



ศึกษาแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนเทอร์แบลิ่งค์
ระหว่างอลูมิเนียมผสม 6063 และ 7075



โดย

ปิยะวรรณ สุนาสวน
ทวี หมดสีะ

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557

A Study the Friction Stir Welding between of 6063 and
7075 Aluminum Alloy Tailored Blank

By

Miss Piyawan Sunasuan

Mr.Tavee Madsa



Grated by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านเทคนิคและข้อมูล และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ในการให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปิยะวรรณ สุนาสวนและคณะ
กันยายน 2557



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Social 005/2557

ชื่อโครงการ : ศึกษาแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนเทเลอร์แบล็งค์ระหว่างอลูมิเนียมผสม
6063 และ 7075

ชื่อนักวิจัย : “นางสาวปิยะวรรณ สุนาสวน” “นายทวี หมัดสี๊ะ”

รอยต่อวัสดุต่างชนิดเทเลอร์แบล็งค์เป็นหนึ่งในกุญแจสำคัญการลดน้ำหนักรวมของรถยนต์ และมีผลโดยตรงต่อการลดการสิ้นเปลืองพลังงาน อย่างไรก็ตามการเชื่อมรอยต่อชนิดนี้มีความยากลำบากเนื่องจากความแตกต่างของสมบัติวัสดุ เช่น จุดหลอมเหลว ความสามารถในการนำความร้อน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้กระบวนการเชื่อมที่สามารถทำการเชื่อมรอยต่อนี้จึงมีการพัฒนาและหาค่าความเหมาะสมอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมเสียดทานกวนในการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดเทเลอร์แบล็งค์ระหว่างอลูมิเนียมผสม AA6063 และ AA7075 และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเสียดทานกวนที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อลูมิเนียมผสม AA6063 หนา 3.0 มิลลิเมตร และ AA7075 หนา 6.0 มิลลิเมตร ขนาดของแผ่นรีดยาว 150 มิลลิเมตร และความกว้าง 75 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดลองถูกจับประกอบเป็นรอยต่อชนบนอุปกรณ์การจับยึดบนโต๊ะจับชิ้นงานของเครื่องกัดแนวตั้ง การเชื่อมเสียดทานกวน โดยตัวแปรประกอบด้วย ความเร็วรอบ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และมุมเอียงของเครื่องมือเชื่อม ซึ่งรอยต่อที่ได้ถูกนำไปทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

สรุปผลการทดลองดังนี้ พบว่าตัวแปรแนวเชื่อมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 181 MPa คือ ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 25 มิลลิเมตร/นาที และมุมเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแรงดึงที่แปรผันไปตามตัวแปรในการทดลอง เนื่องจากการลดลงของความเร็วรอบ การลดลงของความเร็วเดินแนวเชื่อมและองศามุมเอียงเครื่องมือเชื่อม

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน เทเลอร์แบล็งค์ รอยต่อวัสดุต่างชนิด

E- mail Address : notp20@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม 2556 – 30 กันยายน 2557

ABSTRACT

Code of project : Social 005/2557

Project name : A Study the Friction Stir Welding between of 6063 and 7075 Aluminum Alloy Tailored Blank

Researcher name: “Miss Piyawan Sunasuan” “Mr.Tavee Madsa”

The tailored blank joint and welding dissimilar materials are the most effective way that can be used to reduce a total automobile weight and the fuel consumption of the vehicle. However, a fusion welding of this joint is difficult due to the differences of material properties such as a melting temperature, a heat conductivity, etc. Therefore, a welding process that could produce a successful joint of these materials is continuously developed and optimized. This research aims to study the influence of welding parameters of the friction stir welding (FSW) process for producing the tailored blank joint between a 6063 and a 7075 aluminum alloy.

The experiments were carried out by using sample sizes of a 150 mm. long, 75 mm. wide and different thickness of 3.0 mm and 6.0 mm. for the 6063 aluminum alloy and the 7075 aluminum alloy respectively. The samples of the two different materials were mounted into the fixture and welded by using FSW process. The welding parameters including rotating speed, welding speed and tilt angle were varied from 250 - 750 rpm, 25-125 mm/min and 0-4 degree respectively. The welded samples were tested and compared the tensile strength, micro-hardness and micro-structure of the joint.

The experimental results showed that the rotating speed, welding speed and tilt angle influenced the tensile strength and micro-structure of the joint. However, they did not influence the hardness of the joint. The result also indicated that the most suitable parameters for FSW of the 6063 and the 7075 aluminum alloy materials by using the rotating speed of 750 rpm, the welding speed of 25 mm/min and the tool tilt angle of 0 degrees which gave the highest tensile strength of 181 MPa. This tensile strength was almost the same as the original material properties.

Keywords : frictions stir welding, tailored blank, welding dissimilar materials,

E- mail Address : notp20@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : 1 October 2013 – 30 September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การเชื่อมเสียดทาน	3
2.2 กระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน (Friction Stir Welding)	4
2.3 อลูมิเนียมผสมและอลูมิเนียมผสม	7
2.4 การทดสอบสมบัติทางกลโดยการดึง (Tensile Test)	9
2.5 การทดสอบความแข็ง	12
2.6 กระบวนการตัดด้วยเครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire EDM)	14
2.7 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	21
3.1 แผนการดำเนินงาน	22
3.2 การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม	22
3.3 การเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม	23
3.4 การจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.5 กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	24
3.6 การทดสอบแรงดึง	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	30
4.1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./นาที	31
4.2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./นาที	38
4.3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./ นาที	45
4.4 ผลสรุปการเอียงเครื่องมือเชื่อม	51
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผล	53
5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง	53
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก สมบัติทางกลของวัสดุ	57
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	83
ประวัติผู้วิจัย	86



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน Aluminum Association	8
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง	23



สารบัญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 มิติของชิ้นงาน (หน่วย มิลลิเมตร)	4
2.2 แสดงลักษณะกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน	5
2.3 แสดงขั้นตอนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน	6
2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)	10
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	11
2.6 การหาค่าความเค้นพิสูจน์	12
2.7 หัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์	13
2.8 เครื่องวัดความแข็งแรงแบบไมโครวิกเกอร์	14
2.9 กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา	16
2.10 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา	16
2.11 การสะท้อนแสงที่ต่างกันในบริเวณขอบเกรนและภายในเกรน	17
2.12 อะตอมที่มีการจัดเรียงตัวต่างกันภายในเกรน	17
3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการทดลอง	22
3.2 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม	23
3.3 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW	24
3.4 ลักษณะการเชื่อมแบบต่อชน (หน่วย : มิลลิเมตร)	25
3.5 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	26
3.6 เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบมีน้ำหล่อเย็น	26
3.7 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	27
3.8 ทิศทางการหมุนปรับชิ้นงานในกระบวนการขัดเมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย	27
3.9 เครื่องขัดโครงสร้าง	28
3.10 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	28
3.11 เครื่องทดสอบความแข็งแรงจุลภาคแบบวิกเกอร์ส	29
4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้า และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	32
4.3 การพังทลายด้านหน้าและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที	33
4.3 การพังทลายด้านหน้าและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที (ต่อ)	34

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้าง และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	34
4.5 การพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที	35
4.6 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที	36
4.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	37
4.8 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z	38
4.8 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z (ต่อ)	39
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้า และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	39
4.10 การพังทลายด้านหน้าของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที	40
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้าง และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	41
4.12 การพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที	42
4.13 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที	43
4.14 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	43
4.15 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z	45
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	46
4.17 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที	47
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	48
4.19 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที	48
4.20 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที	49
4.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	50
4.22 เปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา	51
4.23 เปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาทางวิจัย

อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่เชื่อมได้ยากซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมกระบวนทางความร้อน (Fusion Weld) ซึ่งได้แก่ กระบวนการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) หรือเรียกว่า การเชื่อม MIG และกระบวนการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) ซึ่งเรียกว่า การเชื่อม TIG ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ต้องใช้ช่างฝีมือผู้ชำนาญงาน และอีกทั้งระหว่างกระบวนการเชื่อมแผ่รังสีบางชนิด รวมถึงควันทักษะระหว่างการหลอมละลายอลูมิเนียมที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน [1]

การเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1991 ซึ่งเป็นการเชื่อมวัสดุในสภาวะแข็ง เพื่อเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมด้วยการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ได้มีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ และเรือเดินสมุทร [2] อลูมิเนียมเป็นส่วน ประกอบสำคัญเนื่องจากอลูมิเนียมสามารถรับแรงกดดันที่เกิดขึ้นกับการบินในชั้นบรรยากาศสูงๆ ได้ดีนอกจากนั้นอลูมิเนียมนิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบที่ตกแต่งภายในของเครื่องบิน เช่น แก้ว ี ขอบชั้น เนื่องจากความได้เปรียบในเรื่องน้ำหนักทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงและค่าดูแลรักษาและเพิ่มมูลค่าทางการค้าให้แก่ผู้ที่นำไปใช้ ทางการค้า [3] ในปัจจุบันการเชื่อมลักษณะนี้ให้สมบัติทางกลของแนวเชื่อมที่ดีในบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมแบบหลอมละลายอลูมิเนียมและเหล็กมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีที่สามารถลดน้ำหนักโครงสร้างได้ อย่างไรก็ตามการต่อเชื่อมรอยต่อระหว่างเหล็กและอลูมิเนียมนั้นยังคงเป็นปัญหาในงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้รอยต่อที่แข็งแรง ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันจึงมีการค้นคว้าวิธีการเชื่อมอื่นๆ เพื่อใช้เชื่อมรอยต่อให้มีความแข็งแรงสูงอย่างต่อเนื่อง รายงานฉบับนี้มีจุดประสงค์ เพื่อประยุกต์การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาตัวแปรในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เทเลอร์แบลิ่งค์ของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA 7075 (Friction Stir Welding) ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมขบวนการเชื่อมอลูมิเนียม ความหนาแตกต่างกันได้แก่ อัตราป้อนของการเดินแนวเชื่อมความเร็วรอบ ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนเทเลอร์แบลิ่งค์ คือ กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยนำเหล็กแผ่นที่มีความหนาแตกต่างกัน รวมไปถึงเหล็กที่มีคุณสมบัติ หรือชั้นเคลือบที่ต่างกัน มาเชื่อมต่อให้เป็นเหล็กแผ่นชิ้นเดียวกันก่อนที่ นำไปทำการขึ้นรูป แนวคิดในการรวมเหล็กประเภทต่างๆ และชิ้นส่วนที่ผลิตจากเทเลอร์แบลิ่งค์ ได้แก่ โครงสร้างประตูรถ ประตูด้านใน รางวางแท่น เครื่องยนต์ เสากลางโครงรถยนต์ โครงหน้าตาของรอยต่อชนระหว่างแผ่นอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA 7075 ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลแนวเชื่อมเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

1.2.2 ศึกษาสมบัติทางกลของรอยเชื่อมระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA 7075

1.2.3 ศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อการแข็งแรงดึงของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA 7075

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงในการรับแรงดึงของรอยต่อชนแผ่นเทเลอร์แบลิ่งค้อลูมิเนียมเกรดผสม AA6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ที่มีผลต่อโครงสร้างมหภาคและจุลภาคและสมบัติทางกลของอลูมิเนียม

1.3.2 ทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างแผ่นอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA 6063 ขนาดกว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร และอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA7075 ขนาดกว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรหนา 6.3 มิลลิเมตร

1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของตัวกวนที่มีรูปร่างทรงกระบอกที่มีผลของตัวแปรในการเชื่อม

1.3.4 ศึกษาตัวแปรในการเชื่อม ดังนี้

1.3.4.1 ความเร็วรอบในการเชื่อม 3 ระดับ คือ (S) 250, 500 และ 1000 รอบ/นาที

1.3.4.2 ความเร็วเดินในการเชื่อม 5 ระดับ คือ (F) 20, 50, 80, 100, 120 มิลลิเมตร/

นาที

1.3.4.3 ความเอียงของตัวกวน 0 องศา

1.3.4.4 ความเอียงของโต๊ะงานเมื่อเทียบกับแกนหมุนของเครื่องกัด 7 องศา

1.3.4.5 ความลึกของตัวกวนที่กดลงไปใ้อลูมิเนียมมีค่า 2.5 มิลลิเมตร

1.3.5 ศึกษาและทดสอบหาสมบัติทางกลของแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง และทดสอบความแข็งแรง

1.3.6 ศึกษาโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมในส่วนของบริษัท รอยเชื่อม และการแทรกตัวของอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมแผ่นรีดผสมเกรด AA 7075 ที่ความหนาต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นความรู้ในการวิจัยต่อไป และพัฒนาความรู้พื้นฐานของการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค้อของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงในการรับแรงดึงของรอยต่อชนแผ่นเทเลอร์แบลิ่งค้อ

1.4.2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเชื่อม เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงและตัวกวนที่ดีที่สุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเชื่อมโลหะด้วยความเสียดทานหมุนวน (Friction Stir Welding) เป็นงานเชื่อมที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดในยุโรป ซึ่งนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องบินยานอวกาศ หรือ งานวิศวกรรมยานยนต์ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการนำไปใช้พัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศต่อไป ซึ่งในการเชื่อมแบบนี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม การประกอบ หรือการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ กรรมวิธีการเชื่อมแบบกวนและการประยุกต์ใช้ในการเชื่อมกวน ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และเป็นที่ยอมรับต่อไป

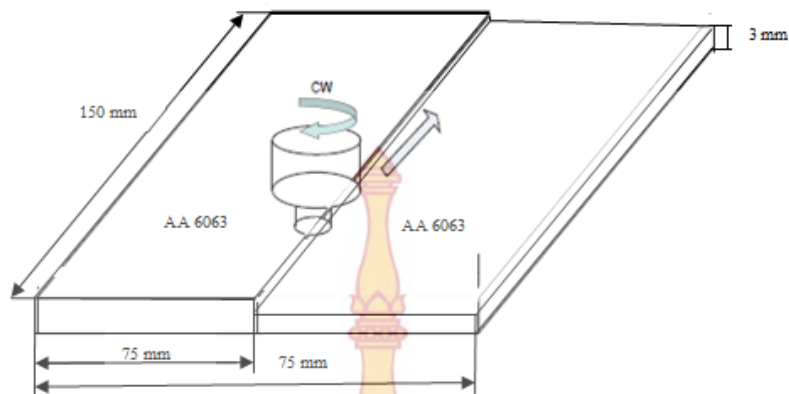
ในปัจจุบันงานเชื่อมเสียดทานหมุนวนสามารถใช้เชื่อมอลูมิเนียมมาเชื่อมแทนโลหะอื่นได้ หลายๆ เกรด และหลักการที่ไม่ยุ่งยาก ดังนั้น งานเชื่อมด้วยวิธีนี้ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยเฉพาะกลุ่มสหภาพยุโรป เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สำคัญสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิต การประกอบ การซ่อมบำรุง และงานอื่นๆ อีกมากซึ่งโดยใช้หลักการไปอาศัยความร้อนจากการเสียดสีของวัสดุในการเชื่อมชิ้นงานซึ่งหัวกดจะทนต่อความร้อนสูงในการกวนชิ้นงาน โดยใช้การหมุนด้วยความเร็วรอบสูงป่าของหัวกดเชื่อมจะสัมผัสกับบริเวณผิวชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุจนเนื้อวัสดุอยู่ในสภาพของเหลว จากนั้นสลักแกนหมุนจะทำหน้าที่กวนเนื้อวัสดุให้ประสานเชื่อมติดกัน

2.1 การเชื่อมแบบเสียดทาน [4]

2.1.1 กระบวนการเชื่อม (Welding Process) คือ การประสานโลหะสองชนิดเข้าด้วยกันโดยใช้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนถึงจุดการหลอมละลายแล้วใช้เนื้อโลหะชิ้นงานเป็นตัวประสานเข้าด้วยกัน หรือจะเติมโลหะโดยใช้ลวดเชื่อมซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันเป็นตัวประสานระหว่างชิ้นงานที่หลอมละลาย ความร้อนที่แพร่กระจายเข้าสู่ชิ้นงานอาจเป็นพลังงานที่ได้จากพลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกลซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมแต่ละชนิด แตกต่างกันไป ซึ่งการเชื่อมด้วยความเสียดทานแกนหมุนวน เป็นการใช้พลังงานกลเพื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานหลอมละลายเชื่อมติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.1.2 ความเสียดทาน (Friction) คือ แรงต้านทานที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีเมื่อสสารกำลังจะเคลื่อนที่หรือขณะเคลื่อนที่ ซึ่งอาจจะเกิดจากผิวของแข็งเสียดสีกับผิวของแข็ง หรือผิวของแข็งสัมผัสกับของเหลว แต่สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะความเสียดทานที่เกิดจากผิวของแข็งเสียดสีกับผิวของแข็ง ซึ่งแรงเสียดทานมีลักษณะอยู่ 2 ชนิด ดังนี้ แรงเสียดทานสถิตย์ (Static Friction) และแรงเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction)

2.1.3 กระบวนการเชื่อมเสียดทานหมุนวน (Friction Stir Welding Process) คือ การเชื่อมด้วยความเสียดทานแบบหนึ่งใช้ในการเชื่อมชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นเชื่อมแบบต่อชน (Butt joint) โดยหลังจากนี้จะใช้คำนี้หรือจะใช้ตัวย่อภาษาอังกฤษ FSW



รูปที่ 2.1 มิติของชิ้นงาน (หน่วย มิลลิเมตร) [1]

2.1.4 ป่าให้ความร้อน (Tool Shoulder) คือ ส่วนที่หมุนสัมผัสกับผิวชิ้นงานจนทำให้เกิดความร้อนจากความเสียดทานจลน์ที่ผิวและส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในชิ้นงาน

2.1.5 สลักแกนหมุน (Pin) คือ ส่วนที่หมุนอยู่ภายในเนื้อชิ้นทำหน้าที่ในการกวนเนื้อวัสดุที่มีสภาพเป็นพลาสติกให้เกิดการประสานหรือเชื่อมติดกัน

2.1.6 Retreating Side คือ ด้านที่วัสดุถูกดึงเนื้อเข้าไปเพิ่มเติมในด้าน Advancing โดยการกำหนดทิศทางจะดูจากทิศทางการเดินแนวเชื่อมเทียบกับทิศทางการหมุนโดยด้าน Retreating จะอยู่ด้านขวามือของทิศทางในการเดินแนวเชื่อมเมื่อหวัคตเชื่อมหมุนตามเข็มนาฬิกา

2.1.7 Advancing Side คือ ด้านที่ได้รับการเติมเนื้อวัสดุจากด้าน Retreating โดยการกำหนดทิศทางจะดูจากทิศทางการเดินแนวเชื่อมเทียบกับทิศทางการหมุนโดยด้าน Advancing จะอยู่ด้านซ้ายมือของทิศทางในการเดินแนวเชื่อมเมื่อหวัคตเชื่อมหมุนตามเข็มนาฬิกา

2.1.8 Heat Affected Zone คือ พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนทำให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนแปลงไปโดยหลังจากนี้จะใช้คำนี้หรือจะใช้ตัวย่อภาษาอังกฤษ HAZ ในการเขียนและอธิบายเนื้อหาปริญญาฉบับนี้

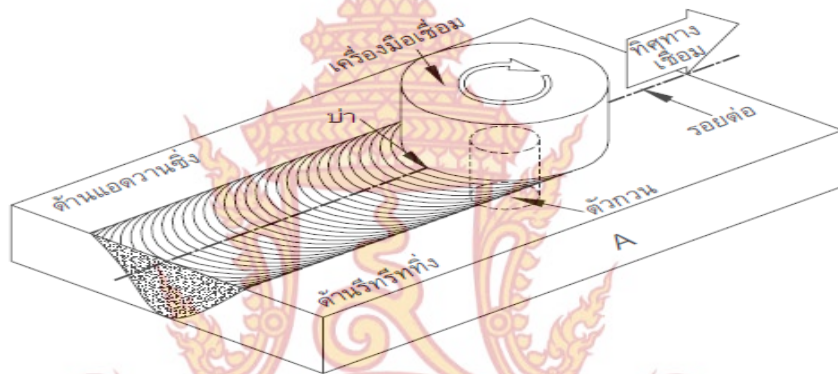
2.1.9 Thermo Mechanically Affected Zone คือ พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเชิงกลโดยหลังจากนี้จะใช้คำนี้หรือจะใช้ตัวย่อภาษาอังกฤษ TMAZ ในการเขียนและอธิบายเนื้อหาวิจัยฉบับนี้

2.2 กระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน (Friction Stir Welding) [4]

การเชื่อมด้วยความเสียดทาน (Friction Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมวิธีหนึ่งที่อาศัยความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนที่ผิวของโลหะชิ้นงานการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นตรงผิวของชิ้นงานที่สัมผัสและเกิดการเสียดสีกัน ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานที่หมุนด้วยความเร็วสูงจะทำให้ชิ้นงานทั้งสอง มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาที่สั้น โดยให้ความร้อนแบบนี้มีความน่าสนใจ หลายประการ และมีวิธีการเชื่อมอยู่หลายแบบที่ใช้ความร้อนลักษณะนี้ในการเชื่อมกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวนเป็นอีกแบบหนึ่งของการเชื่อมที่อาศัยหลักการให้ความร้อนของการเชื่อมด้วยความเสียดทาน คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้วัสดุชิ้นงานเชื่อมติดกันได้มาจากการเสียดสีกันของโลหะทำให้เกิดความเสียดทานตรงตำแหน่งผิวสัมผัสจนเกิดความร้อน

ขึ้น ณ ตำแหน่งนั้นซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะสูงมากจนทำให้เนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะอยู่ในสภาพพลาสติก ทั้งนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นสูงหรือต่ำลงก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของวัสดุ ความหนาของชิ้นงาน ความเร็วรอบของแกนหมุน และอัตราความเร็วของการเดินเชื่อม

การเชื่อมด้วยความเสียดทานหมุนวน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นการเชื่อมด้วยความเสียดทานโดยอาศัยหัวกดเชื่อมที่มีปาให้ความร้อนทำการเสียดสีเพื่อให้เกิดความร้อนส่งผ่านเข้าสู่ชิ้นงานทำให้เนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่อ่อนตัวในสภาพพลาสติกซึ่งในตอนนี้เนื้อวัสดุจะมีความหนืดเล็กน้อย สลักแกนหมุนจะหมุนอยู่ภายในเนื้อวัสดุทำหน้าที่กวนเนื้อวัสดุให้เกิดการเคลื่อนที่บิดเฉือนไปรอบๆ ของสลักแกนหมุนเพื่อให้เกิดการไหลเติมของเนื้อวัสดุจากด้าน Advancing ไปที่ด้าน Retreating ซึ่งหัวกดเชื่อมจะต้องเป็นโลหะที่ทนความร้อนสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมและรักษาความแข็งที่อุณหภูมิที่เชื่อมได้ดี นอกจากนี้ต้องมีความแข็งแรงเนื่องจากต้องหมุนวนด้วยความเร็วรอบสูง



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนวน [2]

2.2.2 ระยะ Penetration

ความยาวของสลักแกนหมุนจะมีความยาวค่าหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงานโดยไม่ได้ระบุไว้ชัดเจนแต่จะไม่เท่ากับความหนาของชิ้นงานและต้องยาวมากพอที่รอยเชื่อมจะเกิดการซึมลึกอย่างสมบูรณ์ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยในต่างประเทศโดยส่วนใหญ่นิยมให้ระยะห่างระหว่างแผ่นรองหลังกับผิวปลายหน้าตัดมีระยะเพื่ออยู่ในช่วง 0.3-0.1 มิลลิเมตร และมักจะเรียกระยะนี้ว่า ระยะ Penetration

2.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมความเสียดทานหมุนวน

2.2.3.1 หัวกดเชื่อม (Tool Prod) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากในการเชื่อม เพราะเป็นเครื่องมือในการให้ความร้อนจากการเสียดสีระหว่างชิ้นงานกับปาให้ความร้อน และจะใช้สลักแกนหมุนในการหมุนวนเนื้อวัสดุ จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าหัวกดเชื่อมจะต้องรับแรงกดและอุณหภูมิระหว่างการเชื่อมที่สูง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการทำหัวกดเชื่อมจะต้องทนความร้อนได้สูงกว่าวัสดุชิ้นงานที่ทำการเชื่อม และต้องมีความสามารถในการต้านทานแรงอัดและแรงเฉือนสูง โดยส่วนประกอบของหัวกดเชื่อมที่สำคัญ จะมี 2 ส่วน คือ

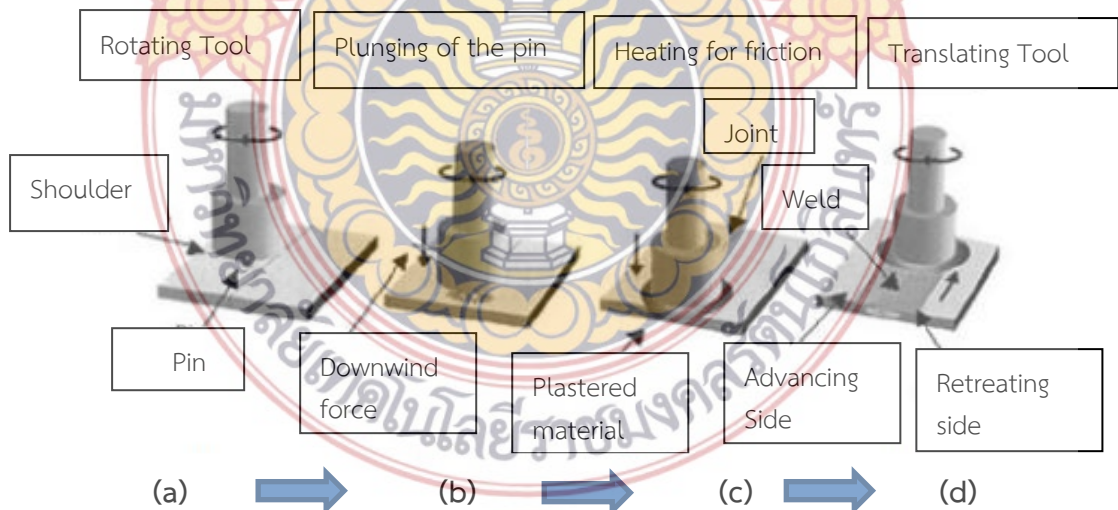
ก) ปาให้ความร้อน (Tool Shoulder) คือ ส่วนที่ให้ความร้อนโดยการหมุนสัมผัสกับผิวชิ้นงานที่จะเชื่อมซึ่งความเร็วและพื้นที่สัมผัสของปานั้นจะมีผลโดยตรงต่อการให้ความร้อนนอกจากนี้

บ่าของหัวกดเชื่อมยังทำหน้าที่ในการส่งแรงกดสู่เนื้อวัสดุเพื่อให้เกิดการซึมลึกของเนื้อเชื่อม โดยส่วนใหญ่ ยังไม่มีการกำหนดหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการกำหนดขนาดของบ่าให้ความร้อน แต่จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาขนาดของบ่าให้ความร้อนที่ดีควรมีอยู่ที่ 3-4 เท่า ของความหนาวัสดุที่ทำการเชื่อม

ข) แคนหมุน (Pin) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่หมุนแกนเนื้อวัสดุที่ได้รับความร้อนจนมีสภาพอ่อนตัวเป็นพลาสติกและเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเติมเนื้อวัสดุจากฝั่งด้าน Advancing ไปที่ฝั่งด้าน Retreating ของวัสดุโดยมีลักษณะเป็นแกนยื่นออกไปจากบ่าให้ความร้อน ขนาดของสลักแกนหมุนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่าค่าความหนาของวัสดุซึ่งให้ผลด้านความแข็งแรงของสลักแกนหมุนที่ดี เนื่องจากเป็นส่วนที่จะต้องเข้าไปอยู่ในเนื้อของชิ้นงาน ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับระยะ Penetration นอกจากนี้รูปร่างของสลักแกนหมุนยังมีผลต่อการเชื่อมในด้านของความแข็งแรงด้วยแต่ยังไม่มี การกำหนดที่ชัดเจนนัก ซึ่งจากการศึกษาแล้วโดยส่วนใหญ่มักนิยมใช้แบบทรงกระบอกปลายตัดตรงผิว เรียบเนื่องจากผลิตได้ง่าย โดยในปัจจุบันการศึกษารูปร่างของสลักแกนหมุนอยู่ในความสนใจและต้อง ศึกษาวิจัยกันต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.2.3.2 ชุดอุปกรณ์จับยึดและแผ่นรองรับในการเชื่อมเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการ จับยึดเพื่อให้ชิ้นงานอยู่กับที่เวลาทำการเชื่อมโดยแรงที่ใช้มักเป็นแรงกดซึ่งจะกดให้แผ่นชิ้นงานแนบสนิท กับแผ่นรองรับด้านล่างเพื่อไม่เกิดการโก่งตัวระหว่างการเชื่อม

2.2.3.3 เครื่องกัดที่ใช้ในการเชื่อมซึ่งในที่นี้สามารถใช้ได้ทั้งเครื่องจักรที่เป็นระบบ ทำงานแบบทั่วไป (Conventional Milling) หรือเป็นระบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC Milling) ก็ได้โดยเน้นที่ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องและระบบส่งกำลังที่สามารถให้แรงบิด ที่สูง โดยระบบส่งกำลังที่เหมาะสมควรเป็นระบบเฟือง ส่วนระบบสายพานไม่นิยมใช้เนื่องจากให้แรงบิด น้อยและอาจเกิดการลื่นไถลของสายพานขณะทำการเชื่อมได้



รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการเชื่อมความเสียดทานหมุนแกน [5]

2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนจนความสำคัญของการเชื่อมอลูมิเนียมด้วยกระบวนการนี้คือการที่สามารถเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นด้วยความร้อนจากความร้อนที่ผิวได้ โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนักโดยส่วนใหญ่ต่ำกว่าจุดหลอมละลายของวัสดุหรือที่เรียกว่าการเชื่อมในสภาวะของแข็ง ซึ่งวิธีการเชื่อมแบบนี้สามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตแบบอัตโนมัติได้ โดยสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ดังนี้

2.2.4.1 ข้อดีของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนจน คือ

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

2.2.4.2 ข้อเสียของกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนจน คือ

- ก) ต้องมีการเตรียมผิวรอยต่อแนวเชื่อมที่ดี
- ข) ชิ้นงานต้องมีการจับยึดที่แข็งแรงโดยต้องมีแผ่นรองรับที่แข็งแรง
- ค) จะเกิดรูที่ปลายแนวเชื่อมเสมอ
- ง) การเชื่อมในท่าเชื่อมต่างๆ ต้องใช้อุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบเฉพาะ
- จ) ลงทุนในครั้งแรกสูง
- ฉ) ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงได้
- ช) ชิ้นงานต้องมีขนาดเล็กกว่าเครื่องที่จะทำการเชื่อม

2.3 อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม [4]

อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสมเป็นวัสดุในกลุ่มของโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าวัสดุในกลุ่มเหล็กโดยอลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูง และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีเนื่องจากการสร้างผิวออกไซด์มาปิดผิวไว้ตลอดเวลา มีค่าการนำกระแสไฟฟ้าได้ดี และสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านการหล่อหลอมที่ดีจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการทำให้อลูมิเนียมเป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ

ในด้านของความสามารถในการเชื่อมได้ของอลูมิเนียมั้นในระยะเริ่มแรกของการนำอลูมิเนียมมาใช้งาน การเชื่อมอลูมิเนียมเป็นเรื่องที่ยากพอสมควรเนื่องจากคุณสมบัติที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและอลูมิเนียมยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ที่ผิวซึ่งจะป้องกันการรวมตัวของน้ำโลหะจากลวดเชื่อมกับบ่อหลอมละลายทำให้แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ และการที่อลูมิเนียมมีการนำไฟฟ้าที่ดีทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงตามไปด้วยซึ่งอาจทำให้เกิดการรวมตัวกับไนโตรเจนที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดไนไตรด์และการแทรกซึมของไฮโดรเจน ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีและเทคนิคการเชื่อมได้ก้าวหน้า

ขึ้นมาได้เกิดการเชื่อมแบบอาร์กไฟฟ้า โดยใช้แก๊สเฉื่อยคลุมผิวซึ่งทำให้คุณภาพของการเชื่อมอลูมิเนียมดีขึ้น ทำให้เกิดการใช้งานในอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ กว้างมากขึ้น

2.3.1 การแบ่งประเภทของอลูมิเนียม

การแบ่งประเภทของอลูมิเนียมสามารถทำการแบ่งได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ในการแบ่งโดยในแง่ของกรรมวิธีการผลิตอลูมิเนียมเราสามารถแบ่งอลูมิเนียมออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อลูมิเนียมแปรรูปเย็น (Wrought Aluminum Alloys) และอลูมิเนียมหล่อหอย (Cast Aluminum Alloys) และหากทำการแบ่งโดยใช้เกณฑ์ของส่วนผสมทางเคมีภายในเราก็สามารถที่จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ และอลูมิเนียมเจือ

ในการกำหนดแบ่งและเรียกชื่ออลูมิเนียมแปรรูปเย็นนั้นนิยมเรียกตามมาตรฐานของอเมริกาที่ทางสมาคมอลูมิเนียมแห่งสหรัฐอเมริกา (Aluminum Association) เป็นผู้กำหนดโดยใช้หลักเกณฑ์แบ่งตามธาตุเจือซึ่งกำหนดเป็นตัวเลข 4 หลักโดยตัวเลขหลักที่หนึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มของอลูมิเนียมซึ่งสามารถแบ่งได้ 9 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน Aluminum Association [1]

หมายเลขอนุกรม	กลุ่มธาตุที่ผสม
1XXX	อลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99.0 เปอร์เซ็นต์
2XXX	อลูมิเนียมผสมทองแดง
3XXX	อลูมิเนียมผสมแมงกานีส
4XXX	อลูมิเนียมผสมซิลิกอน
5XXX	อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม
6XXX	อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม+ซิลิกอน
7XXX	อลูมิเนียมผสมสังกะสี
8XXX	ผสมธาตุอื่นนอกเหนือจากที่กล่าว
9XXX	ยังไม่มีข้อกำหนดใช้

2.3.1.1 อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (อนุกรม 1XXX) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมที่ 99.0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.9 เปอร์เซ็นต์ อลูมิเนียมในกลุ่มนี้มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี และยังสามารถสะท้อนแสงได้ดีจึงนิยมใช้ในการแผงสะท้อนแสงไฟฟ้านำรถยนต์ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่ายทั้งการตัดเฉือนและขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการต่างๆ ความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่อลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีข้อเสียคือในด้านของความแข็งแรง และคุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น แต่ก็สามารถปรับปรุงได้โดยการเติมธาตุเจืออื่นเพื่อให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป หรือการขึ้นรูปเย็น คือ การทำให้แข็งได้ด้วยความเค้น (Strain Hardening)

2.3.1.2 อลูมิเนียมเจือทองแดง (อนุกรม 2XXX) เป็นอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง คุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยสามารถที่ทำการปรับปรุงสมบัติทางกลให้ดีขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้โดยทำการอบละลาย (Solution Treatment) และชุบ(Quenching)

จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน (Precipitation) ซึ่งเรียกระบวนการนี้ว่าการอบบ่ม (Ageing Hardening) ซึ่งภายหลังการอบบ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจะลดลงและความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมชนิดนี้จะต่ำกว่าชนิดอื่นๆ คือ จะเชื่อมได้ยากโดยจะเกิดการอ่อนตัวที่แนวเชื่อม ดังนั้นจึงมักทำการเชื่อมด้วยวิธีทางกล คือ การย้ำหมุด

2.3.1.3 อลูมิเนียมเจือแมกนีเซีย (อนุกรม 3XXX) เป็นอลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติเหมือน กับอลูมิเนียมบริสุทธิ์แต่มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่า จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้

2.3.1.4 อลูมิเนียมเจือซิลิกอน (อนุกรม 4XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ แต่เมื่ออยู่ในสภาพของเหลวจะไหลตัวได้ดีและขณะแข็งตัวจะไม่เกิดการแตกร้าวทั้งในสภาพร้อนและเย็น ดังนั้นอลูมิเนียมจึงนิยมใช้ในการเป็นลวดเติมสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมเจือและอลูมิเนียมหล่อ

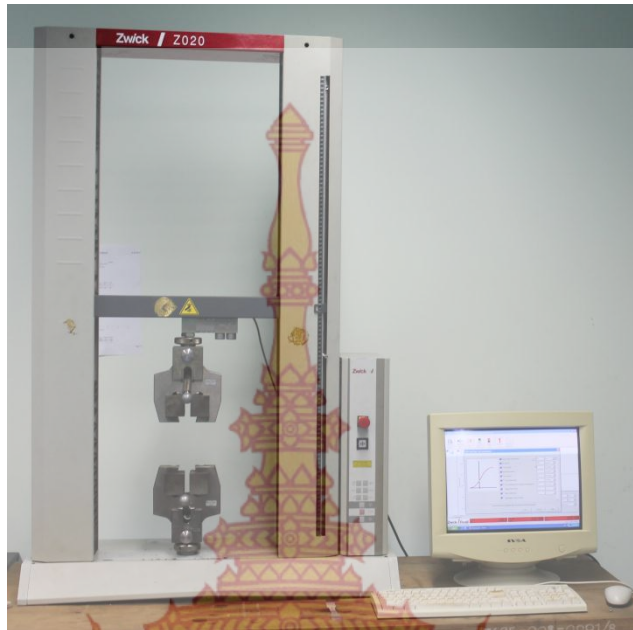
2.3.1.5 อลูมิเนียมเจือแมกนีเซียม (อนุกรม 5XXX) บางครั้งมีการเติมแมกนีเซียลงไปด้วยอลูมิเนียมเจือชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ นิยมนำไปทำลวดเติมสำหรับเชื่อมเหมือนกับอนุกรม (4XXX) นอกจากนั้นยังนิยมนำไปทำเป็นถังหรือขวดบรรจุแก๊ส (Storage Vessels)

2.3.1.6 อลูมิเนียมเจือแมกนีเซียม - ซิลิกอน (อนุกรม 6XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีพอสมควร ความต้านทานการกัดกร่อนและความสามารถในการแปรรูปและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้ แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อนำอลูมิเนียมเจือชนิดนี้ไปทำการเชื่อมด้วยกรรมวิธีให้ความร้อนแบบต่างๆ จะทำให้บริเวณแนวเชื่อมอ่อน

2.3.1.7 อลูมิเนียมเจือสังกะสี - แมกนีเซียม (อนุกรม 7XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้มีการเจือธาตุสังกะสีเป็นธาตุหลักและแมกนีเซียเป็นธาตุรองนอกจากนั้นยังมีทองแดงและโคบอลต์เล็กน้อยอลูมิเนียมเจือกลุ่มนี้มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีมากและมีน้ำหนักเบา ความต้านทานการกัดกร่อนและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ เพราะจะเกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อมอลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตและพัฒนาอลูมิเนียมชนิดนี้โดยการผสมแมกนีเซียลงไปและกำจัดทองแดงออกไปทำให้ความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมชนิดสูงขึ้น โดยจะไม่เกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อมเพราะบริเวณดังกล่าวได้เกิดการแข็งตัวจากตกตะกอนตามธรรมชาติ

2.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึง (Tensile Test) [4]

การทดสอบโดยการดึงเป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบหาคณะสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถที่จะให้ข้อมูลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่น ความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว และความเปราะ ซึ่งนับได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป โดยทั่วไปการทดสอบก็ต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอถึงขั้นทดสอบให้ยืดออก และขาดในที่สุดสำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นนิยมทดสอบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ เพราะวัสดุที่เหนียวมีลักษณะการใช้งานที่มากกว่าโดยตัวอย่างของเครื่องที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)

2.4.1 ความเค้น (Stress) ตามความเป็นจริงความเค้น หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุ ที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

2.4.1.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

2.4.1.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

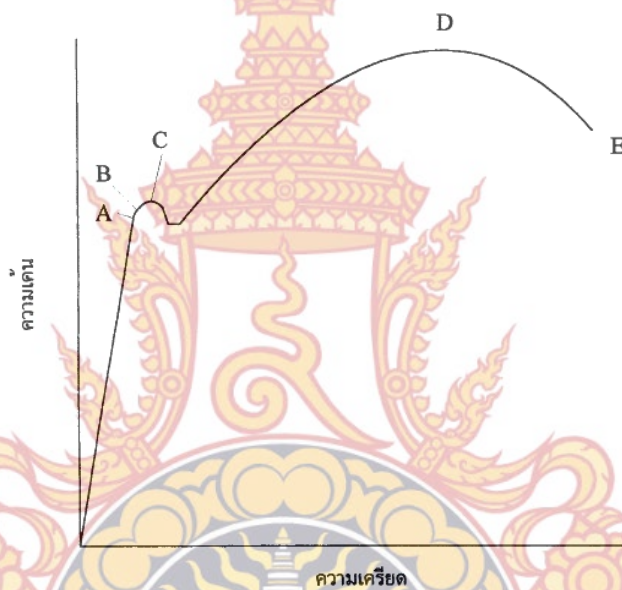
2.4.1.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อให้อะตอมของวัสดุเคลื่อนออกจากกันมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) ทหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

2.4.2 ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอะตอมภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.4.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2.4.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

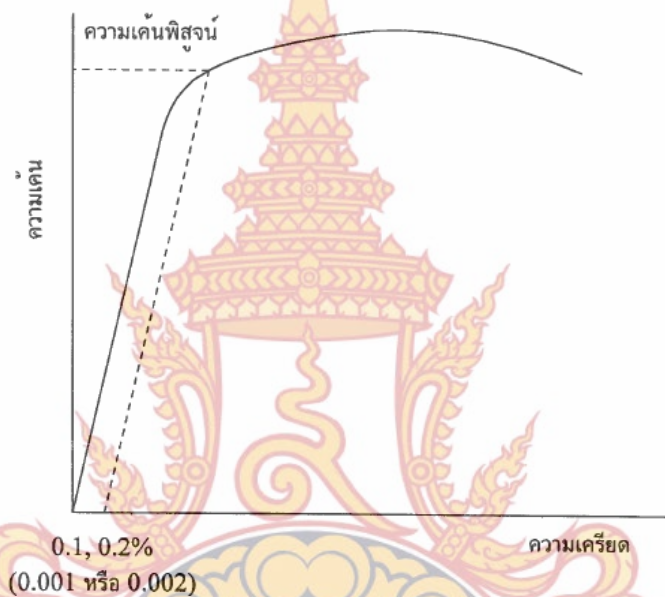
2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้นความเครียด ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลักโดยจะพล็อตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอนดังแสดงในรูปที่ 2.5 การทดสอบแรงดึงนอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด [4]

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้นความเครียดเราพบว่าเมื่อเราเริ่มดึงขึ้นทดสอบอย่างช้าๆ ขึ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดออกจนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's Law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ที่จุด A นี้เราเรียกว่าจุดพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปลดปล่อยแรงกระทำขึ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม และเมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุด B) ที่เรียกว่าจุดพิกัดการยืดหยุ่น (Elastic Limit) ซึ่งที่จุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Permanent Deform motion) กับวัสดุนั้นแต่เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุ ในโลหะหลายชนิดเช่น พวงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น และที่

จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ที่จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) ซึ่งค่านี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย ในวัสดุหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.20 เปอร์เซ็นต์ แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นโค้งของกราฟค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การหาค่าความเค้นพิสูจน์ [4]

2.5 การทดสอบความแข็ง [4]

ความแข็งเป็นสมบัติทางกลของวัสดุอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญโดยความแข็งของวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรง และความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือ (Tools) และชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล (Machine Part) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุนั้นมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา และส่วนผสมทางเคมีภายในวัสดุ โดยค่าความแข็งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านอื่นด้วยได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง ความเหนียว และความต้านทานต่อการชุบขีด โดยการทดสอบความแข็งของวัสดุมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่

1. การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Testing)
2. การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)
3. การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Testing)
4. การวัดความแข็งแบบนูน (Knoop Hardness Testing)

2.5.1 การทดสอบความแข็งระดับจุลภาคนิยมใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ ต่อพื้นที่ของรอยกดซึ่งแรงที่ใช้จะเป็นแรงกดคงที่ โดยความแข็งของวัสดุจะมีผลต่อความสึกของรอยกด หัวกดที่ใช้จะเป็นหัวกดที่ทำด้วยเพชรรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ทุกด้านทำมุม 136 องศา โดยแรงที่ใช้กดมีตั้งแต่ 1-1,000 กรัมขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ โดยค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์จะได้รับการวัดความกว้างของรอยกดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากนั้นนำมาคำนวณค่าความแข็งโดยใช้สูตร

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

หลักการของการทดสอบวัดความแข็งแบบวิกเกอร์เป็นการวัดโดยใช้หัวเพชรที่มีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (HV)

HV = โดยที่ HV คือ ค่าความแข็งแรงแบบ Vickers กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร (kgf/mm²)

P คือ น้ำหนักที่ใช้กดในหน่วยกิโลกรัม (kgf)

d คือ ขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

วิธีการวัดค่าความแข็งวิธีนี้จะเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กพื้นที่การวัดความแข็งน้อยแต่ที่นิยมมากที่สุด คือ การนำไปวัดความแข็งของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุ การวัดชั้นความแข็งลึกของงานชุบผิวแข็ง และการวัดความแข็งของแนวเชื่อมโดยค่าความแข็งที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น HV (Hardness of Vickers Hardness Testing) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ [4]

ซึ่งในการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ธรรมดา นั้น น้ำหนักกดที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 20 กิโลกรัม การทดสอบวัสดุที่มีความแข็งสูงจะใช้น้ำหนักกดมากเพื่อให้ได้รอยกดที่ใหญ่พอจะตรวจวัดขนาดเส้นทแยงมุมได้อย่างแม่นยำ ในทางกลับกันหากวัสดุที่จะทดสอบค่อนข้างอ่อนจะต้องเลือกน้ำหนักกดที่น้อยเพื่อป้องกันไม่ให้อัตราการกดจมลึกเกินไปในชิ้นงานมากเกินไป

ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ คือ

1. การเลือกใช้น้ำหนักกดมีผลต่อความแข็งแรงด้วย คือ ถ้าเลือกน้ำหนักน้อยเกินไปจะได้ค่าความแข็งแรงที่ผิด แต่ถ้าใช้น้ำหนักมากเกินไป อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหัวกดเพชรตอนคลายหัวกดได้
2. ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มี Oxide scale หรือสิ่งแปลกปลอม การเตรียมผิวชิ้นทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากและหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (heating) หรือกรรมวิธีเย็น (cold working)
3. ไม่ควรวัดความแข็งในบริเวณที่ใกล้กับตำแหน่งเดิม โดยควรเว้นระยะห่างไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 เท่า ของเส้นทแยงมุมรอยกด ทั้งตามแนวแกน x และ y
4. ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมากกว่าอย่างน้อย 1.5 เท่า ของเส้นทแยงมุมของรอยกด และหลังจากการทดสอบวัดความแข็งไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ให้เห็นทางด้านหลัง (อีกด้านหนึ่ง) ของชิ้นงานทดสอบ
5. การอ่านค่าความยาวเส้นทแยงมุม จะขึ้นกับสายตาของแต่ละคน ดังนั้นควรให้คนใดคนหนึ่งเป็นผู้อ่านค่า
6. วิธีทดสอบนี้ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานสำหรับภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากข้อจำกัดที่ทดสอบได้ช้า ต้องมีเตรียมผิวที่ดี เพื่อให้ได้ค่าเส้นทแยงมุมของรอยกดที่แน่นอน และมีโอกาสผิดพลาดในการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางได้ เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

2.6 กระบวนการตัดด้วยเครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire EDM) [5]

เครื่อง Wire Cut จัดเป็นเครื่องจักรประเภทเดียวกับ เครื่อง EDM แต่เปลี่ยนจากการใช้อิเล็กโทรดเป็นตัวตัดเฉือนชิ้นงานมาใช้ลวดเป็นตัวตัดให้ได้รูปร่างตามต้องการในแนวตั้ง เครื่อง Wire EDM เป็นเครื่องที่ตัดงานด้วยความเที่ยงตรงขนาดสูงมาก สามารถควบคุมขนาดได้เล็กกว่า 5ไมครอน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงในการทำ ชิ้นงานจึงเหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงเครื่อง NC และ CNC (Numerical Control and Computerized Numerical Control) เครื่อง EDM (Electrical Discharge Machining) ใช้ในงานผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่ทำด้วยวิธีการตัดเฉือนทั่วไปได้ยาก

สามารถตัดเฉือนชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วใช้ผลิตส่วนเบาของแม่พิมพ์การตัดเฉือนโลหะจะใช้การกัดเซาะทางไฟฟ้ามีอิเล็กโทรดเป็นตัวนำไฟฟ้า ข้อเสีย คือ ในงานที่ต้องการความละเอียดจะต้องใช้ตัวอิเล็กโทรดหลายอัน และงานที่ซับซ้อนจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง

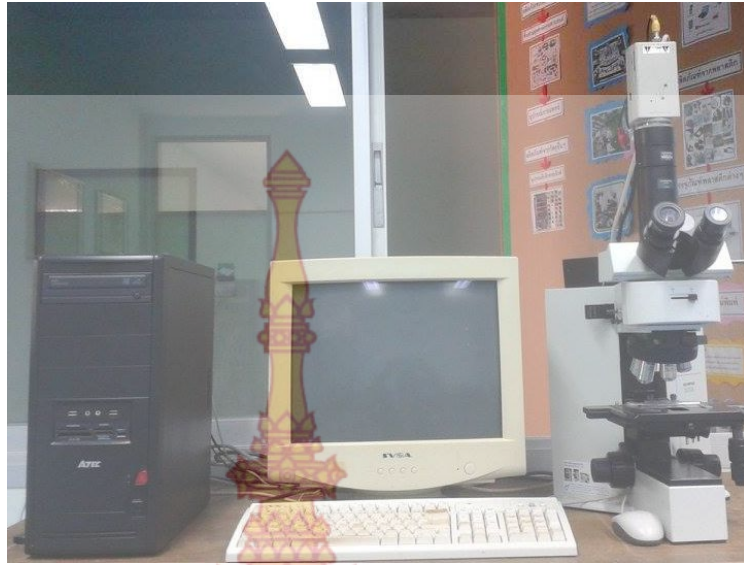
เครื่อง Wire EDM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดชิ้นงานหลักการทำงานโดยการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวหลอมละลายชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดสูง เราสามารถปรับค่าความเร็วในการตัดค่ากระแสไฟที่ใช้และรายละเอียดต่างๆ ในการตัดชิ้นงานเพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการตัดได้ เนื่องจากเครื่องมือมีความละเอียดสูงดังนั้น เราจำเป็นต้องมีการเรียนรู้ในการใช้งานเพื่อที่จะทำให้สามารถตัดชิ้นงานได้ตามที่ต้องการ เครื่อง Wire Cut ในการใช้จะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อเป็นคำสั่งให้เครื่องทำงาน คำสั่งต่างๆ ต้องมีความถูกต้องเพื่อให้ชิ้นงานที่ตรงตามความต้องการ ชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง Wire Cut มีความถูกต้องแม่นยำ สูงมากกับกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น ผิวของชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดสูง

2.7 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา [6]

สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของโลหะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโลหะและการจัดเรียงตัวของอะตอมในโลหะนั้น การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาของโลหะหรือชิ้นส่วนทางวิศวกรรมที่ผลิตจากโลหะจัดได้ว่าเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญในการตรวจสอบคุณภาพตลอดจนใช้เป็นหลักฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายของชิ้นส่วนโลหะนั้นๆ โดยปกติแล้วการศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาจะแบ่งได้ ดังนี้

ในการตรวจสอบโครงสร้างในระดับมหภาค (Macro-Scope Examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงานโดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อเตรียมชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียดขัดเงา (Polishing) และกัดขึ้นรอย (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบได้โดยตาเปล่า (Visual Inspection) หรือถ้าจะมีการใช้กำลังขยายเข้าช่วยก็จะใช้ในระดัต่ำไม่เกิน 10 เท่า

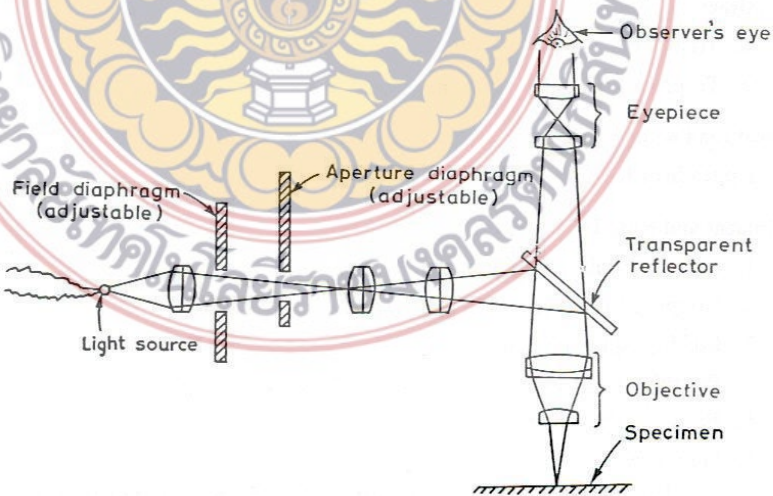
การตรวจสอบในระดับจุลภาค (Micro - Scope Examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่า เป็นต้นไป อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคคือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical Microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา (Optical Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10 - 1,000 เท่า ซึ่ง ณ กำลังขยายที่สูงขึ้นนี้จะช่วยให้สามารถจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่รวมถึงลักษณะรูปร่างและขนาดของเฟสหรือโครงสร้างนั้นๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ ในบางกรณีที่โครงสร้างหรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดที่เล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10 - 1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูงในที่นี้คือ มีกำลังขยายที่มากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากลำแสงอิเล็กตรอนดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน” (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้งานในทางโลหะกรรมมีอยู่ 2 ชนิด คือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



รูปที่ 2.9 กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหวิทยา

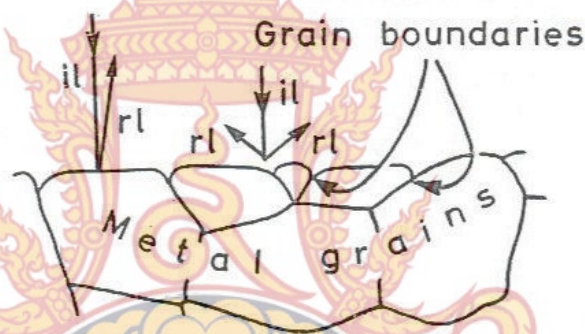
กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหวิทยา หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา มีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน เช่น ชนิดที่ตัวโครงสร้างของกล้องสามารถเคลื่อนย้ายได้ แต่ที่ได้รับความนิยมใช้งานในปัจจุบันและมีการใช้งาน ณ ห้องปฏิบัติการโลหวิทยา คือ กล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ฐานแทนรองรับชิ้นงาน ตัวอย่างสามารถเลื่อนไปมาได้

กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะส่งลำแสงผ่านเลนส์รวมแสงไปตกกระทบแผ่นแก้วสะท้อนแสง (Transparent Reflector) ทำให้แสงดังกล่าวตกลงในลักษณะที่ตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน ผิวชิ้นงานที่ได้ผ่านการเตรียมมาแล้วก็จะสะท้อนแสงกลับขึ้นไปผ่านเลนส์วัตถุ (Objective Lens) แล้วผ่านเลนส์ตา (Eyepiece) ก่อนจะผ่านเข้าตา (Observer's Eye) ทำให้เห็นภาพขยายของโครงสร้างชิ้นงานดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.10



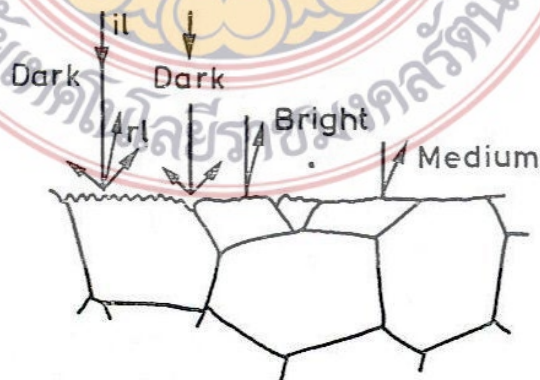
รูปที่ 2.10 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหวิทยา [7]

3. การกัดขึ้นรอย (Etching) ผิวหน้าชิ้นงานเมื่อผ่านการขัดเงาแล้วยังไม่สามารถที่จะตรวจสอบวิเคราะห์โครงสร้างที่อยู่ภายในได้ทั้งนี้เพราะพื้นผิวหน้าชิ้นงานนั้นค่อนข้างเรียบเสมอกันเมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะสะท้อนแสงกลับหมด เพราะไม่มีความขรุขระต่างกันของโครงสร้าง ดังนั้นจึงต้องนำชิ้นงานไปทำให้เกิดความขรุขระของแต่ละโครงสร้างภายในชิ้นงานด้วยสารเคมีและเรียกกระบวนการนี้ว่า การกัดขึ้นรอยและเรียกสารเคมีที่ใช้ในการกัดขึ้นรอยว่าการกัดขึ้นรอยด้วยน้ำยา (Etching Reagent) ซึ่งสารเคมีที่ใช้นี้มีอยู่หลายชนิดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ประเภทของโลหะตลอดจน โครงสร้าง ที่ต้องการตรวจสอบรอยกัดด้วยน้ำยาจะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างแต่ละชนิดที่อยู่ภายใน โครงสร้างของโลหะนั้นด้วยอัตราปฏิกิริยาเคมีที่แตกต่างกันทำให้เกิดความลึก พื้นไม่เท่ากันของโครงสร้าง ที่อยู่ในโครงสร้างของโลหะบริเวณขอบเกรน (Grain Boundary) จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับ การกัดขึ้นรอยด้วยน้ำยาได้รวดเร็วกว่าบริเวณภายในเกรน ดังนั้นขอบเกรนจึงมีความลึกมากกว่าเมื่อแสง จากกล้องจุลทรรศน์ส่องผ่านก็จะสะท้อนกลับมายังเลนส์ตาน้อยกว่าบริเวณภายในเกรนที่ตื้นกว่าจึงทำให้ เห็นขอบเกรนเป็นเส้นๆ สีดำนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การสะท้อนแสงที่ต่างกันบริเวณขอบเกรนและภายในเกรน [7]

ส่วนกรณีที่มีบริเวณภายในเกรนเองมีความเข้มของเฉดสีที่ต่างกันทั้งนี้ก็เป็น เพราะความเอียงของ แถวอะตอมที่มีการจัดเรียงตัวต่างกันภายในเกรน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 การกัดขึ้นรอยด้วยน้ำยาที่ใช้ใน การกัดกร่อนชิ้นงานโลหะต่างๆ สำหรับชิ้นส่วนทางวิศวกรรมนั้นผลิตจากโลหะและโลหะผสมที่มีความ หลากหลายมากดังนั้นการกัดขึ้นรอยด้วยน้ำยาก็จะแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.12 อะตอมที่มีการจัดเรียงตัวต่างกันภายในเกรน [7]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยของ นรา บุรีพันธ์ และคณะ [8] ได้ศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วเดินต่อสมบัติของรอยต่อ การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 จากศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อกลสมบัติของรอยต่ออลูมิเนียมเกรด 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 430 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างอินเทอร์เฟซและสมบัติทางกลของรอยต่อ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 มีค่าสูงสุดที่ 217 MPa คือ ความเร็วตัวกวน 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm./min ระยะการสอดตัวกวน 0.1 mm. และมุมเอียงของตัวกวน 0 องศา ซึ่งคิดเป็น 86% ของอลูมิเนียมเกรด 5052 ที่ใช้เป็นวัสดุหลัก การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของตัวกวนส่งผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อ ความเร็วรอบที่สูงเกินไปทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมต่ำ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนของเหล็กที่เล็กและละเอียดถูกดันเข้าสู่แนวเชื่อมและทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรงสูง

ในงานวิจัยของ จักรินทร์ และศิริชัย [9] ได้ศึกษา อิทธิพลของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน จากการศึกษา การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน เป็นการเชื่อมอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยามเพิ่มมากขึ้นในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ต้องการตัวประสานในการเชื่อม ไม่เกิดควัน รอยเชื่อมมีคุณภาพดีเสมอเต็มหน้า ไม่มีรูพรุน ใช้เวลาในการเชื่อมสั้น เป็นต้น แต่เนื่องจากขณะเชื่อมเกิดความร้อนสูงขึ้นบริเวณรอยเชื่อม จึงส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI1045 ที่ผ่านการอบอ่อนและทำการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเหล็กหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 720 ชิ้น ภายใต้เงื่อนไขการเชื่อม คือ แรงดันในการอัด 20 30 และ 40 บาร์ เวลาในการอัด 2 3 และ 4 วินาที อุณหภูมิในการอบอ่อน 790 850 และ 970 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที เมื่อเชื่อมเสร็จได้นำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบความแข็งแรง ทดสอบแรงดึง และองค์ประกอบโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณรอยเชื่อม จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิปกติของชิ้นงานหลังการเชื่อมชิ้นงานค่าแรงดึงมีค่าสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการอบอ่อน แต่ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมชิ้นงานที่อุณหภูมิปกติของรอยเชื่อมจะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคพบว่าเกรนของเหล็กที่บริเวณรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีเกรนที่ละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จึงส่งผลทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่า

ในงานวิจัยของ บรรณเจต [4] ได้ศึกษา อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนแบบหัวโค้งของการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด AA6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน จากการศึกษา กระบวนการเชื่อมความเสียดทานแกนหมุนกวน (Friction Stir Welding : FSW) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นที่ทำการเชื่อมแบบต่อชน (Butt joint) โดยใช้ความร้อนจากความเสียดทานเพื่อให้อัตุเกิดการอ่อนตัวในสภาพพลาสติกและใช้สลักแกนหมุนในการกวนเนื้อวัสดุให้เกิดการเชื่อมติดกัน โดยในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบรูปร่างของสลักแกนหมุนแบบทรงกระบอกหัวกลมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมบนวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063-T6 โดยเปรียบเทียบกับสลักแกนหมุนแบบทรงกระบอกตัดตรง ทำการทดลองเชื่อมโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ

ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ความเร็วรอบในการหมุน ความเร็วในการเดินเชื่อม และการเอียงหัวของสลักแกนหมุน จากการศึกษาและทดลองพบว่า การเชื่อมด้วยหัวเชื่อมที่มีสลักแกนหมุนแบบทรงกระบอกหัวกลมที่เอียงมุม $\alpha=3^\circ$ หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที และเดินเชื่อมด้วยความเร็ว 700 มิลลิเมตร/นาที ให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมและความสมบูรณ์ของเนื้อวัสดุภายในได้ดีที่สุดที่มีความแข็งแรงของแนวเชื่อมใกล้เคียงกับเนื้อวัสดุเดิม จากการทดสอบแรงดึงวัดค่าความต้านแรงดึงได้ 181 MPa คิดเป็น 83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัสดุเดิม ความแข็งที่ข้างแนวเชื่อมต่ำสุดที่ 55 HV 0.2/30 ในขณะที่เนื้อเชื่อมตรงกลางอยู่ที่ 66 HV 0.2/30 และที่ตัววัสดุเดิมอยู่ที่ 88 HV 0.2/30 โดยตำแหน่งรอยขาดอยู่ที่ข้างแนวเชื่อมบริเวณระหว่าง HAZ กับเนื้อวัสดุเดิม

ในงานวิจัยของ พงษ์พันธ์ และคณะ [10] ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมเกรด 6063 จากการศึกษา งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมเกรด 6063 (AA 6063) ที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อใช้แทนชิ้นส่วนเหล็กกล้าในรถยนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบและสมบัติต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยใช้การต่อแบบต่อชน การเชื่อมด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเกลียวที่ความเร็วรอบแกนหมุน 2,000 รอบต่อนาที ที่ความเร็วเดินเชื่อม 125 มิลลิเมตรต่อนาที มุมเอียงแกนหมุน 2 องศา โดยมีการกำหนดความเร็วในการทดสอบแรงดึงที่แตกต่างกันแบ่งออกเป็น 10 ระดับ คือตั้งแต่ 20 ถึง 200 มิลลิเมตรต่อนาที และมีการเตรียมชิ้นทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8 ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ Zwick รุ่น Z020 ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบแรงดึงที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงดึงจะมีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วในการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มค่าความเร็วในการทดสอบแรงดึงให้สูงขึ้น

ในงานวิจัยของ กฤษณะ และกิตติพงษ์ [11] ได้ศึกษา อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วเดินในแนวเชื่อมการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกลียวของอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 และ 5052 จากการศึกษาบทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอผลการศึกษาของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกลียวระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด 5052 โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน คือ ความเร็วรอบหมุนในการเชื่อมและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมของตัวกวน แล้วนำชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดตัวแปรดังกล่าว มาทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าการพังทลายจากการเชื่อมและนำมาวิเคราะห์โครงสร้างเปรียบเทียบลักษณะที่เกิดขึ้นตามแนวเชื่อม การตรวจสอบด้วยสายตารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ด้วยความเร็วรอบที่ 1,000 rpm และความเร็วเดินตามแนวเชื่อมที่ 75mm/min มีค่าความแข็งแรงดึงอยู่ที่ 63 MPa ผลการทดลองการศึกษาอิทธิพลตัวแปรเชื่อมโดยสรุปได้ว่าการเชื่อมแบบต่อเกลียวที่ให้ค่าการพังทลายสูงสุดสามารถเชื่อมได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เหมาะสมและทำให้ค่าการพังทลายสูงสุด 63 MPa คือความเร็วรอบ 1,000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 75 mm/min แต่ถ้าความเร็วรอบสูงขึ้นและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เร็วเกินไปก็จะทำให้เกิดการอินเทอร์เฟสโดยเนื้อของวัสดุที่อยู่ด้านล่างจะแทรกตัวเข้าไปในเนื้อของวัสดุด้านบนทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลงซึ่งโดยเกิดขึ้นตรงบริเวณภายในบริเวณ HAZ ของชิ้นงาน

ในงานวิจัยของ อับดุล [12] ได้ศึกษา อิทธิพลทางความร้อน T6 ก่อนและหลังการเชื่อมต่อสมบัติทางกลอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง A356 โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน จากการศึกษาบทความนี้ นำเสนอความรู้เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding, FSW) ซึ่งเป็นการเชื่อมโลหะในสถานะของแข็ง (Solid State Joining) ปัจจุบันมีบทบาทในอุตสาหกรรมการผลิต (Materials Processing) เพื่อลดข้อบกพร่องในงานเชื่อมอะลูมิเนียมแบบหลอมละลาย และพัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการยานยนต์และอากาศยาน ด้วยวิธีการเชื่อมโลหะในสถานะของแข็ง ปัจจัยสำคัญในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal, SSM A356) คือการรักษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคให้ใกล้เคียงกับเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสม SSM A356 ด้วยเทคนิคและวิธีการเชื่อมโลหะในสถานะของแข็ง โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ซึ่งมีผลกระทบต่อรอยเชื่อมน้อยมาก การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกระบวนการทางความร้อน T6 ในการประยุกต์ใช้งานของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง A356 เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะงาน

ในงานวิจัยของ กิตติพงษ์ และคณะ [13] ได้ศึกษา การเชื่อมรอยต่อเกยอะลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้าด้วยการเสียดทานแบบกวนรายงานที่ 1 อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมต่อกลสมบัติของรอยต่อเกย จากการศึกษา รอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมผสม A5083 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 ได้ถูกทำการเชื่อมด้วยการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม เช่น ความเร็วรอบของเครื่องมือ ความเร็วในการเชื่อม และความลึกของตัวกวนที่สอดเข้าไปในเนื้อวัสดุ ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อและส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของรอยต่อ การเพิ่มความเร็วยรอบของตัวกวนทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมชนิด FeAl₃ ที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อ การเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสามารถเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อเนื่องจากสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความเปราะที่ก่อตัวบริเวณอินเทอร์เฟซมีปริมาณลดลงอย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วยรอบการเชื่อมมากเกินไปทำให้เกิดจุดบกพร่องที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อ การเพิ่มความลึกของตัวกวนทำลายความแข็งแรงของรอยต่อ เนื่องจากความลึกของตัวกวนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความเปราะและขนาดของจุดบกพร่องที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

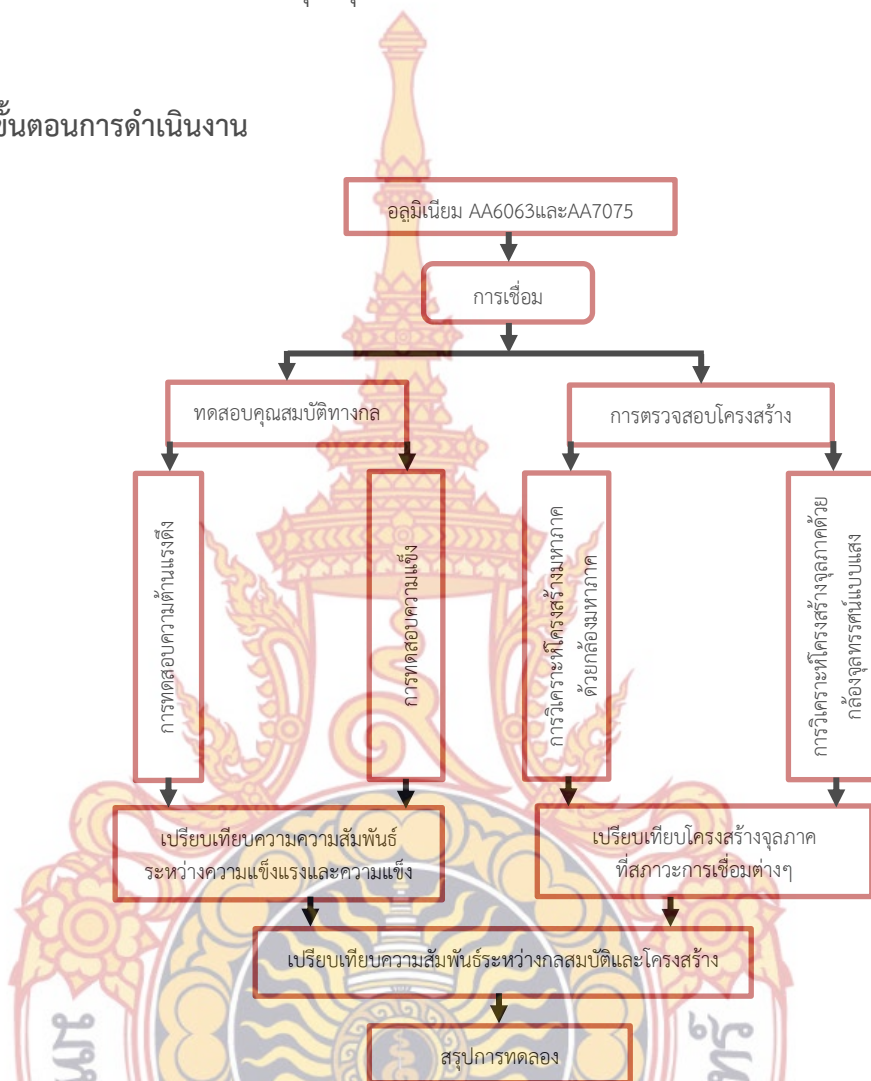
งานวิจัยนี้ได้วางแบบการดำเนินงานเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมเทอร์แบลิ่งคัลลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และเกรด AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน โดยนำรอยเชื่อมมาศึกษาสมบัติทางกล ด้วยการทดสอบแรง (Tensile Test) และตรวจสอบโครงสร้างมหภาครอยเชื่อม ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตรวจสอบข้อบกพร่องของรอยเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบลักษณะผลกระทบที่เกิดขึ้นพื้นที่ที่การเชื่อม โดยเนื้อหาสำคัญ การดำเนินการดำเนินการวิจัยจะกล่าวตั้งแต่การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การเลือกกระบวนการ การกำหนดตัวแปรการเชื่อมซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้จะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อได้ศึกษาหลักการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นอย่างดีพอสมควร



3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการศึกษาตัวแปรการเชื่อมเทเลอร์แบบลึงค์อลูมิเนียมผสม AA 6063 และ AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้จึงได้วางแผนดำเนินโครงการไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการทดลอง

3.2 การเลือกวัสดุและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

3.2.1 วัสดุ

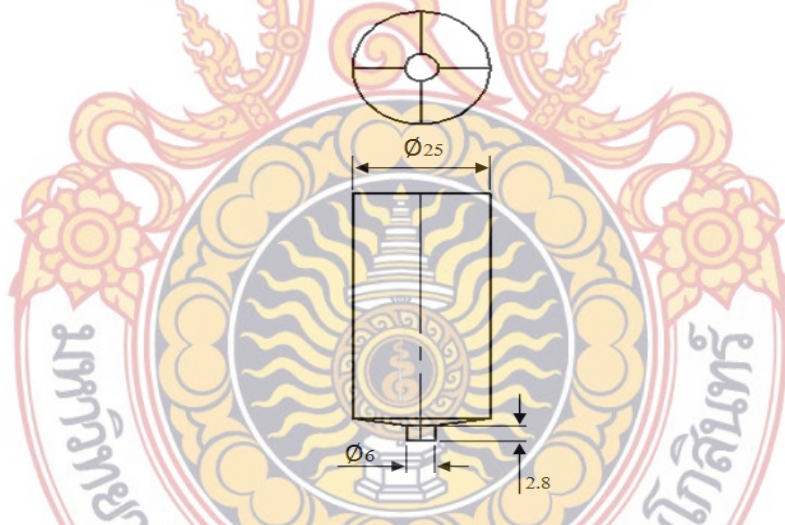
สำหรับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานเชื่อมเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติในงานวิจัยฉบับนี้ คือ อลูมิเนียม AA 6063 แผ่นหนา 3 มิลลิเมตร และอลูมิเนียม AA 7075 แผ่นหนา 6.3 มิลลิเมตร ซึ่งในการเชื่อมรอยต่อระหว่างทั้งสองนี้เป็นวัสดุที่มีการใช้มากในโครงสร้างเครื่องบิน เช่น บริเวณโครงสร้างกล่องที่เป็นปีก โดยที่วัสดุทั้งสองได้แสดงส่วนผสมทางเคมีแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทั้งสอง

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

3.3 การเตรียมอุปกรณ์การเชื่อม

3.3.1 แกนหมุนกวน จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยในการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน พบว่ามีการออกแบบ รูปร่างของแกนหมุนกวน มีองค์ประกอบเหมือนกัน คือ มีส่วนประกอบด้วยป่า แกนหมุนกวนและสลักแกนหมุน ผู้ทำการวิจัยจึงนำข้อมูลมาทำการออกแบบแกนหมุนกวน ที่ใช้เหล็ก เครื่องมือ SKD11 และกำหนดขนาดการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปร่างของเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม

3.3.2 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture Stir Welding:FSW) ในการเชื่อมแบบรอยต่อชนของ กระบวนการเชื่อมนี้จะต้องจับยึดชิ้นให้แน่น ขณะทำการเชื่อมรอยต่อจะต้องไม่แยกออกจากกัน ใน ปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกวดในการทดลองเชื่อมเพื่อให้ชิ้นทดสอบการเชื่อมถูกวางอยู่ใน ตำแหน่งเดียวกันทุกๆ ตัวอย่าง จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบการเชื่อมในลักษณะ ดังแสดง ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ FSW

3.4 การจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ใช้ในการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาศึกษาตัวแปรการเชื่อมเทเลอร์แบบลึงค์อลูมิเนียมผสม AA 6063 และ AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อม โดยการนำอลูมิเนียมผสม AA 6063 และอลูมิเนียม AA 7075 มาตัดตามแนวขวางแนวรีดเพื่อนำไปทดสอบแรงดึงโดยผลการทดสอบทำให้ทราบว่า การตัดชิ้นงานขวางแนวรีดจะให้ความแข็งแรงมากกว่าตัดตามแนวรีด จึงได้ออกแบบและเตรียมชิ้นงานที่จะทำการเชื่อมโดยตัดขวางแนวรีด โดยตัดชิ้นงานความกว้าง 75 มิลลิเมตร และความยาว 150 มิลลิเมตร นำมาทำความสะอาดด้วยอะซิโตนซึ่งขึ้นทดสอบสำหรับการเชื่อม FSW ถูกนำมาวางต่อชนตามลักษณะการเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.4.2 เครื่องทดสอบแรงดึงเพื่อหา ความต้านทานแรงดึง หาความขีดจำกัดความยืดหยุ่นเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ โดยการทดสอบความต้านทานแรงดึง

3.4.3 เครื่องมืออุปกรณ์การเตรียมผิวโครงสร้างมหาภาคกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

3.4.4 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส ในการทดสอบความแข็ง

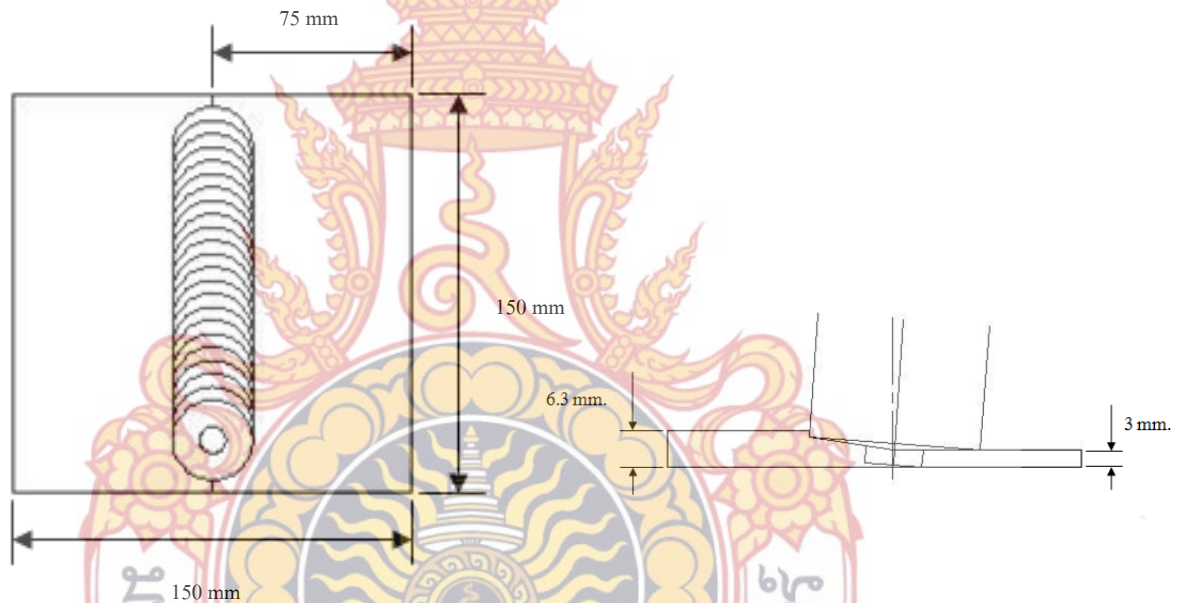
3.5 กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

กระบวนการเชื่อม FSW เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกัด (Milling Machine) ในการเชื่อม โดยจะควบคุมตัวแปรต่างๆ อันได้แก่ อัตราความเร็วเดินเครื่อง ความเร็วรอบของเครื่องมือเชื่อม ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการติดตั้งเครื่องมือเชื่อมพร้อมด้วยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้ากับ Table ของเครื่องจักร เมื่อเตรียมองค์ประกอบของการเชื่อมพร้อมแล้ว ต่อจากนั้น ก็เริ่มทำการ FSW และทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม AA 6063 และอลูมิเนียมผสม AA 7075 อันประกอบด้วย

- ความเร็วรอบตัวกวนที่ (S) 250, 500 และ 1000 รอบ/นาที
- อัตราความเร็วเดินเชื่อม (F) 20, 50, 80, 100, 125 มิลลิเมตร/นาที
- เอียงองศาตัวกวน 0, 2 และ 4 องศา

3.5.1 วิธีการเชื่อม

- ทำการจับยึดชิ้นงาน เพื่อทำการเชื่อม และทำการเปิดเครื่องเชื่อมด้วยความเร็วรอบและความเร็วของตัวกวนตามที่กำหนด
- ตัวกวนจะเคลื่อนไปตามแนวขนานกับผิวด้านบนของชิ้นงาน ส่วนผิวด้านข้างของตัวกวนที่หมุนจะขัดและกำจัดผิวบางๆ ของอลูมิเนียมที่ทำให้เกิดการกระตุ่น ที่เรียกว่า (ผิวกระตุ่น) ขณะเดียวกันอลูมิเนียมที่อ่อนตัวเกิดจากความร้อนจากการเสียดทานระหว่างตัวกวนและอลูมิเนียม ตัวกวนจะดันเข้าไปหาผิวกระตุ่นและเกิดการเชื่อมยึดติดระหว่างอลูมิเนียมทั้งสองชนิดและเมื่อเชื่อมถึงจุดที่กำหนดไว้ก็ทำการยกตัวกวนออกจากชิ้นงาน

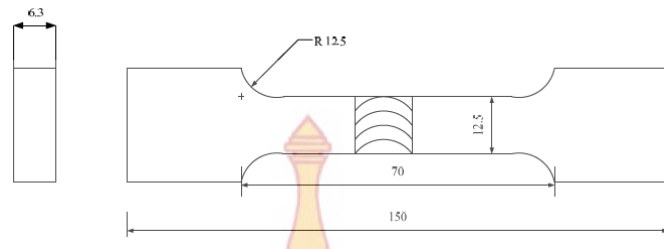


รูปที่ 3.4 ลักษณะการเชื่อมแบบต่อชน (หน่วย : มิลลิเมตร)

3.6 การทดสอบแรงดึง [18]

3.6.1 การทดสอบกลสมบัติของรอยเชื่อม

เมื่อทำการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเสร็จสมบูรณ์ ชิ้นงานเชื่อมจะถูกนำมาทำการเตรียมขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน การเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 โดยทำการดึงรอยเชื่อมในลักษณะแรงดึง จนแนวเชื่อมขาดหรือฉีกออกจากกัน และวัดค่าแรงดึงสูงสุดลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง [1]

3.6.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม (Macrostructure)

3.6.2.1 ทำการตัดแบ่งชิ้นงานให้ได้ขนาดเชื่อมเพื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างทางจุลภาคในการใช้เครื่องตัดชิ้นงานโดยใช้น้ำหล่อเย็นในขณะตัดชิ้นงานเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของแนวเชื่อม เพื่อนำไปศึกษาตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยการตัดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบมีน้ำหล่อเย็น

3.6.2.2 หล่อตัวเรือนอลูมิเนียมด้วยเรซินจากนั้นนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1,000 จากนั้นขัดมันด้วย ผ้าขัด เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวทำการกัดกรด ที่มีส่วนของกรดผสมประกอบด้วย น้ำกลั่น 55 เปอร์เซ็นต์กรดไฮโดรฟลูอริก 30 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์ และกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการแช่ 8 ถึง 10 วินาที จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอล เป่าแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาถ่ายรูปโครงสร้างมหภาคและตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

3.6.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม (Microstructure)

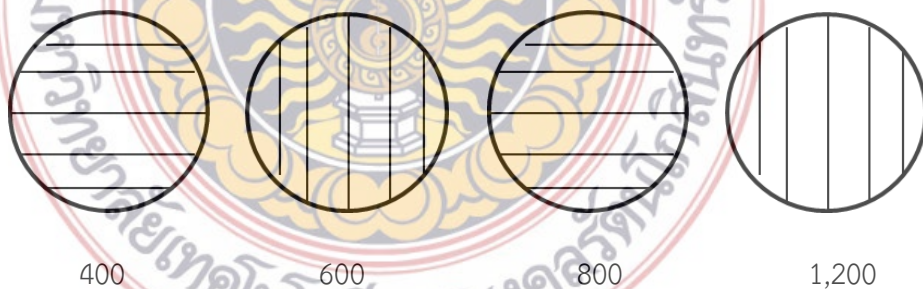
3.6.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ในขั้นตอนนี้ชิ้นงานตรวจสอบจะถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำชิ้นงานตรวจสอบนั้นไป

ทำงานตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทำเรือนห้ามชิ้นงานด้วยเรซินที่มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.6.3.2 หลังจากนั้นก็นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ขัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 80, 120, 400, 600 และ 1000 จากนั้นตามลำดับ และควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้น ในขณะที่นั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ผงโลหะ และซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกทางหนึ่งสลับเป็นแนวตั้งฉากตารางกับแนวเดิม [19] ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายทิศทางการหมุนปรับชิ้นงานในกระบวนการขัดเมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นนำไปขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) ที่มีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน เป็นการขัดผิวมันของชิ้นงานตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำมาจากผงอลูมินาและแมกนีเซียม การขัดด้วยผงอลูมินา ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ทิศทางการหมุนปรับชิ้นงานในกระบวนการขัดเมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย



รูปที่ 3.9 เครื่องขัดโครงสร้าง

3.6.3.3 ชิ้นตรวจสอบที่ขีดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะนำไปกัดด้วยน้ำยา (Etching) AL ml ผสมด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรฟลูออริก (40%) 0.5 มิลลิลิตร ในเวลา 10-60 วินาที โดยน้ำยาจะกัดตามขอบเกรนรุนแรงกว่าส่วนอื่นเนื่องจากขอบเกรนเป็นส่วนที่บกร่องที่สุด [19] ชิ้นตรวจสอบที่ถูกกัดด้วยน้ำยาเรียบร้อยแล้วไปทำการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยวางชิ้นตรวจสอบให้อยู่ตรงกลางบริเวณที่แสงผ่านและให้ลำกล้องเลื่อนมาอยู่ใกล้ชิ้นตรวจสอบมากที่สุด ลำแสงไฟที่ส่องผ่านตกกระทบกับผิวชิ้นทดสอบจะสะท้อนผ่านเลนส์วัตถุและเลนส์ตาของกล้องแล้วทำการบันทึกผลเพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์เปรียบเทียบพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดต่อไป



รูปที่ 3.10 กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.6.2 เครื่องทดสอบความแข็ง

เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาความแข็งระดับจุลภาคของชิ้นงานทดสอบแบบ Micro Hardness Vickers Test รุ่น HWDM-3 Type A สามารถอ่านค่าการทดสอบได้จากเครื่องโดยตรงแบบตัวเลข การวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็น พีระมิดฐานสี่เหลี่ยมปลายหัวกดทำมุม 136 องศา สามารถปรับค่าแรงกดได้ตั้งแต่ 5-1,000 กิโลกรัม ในงานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดน้ำหนักกดของหัวกดคงที่ (Load Fixed) ได้ที่ 100 กรัม กดเป็นเวลา 10 วินาที เพื่อหาค่าความแข็งที่บริเวณแนวทวนดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ส



บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิจัย

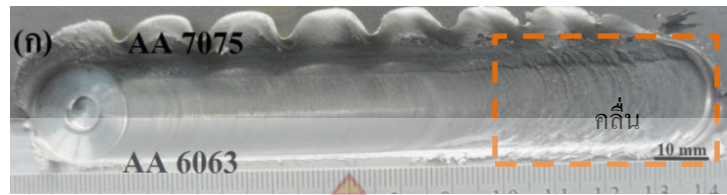
งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนเทเลอร์แบบลิ้งค์ของรอยต่อชนระหว่างแผ่นอลูมิเนียม AA6063 และอลูมิเนียม AA7075 ที่มีความหนาต่างกัน ขนาดความหนาเท่ากับ 3 มม. และ 6.3 มม. ที่ใช้ตัวกวน (Tool) ทรงกระบอกผิวเรียบและมีค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแต่ละตัวแปร ดังต่อไปนี้

- 1) ความเร็วรอบที่ใช้ คือ 250, 500 และ 750 รอบ/นาที
- 2) ความเร็วเดินเชื่อมที่ใช้ คือ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที
- 3) ความเอียงของเครื่องกัดที่ 0 องศา
- 4) ความเอียงของอุปกรณ์จับยึด 7 องศา (เพื่อให้บ่าเครื่องมือสัมผัสกับชิ้นงานทั้งสองชิ้น)
- 5) ความลึกของตัวกวนที่กดลงไปบนเนื้ออลูมิเนียมเท่ากับ 2.5 มม.

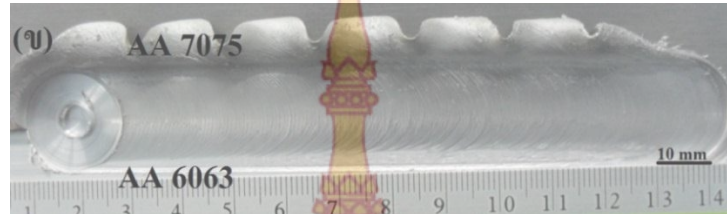
การทดลองตามตัวแปรผลที่ได้จะทำการวิเคราะห์และกำหนดวิธีการเพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานกวนต่อความแข็งแรงดึงรอยต่ออลูมิเนียมผสม AA6063 และ AA7075 โดยเครื่องมือเชื่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบ่าเท่ากับ 25 มม. และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกวนเท่ากับ 6 มม. และการนำชิ้นงานทดลองมาทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยตาเปล่าของผิวหน้ารอยเชื่อม จากนั้นทดสอบสมบัติทางกลของรอยเชื่อม 2 แบบ คือ การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) และการทดสอบความแข็ง (Hardness Test) เมื่อเสร็จกระบวนการทดสอบสมบัติทางกลแล้วจะตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยใช้การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) และโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) ของชิ้นงานบริเวณรอยเชื่อมของอลูมิเนียมระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ที่มีความหนาต่างกัน และผลที่ได้นั้นจะทำการเปรียบเทียบ เพื่อทำการวิเคราะห์และหาค่าของแต่ละตัวแปรที่ดีที่สุดในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

4.1 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./นาที

อิทธิพลของการเอียงตัวกวนเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ที่มีผลต่อผิวแนวเชื่อมในแต่ละระดับของความเร็วรอบและความเร็วเดินเชื่อม (Welding speed) มีผลที่ทำให้ผิวของแนวเชื่อมเกิดคลื่นหรือครีบนั่นขึ้นอยู่กับความเอียงตัวกวนและการปรับค่าความเร็วซึ่งทั้งนี้จะแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าของรอยเชื่อมในแต่ละองศาของโนแนวแกน Z



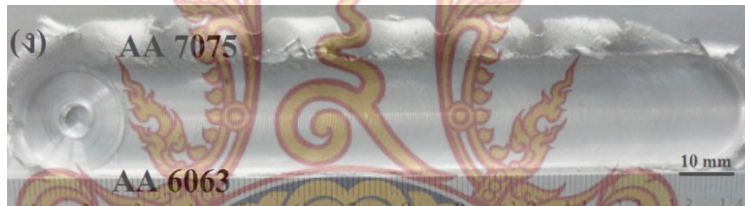
(ก) 25 มม./นาที



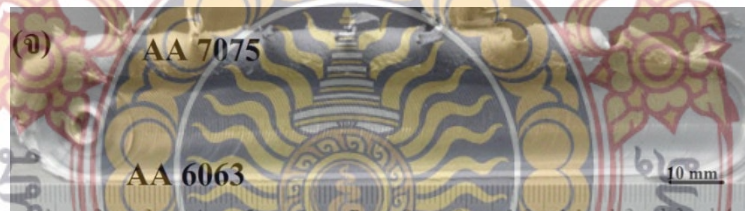
(ข) 50 มม./นาที



(ค) 75 มม./นาที



(ง) 100 มม./นาที

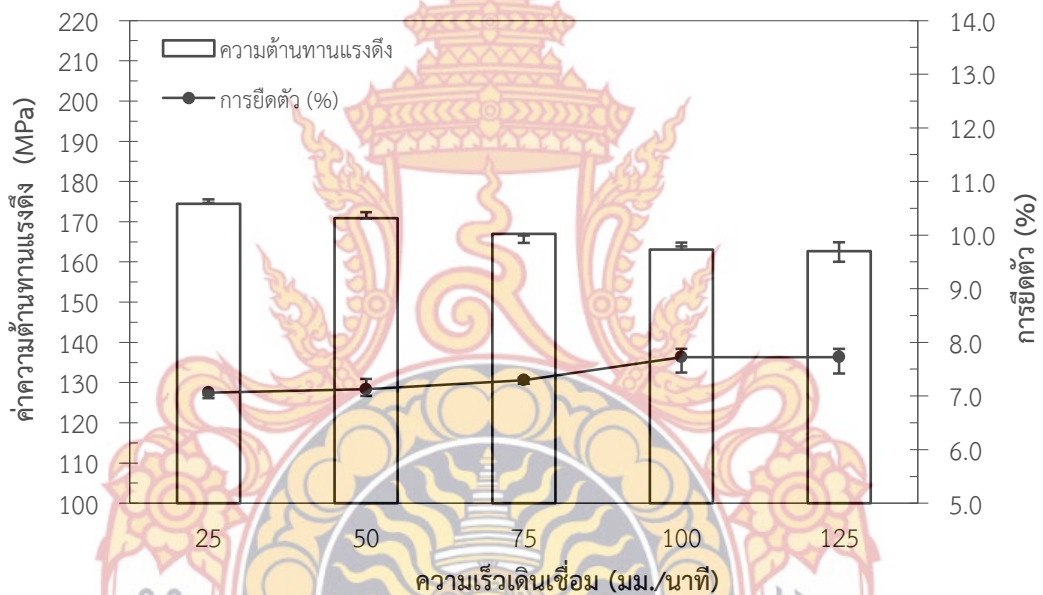


(จ) 125 มม./นาที

รูปที่ 4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z

รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าของรอยเชื่อมของการปรับเอียง 0 องศาในแนวแกน Z ของความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม(Welding speed) 25, 50, 75, 100 และ125 มม./นาที ตามลำดับนั้น สังเกตด้วยสายตาทพบว่าในรูปที่ 4.1 (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 25 มม./นาที มีลักษณะเกิดคลื่นขึ้นมาบนผิวหน้าของแนวเชื่อมบริเวณจุดเริ่มการเชื่อมเล็กน้อย จากนั้นผิวของแนวเชื่อมค่อยๆ มีความเรียบเรียบสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข - จ) ที่มีลักษณะของผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์และไม่เกิดจุดบกพร่องใดๆ บนผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นแนวเชื่อมมีแนวโน้มเรียบและสม่ำเสมอตามไปด้วย นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมในทุกสภาวะความเร็วเดินเชื่อมของชิ้นงานทดสอบเกิดเกิดครีบบนแนวเชื่อมและมีระยะความถี่ความห่างของครีบบไม่เท่ากัน

ซึ่งส่วนใหญ่ครีบที่เกิดขึ้นนั้นพบว่าอยู่ทางด้านแอดวานซ์ (Advancing Side: AS) หรือด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ของทุกระดับความเร็วเดินเชื่อม แสดงบริเวณพื้นที่เป็นเส้นปะสีส้ม ซึ่งเป็นด้านที่มีความหนามากกว่าด้านรีทรีทิง (Retreating Side: RS) หรือด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 ที่มีความหนาน้อยกว่า สาเหตุที่เกิดครีบและมีความถี่ไม่เท่ากันเกิดจากระดับความเร็วเดินเชื่อม ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งหากใช้ระดับความเร็วเดินเชื่อมช้า ครีบที่เกิดขึ้นก็มีระยะห่างมากและหากใช้ระดับความเร็วเดินเชื่อมเร็วครีบที่เกิดขึ้นก็มีระยะถี่ เช่นเดียวกับการเกิดคลื่นที่เกิดขึ้นและได้กล่าวมาในขั้นต้น ซึ่งส่วนที่เกิดครีบทุกระดับของความเร็วเดินเชื่อม (Welding speed) อีกสาเหตุหนึ่ง คือ บำบัดความไม่ได้ทำมูกับชิ้นงานเนื่องจากบริเวณหน้าสัมผัสของบ้ำดักวอนและชิ้นงานฝั่งรีทรีทิง (Retreating Side : RS) เป็นวัสดุที่มีความบางกว่าฝั่งแอดวานซ์ (Advancing Side : AS) ดังนั้น ครีบที่เกิดขึ้นจึงอยู่ด้านข้างของแนวเชื่อมด้านแอดวานซ์ (Advancing Side : AS) มากกว่าด้านรีทรีทิง (Retreating Side : RS) ของทุกๆ สภาพและระดับของความเร็วเดินเชื่อมเสียตทานครั้งนี้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้า และค่าการยึดตัวความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความแข็งแรงดึงและค่าการยึดตัวของรอยเชื่อม มุมเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับลักษณะการยึดตัวและการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมจะมีลักษณะพังทลายแตกหักกับบริเวณที่เกิดคอคอด [28] ของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) – (จ) ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะการยึดตัวและการพังทลายของชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงและโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม ของความเร็วที่เดินเชื่อมที่ 75, 100 และ 125 มม./นาที พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงเริ่มลดต่ำลงตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ค)-(จ) โดยมีลักษณะการยึดตัวและการพังทลายของชิ้นงานทดสอบค่าความ

ต้านทานแรงดึงและโครงสร้างมหภาคมีการฉีกขาดและการพังทลายของชิ้นงานทดสอบทุกชิ้น เมื่อทำการสังเกตด้วยสายตาจะอยู่ทางฝั่งรีเทรียทิง (Retreating Side : RS) การเดินเชื่อมที่ใช้อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของการเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ 174.00 MPa และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยที่ 7.06 % และเมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มค่อยๆ ลดต่ำลง สาเหตุที่อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำทำให้อุณหภูมิความร้อนการหลอมละลายของอลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด ระหว่างอลูมิเนียมผสม AA6063 และ AA7075 มีช่วงระยะเวลาของอุณหภูมิความร้อนในการหลอมละลายมากทำให้อัตราการหลอมติดกันด้วยดี ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ข) เช่นกัน และเมื่อทำการเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมสูงขึ้น การหลอมละลายติดกันของอลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด มีความน้อยลงจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดต่ำลงไปด้วย

รูปที่ 4.3 แสดงการพังทลายของชิ้นงานทดสอบเอียงเครื่องมือเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที สังเกตพบว่าการพังทลายของชิ้นงานทดสอบส่วนใหญ่เกิดการพังทลายบริเวณขอบบ่าเครื่องมือเชื่อมและทุกชิ้นมีลักษณะการพังทลายคล้ายกับฟันปลาสลับกัน เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบพบว่า มีลักษณะการรวมตัวระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีความแตกต่างกันไปด้วย ในรูปที่ 4.3(ก) ลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมทั้งสองเกรดค่อนข้างมีความยาวกว่าความเร็วเดินเชื่อมอื่น ๆ ที่เมื่อวัดจากจุดกึ่งกลางของชิ้นงาน หรือ (Stir Zone : SZ) เนื่องจากความเร็วเดินเชื่อมที่ 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที มีลักษณะการรวมตัวที่สั้นกว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที นอกจากนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 ที่ให้ค่าความต้านทานสูงสุดเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของชิ้นงานที่ต่ำสุด มีลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมทั้งสองเกรดเมื่อวัดจากกึ่งกลางของชิ้นงานอลูมิเนียมผสม AA6063 มีลักษณะการรวมตัวไม่ค่อยดี มีแนวโน้มจะเกิดการรวมตัวของอลูมิเนียมสั้นลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

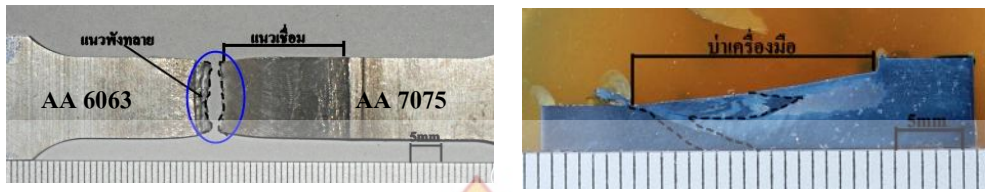


(ก) แนวการพังทลาย 25 มม./นาที

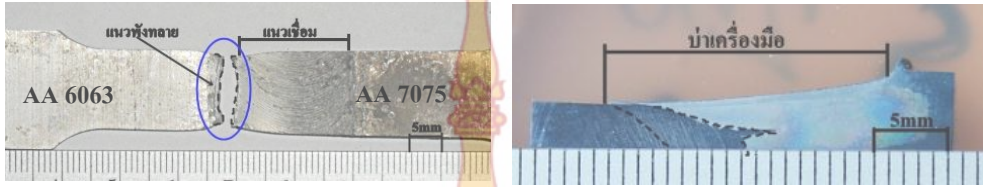


(ข) แนวการพังทลาย 50 มม./นาที

รูปที่ 4.3 การพังทลายด้านหน้าและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที



(ค) แนวการพังทลาย 75 มม./นาที

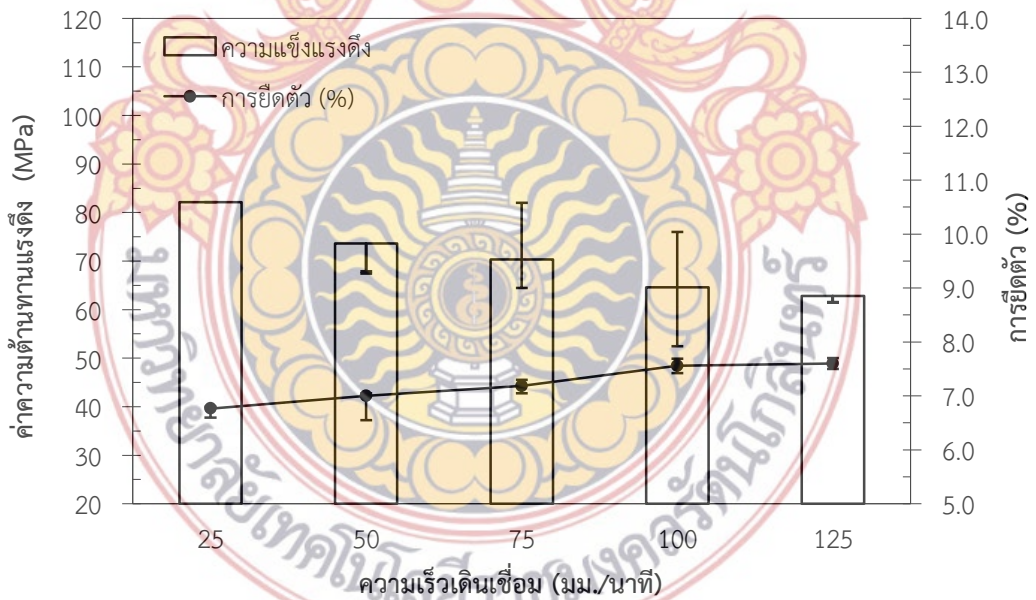


(ง) แนวการพังทลาย 100 มม./นาที

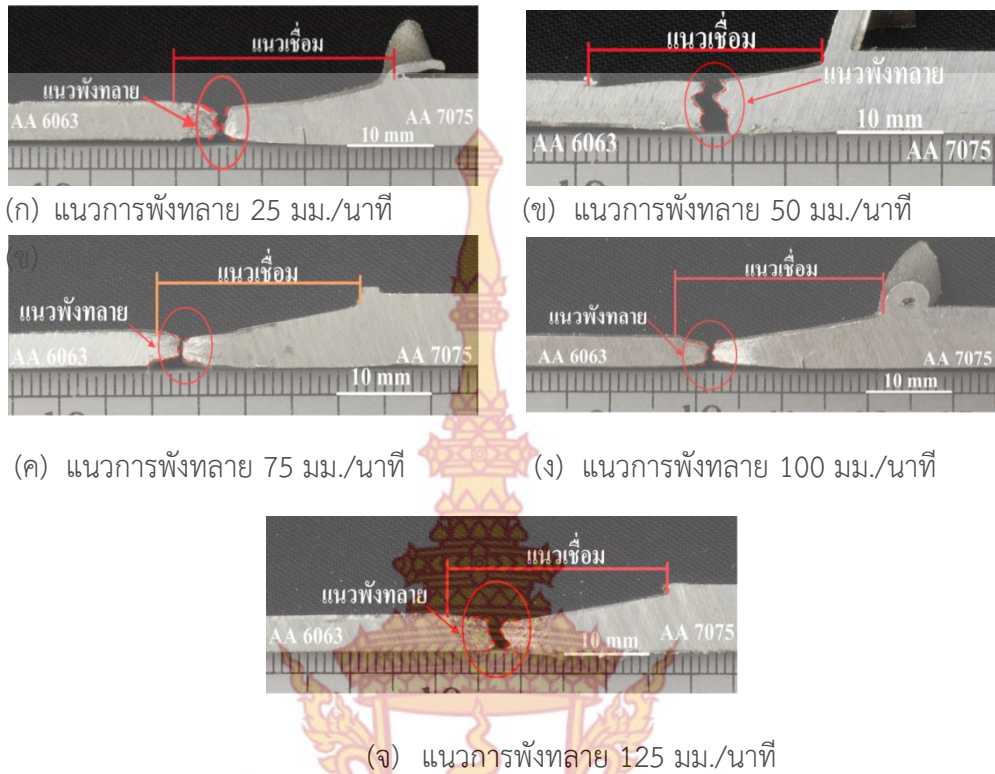


(จ) แนวการพังทลาย 125 มม./นาที

รูปที่ 4.3 การพังทลายด้านหน้าและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที (ต่อ)

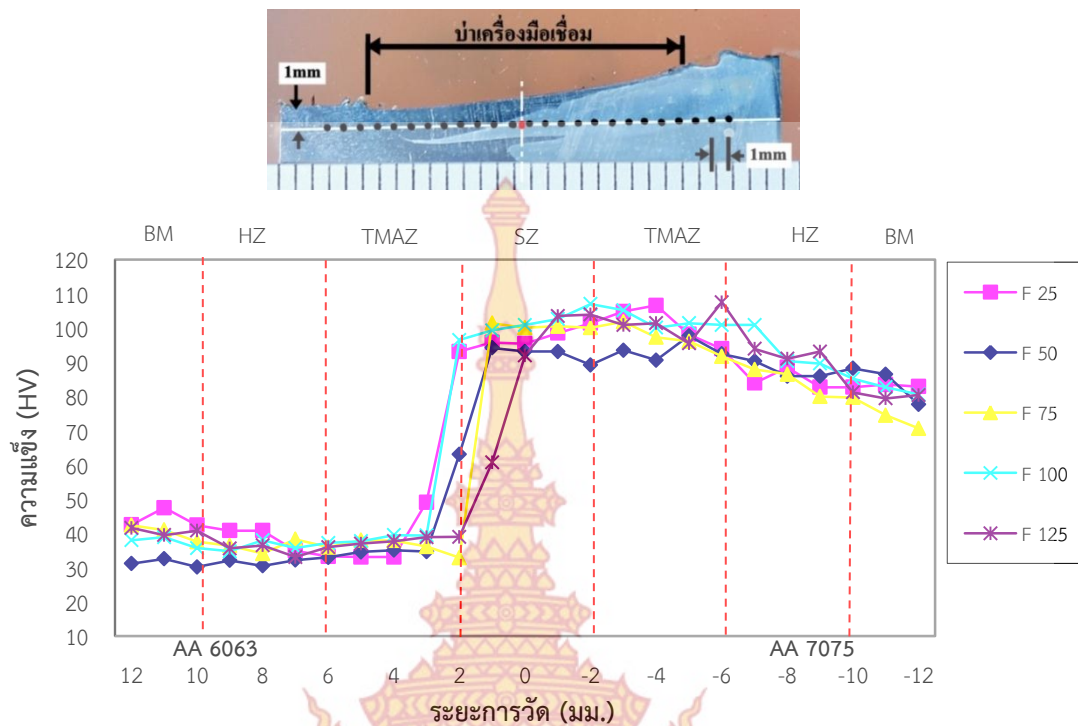


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างและค่าการยืดตัว ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที



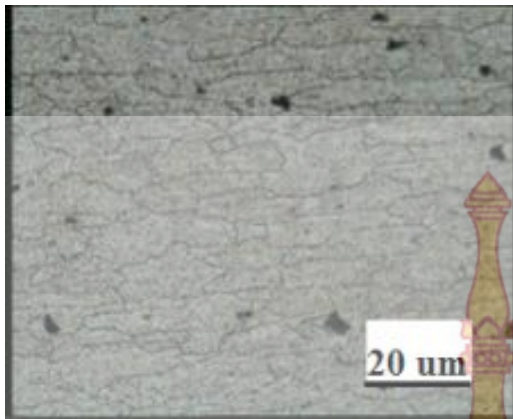
รูปที่ 4.5 การพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้าง ค่าการยืดตัวความเร็ว และรูปที่ 4.5 แสดงการพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับ พบว่าในการทดสอบความต้านทานแรงดึงด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อมในทุกความเร็วเดินเชื่อมใกล้บริเวณอูลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด AA6063 โดยไม่มีชิ้นงานทดสอบใดๆ ใดที่เกิดการพังทลายตรงจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม ดังนั้นผู้ทดลองได้ทำการลดขนาดของชิ้นงานทดสอบลงโดยใช้มาตรฐาน 2 : 1 และยังคงในใช้มาตรฐาน ASTM -8 [12] เหมือนเดิม พบว่าเกิดการพังทลายบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม ซึ่งความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 82 MPa เปรอร์เซ็นต์การยืดตัว 6.77 % ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความต้านทานสูงสุดมีลักษณะการพังทลายที่แตกต่างจากความเร็วเดินอื่น ๆ ทั้งนี้คาดว่าลักษณะการพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่แตกต่างจากความเร็วเดินเชื่อมอื่น เกิดจากสาเหตุที่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มม./นาที เกิดการพังทลายตรงจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยลง ส่วนความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆ ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงน้อยเพราะเกิดการพังทลายใกล้บริเวณอูลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด AA6063 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าอูลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด AA7075

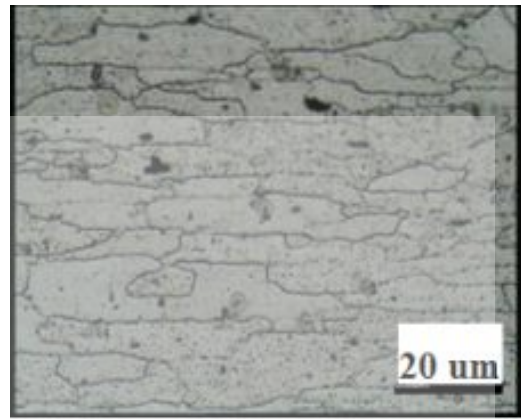


รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที

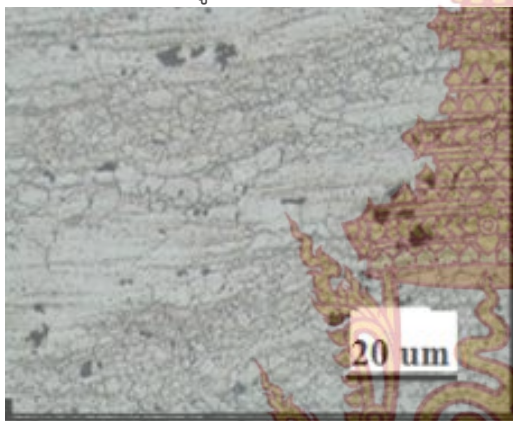
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที สังเกตพบว่าที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (Stir Zone : SZ) ช่วงระหว่าง -2 มม. ถึง 2 มม. มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกันมาก และเมื่อความแข็งเลยช่วง (Stir Zone : SZ) ไปแล้ว ความแข็งมีแนวโน้มลดลง โดยในรูปที่ 4.6 ได้กำหนดให้ ฝั่งทางด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 ที่เป็นด้านบวกลูกอยู่ทางด้านซ้ายมือเริ่มตั้งแต่โลหะพื้น (Base Metal : BM) ไปจนถึง (Thermo Mechanical Affected : TMAZ) พบว่ามีความแข็งของชิ้นงานเป็นช่วงที่ต่ำเนื่องจากอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 มีความแข็งน้อยกว่าอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ตามสมบัติทางกลของโลหะและความแข็งที่วัดได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงกึ่งกลาง (Stir Zone : SZ) ของชิ้นงาน จากนั้นความแข็งก็เริ่มลดต่ำลงไปถึงโลหะพื้น (Base Metal : BM) ทางฝั่งด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ที่เป็นลบดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วเดินเชื่อมทั้ง 5 ระดับ พบว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความแข็งมากที่สุดเท่ากับ 107.5 HV



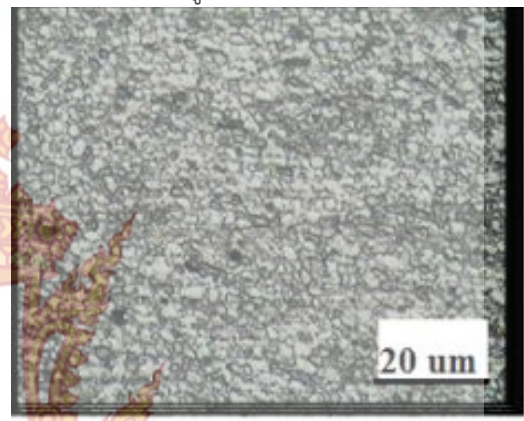
(ก) อลูมิเนียม 6063 (BM)



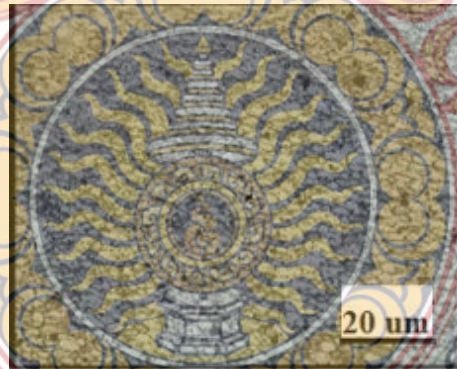
(ข) อลูมิเนียม 7075 (BM)



(ค) อลูมิเนียม AA6063 (TMAZ)



(ง) อลูมิเนียม AA7075 (TMAZ)



(จ) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (SZ)

รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที

รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เอียงมุม เครื่องมือเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 125 มม./นาที ซึ่งมีค่าความแข็งสูงสุด ผลการทดลองจาก กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 200 เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าขนาดเกรนบนโลหะพื้น (Base Metal : BM) ของอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 มีขนาดใหญ่ กว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล (Thermo Mechanical Affected Zone : TMAZ)

และบริเวณกึ่งกลางของชิ้น (Stir Zone : SZ) พื้นที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 หรือด้านรีทรีทิง (Retreating Side : RS) และด้านอลูมิเนียมผสม AA7075 หรือด้านแอดวานซ์ (Advancing Side : AS) พบว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกลเพื่อหาขนาดเกรนโดยใช้วิธีหาค่าขนาดเกรน BNTZ ปรากฏว่าขนาดเกรนที่วัดได้ด้าน (Thermo Mechanical Affected : TMAZ) อลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 เท่ากับ 45 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7(ค) และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 เท่ากับ 136.36 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7(ง) จุดกึ่งกลาง (Stir Zone : SZ) เท่ากับ 91 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7(จ) เมื่อนำเปรียบพบว่าขนาดเกรนจะมีขนาดเล็กเมื่อได้รับความร้อนจากการเชื่อมดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการพังทลายทาง(Thermo Mechanical Affected : TMAZ) อลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 ของชิ้นงานทดสอบในครั้งนี้

4.2 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./นาที



(ก) 25 มม./นาที



(ข) 50 มม./นาที

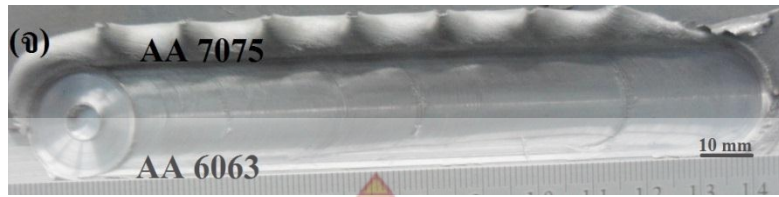


(ค) 75 มม./นาที



(ง) 100 มม./นาที

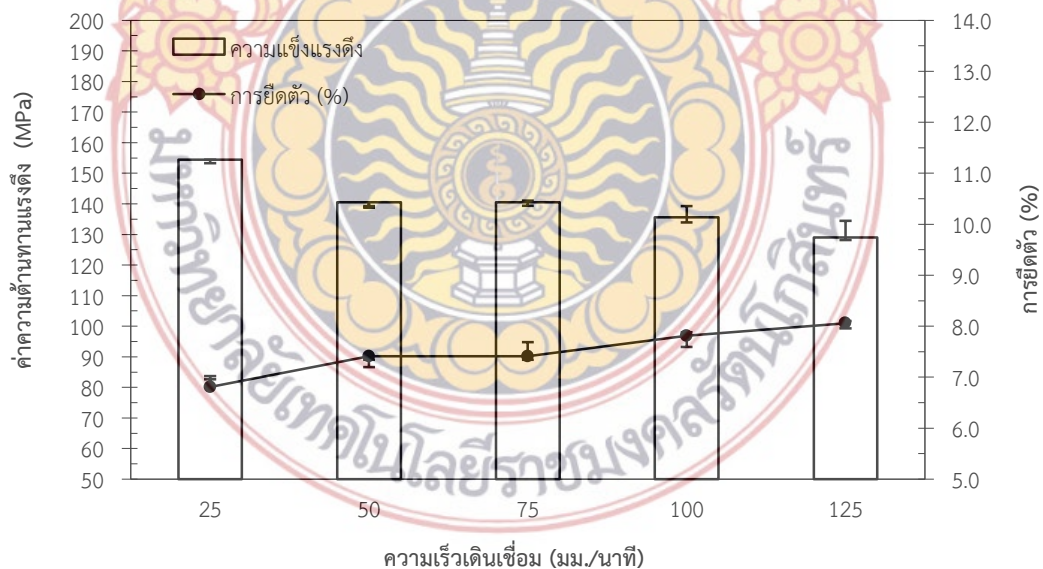
รูปที่ 4.8 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z



(จ) 125 มม./นาที

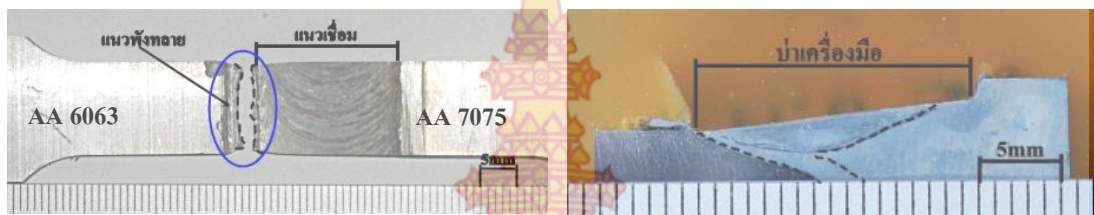
รูปที่ 4.8 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z (ต่อ)

รูปที่ 4.8 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z ความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 500 รอบ/นาที อัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที สังเกตด้วยสายตาพบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ทุกความเร็วเดินเชื่อม มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแนว และเกิดครีบทางด้านแอดวานซิ่ง (Advancing Side : AS) ในทุกสภาวะของความเร็วเดินเชื่อม เช่นเดียวกับความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก)-(จ) แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ครีบที่เกิดขึ้นทางด้านแอดวานซิ่ง เมื่อเปรียบเทียบระยะความห่างของครีบต่างกันที่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 และ 125 มม./นาที ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1(ง)-(จ) และ 500 รอบ/นาที และแสดงในรูปที่ 4.8(ง)-(จ) มีลักษณะครีบที่ต่างกันทั้งนี้ เกิดจากความเร็วรอบที่ใช้ในการเชื่อมแตกต่างกันทำให้เกิดครีบที่ต่างกันและสอดคล้องกับงานวิจัยของ L. Fratini เรื่องปรับปรุงการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเทลเลอร์แบลิ่งค์ของความหนาต่างกัน [20] โดยเปรียบเทียบผิวหน้ารอยเชื่อมที่เอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา เหมือนกันในแนวแกน Z และงานวิจัยของ วิชัย พุ่มจันทร์ ที่ได้ศึกษาการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าและค่าการยึดตัว ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที

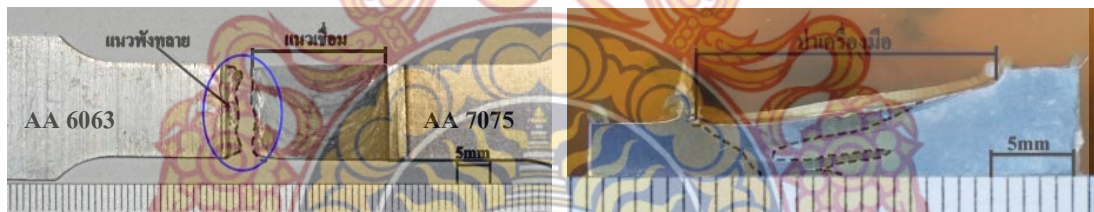
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัวของรอยเชื่อม ทำการเชื่อมมุมเอียงเครื่องมือเชื่อม 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับ สังเกตพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นและอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 154 MPa เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเท่ากับ 6.81 % ซึ่งความเร็วเดินเชื่อม 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ค่าความต้านทานแรงดึง ในช่วงระยะใกล้เคียงกันไม่ห่างกันมาก และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว โดยความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ 129 MPa และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเท่ากับ 8.01 % ดังแสดงในรูปที่ 4.9



(ก) แนวการพังทลาย 25 มม./นาที



(ข) แนวการพังทลาย 50 มม./นาที



(ค) แนวการพังทลาย 75 มม./นาที



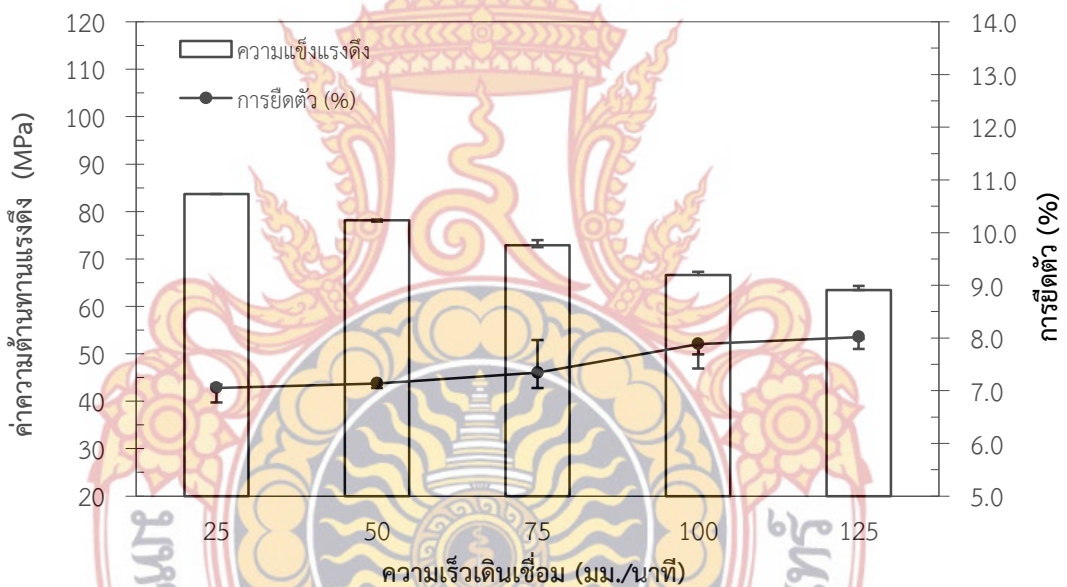
(ง) แนวการพังทลาย 100 มม./นาที



(จ) แนวการพังทลาย 125 มม./นาที

รูปที่ 4.10 การพังทลายด้านหน้าของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที

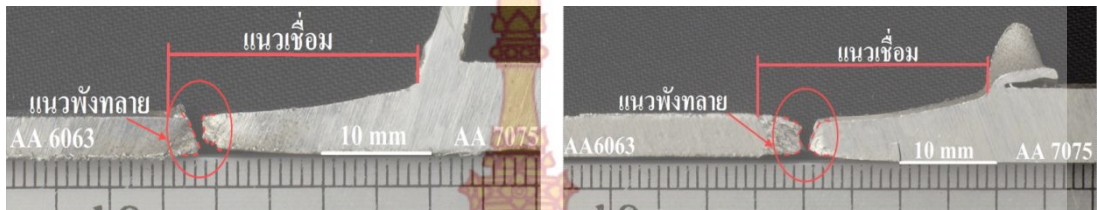
รูปที่ 4.10 แสดงการพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที สังเกตพบว่าการพังทลายชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงมีลักษณะการพังทลายบริเวณบ่าแนวเชื่อมทั้งหมดใกล้กับฝั่งอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 ลักษณะแนวคล้ายกับพื้นพลาสติกกันเช่นเดียวกับรูปที่ 4.3 และความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 มีลักษณะการพังทลายใกล้แนวเชื่อมมากที่สุดแต่ยังคงอยู่ทางฝั่งทางด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 มีลักษณะการยึดตัวของชิ้นงานที่ยาวและสอดคล้องกับโครงสร้างมหภาคการพังทลายของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งมีลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด ต่างกันคือ จากโครงสร้างมหภาคของรูปที่ 4.9(ก) และ(ง) มีลักษณะของภาพที่คล้ายกันเนื่องจากลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมไม่ประสานกันและเกิดการพังทลายที่ด้านปลายใกล้ๆ บริเวณบ่าแนวเชื่อมของชิ้นงาน ซึ่งในรูปที่ 4.9(ข)และ(ค) ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงที่เท่ากันและจากโครงสร้างมหภาคลักษณะการรวมตัวระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และ AA7075 สลับกันเหมือนกัน แต่สลับกันเป็นระยะที่สั้นกว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบและวัดจากจุดกึ่งกลาง



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างและค่าการยืดตัวความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้าง ค่าการยืดตัวความเร็วและรูปที่ 4.12 แสดงการพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับพบว่าชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงด้านข้างเกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อมในทุกความเร็วเดินเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 84 MPa เปอร์เซ็นต์การยืดตัว 7.05 % ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานด้านข้างมีความสอดคล้องให้ค่าในการทดสอบ

เหมือนกับการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แต่ลักษณะการพังทลายจะแตกต่างกัน โดยชิ้นงานทดสอบที่ทำการดึงด้านหน้าทุกชิ้นเกิดการพังทลายบริเวณแนวเชื่อมใกล้กับอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 แต่ชิ้นงานที่ทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างเกิดการพังทลายใกล้จุดกึ่งกลางรอยเชื่อมและตรงบริเวณจุดกึ่งกลางรอยเชื่อมทำให้เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานน้อยกว่าการดึงด้านหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.11



(ก) แนวการพังทลาย 25 มม./นาที

(ข) แนวการพังทลาย 50 มม./นาที



(ค) แนวการพังทลาย 75 มม./นาที

(ง) แนวการพังทลาย 100 มม./นาที

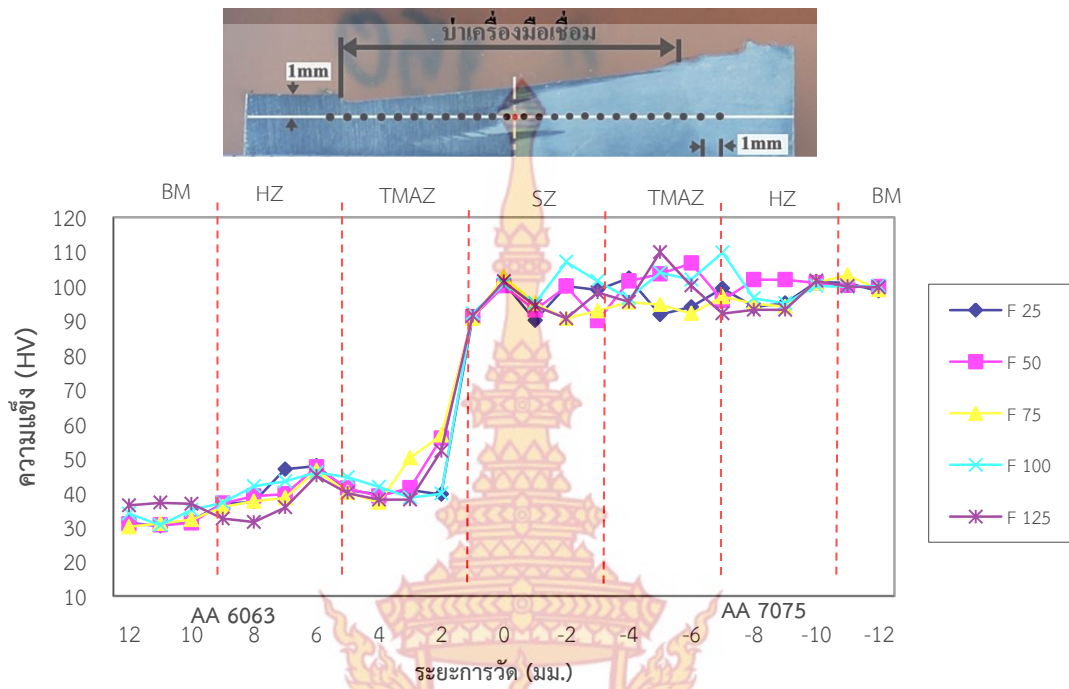


(จ) แนวการพังทลาย 125 มม./นาที

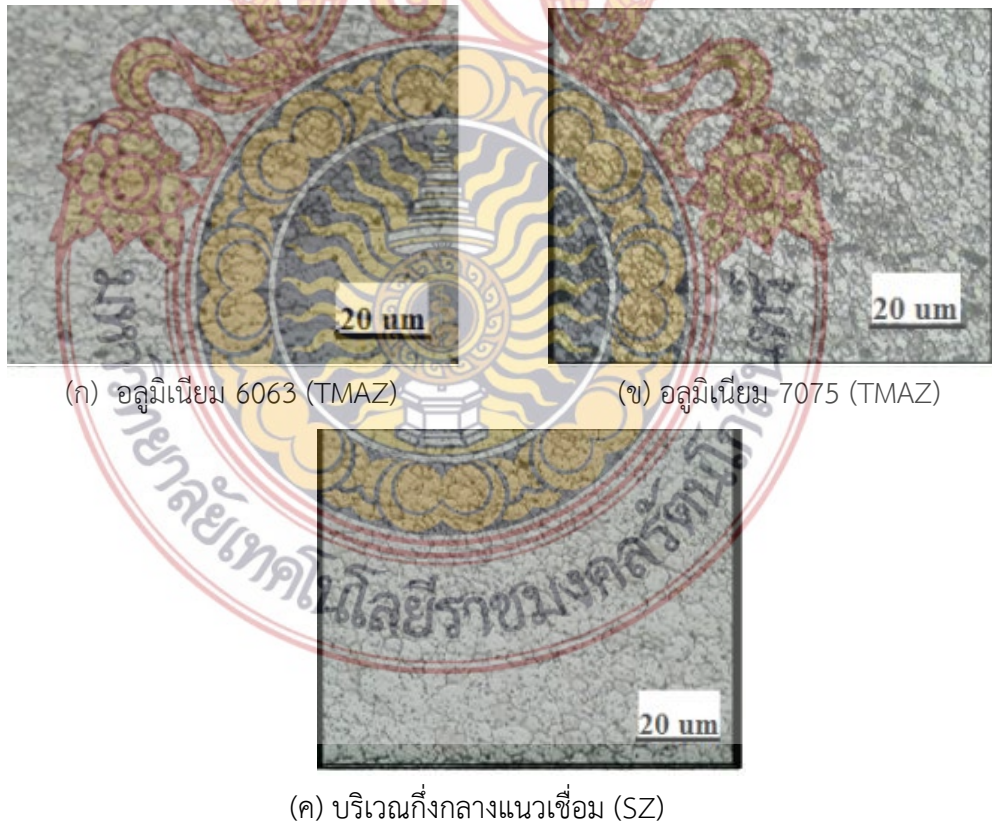
รูปที่ 4.12 การพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที

รูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที โดยกำหนดทิศทางค่าบวกและลบของชิ้นงานทดสอบเหมือนกับความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.4 สังเกตพบว่าผลการทดสอบความแข็งบริเวณกึ่งกลาง (Stir Zone : SZ) ของบ่าแนวเชื่อมช่วงระหว่าง -2 มม. ถึง 2 มม. ความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มม./นาที ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่เท่ากับ 107 HV และแนวโน้มความแข็งของชิ้นงานบริเวณใกล้เคียงกัน เริ่มจากจุดกึ่งกลาง (Stir Zone : SZ) ของชิ้นงานไปถึงโลหะพื้นผิวทางด้านอลูมิเนียมผสม AA7073 ซึ่งไม่แตกต่างกันและโครงสร้างมหภาคยังแสดงให้เห็นความเร็วเดินเชื่อม 100 มม./นาที มีลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ที่ยาวกว่าความเร็วเดินเชื่อมในทุกความเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.13 มีลักษณะเป็นชั้นสลับกัน ซึ่งต่างจากความเร็วเดินเชื่อมที่

25 มม./นาที ที่มีลักษณะการรวมตัวที่ไม่เข้ากันแยกกันเป็นแนวเฉียง



รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 500 รอบ/นาที

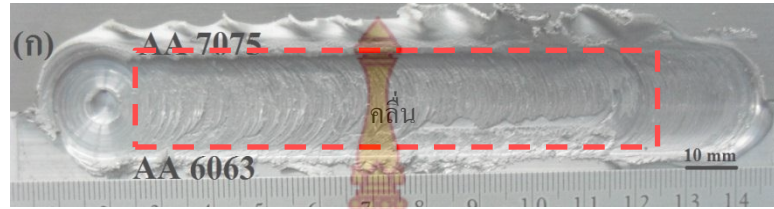


รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที

รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที เอียงเครื่องมือเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 125 มม./นาที ซึ่งเป็นชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งของชิ้นงานสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่ารอยเชื่อมมีลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดไม่พบจุดบกพร่อง และรอยแตกร้าวบริเวณรอยต่อบนชิ้นงาน และที่บริเวณที่ถูกกวาดด้านแอดวานซิ่ง (Advancing Side : AS) หรือออลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกลมากกว่าด้านรีทรีทิง (Retreating Side : RS) หรือด้านออลูมิเนียมผสม AA6063 ทำให้ขนาดเกรนละเอียดกว่า และได้ทำการวัดหาค่าขนาดเกรนโดยใช้วิธีแบบจุดตัดเส้นตรงเฉลี่ยเพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดเกรนทั้ง 2 ฝั่ง และจุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ สามารถคำนวณหาขนาดเกรนได้ดังนี้ ออลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 (Thermo Mechanical Affected : TMAZ) มีขนาดเท่ากับ 105 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14(ก) ออลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 (Thermo Mechanical Affected : TMAZ) มีขนาดเท่ากับ 131 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14(ข) และจุดกึ่งกลางรอย (Stir Zone : SZ) มีขนาดเกรนเท่ากับ 125 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14(ค) ดังนั้นจากการวัดขนาดเกรนทำให้ทราบได้ว่าขนาดเกรนมีผลต่อการพังทลายของชิ้นทดสอบค่าด้านทานแรงดึง



4.3 อิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องมือเชื่อม 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) 25 -125 มม./ นาที



(ก) 25 มม./ นาที



(ข) 50 มม./ นาที



(ค) 75 มม./ นาที



(ง) 100 มม./ นาที

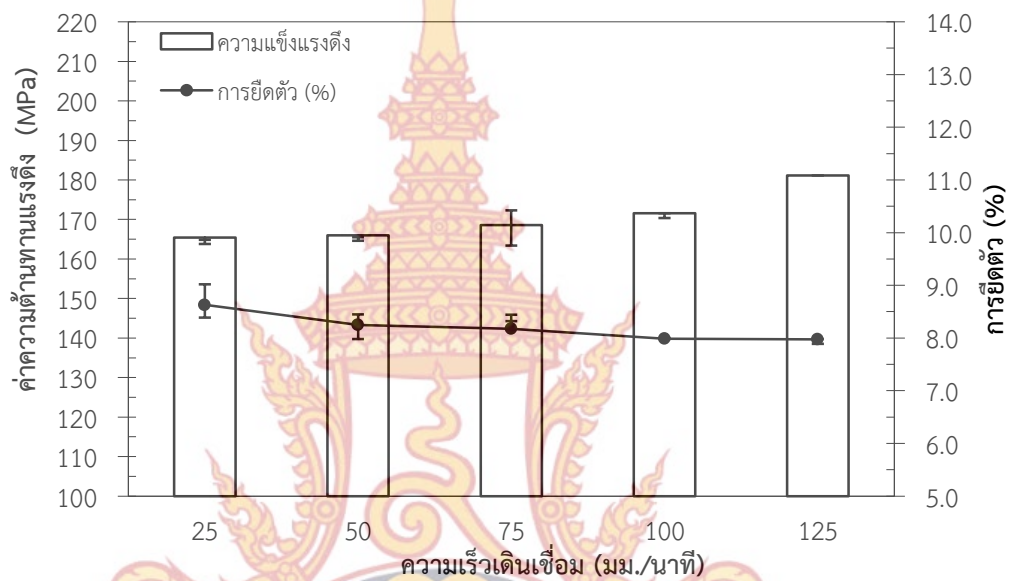


(จ) 125 มม./ นาที

รูปที่ 4.15 ผิวหน้ารอยเชื่อมการเอียงเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z (ต่อ)

รูปที่ 4.15 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมเครื่องมือที่ 0 องศา ในแนวแกน Z ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับนั้น สังเกตด้วยสายตาพบว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 และ 50 มม./นาที มีลักษณะเกิดคลื่นบนผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เรียบ เหมือนกับความเร็วยรอบที่ 250 และ 500 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1(ก)-(ข) และรูปที่ 4.15(ง)-(จ) ซึ่งผลการทดลองนี้มีขั้นตอนความเหมือนกับ ผลที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสมบัติทางกลของวัสดุที่ต่างกัน ทำให้เนื้อของวัสดุไม่สามารถรวมเข้ากันได้ จึงทำให้เกิดคลื่นขึ้นมา และจากการสังเกตด้วยสายตายังไม่

พบจุดบกพร่องใต้บริเวณผิวหน้ารอยเชื่อมและยังเกิดครีบฝั่งทางด้านแอดวานซ์ (Advancing Side : AS) เช่นเดิมเหมือนกับความเร็วรอบ 250 และ 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อมที่ 75, 100 และ 125 มม./นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.15(ค)-(จ) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์เรียบและไม่พบจุดพร่องใดๆ แต่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 100 มม./นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.15(ง) สังเกตพบว่าครีบที่เกิดขึ้นทางด้านแอดวานซ์ (Advancing Side : AS) มีความแตกต่างจากความเร็วเดินเชื่อมอื่น คาดว่าเกิดจากการกดอัดของเครื่องมือเชื่อมขณะทำการทดลองเดินเชื่อมกดเข้าไปในเนื้อของวัสดุมากจนเกินไป ทำให้ครีบหลุดออกจากบริเวณขอบ่าของบริเวณแนวเชื่อม

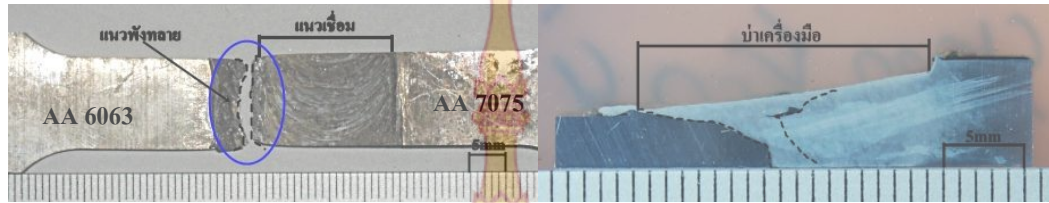


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัวของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับ ผลการทดสอบชิ้นงานพบว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 181 MPa และความเร็วเดินเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงน้อยสุดที่ 165 MPa ผลจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัวของชิ้นงานทดสอบส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่ห่างกันมากนักระหว่าง 165 – 181 MPa ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมหภาคดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ก)-(จ) การพังทลายของชิ้นงานทดสอบแรงดึง พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงน้อยสุดดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ค)



(ก) แนวการพังทลาย 25 มม./ นาที



(ข) แนวการพังทลาย 50 มม./ นาที



(ค) แนวการพังทลาย 75 มม./ นาที



(ง) แนวการพังทลาย 100 มม./ นาที

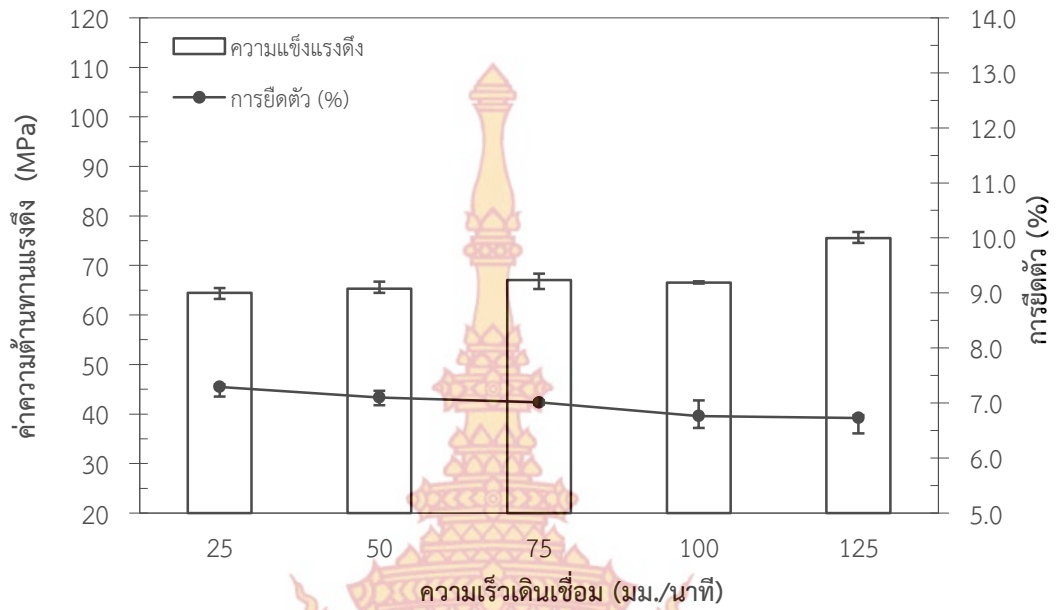


(จ) แนวการพังทลาย 125 มม./ นาที

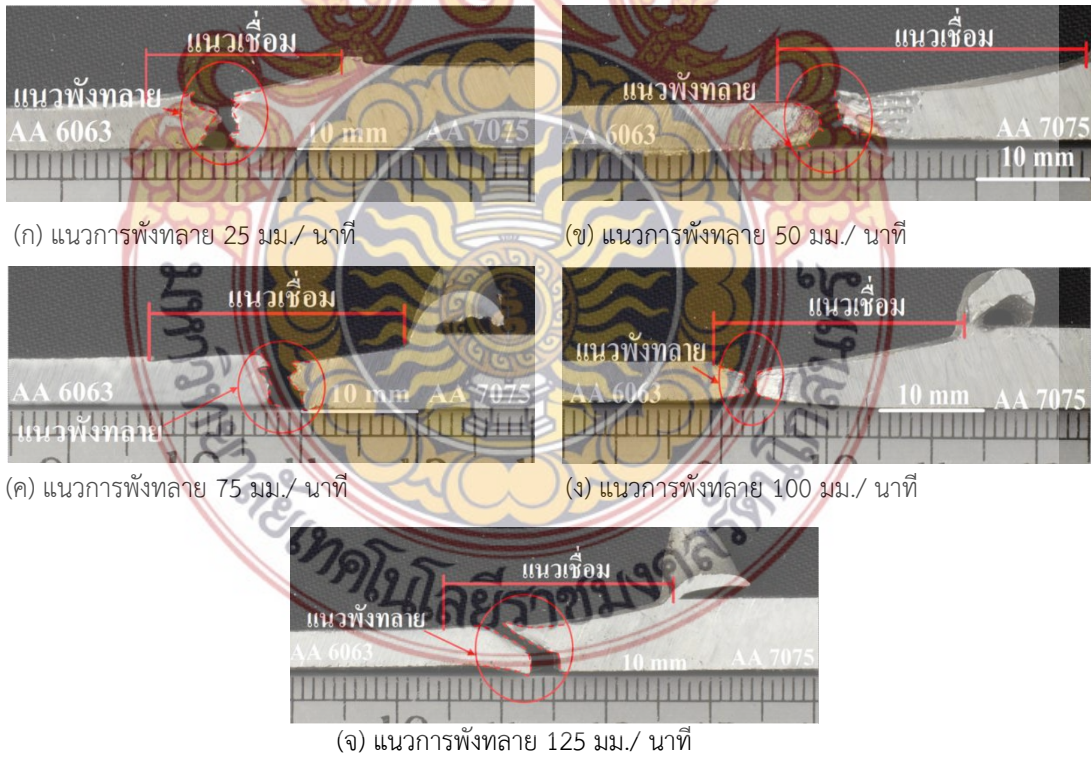
รูปที่ 4.17 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที

รูปที่ 4.17 แสดงการพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที สังเกตพบว่าแนวพังทลาย ความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มม./นาที มีลักษณะการพังทลายของชิ้นงานทดสอบเป็นโค้งเว้า ดังแสดงในรูปที่ 4.17(ข) ซึ่งมีความแตกต่างจากชิ้นงานอื่นๆ ที่มีลักษณะการพังทลายเป็นพื้นปลา ทั้งหมด การฉีกขาดของชิ้นงานในบริเวณบ่าแนวเชื่อมทั้งหมดฝั่งทางด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 โครงสร้างมหภาคพบว่าลักษณะการรวมตัวของอลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะที่ต่างกัน เพราะความเร็วเดินเชื่อมมีส่วนทำให้การรวมตัวที่แตกกัน เนื่องความเร็วเดินเชื่อมช้าและความเร็วรอบสูงทำให้ลักษณะการรวมตัวเกิดความร้อนมากกว่าความเร็วเชื่อมที่เร็วตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า

ความต้านทานแรงดึงพบว่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมีส่วนต่อการรวมตัวของอลูมิเนียม คือ เปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากการรวมตัวของอลูมิเนียมน้อยและมีความแข็งแรงน้อย

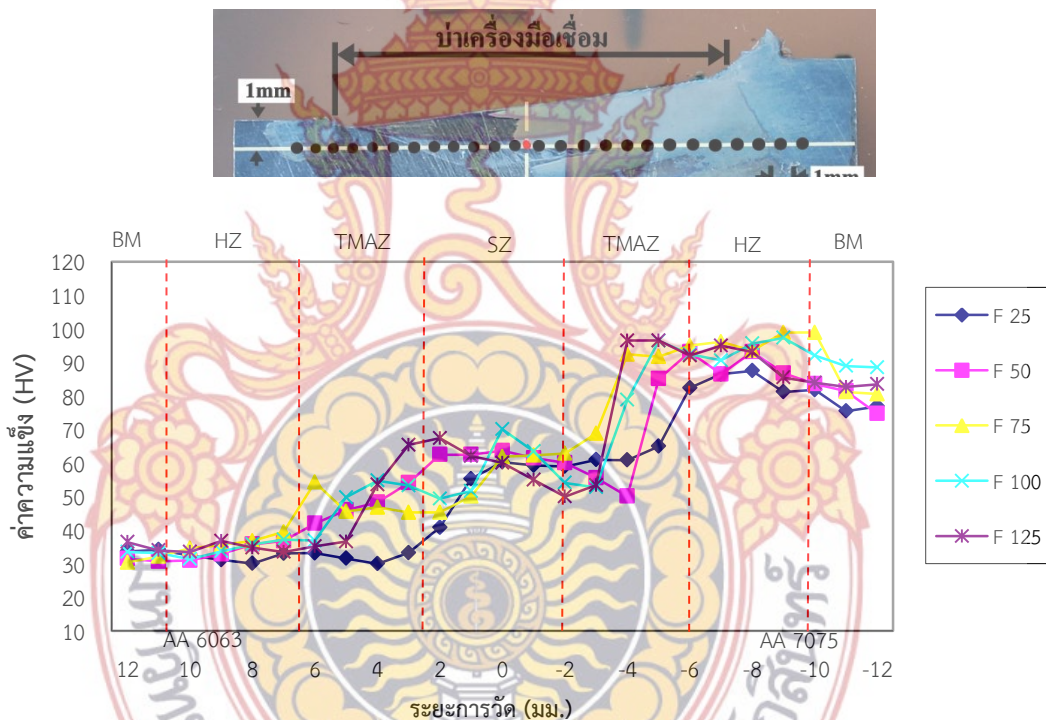


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่าการยึดตัว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที



รูปที่ 4.19 การพังทลายของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที

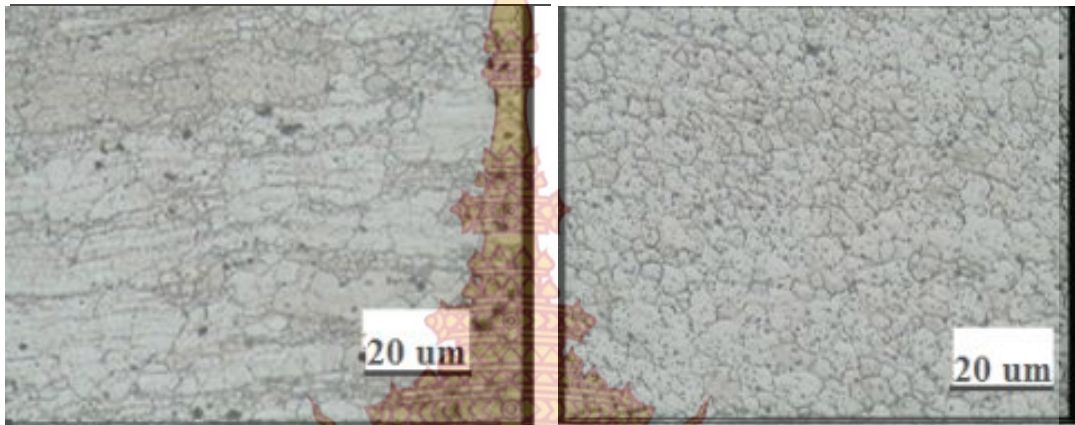
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างค่าการยึดตัวความเร็ว และรูปที่ 4.19 แสดงการพังทลายด้านข้างของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับพบว่าชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงด้านข้าง ส่วนใหญ่เกิดการพังทลายบริเวณจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อม และการพังทลายของชิ้นงานมีลักษณะที่ต่างกันโดยเฉพาะชิ้นงานที่เกิดการพังทลายจุดกึ่งกลางรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ก, ค และ จ) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการพังทลายชิ้นงานดึงด้านข้างในรูปที่ 4.17 (ก, ค และ จ) สังเกตโครงสร้างมหภาคพบว่าชิ้นงานทดสอบด้านข้างเกิดการพังทลายตามแนวระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และ AA7075 ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงจะไม่แตกต่างกันมาก และชิ้นงานทดสอบความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดเท่ากับ 76 MPa เปอร์เซ็นต์การยึดตัวเท่ากับ 6.73 % และมีแนวโน้มที่ค่อยข้างไม่แตกต่างกันในทุกความเร็วเดินเชื่อม คาดว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่ไม่ต่างกันเกิดจากการพังทลายของชิ้นงานทดสอบเกิดการพังทลายบริเวณจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อมทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงตามไปด้วย



รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบเครื่องมือ 750 รอบ/นาที

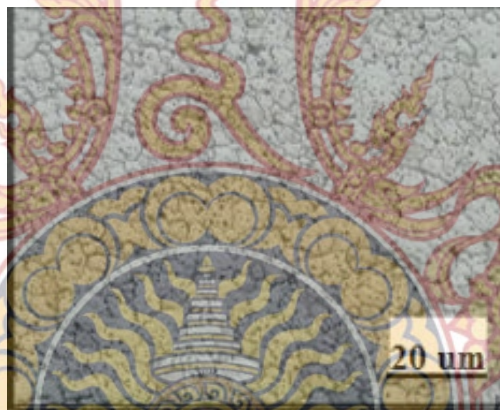
รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับ สังเกตพบว่าค่าความแข็งแรงสูงที่สุดที่ทำการทดสอบที่ได้จะอยู่ฝั่งทางด้านอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ตั้งแต่ช่วงใกล้จุดกึ่งกลางของแนวเชื่อมไปจนถึงฝั่งโลหะพื้น ค่าความแข็งที่ทดสอบได้เท่ากับ 96.5 HV ของความเร็วเดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที ซึ่งพบว่าความแข็งบริเวณกึ่งกลางให้ค่าความแข็งที่ต่ำกว่าแนวเชื่อมและบริเวณโลหะพื้น สาเหตุคาดว่ากรรมตัวของอลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด บริเวณกึ่งแนวเชื่อมมีการกระจายตัวของอลูมิเนียมทำให้มีความแข็งลดลงตามไปด้วย โดยเฉพาะความเร็วเดินเชื่อมที่ 25, 75 และ

125 มม./นาทิต่างแสดงในรูปที่ 4.20 เห็นได้ว่าเนื้ออลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิด กระจายไม่รวมเข้าหากันและเป็นสาเหตุสำคัญที่ค่าความแข็งแรงลดลง และความแข็งแรงบริเวณจุดกึ่งกลางแนวเชื่อมให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณแนวเชื่อมฝั่งอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 ไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับฝั่งทางด้านของอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 ทั้งนี้คาดว่าความเร็วมีผลต่อการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน



(ก) อลูมิเนียม 6063 (TMAZ)

(ข) อลูมิเนียม 7075 (TMAZ)



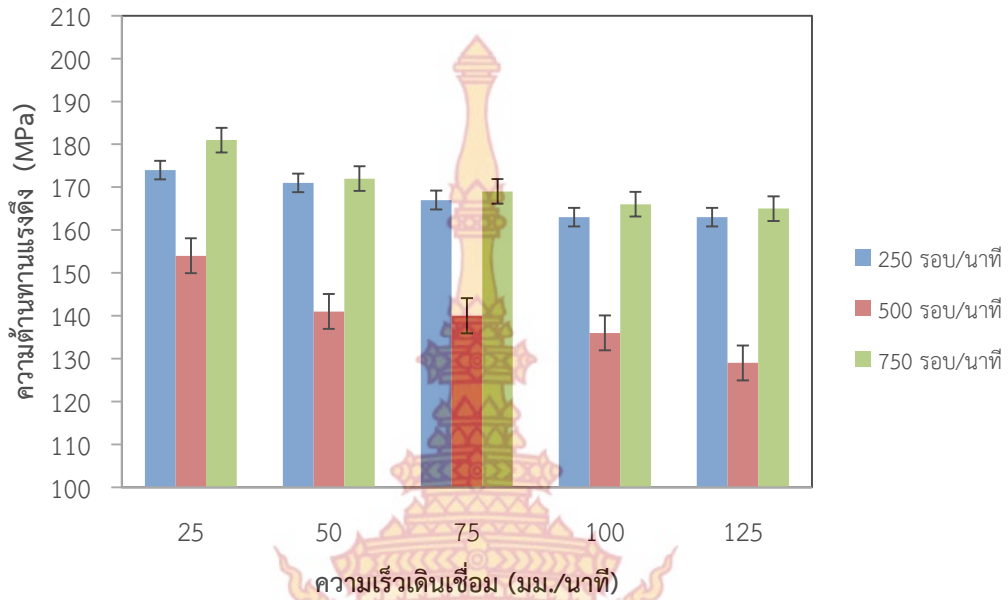
(ค) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (SZ)

รูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาทิต

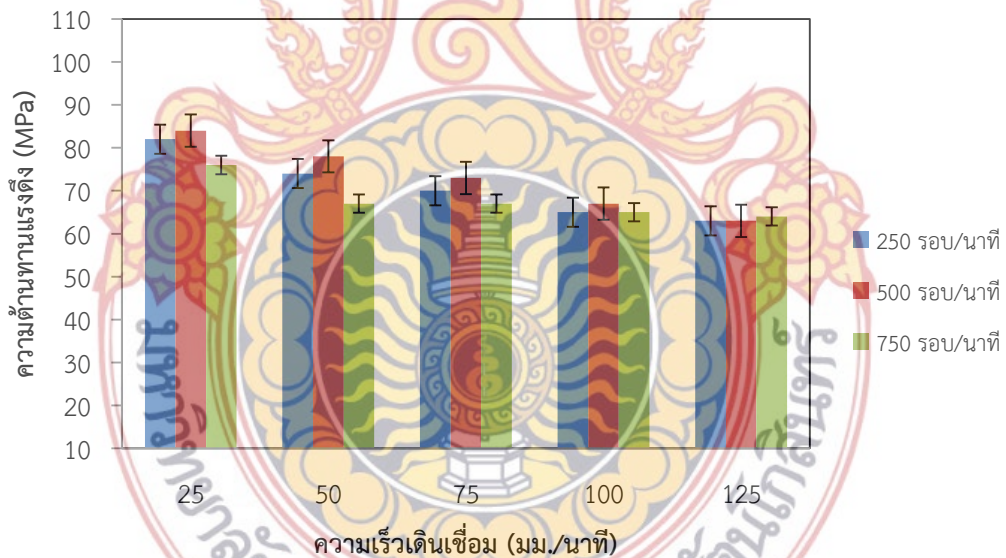
รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาทิต เอียงเครื่องมือเชื่อมที่ 0 องศา ความเร็วเดินเชื่อม 125 มม./นาทิต ซึ่งมีความแข็งแรงสูงสุด สังเกตพบว่าพื้นที่ได้รับผลกระทบร้อนทางกลมีขนาดเกรนด้านรีทริทติ้ง (Retreating Side : RS) หรือด้านอลูมิเนียมผสม AA6063 มีขนาดเกรน 51 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.21(ก) ด้านแอดวานซ์ซิง (Advancing Side : AS) หรืออลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 มีขนาดเกรน 109 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.21(ข) และบริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อมมีขนาดเกรนเท่ากับ 90 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.21(ค) จากการเปรียบเทียบด้านรีทริทติ้งมีขนาดเกรนโตกว่าด้านแอดวานซ์ซิงและกึ่งกลางของรอยเชื่อม ลักษณะโครงสร้างจุลภาคไม่มีความแตกต่างกับความเร็วเดินเชื่อมอื่นๆ

4.4 ผลสรุปการเอียงเครื่องมือเชื่อม

4.4.1 เปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา

รูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 แสดงเปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าและด้านข้างของการเอียงเครื่องมือ 0 องศา โดยกำหนดตัวแปรเป็นความเร็วรอบเครื่องมือ 250, 500 และ 750 รอบ/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสังเกตเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ทำการทดสอบดึงด้านหน้ามีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดส่วนใหญ่อยู่ที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการเชื่อมกวนที่ 750 รอบ/นาที แต่ชิ้นงานที่ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างจะไม่แตกต่างกันและค่าความเร็ว

รอบที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่น้อยที่สุดความเร็วรอบที่ 250 และ 500 รอบ/นาที และอัตราความเร็ว
เดินเชื่อมที่ 125 มม./นาที



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานที่ได้ศึกษาและทดลองถึงความเป็นไปได้การเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลรอยต่อชนแผ่นเทลเลอร์แบบลึงค์อลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 หนา 3 มม. และอลูมิเนียมผสมเกรด AA7075 หนา 6.3 มม. ทำการปรับเปลี่ยนมุมเอียงของเครื่องมือเชื่อม 0 องศา กำหนดความเร็วรอบในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 250, 500 และ 750 รอบ/นาที และกำหนดความเร็วเดินเชื่อม 5 ระดับ 25, 50, 75, 100 และ 125 มม./นาที จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ตัวแปร คือ ความเร็วรอบ ความเร็วเดินเชื่อม และองศาเครื่องมือเชื่อมไม่มีผลต่อผิวหน้าของแนวเชื่อม คือ เนื่องจากผิวหน้าแนวเชื่อมของทุกความเร็วรอบและความเร็วเดินเชื่อม ที่ทำทดลองของการปรับเปลี่ยนทุกองศาของเครื่องมือเชื่อมไม่ก่อให้เกิดจุดบกพร่องบนผิวหน้าแนวเชื่อม

5.1.2 อิทธิพลของตัวแปรของความเร็รรอบ ความเร็วเดินเชื่อม และองศาเครื่องมือเชื่อมมีผลต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานกวน กล่าวคือ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลง และชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าที่ดีที่สุด คือ ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 181 MPa และชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างที่ดีที่สุด คือ ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 25 มม./นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 84 MPa

5.1.3 อิทธิพลของตัวแปรของความเร็รรอบ ความเร็วเดินเชื่อม และองศาเครื่องมือเชื่อมมีผลต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานกวน ชิ้นงานทดสอบฉีกขาดที่บริเวณแนวเชื่อมและชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความต้านทานแรงดึงด้านหน้าต่ำที่สุด คือ ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 129 MPa และชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความต้านทานแรงดึงด้านข้างต่ำที่สุด คือ ความเร็วรอบ 250 และ 500 รอบ/นาที ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 125 มม./นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 63 MPa

5.1.4 อิทธิพลของตัวแปรความเร็วรอบ ความเร็วเดินเชื่อม และองศาเครื่องมือเชื่อม มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคในการเชื่อมเสียดทานกวน เนื่องจากความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นทำให้ขนาดเกรนมีแนวโน้มเล็กลง

5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง

ข้อเสนอแนะในการทดลองการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานกวนต่อความแข็งแรงดึงรอยต่ออลูมิเนียมผสม 6063 และ 7075 ความหนาแตกต่างกัน ปัญหาที่พบในการดำเนินการทดลองและทำการเชื่อมเสียดทานครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าของผู้สนใจต่อไป

สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเทลเลอร์แบลิ่งค์ จึงได้รวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงานในการเชื่อม

การเตรียมชิ้นงานเป็นส่วนที่สำคัญมากอย่าง เพราะถ้าเตรียมชิ้นงานไม่ดี อาจส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่มีความแข็งแรง และควรจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึดที่แข็งแรงและมั่นคง

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเชื่อม

ก่อนที่จะทำการเชื่อมชิ้นงานทดลองต้องจับยึดชิ้นงานให้สัมพันธ์แนบและติดกันสนิท เพราะถ้าชิ้นงานไม่แนบสนิทกัน อาจทำให้การเชื่อมไม่ติดกันของวัสดุทั้งสองชนิด อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบ และก่อนทำการเชื่อมควรขัดด้วยกระดาษทรายและทำความสะอาดด้วยอะซิโตน เพื่อความสะอาดของชิ้นงานซึ่งจะช่วยให้ชิ้นงานเชื่อมยึดติดได้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ข้อเสนอแนะด้านเครื่องจักร

ควรใช้เครื่องจักรที่เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อที่จะสามารถควบคุมความลึกของบ่าเครื่องมือที่จะสอดเข้าไปในเนื้อวัสดุ และควรเป็นเครื่องจักรที่เป็นระบบเฟืองเพราะเวลาทำการเชื่อมเสียดทานใช้กำลังขับเคลื่อนมาก ไม่ควรใช้เครื่องจักรที่เป็นระบบสายพานเพราะเวลาเชื่อมเสียดทานจะเกิดการฟรีขณะที่มีแรงเสียดทานมาก

5.2.4 ข้อเสนอแนะทางด้านการทดสอบ

ในการทดสอบสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานกวน ควรเตรียมเครื่องมือให้เพียงพอต่อการทดลองแต่ละครั้ง เพราะหากทำการเชื่อมแล้วโครงสร้างชิ้นงานจะเปลี่ยน และอาจส่งผลกระทบต่อทดสอบชิ้นงานได้ สำหรับการทดสอบชิ้นงานควรใช้เครื่องทดสอบที่มีความเที่ยงตรงสูง เพื่อไม่ให้เกิดความคาดเคลื่อนในการทดลอง



บรรณานุกรม

- [1] สุชาติ กิจพิทักษ์. งานเชื่อมโลหะเบื้องต้น. กรุงเทพฯ :เมื่อดทรายพริ้นติ้ง.
- [2] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และ นราธิป แสงชัย และสงกรานต์ บางศรีณย์ทิพย์ “อิทธิพลรูปร่างตัวกวน การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA6063-T1” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 เล่มที่ 17 หน้า 19-25. แหล่งทุน: ไม่มี
- [3] นราธิป แสงชัย สงกรานต์ บางศรีณย์ทิพย์ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. “อิทธิพลรูปร่างตัวกวน การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม AA6063-T1” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551, 22-24 ตุลาคม, สงขลา, หน้า 718-723. แหล่งทุน: ไม่มี
- [4] วิชัย พุ่มจันทร์.(2555). ผลกระทบของการเอียงเครื่องมือการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อ อลูมิเนียม 6063 และ 7075. ในการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2555. เพชรบุรี. ประเทศไทย 17 - 19 ตุลาคม 2555. หน้า 1183 - 1187.
- [5] พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์, บุญส่ง จงกลณี, และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, “อิทธิพลความเร็วเดินแนวของ การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 6, 8-9 พฤษภาคม 2551, สงขลา ประเทศไทย, 2551. หน้า 560-565. แหล่งทุน: ไม่มี
- [6] ญัฐ แก้วสกุล เรวัตร์, ซ่อมสุข และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. “อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304” รายงาน การประชุม การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6 จังหวัดสงขลา 8-9 พฤษภาคม 2551 หน้า 567-572. แหล่งทุน: ไม่มี
- [7] 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.
- [8] นรา บุรีพันธ์ และคณะ, การศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วเดินต่อสมบัติของรอยต่อ การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430, การประชุมวิชาการ ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551, 22-24 ตุลาคม, สงขลา, หน้า 718-723. แหล่งทุน: ไม่มี
- [9] จักรินทร์ , และศิริชัย ต่อสกุล, “ศึกษาอิทธิพลของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน,” การประชุมช่างงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2552, 21-22 ตุลาคม 2552, ขอนแก่น ประเทศไทย, 2552. หน้า 1039-1043.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] บรรเจิด “อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนแบบหัวโค้งของการเชื่อมอลูมิเนียมเจือ AA6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกล” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551, 22-24 ตุลาคม, สงขลา, หน้า 718-723. แหล่งทุน: ไม่มี
- [11] พงษ์พันธ์ และคณะ [11] ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการทดสอบ แรงดึงต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมเกรด 6063 ในการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2555. เพชรบุรี. ประเทศไทย 17 - 19 ตุลาคม 2555. หน้า 1163 - 1167.
- [12] กฤษณะ และกิตติพงษ์ [12] ได้ศึกษา อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วเดินในแนวเชื่อมการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกลยของอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 และ 5052 วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552.
- [13] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, “การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน: การแก้ปัญหาการต่อวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย,” การประชุมช่างงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2551, 20-22 ตุลาคม 2551, ประเทศไทย, 2551. หน้า 712-717.





ภาคผนวก ก
สมบัติทางกลของวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. ผลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทดลอง

1.1 ผลการทดสอบค่าต้านทานแรงดึงวัสดุที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ ก.1 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุที่ใช้ทดลอง

วัสดุ	ค่าความต้านทานแรงดึง	% Elongation	ค่าแข็ง
อลูมิเนียมผสม AA 6063	97 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร	4.21 %	49.5 HV
อลูมิเนียมผสม AA 7075	236 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร	2.84 %	85.0 HV

1.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวγων 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที โดยทำการดึงด้านหน้า ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.2 และดึงด้านข้างได้ผลทดลองดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที

ชิ้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	173.21	172.34	166.57	160.48	164.90
2	174.67	169.56	169.44	164.79	163.03
3	175.55	170.78	164.77	163.89	160.07
เฉลี่ย	174	170	166	162	162

ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที

ชิ้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	61.44	82.16	82.31	67.87	65.31
2	65.54	81.18	61.40	85.47	52.48
3	61.54	83.14	67.44	67.44	76.02
เฉลี่ย	63	82	70	74	65

1.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกววน 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที โดยทำการดึงด้านหน้า ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.4 และดึงด้านข้างได้ผลทดลองดังตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.4 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	134.48	138.78	139.35	133.67	159.60
2	124.40	143.65	141.06	139.24	160.92
3	128.13	139.28	141.06	133.96	160.70
เฉลี่ย	129	141	140	136	160

ตารางที่ ก.5 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	63.90	64.34	78.60	73.95	83.69
2	67.30	66.30	77.00	70.90	84.60
3	65.26	62.38	69.95	76.97	85.71
เฉลี่ย	65	64	75	74	84

1.4 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที โดยทำการดึงด้านหน้า ได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.6 และดึงด้านข้างได้ผลทดลองดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.6 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	172.30	172.75	167.74	164.58	181.11
2	170.05	171.6	164.84	167.98	181.14
3	163.42	170.32	163.78	165.51	181.17
เฉลี่ย	169	172	165	166	181

ตารางที่ ก.7 ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²	นิวตัน/ มม. ²
1	68.34	64.78	66.37	66.70	74.56
2	67.66	65.45	65.35	64.78	75.32
3	65.21	63.23	67.79	64.44	76.77
เฉลี่ย	67	64	67	65	76

2. ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยึดตัว

2.1 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที เปอร์เซ็นต์การยึดตัว โดยทำการดึงด้านหน้าได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.8 และดึงด้านข้างได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	7.42	8.58	7.05	7.05	6.45
2	7.56	8.28	6.97	6.69	6.96
3	7.69	7.79	7.01	6.55	6.78
เฉลี่ย	7.56	8.22	7.01	6.76	6.73

ตารางที่ ก.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	7.42	6.90	7.05	7.05	7.5
2	7.56	6.80	7.30	7.40	7.6
3	7.69	6.60	7.20	6.55	7.7
เฉลี่ย	7.56	6.77	7.18	7.00	7.60

2.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวทวน 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที เพอร์เซ็นต์การยึดตัว โดยทำการดึงด้านหน้าได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.10 และดึงด้านข้างได้ผลทดลองดังตารางที่ ก.11

ตารางที่ ก.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	6.44	7.34	7.69	6.56	8.11
2	7.02	7.69	7.34	7.01	8.77
3	6.96	7.20	7.20	6.96	8.50
เฉลี่ย	6.81	7.41	7.41	6.84	8.46

ตารางที่ ก.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	7.42	8.58	7.05	7.05	6.45
2	7.58	8.28	6.97	6.69	6.96
3	7.69	7.79	7.01	6.55	6.78
เฉลี่ย	7.59	8.22	7.01	6.76	6.73

2.3 การเชื่อมต่อที่ทำการเอียงตัวกววน 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที เปอร์เซ็นต์การยึดตัว โดยทำการติดตั้งหน้าได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.12 และติดตั้งข้างได้ผลทดลองดังตารางที่ ก.13

ตารางที่ ก.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	8.48	9.56	8.54	9.48	10.45
2	9.02	9.28	8.69	9.29	9.76
3	8.39	9.78	8.44	6.18	8.51
เฉลี่ย	8.63	9.54	8.56	8.32	9.57

ตารางที่ ก.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของรอยเชื่อมด้านข้างที่มุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที

ชั้นงาน	มุม 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที				
	ความเร็วเดินเชื่อม (มม./นาที)				
	25	50	75	100	125
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
1	7.42	8.58	7.05	7.05	6.45
2	7.56	8.28	6.97	6.69	6.96
3	7.60	7.77	7.01	6.55	6.78
เฉลี่ย	7.50	8.20	7.01	6.76	6.73

3. ผลการทดสอบความแข็งแรงแนวจีเอ็ม

3.1 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที ค่าความแข็งแรงแนวจีเอ็มได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.14

ตารางที่ ก.14 ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มีมุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที

ความเร็ว เดินเชื่อม (มม./ นาที)	ค่าความแข็งแรง (HV)																								
	อลูมิเนียมผสม AA 6063												อลูมิเนียมผสม AA 7075												
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12
25	31.2	32.6	30.2	32.1	30.5	32.2	33	34.6	35.1	34.7	63.1	94.2	93.1	93.1	89.2	93.5	90.6	97.7	92.4	90.3	85.9	85.9	88.2	86.5	77.7
50	42.5	47.5	42.4	40.8	40.8	34.9	33.3	33.1	33.1	49.1	93.1	95.8	95.4	98.5	101.4	104.8	106.6	98.1	93.9	83.9	88.5	82.7	82.7	83.5	82.9
75	42.4	41	37.6	36.4	34.1	38.3	36	38	37.9	36.2	32.9	101.4	100.1	100.5	100.1	101.8	97.3	96.1	91.7	87.9	86.5	80.0	79.7	74.5	70.7
100	38.0	38.9	35.7	34.8	38	35.7	37.2	37.7	39.5	39.4	96.5	99.3	100.9	102.6	107	105.2	100.1	101.4	100.9	100.9	90.3	89.6	85.2	82.7	80.6
125	41.6	39.5	40.8	35.6	36.5	33.1	36	37	37.7	38.9	39	60.7	92.0	103.5	103.9	100.9	101.4	95.5	107.5	93.9	91	93.1	81.2	79.4	80.4

3.2 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ค่าความแข็งแรงแนวจีเอ็มได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.15

ตารางที่ ก.15 ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มีมุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที

ความเร็ว เดินเชื่อม (มม./ นาที)	ค่าความแข็งแรง (HV)																								
	อลูมิเนียมผสม AA 6063												อลูมิเนียมผสม AA 7075												
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12
25	31.3	30.3	31.9	36.8	37.4	46.8	47.8	40.8	39.5	40.8	39.5	90.9	101	90	100	98.9	102.3	91.7	93.9	99.3	93.9	95	101.2	100.9	98.5
50	30.9	30.6	31.2	36.9	39	39.6	47.4	41.3	39	41.4	55.8	91	100	93	99.9	89.9	101.4	103.5	106.6	95.8	101.8	101.8	100.9	100.1	99.8
75	30.1	31.1	32.2	35.9	37.5	38.5	46.4	40.1	37.2	50.1	56.7	90.6	102.6	95	90.6	92.8	95.3	94.6	92	96.9	94.9	94	100.9	103.2	98.9
100	34	30.6	35	37.1	41.9	43.3	45.9	44.5	41.7	38.6	39.7	92	100.5	95	107	101.4	96.5	103.9	101.8	109.7	96.5	95	100	99.8	100
125	36.3	37.1	36.8	32.5	31.5	35.7	44.9	39.9	38	38	52.1	91.3	101.3	94.2	90.6	98.1	95.4	109.8	100.1	92	93.1	93.1	101.5	99.9	99.6

3.3 การเชื่อมที่ทำการเอียงตัวกวน 0 องศา ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ค่าความแข็งแนวเชื่อมได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.16

ตารางที่ ก.16 ค่าความแข็งของรอยเชื่อมด้านหน้าที่มีมุม 0 องศา ความเร็วรอบที่ 750 รอบ/นาที

ความเร็ว เดินเชื่อม (มม./ นาที)	ค่าความแข็ง (HV)																								
	อลูมิเนียมผสม AA 6063												อลูมิเนียมผสม AA 7075												
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12
25	33.7	34.2	32.4	31.2	30.1	33.1	33.2	31.6	30	33.3	40.8	55.3	60.3	59.3	59	61	60.9	65	82.4	86.5	87.5	81.2	81.8	75.5	76.9
50	31.5	30.7	31	32.9	35.8	36.8	42	46	48.3	54.1	62.5	62.5	63.7	61.5	60.1	55.6	50.1	85.1	93.1	86.5	93.1	86.8	83.6	81.5	74.7
75	30.4	32.2	34.6	35.6	36.8	39.5	54.3	45.6	46.8	45.3	45.3	50.1	61.9	62.3	62.9	68.8	92.4	91.7	95	96.1	93.5	98.9	98.9	81.2	80.6
100	33.5	33.2	31.4	33.7	35.8	37.2	36.9	49.8	54.8	53.3	49.4	67.4	70.1	63.5	54.1	52.8	78.8	96.4	92.4	90.6	95.6	97.3	92	88.9	88.5
125	36.5	34	33.5	36.8	34.8	33.5	35.2	36.6	53.6	65.4	51.7	62.1	60.1	55	50	53.4	96.5	96.5	92	95	93.1	85.5	83.9	82.7	83.5





ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


RMUTL
RCCON 2015

The 1st Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai Conference 2015

การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ครั้งที่ 1 ประจำปี 2558
“สกววิทยการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”



23-24
March 2015

RCCON
2015

วันที่ 23-24 มีนาคม 2558 ณ โรงแรมเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



สารบัญ

	หน้า
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการละลายน้ำแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอทมมิก	134
ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการทำธุรกรรมออนไลน์ผ่านสมาร์ตโฟนของลูกค้าธนาคารพาณิชย์ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยเทคนิคการวัดพฤติกรรมเชิงเส้นแบบหลายกลุ่ม	135
การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมเทลเลอร์เบิ้ลิ่งระหว่างอลูมิเนียม AA 6063 และอลูมิเนียม AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน	136
รูปแบบโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของความสำเร็จในการใช้เทคโนโลยีเพื่อบริหารงานในธุรกิจโรงแรม	137
ออกซิเจนเสริมเปลวไฟเพื่อประหยัดพลังงาน	138
การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อเกิดการลัดวงจรในขดลวด	139
การออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	140
ชุดปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบยูนิโพลาร์ร่วมกับ STM32F4DISCOVERY ที่โปรแกรม MATLAB/SIMULINK	141
การพัฒนาหลักสูตรการจัดการเชิงรุกสำหรับฝึกอบรมนักวิศวกรรมรุ่นใหม่ เพื่อก้าวเข้าสู่ภาคแรงงานในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน	142
การวัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าสามเฟสด้วยโปรแกรมแลบวิว	144
การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีการภูมิคุ้มกันประดิษฐ์	145
การศึกษาเปรียบเทียบวิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีผสมผสานวิธีกลุ่มอนุภาค ด้วยวิธีการสำรวจตัวแปรข้างเคียงสำหรับปัญหาการกลิ้งผิวชิ้นงาน	146
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบและทอดข้าวแตนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	147
อนาคตมหาวิทยาลัยในศตวรรษที่ 21 : วัฒนธรรมวิจัยเพื่อความเป็นเลิศ	148
การตรวจสอบและควบคุม โดยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์อาดูอินร่วมกับโอเพนซอร์สสกาด้า	149
การพัฒนาเครื่องกำเนิดไอโซน ด้วยพลังงานโคโรนาแบบพัลส์ความถี่สูง สำหรับกำจัดแบคทีเรีย	150
ความแข็งแรงและตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อเกลียวการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สกลุ่มระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	151
พฤติกรรมกรดกัดแยกขยะมูลฝอยของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	152

RC230: การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมเทลเลอร์แบลิ่งระหว่างอลูมิเนียม AA 6063
และอลูมิเนียม AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

A Parameter Study of the Affect on Tailor Blank Welding of AA 6063 Aluminum
and Aluminum Alloy AA 7075 by Friction stir Welding

ปิยะวรรณ สุนาสวน ทวี หมดสี และจิรายุศรีเครือ

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
385 ม.8 ต.บ้านม่วงอ.บ้านโป่ง.ราชบุรี 70110 โทรศัพท์ 0-3261-8500 ต่อ 4047 Fax 0-3261-8570
E-mail: tavee_rmut_r@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมเทลเลอร์แบลิ่งระหว่างอลูมิเนียมผสมเกรด AA 6063 และอลูมิเนียมผสมเกรด AA 7075 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 25-125 มิลลิเมตร/นาทีที่ค่าความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาทีที่เครื่องมือทำมุมกับชิ้นงาน 4 องศา ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมถูกนำไปศึกษาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงในแนวตั้งฉากกับแนวเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ผลการทดลองโดยสรุปมีดังต่อไปนี้ ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องในทุกค่าความเร็วเดินแนวเชื่อม การเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมส่งผลต่อการลดลงของความแข็งแรงดึง และการเพิ่มขึ้นของขนาดเม็ดเกรนในแนวเชื่อม ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 108 MPa เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตร/นาทีที่ค่าความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาทีที่เครื่องมือทำมุมกับชิ้นงาน 4 องศาและให้การยึดตัว 7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่าขนาดเม็ดเกรนของโลหะเชื่อมใกล้ผิวหน้าเชื่อมมีขนาดเม็ดเกรนที่ละเอียดกว่าบริเวณอื่นเนื่องจากการกวนที่รุนแรงของบ่าเครื่องมือขณะทำการเชื่อม

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, เทลเลอร์แบลิ่ง, รอยต่อวัสดุต่างชนิด, ความแข็งแรงดึง

Abstract

This research work aimed to a parameter study of the effect on tailor blank welding of AA 6063 aluminum and aluminum alloy AA 7075 by Friction stir welding. The welding parameters were consisted of welding speed of 25-125 mm/min, the rotating speed of 500 rpm, and the welding tool tilt angle of 4 degrees. After welding, the joint was investigated for the tensile strength, macro and microstructure examination. Increase of the welding speed affected to decrease the tensile strength and increase of the grain size in the weld metal. The optimum welding parameter that indicated the tensile strength of 108 MPa and the elongation of 7% was the welding speed of 50 mm/min, the rotating speed of 500 rpm and the welding tool tilt angle of 4 degrees. Furthermore, it was found that the grain size of the weld at the location under the welding bead was finer than the other location of the weld metal. This grain refining was because the stirring of the welding tool shoulder during welding.

Keywords: Friction stir welding, Tailor blank, Dissimilar materials joint, Tensile strength



ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ) นางสาวปิยะวรรณ สุนาสวน
Miss Piyawan Sunasuan
- เลขหมายบัตรประชาชน 3770200383815
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม
- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม
ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047
โทรศัพท์มือถือ 081-7522015 โทรสาร 032-618570
Email :Piyawas.Sun@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2542	ป.ตรี	สาขาวิศวกรรม อุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์	ไทย
2550	ป.โท	สาขาการจัดการ วิศวกรรม	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์	ไทย

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Quality Assurance and Quality Control
 - Performance evaluation by applying Analytic Hierarchy Process
- ประสบการณ์งานวิจัยที่ทำเสร็จ
ไม่มี

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ) นายทวี หมดส๊ะ
Mr. Tavee Madsa
- เลขหมายบัตรประชาชน 3930600467089
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม
- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถนนเพชรเกษม ตำบล
หนองแก อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047
โทรศัพท์มือถือ 086-6095703 โทรสาร 032-618570
Email:tavee_rmut_r@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2545	ปวส.	ช่างกลโรงงาน – เครื่องจักรกลอัตโนมัติ	สถาบันเทคโนโลยี ราชมงคล วิทยา เขตวังไกลกังวล	ไทย
2547	ป.ตรี	การจัดการ อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยี ราชมงคล วิทยา เขตวังไกลกังวล	ไทย
2557	ป.โท	วิศวกรรมการผลิต	มทร.ธัญบุรี	ไทย

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Manufacturing
 - CAD/CAM
- ประสบการณ์งานวิจัยที่ทำเสร็จ
ไม่มี