณะศิริ	254
MPM079	ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนของกรวยเชื่อมเสียดทานแบบจุดระหว่างอลูมิเนียมผสม AA 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACC สุธวิพร คงเพชร* กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สุรัตน์ ศรีวรรณพงษ์	255
MPM080	การศึกษาสมบัติการเชื่อมเสียดทานแบบกวนหัวแนวองรอยต่อเกลยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 เอกลักษณ์ ตันศิริพิริยะ* กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	256
MPM081	การประยุกต์ใช้หลักการเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเครื่องหลอมพลาสติก จิระศักดิ์ วงศา* จิระศักดิ์ สงมัญแก้ว เอกวัฒน์ นกภานต์ บัญชา ศรีวิโรจน์ ยืน ปาระเคน	257
MPM082	การลดของเสียในกระบวนการฉีดโม่ปิดแห้งควบคุมในชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้ไฟในเตาฮีทเทนต์ นพดล พึ่งสุนทร* ศิลก ศรีประไพ วีระ ปรมัตถ์สวัสดิ์	258
MPM083	การเจาะรูวัสดุเซรามิกเคลือบเซโรโคไซด์ไนเทนต์ (PZT) ด้วยวิธีการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (EDM) ศิวะวงศ์ ภูเพชร* อภิวัฒน์ มุสตามระ	259
MPM084	อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด ธงชัย เพ็งจันทร์* ประสาน คำดีผล ศิวชัย ตอลกุล	260

การศึกษาสมบัติการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวของรอยต่อเกยระหว่าง
อลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430
Overlapping Friction Stir Welding Passes Properties Study
of AA6063 Aluminum Alloy and AISI430 Stainless Steel Lap Joint

เอกกฤษณ์ ตันติพิริยะ^{1*} กิตติพงษ์ กิมะพงศ์²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail: nuioooo@hotmail.com

Eakkaluck Tantipiriya^{1*} Kittipong Kimapong²

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: nuioooo@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำ ซึ่งงานรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกยลดลงและเพิ่มความแข็งแรงของบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกย ในโลหะเชื่อมแสดงการแทรกตัวของส่วนเหล็กกล้าขนาดใหญ่เข้าไปอยู่บริเวณเนื้อของอลูมิเนียมซึ่งคาดว่าเป็นสาเหตุในการทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง การเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำแนวบ่อยครั้งกว่าส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเพิ่มขึ้น ตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กที่ให้ได้ค่าความแข็งแรงเฉือนมีค่าประมาณ 127MPa คือ ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที และการเชื่อมซ้ำแนวเดียว

คำหลัก อลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม การเชื่อมเสียดทานแบบกวน รอยต่อเกย การเชื่อมซ้ำแนว

Abstract

This research was to study Overlapping friction stir welding passes properties of AA6063 and AISI430 stainless steel lap joint that was produced by a rotating speed of 500 rpm and welding speed of 175 mm/min. The results are as follows. The overlapping friction stir welding passes affected directly to decrease the tensile shear strength of the lap joint and increase the hardness of weld metal at the lap joint interface. Microstructure of the weld metal showed that a large steel particle was pushed to aluminum side and might be reason to decrease the lap joint tensile shear strength. The less overlapping friction stir welding passes showed that the tensile shear strength was higher and the hardness was lower than that of the many overlapping friction stir welding passes. The optimum welding condition that indicated the tensile shear strength of 127MPa was the rotating speed of 500 rpm, the welding speed of 175 mm/min and 1 pass of overlapping friction stir welding.

Keywords: aluminum, stainless steel, friction stir welding, lap joint, overlapping passes

1. บทนำ

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่มีมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Conservation fusion welding) เช่น อลูมิเนียมผสม [1] อย่างไรก็ตามการเชื่อมอลูมิเนียมเข้ากับเหล็กด้วยการเชื่อมแบบหลอมละลายดั้งเดิม (Conservation fusion welding) เข้าด้วยกันเป็นวิธีค่อนข้างลำบาก เนื่องจากการเกิดสารประกอบกึ่งโลหะที่แข็งเปราะไม่เท่ากันทางกลทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้นสูงและความไม่ต่อเนื่องของความเค้นที่บริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของการนำความร้อนที่ต่างกันทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนต่างกัน และทำให้รอยต่อต้านทานต่อแรงได้ต่ำ [2] ดังนั้นการใช้กระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมในการต่อวัสดุต่างชนิดจึงมีความสำคัญในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รอยต่อระหว่างเหล็กและอลูมิเนียม มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ เนื่องจากการทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้ในงานได้กว้างขวางขึ้น [3]

ในการศึกษากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีการประยุกต์ใช้กรรมวิธีต่างๆในการเชื่อมอลูมิเนียมและเหล็กเข้าด้วยกัน เช่น การเชื่อมต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม A5083 และเหล็กกล้า SS400 ที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด 86% ของอลูมิเนียมผสม [4] และพบว่าวิธีการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่า 70% ของโลหะหลักที่ใช้เชื่อมมีเพียงไม่กี่วิธี หนึ่งในนั้นคือ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่มีการพัฒนาเพื่อเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลาย [5] และยังคงมีการเปรียบเทียบสมบัติรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ที่เชื่อมด้วยตัวกวนหลายรูปแบบ [6]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประยุกต์ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเข้าโดยใช้เครื่องมือกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย โดยมีจุดประสงค์ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ด้วยตัวกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย ซึ่งมีการ

กวนเข้าจากจุดรอยเชื่อมเดิม 1, 2 และ 3 ครั้ง โดยใช้ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วตัด 175 มม/นาที ด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย [6] แล้วเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อ โดยคาดว่ากรรมวิธีที่ต่างกันระหว่างวัสดุจะสามารถทำได้ดีขึ้นและค่าความแข็งแรงของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น

2. วิธีการทดลอง

ในการศึกษากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยใช้เครื่องมือกวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ คือ อลูมิเนียมเกรด AA 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ส่วนผสมทางเคมี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ส่วนผสมทางเคมี

ส่วนผสมทางเคมี	Al	Mg	Fe	Si	Cu
AA6063	0.42%	0.06%	0.16%	0.02%	0.01%
ส่วนผสมทางเคมี	Fe	Cr	C	P	Si
AISI430	16%	0.12%	0.14%	0.50%	0.02%

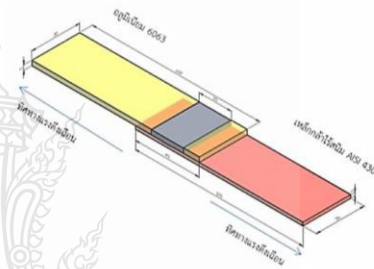
ขนาดอลูมิเนียม AA6063 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีความกว้าง 105 มม. ยาว 150 มม.หนา 3 มม. และขนาดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ที่ใช้ทดสอบมีความกว้าง 105 มม. ยาว 150 มม. และหนา 2 มม. ทำการเชื่อมในลักษณะต่อเกลียวซึ่งมีอลูมิเนียมอยู่ด้านบนและเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ด้านล่าง มีระยะเกลียวอยู่ที่ 40 มม. แสดงดังรูปที่ 1 ก่อนทำการต่อเกลียวระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นต้องทำความสะอาดโดยทำการขจัดคราบสิ่งสกปรกและออกไซด์ที่ผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิมและอลูมิเนียมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 240 และ 500 ตามลำดับ จากนั้นล้างด้วยอะซิโตนอีกครั้ง สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการกวนผลิตมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งหลังจากขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากและตัวกวน 20 มม. และ 6 มม. ตามลำดับ ความยาวเครื่องมือกวน 3.1 มม. แสดงดังรูปที่ 2

โดยทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำด้วยความเร็วรอบคงที่ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 มม./นาที ความลึกตัวกวนลงไปเหล็กกล้าไร้สนิม 0.2 มม. และความเอียงของตัวกวนอยู่ที่ 2 องศา เมื่อเทียบกับแกนระนาบของโต๊ะวางชิ้นงานของเครื่องกัดแบบอัตโนมัติแนวตั้ง และทำการกวนซ้ำครั้งที่ 1 จากนั้นให้ทำการกวนซ้ำแนวเชื่อมเดิม 2 และ 3 ครั้ง ตามลำดับ โดยให้ค่าความเร็วรอบ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และความลึกเครื่องมือกวนคงที่

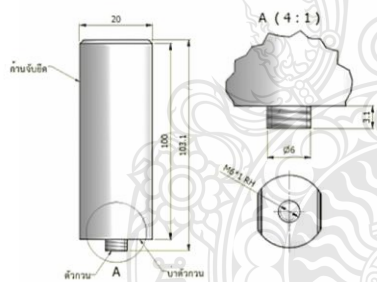


รูปที่ 1 การต่อของชิ้นงานเชื่อมเสียดทานแบบกวน (หน่วย : มม.)

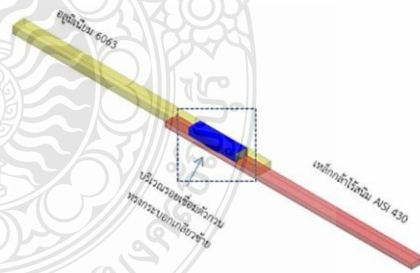
รูปที่ 3 ชิ้นงานที่ได้มาจากการทดลอง



รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงเฉือน



รูปที่ 2 รูปร่างตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย



รูปที่ 5 บริเวณแนวเชื่อมทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและทดสอบความแข็งภายในรอยต่อแยก

จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำ ดังแสดงดังรูปที่ 3 ไปทำการตัดในลักษณะแนวขวางกับรอยเชื่อมขนาดกว้าง 30 มม. เพื่อนำไปทดสอบแรงดึงเฉือนแสดงดังรูปที่ 4 และทำการตัดในลักษณะเดียวกันให้มีความกว้าง 5 มม. เพื่อนำไปทดสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็งบริเวณรอยเชื่อม ดังรูปที่ 5

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 การตรวจสอบด้วยตาเปล่าผิวหน้ารอยเชื่อมเสียหายแบบกวนซ้ำ

รูปที่ 6 (ก) (ข) (ค) แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียหายแบบกวนซ้ำครั้งที่ 1, 2 และ 3 ครั้งด้วยความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที และความเร็วกวาดินเชื่อม 175 มม./นาที พบว่าผิวหน้าของแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายกันทุกๆ ครั้งในการกวนซ้ำ ชิ้นงานเชื่อม ซึ่งส่วนมากจะมีความสมบูรณ์ในแนวเชื่อมและมีจุดบกพร่องเป็นส่วนน้อย ชิ้นงานทดสอบก่อนข้างสมบูรณ์ที่มีการกวนซ้ำครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 6 (ก) มีความละเอียดของผิวหน้ารอยกวนซ้ำมากกว่าและผิวมันวาว ตามลำดับในการกวนซ้ำ แสดงดังรูปที่ 6 ส่วนการกวนซ้ำครั้งที่ 3 ผิวหน้าของรอยกวนซ้ำมีความหยาบมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 6 (ค) กว่าการกวนซ้ำครั้งที่ 1 นอกจากนั้นขนาดของครีบกี้ที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าด้านรีหรือหนึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอทำให้เนื้อโลหะอยู่ในสภาวะพลาสติกซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชงชัย เครือผือ [7] บริเวณจุดสุดท้ายของแนวในการกวนซ้ำจะมีลักษณะเป็นหลุมที่เกิดขึ้นจากการถอดตัวกวนที่สิ้นสุดกระบวนการเชื่อมเสียหายแบบกวนซ้ำ



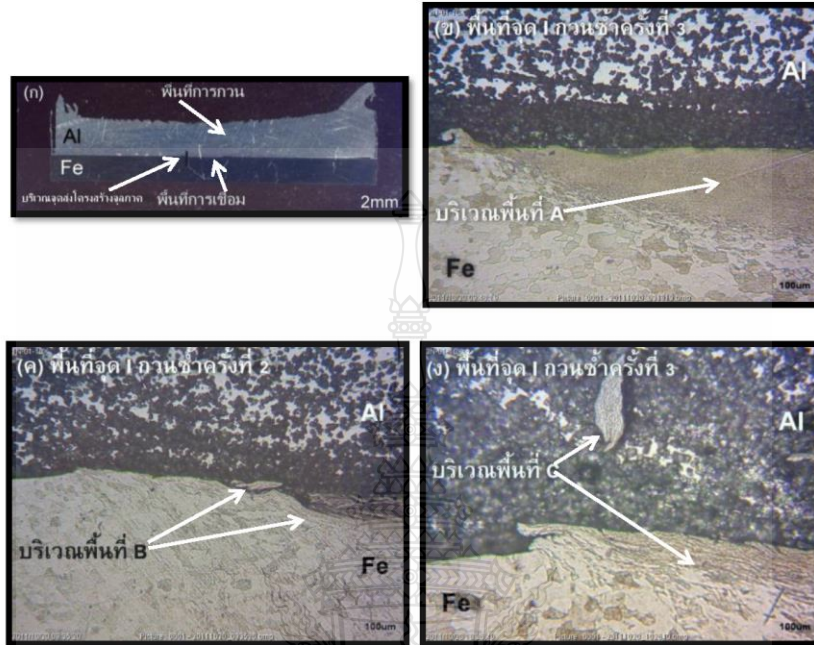
รูปที่ 6 ผิวหน้าของแนวเชื่อมกวนซ้ำ

3.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคภายในรอยเชื่อมที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง

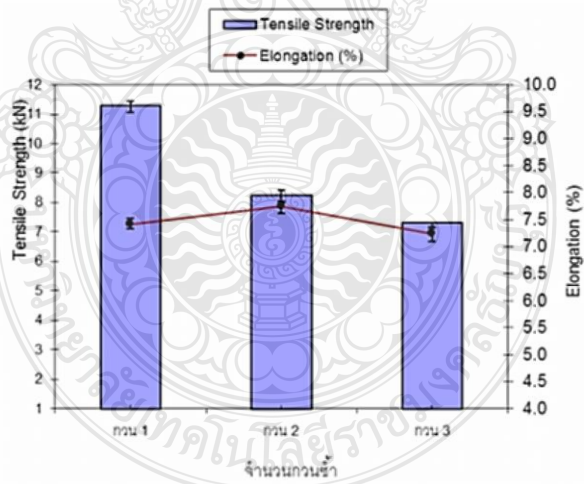
บริเวณของรอยเชื่อมจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคภายในรอยต่อเกย ดังรูปที่ 7 (ก) จุด 1 นั้นพบว่า

บริเวณสัมผัสระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 หรือเรียกว่าอินเตอร์เฟซบรอยต่อเกยทำให้อลูมิเนียมเข้าไปแทนที่ตามผิวที่ไม่เรียบของเหล็กกล้าไร้สนิม บริเวณพื้นที่ A ในรูปที่ 7 (ข) เหล็กและอลูมิเนียมจะเกิดการเรียงตัวเข้าหากันนั้น แสดงลักษณะแนวของการเปลี่ยนรูปด้วยแรงทางกล จะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ A นั้นถูกอัด และกวนจนกระทั่งเกิดการอ่อนตัวของเหล็กถูกดันไปสู่ด้านบนของอลูมิเนียม แสดงดังรูปที่ 7 (ค) และ (ง) ในบริเวณพื้นที่ B และ C จะเห็นได้ว่ามีการไหลของเนื้อโลหะจากการกวนซ้ำในรอยเชื่อมแนวเดิมในครั้งที่ 2 และ 3 มีชั้นลักษณะเล็กของเหล็กที่ถูกกวนเข้าไปอยู่ในเนื้อของอลูมิเนียมและยังมีลักษณะคล้ายคลื่นในบริเวณผิวของเหล็กที่มีการกวนซ้ำครั้งที่ 1 ผิวจะเป็นลักษณะคลื่นที่ราบเรียบกว่าการกวนซ้ำครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ทำให้เกิดค่าความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงดังรูปที่ 8 ถ้ามีการกวนซ้ำมากกว่า 1 ครั้งจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนลดลง โดยค่าความแข็งแรงดึงเฉือนในการกวนซ้ำครั้งที่ 1 ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 11.29 kN. ดังแสดงในรูปที่ 8

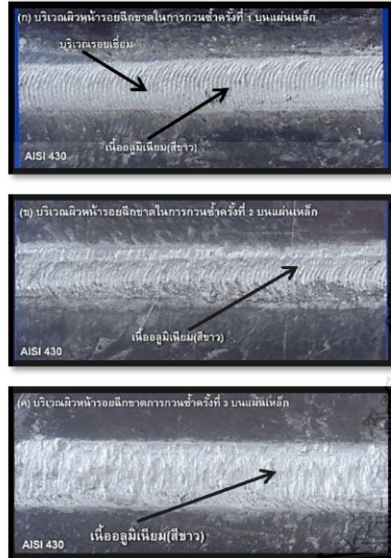
รูปที่ 9 ก. เป็นลักษณะแนวฉีกขาดของรอยเชื่อมจากการกวนซ้ำครั้งที่ 1 ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วกวาดินแนวกวนซ้ำ 175 มม./นาที ด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย ที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดพบว่าผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 นั้นมีเนื้อของอลูมิเนียม AA6063 อยู่บนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ในปริมาณที่สม่ำเสมอตลอดรอยฉีกขาดของแนวเชื่อมการกวนซ้ำ 1 ครั้งบนแผ่นชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือน บริเวณด้านข้างของรอยเชื่อมมีลักษณะเป็นหลุมตื้นๆ ซึ่งเกิดจากการหลุดออกของเนื้อเหล็กที่เกิดจากการทดสอบแรงดึง นั่นคือส่วนที่เหล็กเข้าไปแทรกตัวอยู่ในส่วนของอลูมิเนียม จึงมีลักษณะสอดคล้องกับการแทรกตัวและบีบอัดภายในรอยเชื่อมของวัสดุทั้งสองชนิดที่ได้จากการทดสอบโครงสร้างจุลภาคภายในรอยต่อเกยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อเทียบกับผิวหน้าแนวฉีกขาดที่ผิวเหล็กของการกวนซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วกวาดินแนวกวนซ้ำ 175 มม./นาที ด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำลงมาจากการกวน



รูปที่ 7 บริเวณในรอยเชื่อมที่นำไปส่งสู่โครงสร้างจุลภาค ในจุด ก.



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการกวนซ้ำ 1 และ 3 ครั้งต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือน



รูปที่ 9 ผิวหน้าการหักงอของชิ้นทดสอบ
แรงดึงเฉือน

ซ้ำ 1 ครั้ง นั้นมีลักษณะแนวฉีกขาดที่แตกต่างไปจากการทวนซ้ำครั้งที่ 1 พบว่ามีเนื้อ ดังรูปที่ 9 ข. และ ค. เกิดจากการฉีกขาดภายในเนื้ออลูมิเนียมและเป็นสาเหตุทำให้เกิดค่าความแข็งแรงดึงน้อยกว่าการทวนซ้ำในครั้งที่ 1

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการการศึกษาสมบัติของรอยเชื่อมเสียดทานแบบทวนซ้ำ 1, 2 และ 3 ครั้งในแนวเชื่อมเดิมต่อเกาะระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ที่เชื่อมด้วยตัวทวนแบบทรงกระบอกเกลียวซ้าย โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเชื่อมเสียดทานแบบทวนซ้ำครั้งที่ 1 ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุด 11.29 kN. ที่ความเร็วรอบครั้งที่ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวทวนซ้ำ 175 มม./นาที
2. การเชื่อมเสียดทานแบบทวนซ้ำมากขึ้นทำให้

ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนลดลงคือ 7.31 kN. ในการทวนซ้ำครั้งที่ 3 ที่ความเร็วรอบครั้งที่ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวทวนซ้ำ 175 มม./นาที

3. การเชื่อมเสียดทานแบบทวนซ้ำเกิน 1 ครั้ง ทำให้มีผลค่าความแข็งแรงดึงเฉือนลดลงตามจำนวนครั้งที่ทวนซ้ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas, W.M. and Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Templesmith, P. and Dawes, C.J. 1991. Friction Stir Welding. G.B. Patent Application No.9125978.8.
- [2] Rathod, M.J. and Kutsuna, M.m 2004. Joining of Aluminum Alloy 5052 and Low-Carbon Steel by Laser Roll Welding. Welding J. 83-1: 16s-26s.
- [3] Branes, T.A. and Pashyby, I.R. 2000. Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding. J. of Mater. Proc. Tech. 99: 62-71.
- [4] Kimapong, K., Watanabe, T.2004. Friction Stir Welding of Aluminum Alloy to Steel. Welding Journal. 84-10: 277s-282s.
- [5] Thomas, W.M., Nicholas. 1997. FSW. For the Transport. Indus. Mater. & Des. 18: 269-273.
- [6] สมชาย วนไทยสงค์ และ กิตติพงษ์ กิมพงษ์. การเชื่อมเปรียบเทียบสมบัติรอยต่อเกาะระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ที่เชื่อมด้วยตัวทวนการเสียดทานแบบทวนหลายรูปแบบ. การประชุมวิชาการรายงานวิทยกรรมอุตสาหกรรม 2010. อุบลราชธานี, ประเทศไทย, 13-15 ตุลาคม 2553.
- [7] ธงชัย เครือผือ 2551. อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมและรูปแบบหัวพินที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลในการเชื่อมอลูมิเนียมผสม A356 ที่หล่อโดยเทคนิโหลยหล่อกึ่งของเหลวด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบทวน การประชุมรายงานวิชาการวิทยกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551., ประเทศไทย, 20-22 ตุลาคม 2551:933-939

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเอกลักษณ์ ตันติพิริยะ
วัน เดือน ปีเกิด	13 พฤศจิกายน 2524
ที่อยู่	91/1 หมู่ 7 ตำบลหลักสาม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร 74120
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประสบการณ์การทำงาน	ครูพิเศษ สาขาเครื่องมือกลและซ่อมบำรุง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร พ.ศ.2548 ถึง พ.ศ.2552 พนักงานราชการ ประจำสาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคอุตสาหกรรมยานยนต์ พ.ศ.2552 ถึง พ.ศ.2557 ข้าราชการครู ประจำสาขาวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษก พ.ศ.2557 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	081-4678-918
อีเมล	nuija_2524@hotmail.com

