รายงานการวิจัย

อิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่ออะลูมิเนียม Al-Zn ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

The Influence of Parameters that Affect to Aluminum Al-Zn with Friction Stir Spot Welding

ศุภชัย ชัยณรงค์
ชัยยุทธ มีงาม

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. ๒๕๕๘

ชื่องานวิจัย อิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่ออะลูมิเนียม Al-Zn ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

ผู้วิจัย นายศุภชัย ชัยณรงค์
นายชัยยุทธ มีงาม
คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปี 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบจุด ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบที่ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที ตามลำดับ โดยผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางกายภาพผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมในทุกสภาวะเกิดการประสานกันดีในรอยเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมสามารถยึดติดกันได้ดี ดังนั้นกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุดนั้นสามารถเพิ่มค่าความแข็ง และความแข็งแรงดึงเฉือนหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดได้ สำหรับค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีเสียดทานแบบจุดอยู่ที่บริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 115.18 HV ซึ่งมีค่าความแข็งสูงกว่าเนื้อโลหะเดิม คิดเป็น 27.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าความแข็งเนื้อโลหะเดิม มีค่าเฉลี่ยที่ 90.2 HV ส่วนค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด มีความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดอยู่ที่ 199.3 MPa ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 120 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร และความแข็งแรงดึงเฉือนต่ำสุดที่ 98.7 MPa ได้จากตัวแปรที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 90 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุดนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมที่ผ่านการหล่อกึ่งของแข็งได้ และเมื่อวิเคราะห์เชิงสถิติ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 93.50 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมได้ และส่วนที่เหลือประมาณ 6.50 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้

Research Title	The influence of parameters that affect to aluminum Al-Zn with friction stir spot welding
Researcher	Mr. Suppachai Chainarong Mr. Chaiyoot Meengam
Faculty	Industrial
Year	2015

Abstract

This research aims to study the influence of parameters that affect the mechanical properties of semi-solid metal 7075 aluminum alloy with friction stir spot welding process, for parameters in experiments such as rotation speed at 380, 760, 1240 and 2500 rpm and holding time at 60, 90 and 120 seconds respectively. The study found that physical of characteristics in the surface of welds in all condition with a good, specimens welded can adhere well. We found friction stir spot welding process showed that it can increase the hardness and shear strength. The hardness value of mercury friction stir spot welding with an average maximum at 115.18 HV hardness values which is higher than the base metal meat accounted for 27.7 percent compared to the previous metal content (the base metal hardness values on average approximately 90.2 HV). The shear strength has the highest average approximately 199.3 MPa from rotation speed at 1240 rpm, holding time 120 seconds and plug of deep 2 minutes. On the other hand, minimum shear strength has the average 98.7 MPa from rotation speed at 1240 rpm, holding time 90 seconds and plug of deep 2 minutes, from the study can conclude that pierce the friction stir spot welding processes that can improve the mechanical properties. The coefficient of determination R-square is equal to 93.50 percent. It means that the variations of the experiments are controllable, such as equipment or other factors in the experiment. For the remaining, only 6.50 percent was uncontrollable factors.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความร่วมมือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ มากมายที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้และความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือบางชนิดในการทำวิจัย ตลอดจนนักศึกษาและคณาจารย์ทุกท่านในโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการให้ความร่วมมือ ช่วยเหลือ สนับสนุนงานวิจัยนี้ให้มีความสำเร็จและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนวิจัย ตามสัญญาเลขที่ 3/2558 ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยในการวิจัย ภายใต้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินทุนงบประมาณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และทำให้เกิดความสำเร็จและสมบูรณ์ของงานวิจัย

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือพื้นฐานในการเตรียมชิ้นงานทดลอง และผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ตลอดจนศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาขั้นสูง ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา จนสามารถดำเนินงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์

การวิจัยครั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ทำงานวิจัยต้องขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ และขอน้อมรับเพื่อนำไปปรับปรุง พัฒนาในครั้งต่อไป คณะผู้ทำงานวิจัยต้องขอขอบพระคุณทุกท่าน ทุกฝ่ายที่มีส่วนในการสนับสนุนสำหรับการทำวิจัยด้วยใจจริง ขอขอบคุณ

ศุภชัย ชัยณรงค์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎี สมมุติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย	3
การทบทวนวรรณกรรม	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	9
การดำเนินงานวิจัย	9
วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	10
เครื่องมือและอุปกรณ์	10
การเตรียมชิ้นงานทดสอบจากอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075	13
การกำหนดตัวแปรและการออกแบบการทดลอง	14
กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด	16
การทดสอบสมบัติทางกล	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	21
ลักษณะทางกายภาพของผิวรอยเชื่อม	21
ลักษณะโครงสร้างจุลภาค	26
ผลการทดสอบความแข็ง	39
การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน	43
การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งแรงดึงด้วยวิธีการทางสถิติ	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	50

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึง	52
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความแข็ง	54
ประวัติผู้เขียน	57

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง SSM 7075 10
3.2 แสดงการออกแบบแผนการทดลองเชื่อมชิ้นงานแบบสุ่ม 15
4.1 ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วรอบ และเวลาในการกดแช่ 41
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึงเฉือนของชิ้นงานเชื่อม 53
ภาคผนวก ข ค่าความแข็งหลังจากกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด Hardness Test 55

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ฝากระโปรงรถยนต์ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบจุด 1
2.1 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียม เกรด SSM7075 3
2.2 ขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานแบบจุด 4
2.3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370 5
2.4 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส 5
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 9
3.2 แสดงอะลูมิเนียมที่ได้จากการขึ้นรูป 10
3.3 แสดงเครื่องเจาะแนวตั้ง รุ่น VERTEX 11
3.4 แสดงเครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน ยี่ห้อ HERO รุ่น HR-14 11
3.5 แสดงเครื่องทดสอบความแข็ง 11
3.6 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึง 12
3.7 แสดงเครื่องมือจับยึดและอุปกรณ์รองชิ้นงาน 12
3.8 แสดงเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool 13
3.9 แสดงการตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากอะลูมิเนียมแผ่นสี่เหลี่ยม 13
3.10 แสดงการปรับผิวชิ้นทดสอบอะลูมิเนียมที่ได้จากการตัด 14
3.11 แสดงรูปชิ้นงานที่พร้อมจะทำการทดลอง 14
3.12 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานแบบจุด 17
3.13 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็ง 19
3.14 แสดงชิ้นงานที่นำไปทดสอบความแข็ง 19
3.15 แสดงการทดสอบความแข็ง 19
3.16 แสดงตำแหน่งกดและลักษณะรอยกดค่าความแข็ง 20
3.20 แสดงการทดสอบแรงดึงเฉือน 20
4.1 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที 22
4.2 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที 23
4.3 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที 25
4.4 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที 26
4.5 แสดงบริเวณของชิ้นงานเชื่อมที่ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค 27
4.6 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที 28
4.7 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที 29
4.8 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที 30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

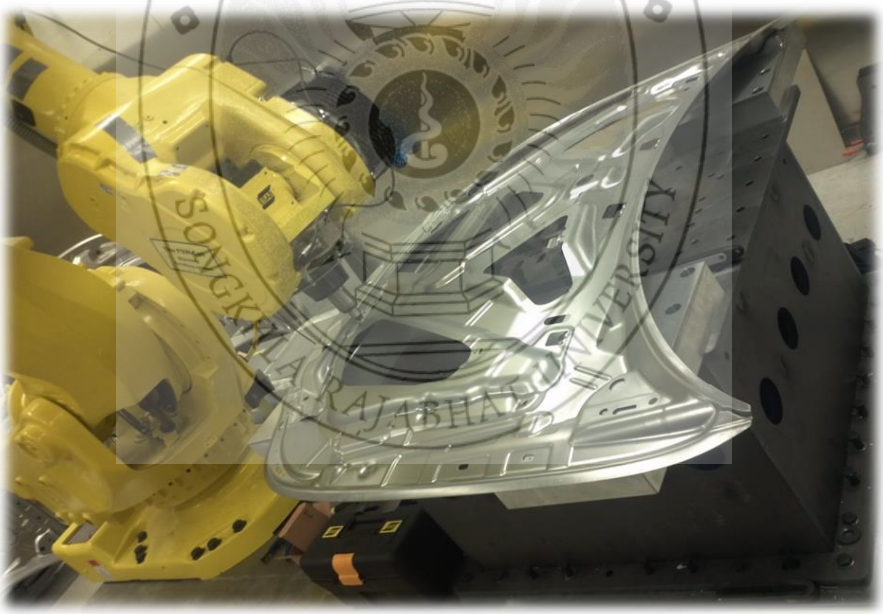
4.9 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที 31
4.10 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที 32
4.11 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที 33
4.12 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที 34
4.13 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที 35
4.14 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที 36
4.15 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที 37
4.16 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที 38
4.17 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที 39
4.18 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที 40
4.19 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที 41
4.20 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที 42
4.21 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที 43
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงที่ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที 44
4.23 การวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง 45
4.24 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน 46
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบ และเวลาการกดแช่ 48
4.26 อันตรกิริยาระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบ และเวลาการกดแช่ 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันวิธีการเชื่อมมีมากมายหลายวิธีด้วยกัน ทั้งการเชื่อมในสถานะของแข็ง การเชื่อมในสถานะของเหลว แม้กระทั้งการเชื่อมในสถานะกึ่งของแข็งกำลังถูกพัฒนา กรรมวิธีการเชื่อมเหล่านี้ถูกพัฒนาไปเรื่อยๆ เพื่อเหมาะสมกับการเชื่อมวัสดุชนิดต่างๆ หรือขึ้นอยู่กับอุตสาหกรรมนั้น การเชื่อมในหลายๆ วิธีให้ลักษณะของสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน และขั้นตอนการเชื่อมที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเลือกวิธีการเชื่อม การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับวัสดุจึงมีความจำเป็น ซึ่งเลือกกรรมวิธีการเชื่อมสำหรับอะลูมิเนียมเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก โดยเฉพาะอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่มีการใช้งานที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมรถยนต์ อะลูมิเนียมเหล่านี้เป็นวัสดุเบา (Light Materials) การเชื่อมที่ไม่เหมาะสมหรือผิดวิธีจะนำไปสู่การเกิดความเสียหายบริเวณรอยต่อ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม โดยกรรมวิธีการเชื่อมที่น่าสนใจในขณะนี้เป็นกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction Stir Spot Welding) ที่พัฒนามาจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยชิ้นส่วนฝากระโปรงรถยนต์ เป็นอีกชิ้นส่วนหนึ่งที่มีการนำกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุดมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ฝากระโปรงรถยนต์ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

การเชื่อมเสียดทานแบบจุดเป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) เช่น อะลูมิเนียมผสม การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุดนี้ได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสมบัติที่ได้หลังจากการเชื่อมที่ดี ไม่มีการเติมลวดเชื่อมและสามารถเชื่อมได้ทั้งในกลุ่มวัสดุชนิดเดียวกันและวัสดุต่างกลุ่มกัน

กระบวนการเชื่อมนี้จึงได้รับความสนใจในการทำวิจัยเพื่อศึกษาเทคนิคในการเชื่อม ตัวแปรและสมบัติต่างๆ ของแนวเชื่อม

จากคำที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำไปสู่การวิจัยการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมผสมสังกะสี เกรด SSM7075 โดยมีการออกแบบการทดลอง มีการทดลองหาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมและหลังจากการเชื่อมจะนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึง ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการเชื่อม โดยมีการวิเคราะห์ผลจากการการทดลอง และหาค่าความเชื่อมั่นที่ได้จากการทดลองด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม สังกะสี เกรด SSM7075 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่ผ่านการหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM7075 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบ ตัวแปรเบื้องต้นในการทดลอง คือ ความเร็วหมุนเชื่อม (Spindle Welding) เวลาในการกดแช่ (Dwell Time) และแรงกด (Pressure) โดยมีการทดลองเพื่อหาตัวแปรเบื้องต้นในการทดลอง และนำตัวแปรนั้นไปกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมต่อไป จากนั้นจะศึกษาโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างมหภาค ที่ส่งผลกระทบอันเนื่องมาจากความร้อนหลังจากการเชื่อม ทั้งบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณอื่นๆ ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่ผ่านการหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน
- ทราบลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 หลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด
- ได้องค์ความรู้ใหม่สำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของกลุ่มอะลูมิเนียม ผสมสังกะสีที่ผ่านการหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 และประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้

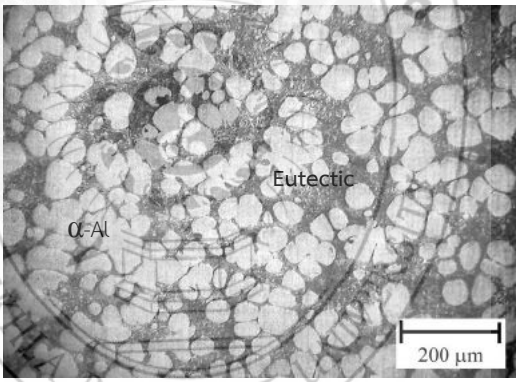
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

2.1. อะลูมิเนียมผสมสังกะสี เกรด SSM7075

อะลูมิเนียมเจือสังกะสี - แมกนีเซียม (7XXX) อะลูมิเนียมชนิดมีการเจือธาตุสังกะสีเป็นธาตุหลักและและแมงกานีสเป็นธาตุรองนอกจากนั้นยังมีทองแดงและโครเมียมอีกเล็กน้อยอะลูมิเนียมเจือกลุ่มนี้มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีมากและมีน้ำหนักเบา ความต้านทานการกัดกร่อนและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำเพราะจะเกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อม อะลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตและพัฒนาอะลูมิเนียมชนิดนี้โดยการผสมแมกนีเซียมลงไปและกำจัดทองแดงออกไปทำให้ความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมชนิดสูงขึ้น โดยจะไม่เกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อมเพราะบริเวณดังกล่าวได้เกิดการแข็งตัวจากตกตะกอนตามธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



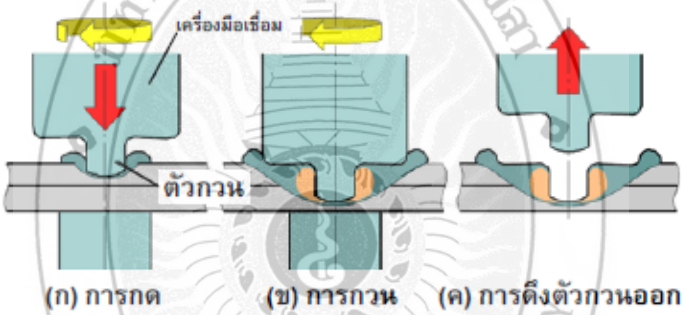
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียม เกรด SSM7075

2.1.2 การเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction Stir Spot Welding)

การเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction Stir Spot Welding: FSSW) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state welding) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยกลุ่มบริษัทมาสด้า (Mazda Motor Cooperation) และบริษัทอุตสาหกรรมหนักคาวาซากิ (Kawasaki Heavy Industry) เพื่อใช้ในการเชื่อมวัสดุแผ่นบางในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของประเทศญี่ปุ่น โดยมีจุดประสงค์หลักในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่น โดยนำเอาวิธีการเชื่อมนี้เข้าไปทดแทนการเชื่อมต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding: RSW) หลักการอย่างง่ายในการทำให้เกิดรอยต่อของโลหะแผ่นบางชิ้นงานที่เป็นลักษณะของรอยต่อเกยถูกวางยึดแน่นอยู่บนพื้นระนาบ จากนั้นเครื่องมือเชื่อมที่

เป็นรูปทรงกระบอกที่มีตัวกวนรูปทรงกระบอกขนาดเล็กติดอยู่ที่ส่วนปลาย ถูกทำให้หมุนด้วยความเร็วสูงที่กำหนดแล้วกดตัวกวนลงไปในรอยต่อด้วย ความเร็ว แรงกด และระยะความลึก ที่กำหนดจนกระทั่งบ่าของเครื่องมือจุ่มลงไปบนผิวโลหะด้านบนของรอยต่อ จากนั้นตัวกวนจะถูกกดแช่ที่ตำแหน่งนั้นตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วถอนตัวขึ้นจากรอยต่อ จะได้รอยต่อที่เกิดการประสานกันของโลหะสองแผ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2

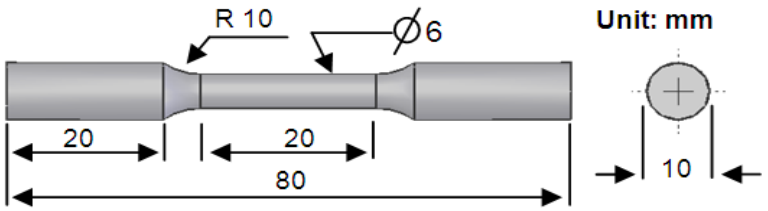
หลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดรอยต่อในสภาวะของแข็งที่โลหะบริเวณรอยต่อไม่ก่อให้เกิดการหลอมละลายของโลหะ จึงมีเหตุผลเป็นไปได้ว่าการเชื่อมเสียดทานแบบจุดนี้สามารถใช้ในการเชื่อมวัสดุต่างชนิดที่ยากต่อ การเชื่อมแบบหลอมละลายอื่นๆ เช่น การเชื่อมอาร์คก๊าซปกคลุม หรือการเชื่อมมิก/แมกได้ เพราะการเชื่อมที่กระทำภายใต้จุดหลอมเหลวของวัสดุมักไม่ก่อให้เกิดสารประกอบกึ่งโลหะ หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อลดลงได้ ดังเช่นการประยุกต์ใช้การเชื่อมเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมอลูมิเนียม และเหล็กที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

2.1.3 การทดสอบความแข็งแรงดึง

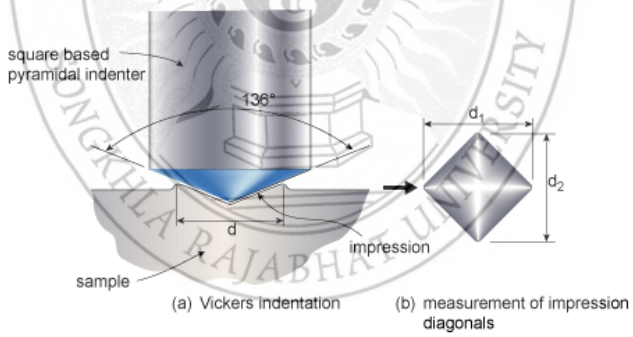
การทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงของกรรมวิธีโดยการแพร่ จะทดสอบแรงดึงของรอยยึดติดจากการต่อ ใช้ชิ้นทดสอบแบบลดขนาดตามมาตรฐานงานกลม นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแรงดึง ตามยาวกับแนวเชื่อม นำไปทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้องความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} มิลลิเมตร/วินาที โดยใช้มาตรฐาน ASTM (A370) เพื่อดูค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหลังจากการเสียรูป โดยการเตรียมชิ้นงานจะแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370

2.1.4 การทดสอบความแข็ง

เป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำลงบนชิ้นทดสอบ การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือ บริเนลล์ ร็อกเวลล์ และวิกเกอร์ส สำหรับในงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการทดสอบแบบวิกเกอร์ส เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส จะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวกวนโดยในการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ดังรูปที่ 2.4 โดยเวลาที่ใช้ในการกด 10 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ ประมาณค่าความแข็งประมาณ 1,500 kgf/mm^2 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนเฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีค่าระหว่าง 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ



รูปที่ 2.4 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส

การวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส บริเวณภาคตัดตามยาวรอยกวนเพื่อหาว่าในแต่ละบริเวณของชิ้นทดสอบกวนมีค่าความแข็งภายในเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด จากการคำนวณโดยใช้สมการ

$$Hv = \frac{1.854P}{d^2}$$

เมื่อ

Hv คือ ค่าความแข็งแบบ Vickers (kgf /mm^2)

P คือ แรงกด (kgf)

d คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d1 และ d_2 เฉลี่ย (mm)

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

ขวัญชัย โพธิ์ขวัญ, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ (2555) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงเฉือน ของรอยต่อเกยของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA1100 และ AA6063 การเชื่อมใช้ความเร็วรอบของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 1000, 1250, 1600 และ 2000 รอบต่อนาที (rpm) ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ใช้เท่ากับ 80, 100, 120, และ160 มม.ต่อนาที (mm/min) มุมเอียงของตัวกวนที่ 2° พบว่าค่าความแข็งแรงเฉือนที่มีค่าสูงสามารถท่าได้เมื่อใช้ความเร็วรอบสูงและความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ โลหะเชื่อมที่ได้จากการใช้ความเร็วรอบสูงและความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ แสดงการรวมเข้ากันอย่างสมบูรณ์ของโลหะทั้งสองชนิดและแสดงขนาดเม็ดเกรนที่มีความละเอียดกว่าสภาวะการเชื่อมอื่นๆ สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดประมาณ 120 MPa และค่าความแข็งประมาณ 40HV จากขอบเขตตัวแปรที่กำหนด คือ ความเร็วรอบ 1250 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min

เจนณรงค์ นาคเทวัญ (2555) ได้ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งเกรด 7075 ที่ความเร็วเชื่อม 70 , 90 และ110 mm/min ภายใต้ความเร็วรอบ 1110 และ 1320 rpm ปรากฏว่าชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1320 rpm เกิดเป็นโพรงตรงส่วนล่างของบริเวณที่ถูกกวน ส่วนชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1110 rpm มีความสมบูรณ์ดี หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1110 rpm มาทดลอง 4 สภาวะทางความร้อน คือ สภาวะหลังเชื่อม สภาวะบ่มเทียมหลังเชื่อม สภาวะอบละลายหลังเชื่อม และT6 หลังเชื่อม ผิวของแนวเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 mm/min ของสภาวะอบละลายหลังเชื่อมและ T6 หลังเชื่อม มีลักษณะพุพองใต้ผิว เนื่องจากการขยายตัวของอากาศภายในแนวเชื่อม ส่วนผิวของแนวเชื่อมที่สภาวะอื่นๆมีความสมบูรณ์ดี โครงสร้างมหภาคและจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมมีลักษณะทั่วไปคล้ายกันทุกสภาวะการทดลองเช่นกัน แต่มีสภาวะอบละลายหลังเชื่อมและT6 หลังเชื่อมของชิ้นงานที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 mm/min เกิดการแตกร้าวตรงบริเวณที่ถูกกวน เนื่องจากการชุบเย็นหลังจากอบละลาย นอกจากนั้นโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ถูกกวนเกรนมีการขยายตัวใหญ่ขึ้นมาก เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ความเร็วเชื่อม 70 mm/min ซึ่งเกรนมีการขยายตัวเพียงเล็กน้อย รวมไปถึงความแข็งที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 mm/min มีค่าสูงกว่าความเร็วเชื่อม 70 mm/min ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวในแนวเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 mm/min การตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดร่วมกับเทคนิคเอ็กซ์เรย์ (EDX) ในบริเวณที่ถูกกวนมีการแตกหักของเฟส Al , Cu_2Fe , Mg_2Si , Al_2CuMg และ $Al_2Mg_3Zn_3$ กระจายอยู่ทั่วแนวเชื่อม ชิ้นงานมีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 197.3 HV จากการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1110 rpm ที่ความเร็วเชื่อม 110 mm/min หลังจากการทำ T6 หลังเชื่อม สำหรับค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ความเร็วเชื่อม 70 mm/min และทำ T6 หลังเชื่อม ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 459.23 MPa ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพของแนวเชื่อมที่ 101.53 % ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองสภาวะอื่นๆ

โชติวัน สูน่าหู และนพดล สุคนธรัตน์ (2557) ได้ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบจุดอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 356 โดยทำการศึกษาที่ความเร็วรอบ 380 1240 และ 2500 รอบ/นาที มีระยะกดลึก 1 และ 1.5 มิลลิเมตร และมีระยะเวลาในการกดแช่ 30 และ 60 วินาที ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกดแช่มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความเร็วรอบและระยะกดลึกมีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งเฉลี่ยลดลง เพราะฉะนั้นค่าความแข็งหลังจากการเชื่อมมีผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นขณะ

เชื่อม โดยมีความเร็วรอบ ระยะกดลึกและเวลาในการกดแช่เป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดความร้อนในการทดลอง และพบว่าค่าความแข็งแรงดึงที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที ระยะกดลึก 1.5 มิลลิเมตร และเวลาในการกดแช่ 60 วินาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 233.48 MPa

ธงชัย เครือผือ ได้เชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง A356 ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน กระทำการเชื่อมโดยการใช้ตัวกวนทรงกระบอก และแบบทรงสี่เหลี่ยม ตัวแปรความเร็วรอบคงที่คือ 1750 รอบต่อนาที และทำการแปรเปลี่ยนอัตราเร็วเดินเชื่อม และทำมุมเอียงตัวกวน 3 องศา พบว่าบริเวณเชื่อมมีโครงสร้างที่ละเอียด และที่อัตราเร็วเริ่มเดิน 160 มิลลิเมตรต่อนาที ของทรงกระบอก บริเวณแนวเชื่อมเกิดจุดบกพร่องทางด้านล่างของแนวเชื่อมตลอดความยาวเดินเชื่อม ค่าความแข็งของการใช้ตัวกวนทั้งสองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

วิชัย พุ่มจันทร์ (2553) ศึกษาการเชื่อมอะลูมิเนียม AA 6063 และอะลูมิเนียม AA7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน พบว่าความเร็วรอบเครื่องมือ การเอียงเครื่องมือและอัตราความเร็วดินเชื่อมสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหน้าเชื่อม

ศุภชัย ชัยณรงค์ (2554) การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวน ซึ่งพบว่าโครงสร้างทางจุลภาคอยู่ในสถานะของแข็งโดยการใช้ความร้อนจากการเสียดทานและการกวน ตัวแปรของกรรมวิธีเสียดทานแบบกวนที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อกึ่งของแข็งเกรด 356 ภายใต้ตัวแปรความเร็วเดินและความเร็วรอบ สรุปได้ว่ากรรมวิธีเสียดทานแบบกวนสามารถเพิ่มค่าความแข็งและแรงดึงได้

อับดุล บินระหีม (2552) ศึกษาอิทธิพลทางความร้อน T6 ก่อนและหลังการเชื่อมต่อสมบัติทางกลอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง A356 โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ซึ่งพบว่ามีผลกระทบต่อรอยเชื่อมน้อยมาก การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกระบวนการทางความร้อน T6 ในการประยุกต์ใช้งานของอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง A356 เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะงาน

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ (2540) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุดของรอยต่อเกยอะลูมิเนียมผสมเกรด 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังแสดงผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุด เช่น ความเร็วในการกดตัวกวนลงสู่รอยต่อความเร็วรอบของตัวกวน และระยะเวลากดแช่ตัวกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ผลการทดลองพบว่ารอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304สามารถเกิดขึ้นได้ดีด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุดและแสดงความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่อเกยประมาณ 95% ของความแข็งแรงของอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการทดลองการเพิ่มความเร็วในการกดความเร็วรอบของตัวกวนและการเพิ่มระยะเวลาในการกด ทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มความเร็วรอบคาดว่าทำให้ความร้อนเสียดทานเพิ่ม และส่งผลต่อการเกาะยึดระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็ก

อดิศร เปลี่ยนดิษฐ์ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ (2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะลึกและรูปทรงบ่าเครื่องมือเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมผสม AA1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยมีผลการทดลองสรุปดังนี้ รอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมผสม AA1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 สามารถเชื่อมติดกันและมีความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 179 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความแข็งแรงของรอยต่อเกยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะความลึกในการเชื่อมจากผิวอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น การเชื่อมที่ระยะขอบเขตระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมจะให้ความแข็งแรงของรอยต่อสูงสุด เครื่องมือเชื่อม T4 ที่มีรูปทรงบ่าเว้ารัศมี 2 มม. จะให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อสูงสุด

ประภาส เมืองจันทร์บุรี (2550) ได้วิจัยการเชื่อมต่อชนอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal SSM) A356 ด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทาน โดยการศึกษาปัจจัยในการเชื่อมที่สามารถควบคุมได้มี 2 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องมือ (Tool) มี 2 ระดับ 1320 และ 1750 rpm และความเร็วในการเดินเชื่อม (Welding Speed) มี 3 ระดับ 80 120 และ160 mm/min ความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมและความสมดุลของแรงกด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ให้ค่าความร้อนจากการเสียดทานแบบกวน เนื่องจากการกวนมีผลต่อเนื้อโลหะและสมบัติทางกลของรอยเชื่อม ผลจากการตรวจสอบด้วยเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและการทดสอบทางกลที่ความเร็วรอบ 1750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min ให้ความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมดีที่สุด ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 172.61 MPaและที่ความเร็วรอบ 1320 rpm ความเร็วในการเดินเชื่อมทุกระดับแรงกดและความร้อนจากการเสียดทานไม่เพียงพอทำให้เกิดช่องว่าง ค่าความแข็งที่ได้มีค่าต่ำ ส่วนค่าความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนและบริเวณที่ถูกกวน ทั้งทางด้าน Advancing Side และ Retreating Side มีค่าสูงกว่าเนื้อโลหะเดิมเล็กน้อยทุกปัจจัยและทุกระดับ

มูหามัด เต๊ะยอ (2554) ได้วิจัยเรื่องการเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 356 กับอะลูมิเนียมผสม AA6061-T651 โดยใช้เครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติโดยใช้ตัวกวนทรงกระบอก ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมี 2 ตัวแปร คือ ความเร็วหมุนเชื่อมของตัวกวน (1750 และ 2000 rpm) และความเร็วเดินเชื่อม (20 , 50 , 80 , 120 , 160 และ 200 mm/min) ซึ่งตัวแปรทั้งสองมีผลโดยตรงต่อลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกลของแนวเชื่อม จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วหมุนเชื่อมของตัวกวนส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ในลักษณะเดียวกันเมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมค่าความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้นถึงค่าๆ หนึ่ง หลังจากนั้นแล้วเมื่อยังเพิ่มค่าความเร็วเดินเชื่อมค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมจะยิ่งลดลง ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 2000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 80 mm/min ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 356 ในสภาพหลังการหล่อกับอะลูมิเนียม AA6061-T651 มีค่าเท่ากับ 197.1 MPaและของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 356 ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (T6) กับอะลูมิเนียมผสม AA6061-T651 มีค่าเท่ากับ 206.3 MPaความแข็งบริเวณตรงกลางแนวเชื่อมจะสูงกว่าบริเวณอื่นและจะลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล หลังจากนั้นความแข็งจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าความแข็งเดิมของเนื้อโลหะทั้งสองชนิด โครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นใหม่จะประกอบด้วยเนื้อวัสดุของอะลูมิเนียมผสมทั้งสองชนิดที่มีความละเอียดกว่าเนื้อเดิม

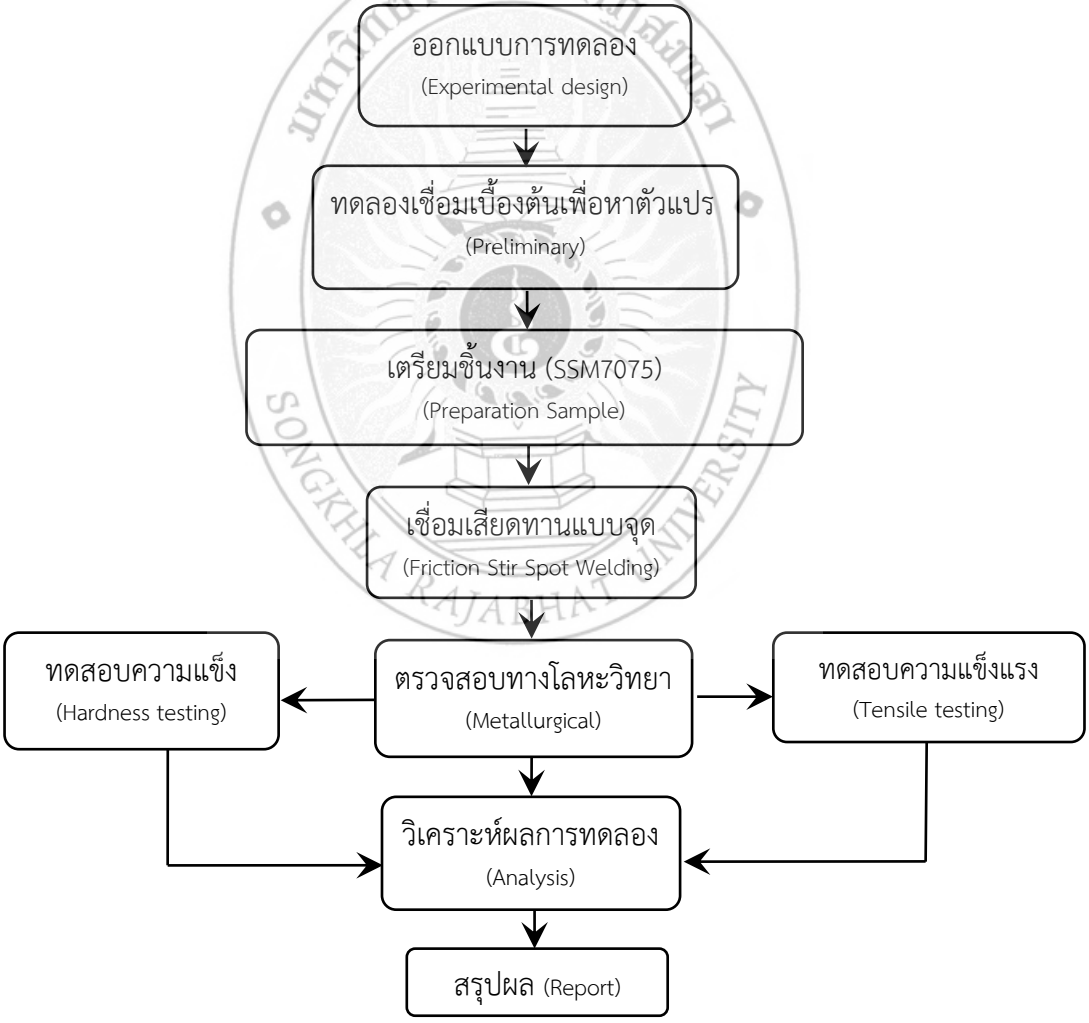
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction Stir Spot Welding: FSSW) โดยใช้อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม กำหนดรอยเชื่อมเป็นแบบต่อเกยท่าราบ การเชื่อมจะเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการเชื่อมได้ คือ ความเร็วรอบเชื่อม หลังจากนั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจากลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบสมบัติทางกล โดยมีการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1 การดำเนินงานวิจัย

การเสียดทานแบบจุดด้วยการต่อชนของวัสดุระหว่างอะลูมิเนียม เกรด 7075 การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบจุด เป็นอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ขึ้นรูปด้วยเทคนิคพ่นฟองแก๊สเข้าไปในน้ำโลหะ (Gas Induce Semi Solid, GISS) แล้วอัดขึ้นรูปออกมาเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม

3.2.1 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075

วัสดุที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมหล่อผสมกึ่งของแข็งเกรด 7075 ผ่านการขึ้นรูปแบบอัด (Squeeze casting) ด้วยเทคโนโลยีหล่อแบบกึ่งของแข็งแบบพ่นฟองแก๊ส GISS ซึ่งเทคนิค GISS จะทำการหลอมอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิประมาณ 700-750 $^{\circ}$C เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 641 $^{\circ}$C จะใช้แก๊สเฉื่อยพ่นผ่านแท่งกราไฟต์พรุน (แก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจน) เพื่อทำให้เกิดการไหลวนของน้ำโลหะ ส่งผลให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัวของโครงสร้างเดนไดรต์เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำน้ำโลหะอะลูมิเนียมเทลงบนเบ้าหล่อ แล้วอัดที่ความดันไม่น้อยกว่า 2500 psi ค้างไว้จนโลหะแข็งตัว ได้เป็นชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร และมีความกว้าง ความยาว 100x100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075

Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
6.08	2.5	1.93	0.46	0.4	0.03	0.19	0.02	Balance

รูปที่ 3.2 แสดงอะลูมิเนียมที่ได้จากการขึ้นรูป

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

กล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม ไปจนถึงขั้นตอนของการตรวจสอบคุณสมบัติทางกล ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Milling Machine) แนวตั้ง ยี่ห้อ VERTEX ใช้ในการกัดอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ให้มีขนาดตามแบบในการทดลองและใช้ในการทดลองการเชื่อมเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องเจาะแนวตั้ง รุ่น VERTEX

3.3.2 เลื่อยสายพาน (Band Saw) เลื่อยสายพานแนวนอน ยี่ห้อ HERO รุ่น HR-14 ใช้ในการตัดแบ่งชิ้นงานให้มีขนาดความกว้างและความยาวใกล้เคียงขนาดจริง หลังจากนั้นนำไปกัดให้ได้ขนาดจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน ยี่ห้อ HERO รุ่น HR-14

3.3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Microhardness Machine) ทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Digicon TH-320 เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell แบบตั้งโต๊ะ ใช้สำหรับทดสอบค่าความแข็งหลังจากกรรมวิธีเชื่อมเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องทดสอบความแข็ง

3.3.4 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine) ทดสอบความแข็งแรงดึง ใช้สำหรับทดสอบค่าความแข็งแรงดึงหลังจากกรรมวิธีเชื่อมเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึง

3.3.5 เครื่องมือจับยึดและอุปกรณ์รองชิ้นงาน (Jig) ใช้สำหรับจับยึดและรองชิ้นงานขณะเชื่อม ดังรูปที่ 3.7

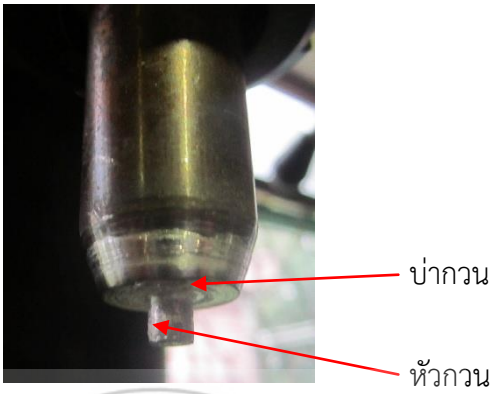
(ก) เครื่องมือจับยึด

(ข) อุปกรณ์รองชิ้นงาน (Jig)

(ค) ลักษณะการวางอุปกรณ์รองชิ้นงาน (Jig)

รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องมือจับยึดและอุปกรณ์รองชิ้นงาน (Jig)

3.3.6 เครื่องมือเชื่อม หรือ Tool หรือ Tool ใช้ในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบจุด ทำจากเหล็กเครื่องมือ SKH 57 ซึ่งมีขนาดความโตของบ่ากวน (Shoulder) 15 มิลลิเมตร หัวกวน (Pin) มีขนาดความโต 5 มิลลิเมตร ความยาวหัวกวน 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool

3.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจากอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075

อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ผ่านการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting) นำไปตัดด้วยเลื่อยสายพาน ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นทำการปรับผิวชิ้นงานทั้งสองด้านด้วยเครื่องกัดแนวตั้ง (Milling) ให้มีขนาดความกว้างxยาวxหนา 28x95x4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10 จะได้ชิ้นทดสอบ 6 ชิ้นต่อหนึ่งแผ่นหล่อ ซึ่งในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 4 ซ้ำ โดยมีตัวแปรในการทดลองคือ ความเร็วรอบการหมุนของหัวทูล 4 ระดับ และระยะเวลาในการกดแช่ 3 ระดับ ซึ่งต้องใช้วัสดุอะลูมิเนียมทั้งหมด 96 แผ่น ด้วยกัน ดังรูปที่ 3.11 แสดงรูปชิ้นงานหลังจากการปรับขนาดผิว ก่อนที่จะนำไปทำการทดลอง

(ก) การตัดแบ่งชิ้นงานขั้นแรก (ข) การตัดแบ่งชิ้นงานขั้นสุดท้าย

รูปที่ 3.9 แสดงการตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากอะลูมิเนียมแผ่นสี่เหลี่ยม

(ก) การปรับผิวด้านหน้า (ข) การปรับผิวด้านข้าง (ค) การปรับผิวด้านบน

รูปที่ 3.10 แสดงการปรับผิวชิ้นทดสอบอะลูมิเนียมที่ได้จากการตัด

รูปที่ 3.11 แสดงรูปชิ้นงานที่พร้อมจะทำการทดลอง

3.5 การกำหนดตัวแปรและการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกัน ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของรอยเชื่อมจะประกอบด้วย รูปแบบของเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool ความเร็วรอบเชื่อม แรงกด และชนิดของวัสดุที่นำมาทำเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้สองปัจจัย คือ ความเร็วรอบเชื่อม และเวลาในการกดแช่ที่แตกต่างกัน ว่าจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อมอย่างไร โดยผู้วิจัยได้กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองที่สำคัญ ดังนี้

3.5.1 ปัจจัยหลักในการทดลอง

ปัจจัยหลักที่เลือกศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้มีสองปัจจัย แต่ละปัจจัยมีระดับการทดลองดังนี้

3.5.1.1 ความเร็วรอบเชื่อมมีสี่ระดับ คือ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที

3.5.1.2 เวลาในการกดแช่มีสามระดับ คือ 60, 90 และ 120 วินาที

3.5.2 ปัจจัยที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง

ปัจจัยที่กำหนดให้คงที่ในงานวิจัยครั้งนี้ จะประกอบด้วยปัจจัย ดังนี้

3.5.2.1 รูปแบบของเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool จะใช้รูปทรงกระบอก

3.5.2.2 ชนิดของวัสดุเครื่องมือเชื่อม หรือ Tool ผลิตจากเหล็กเครื่องมือ เกรด SKH 57 ตามมาตรฐาน JIS

3.5.2.3 ความยาวในการทับกันของชิ้นงาน คือ 28 มิลลิเมตร (เท่ากับขนาดความกว้างของชิ้นงาน)

3.5.2.4 ระยะกดลึก คือ 2 มิลลิเมตร

3.5.3 การกำหนดขนาดตัวอย่าง

การกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เพื่อที่จะได้ขนาดของตัวอย่างที่สามารถเป็นตัวแทนของประชากรได้ ซึ่งในการกำหนดขนาดตัวอย่าง ถ้าสามารถกำหนดได้พอเหมาะก็จะทำให้การวิจัยนั้นมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ ดังนั้นในการกำหนดขนาดตัวอย่างจึงมีการกำหนดค่าต่างๆ ตามทฤษฎีที่แนะนำ ดังนี้

3.5.3.1 Type I Error (Alpha: α) = 0.05

3.5.3.2 Power (1-β) = 0.95

3.5.3.3 Number of Center Point = 0

3.5.3.4 Estimate

3.5.3.5 Minimum Effect (D)

สำหรับค่า Estimate และ Minimum Effect (D) สามารถหาค่าได้จากผลของการทดลองที่เกี่ยวข้องหรือค่าที่มีการแนะนำให้ใช้ หรือการทดลองเบื้องต้น ในกรณีงานวิจัยครั้งนี้ไม่มีข้อมูลของการทดลองอื่นหรือมีข้อมูลอื่นๆ มาสนับสนุนในการประมาณค่าที่ต้องการ จึงเลือกวิธีการทดลองการเชื่อมเบื้องต้นก่อนเพื่อหาค่าดังกล่าว โดยทำการทดลองเชื่อมชิ้นงานและกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมเหมือนกับแผนการทดลองแบบสุ่ม และเชื่อมเบื้องต้น 1 ซ้ำ จำนวน 12 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการเชื่อมไปเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM-E8M และทดสอบชิ้นงานด้วยแรงดึง เก็บข้อมูลในส่วนของค่าแรงดึงสูงสุด เพื่อหาค่าความแตกต่างของข้อมูล และใช้สำหรับกำหนดค่า Minimum Effect (D) หลังจากนั้นนำค่าดังกล่าวมาประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลทางสถิติ เพื่อหาค่า Estimate และขนาดของตัวอย่าง (n) ที่จะใช้กำหนดการทดลองจริงต่อไป

ตารางที่ 3.2 แสดงการออกแบบแผนการทดลองเชื่อมชิ้นงานแบบสุ่ม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Rotation speed	Time tensile
16	1	1	1	760	60
28	2	1	1	760	60
14	3	1	1	380	90
2	4	1	1	380	90
1	5	1	1	380	60
15	6	1	1	380	120
21	7	1	1	1240	120
11	8	1	1	2500	90

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Rotation speed	Time tensile
36	9	1	1	2500	120
10	10	1	1	2500	60
18	11	1	1	760	120
7	12	1	1	1240	60
31	13	1	1	1240	60
34	14	1	1	2500	60
20	15	1	1	1240	90
17	16	1	1	760	90
22	17	1	1	2500	60
5	18	1	1	760	90
3	19	1	1	380	120
19	20	1	1	1240	60
24	21	1	1	2500	120
26	22	1	1	380	90
27	23	1	1	380	120
8	24	1	1	1240	90
35	25	1	1	2500	90
29	26	1	1	760	90
4	27	1	1	760	60
13	28	1	1	380	60
32	29	1	1	1240	90
30	30	1	1	760	120
25	31	1	1	380	60
23	32	1	1	2500	90
12	33	1	1	2500	120
33	34	1	1	1240	120
6	35	1	1	760	120
9	36	1	1	1240	120

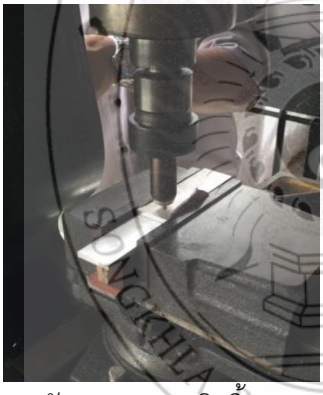
3.6 กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการปรับตั้งตัวแปรในการเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที ระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร และจับเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที โดยการทดลองจะทำที่อุณหภูมิห้องทั้งหมด ในขั้นตอนการเชื่อมจะกล่าวเป็นข้อๆ ดังนี้

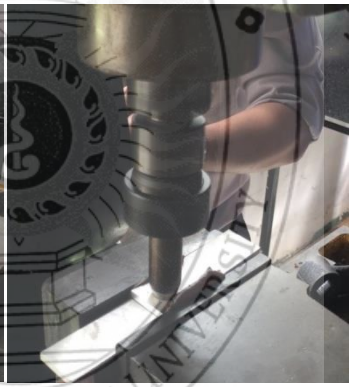
1. ปรับตั้งความเร็วรอบเชื่อมตามตัวแปรที่กำหนด ดังรูปที่ 3.12 (ก)
2. ปรับตั้งให้หัว Tool อยู่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานที่จะทำการเชื่อม ดังรูปที่ 3.12 (ข)
3. ค่อยๆ ป้อนให้หัว Tool ลงมาสู่ชิ้นงานด้วยความเร็วและแรงกดที่สม่ำเสมอกัน จนหัว Tool แตะผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.12 (ค)
4. แล้วกดด้วยแรงกดที่สม่ำเสมอจนบ่าของ Tool สัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.12 (ง)
5. จากนั้นกดให้บ่าของ Tool จมลงไปในชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร แล้วค้างไว้ตามตัวแปรที่กำหนด ดังรูปที่ 3.12 (จ)
6. เมื่อเวลาครบกำหนดก็ค่อย ๆ ยก Tool ขึ้นจากชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.12 (ฉ)

(ก) ปรับตั้งความเร็วรอบเชื่อม

(ข) หัว Tool อยู่กึ่งกลางชิ้นงาน



(ค) หัว Tool แตะผิวชิ้นงาน



(ง) บ่า Tool สัมผัสผิวงาน

(จ) บ่า Tool จมลงในชิ้นงาน

(ฉ) ยก Tool ขึ้นจากชิ้นงาน

รูปที่ 3.12 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานแบบจุด

3.7 การทดสอบสมบัติทางกล

คุณสมบัติทางกลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ การทดสอบสมบัติทางกลในงานวิจัยนี้มี 2 อย่างด้วยกัน คือ ทดสอบความแข็ง และทดสอบความแข็งแรงดึง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.7.1 การทดสอบความแข็ง

การเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบความแข็งนั้นจะกล่าวเป็นข้อ ๆ ดังนี้

(1) นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดมาตัดให้เหลือเฉพาะบริเวณรอยเชื่อม ดังรูปที่ 3.13 (ก)

(2) ตัดท่อ PVC ให้ได้ขนาดตามต้องการ ดังรูปที่ 3.13 (ข)

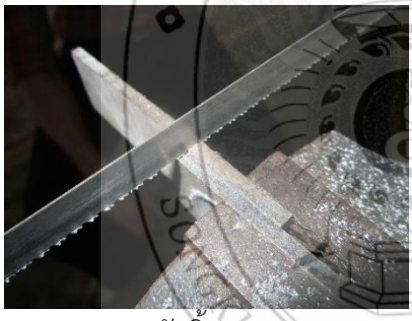
(3) นำเทปกาวมาติดด้านใดด้านหนึ่งของท่อ PVC ที่ตัดไว้ ดังรูปที่ 3.13 (ค)

(4) นำชิ้นงานที่ตัดไว้มาใส่ในท่อ pvc ที่ได้เตรียมไว้ โดยการวางจะวางแบบตั้งขวาง ดังรูปที่ 3.13 (ง)

(5) นำเรซิ่นท่านการผสมแล้วมาเทลงในท่อ PVC ที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.13 (จ)

(6) เมื่อเรซิ่นแข็งตัวก็นำไปกลึงให้ได้ขนาดตามกำหนด ดังรูปที่ 3.13 (ฉ)

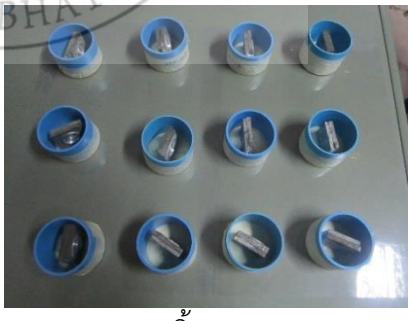
(7) จากนั้นนำชิ้นงานที่กลึงแล้วไปกดหาค่าความแข็ง ดังรูปที่ 3.14 ส่วนรูปที่ 3.15 แสดงชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบความแข็ง และรูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งกดและลักษณะรอยกดความแข็ง



(ก) ตัดชิ้นงาน

(ข) ตัดท่อ PVC

(ค) การติดเทปกาว



(ง) การวางชิ้นงาน

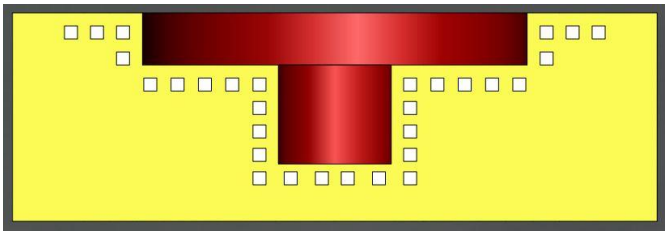
(จ) การเทเรซิ่น

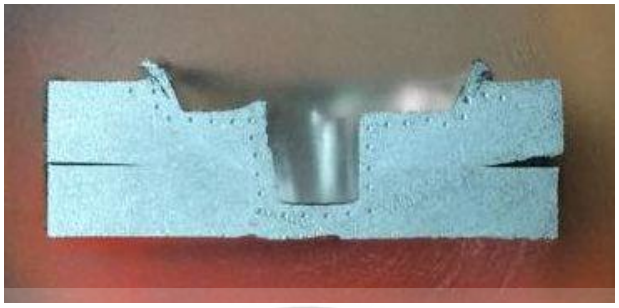
(ฉ) กลึงชิ้นงาน

รูปที่ 3.13 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็ง

รูปที่ 3.14 แสดงชิ้นงานที่นำไปทดสอบความแข็ง

รูปที่ 3.15 แสดงการทดสอบความแข็ง





รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งกดและลักษณะรอยกดค่าความแข็ง

3.7.2 การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน

การทดสอบแรงดึงเฉือนเพื่อหาค่าความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อม โดยการทดสอบแรงดึงในงานเชื่อมเสียดทานแบบจุด นำชิ้นทดสอบที่ผ่านกรรมวิธีเชื่อมเสียดทานแบบจุดไปทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึง 1.67x10 มิลลิเมตร/วินาที ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 แสดงการทดสอบแรงดึงเฉือน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

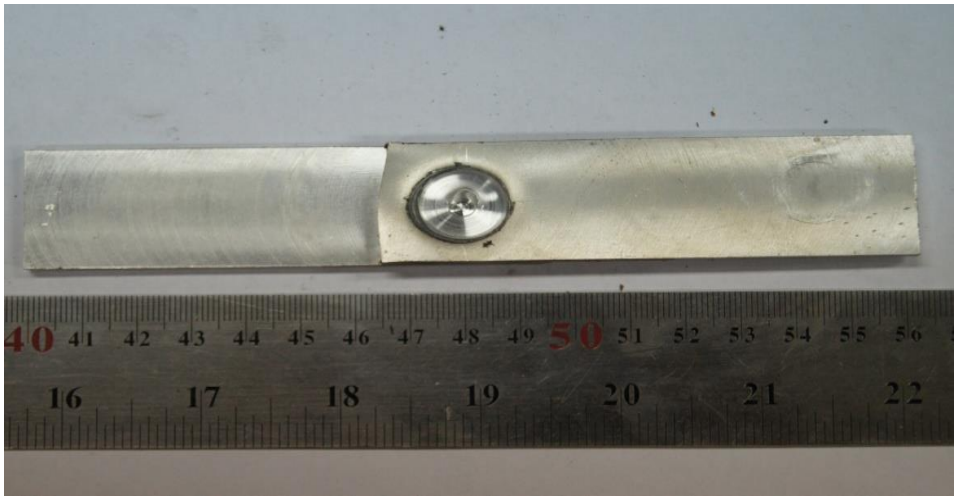
งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบจุดอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 โดยทำการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที มีระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร และมีระยะเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกล เพื่อที่จะหาสภาวะที่ดีที่สุด ที่ทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงที่สุด ซึ่งได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของลักษณะผิวรอยเชื่อม

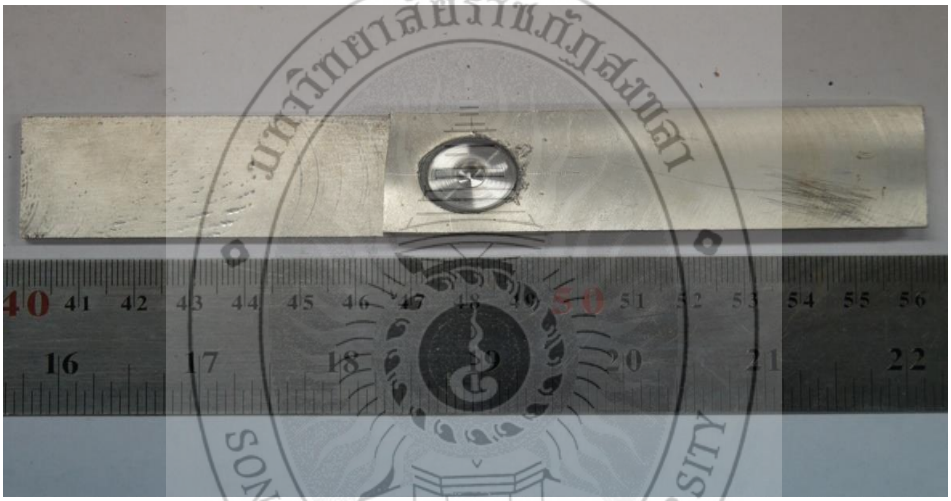
4.1.1 ลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที

ผลจากกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 4.1 (ก) (ข) และ (ค) พบว่าผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมที่เวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที เกิดการประสานกันดีในรอยเชื่อมและบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อม มีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแตกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่เรียบนั้นเกิดจากบ่าของตัวกวน อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เกิดการเคลื่อนตัวของเนื้อวัสดุได้สะดวกแล้วล้นจากบ่าของตัวกวนเกิดเป็นครีบ

(ก) เวลาในการกดแช่ 60 วินาที



(ข) เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

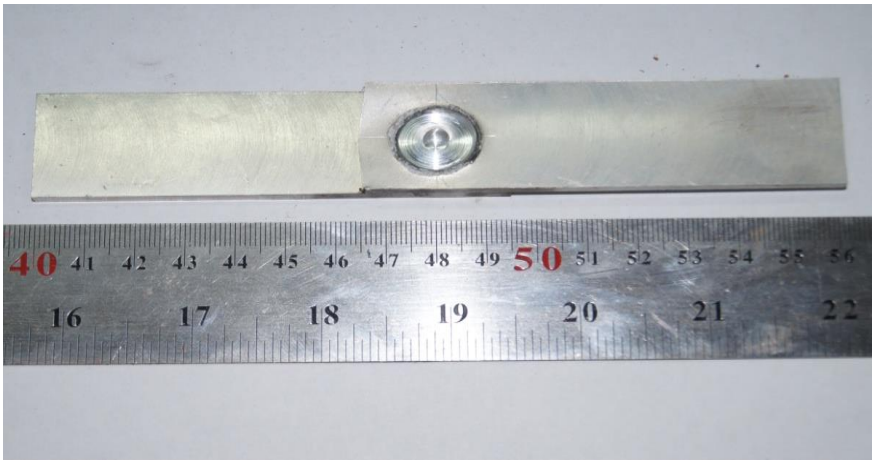


(ค) เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

รูปที่ 4.1 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที

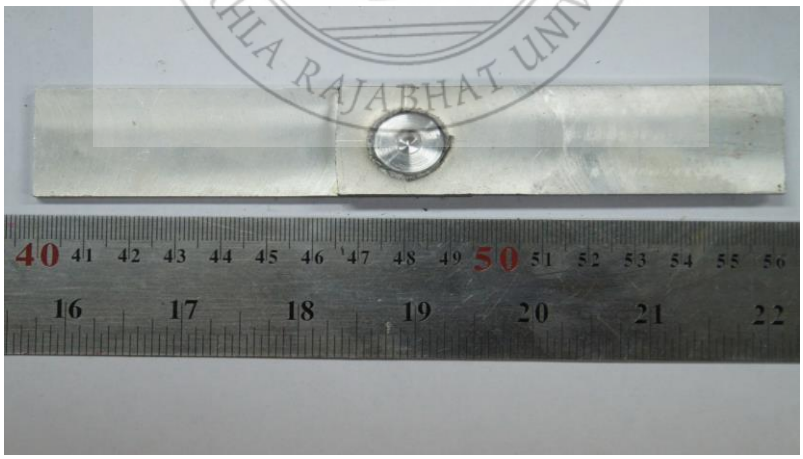
4.1.2 ลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที

ผลจากกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 4.2 (ก) (ข) และ (ค) พบว่าผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมที่เวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที เกิดการประสานกันดีในรอยเชื่อมและบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแตกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่เรียบนั้นเกิดจากบ่าของตัวกวน อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เกิดการเคลื่อนตัวของเนื้อวัสดุได้สะดวกแล้วล้นจากบ่าของตัวกวนเกิดเป็นครีบ



(ก) เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

(ข) เวลาในการกดแช่ 90 วินาที



(ค) เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

รูปที่ 4.2 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที

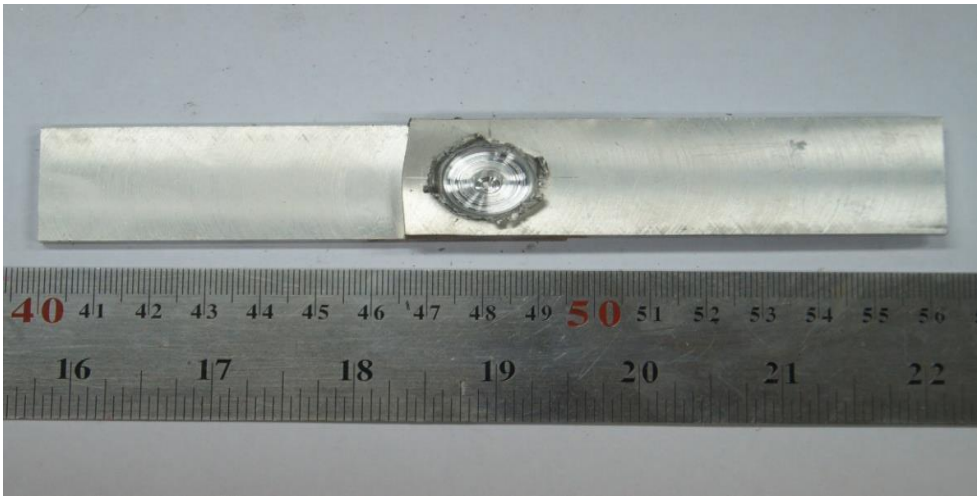
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.1.3 ลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที

ผลจากกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 4.3 (ก) (ข) และ (ค) พบว่าผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมที่ระยะเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที เกิดการประสานกันดีในรอยเชื่อมและบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแตกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่เรียบนั้นเกิดจากบ่าของตัวกวน อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เกิดการเคลื่อนตัวของเนื้อวัสดุได้สะดวกแล้วล้นจากบ่าของตัวกวนเกิดเป็นครีบ

(ก) เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

(ข) เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

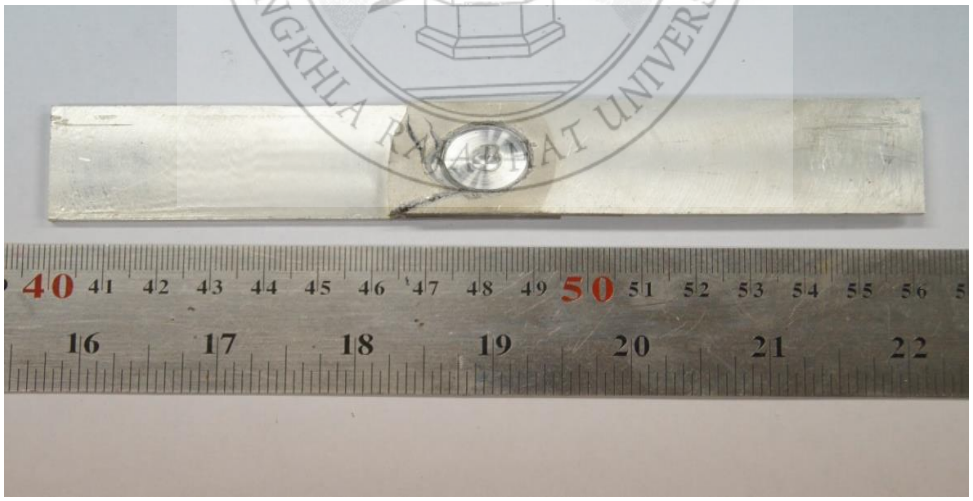


(ค) เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

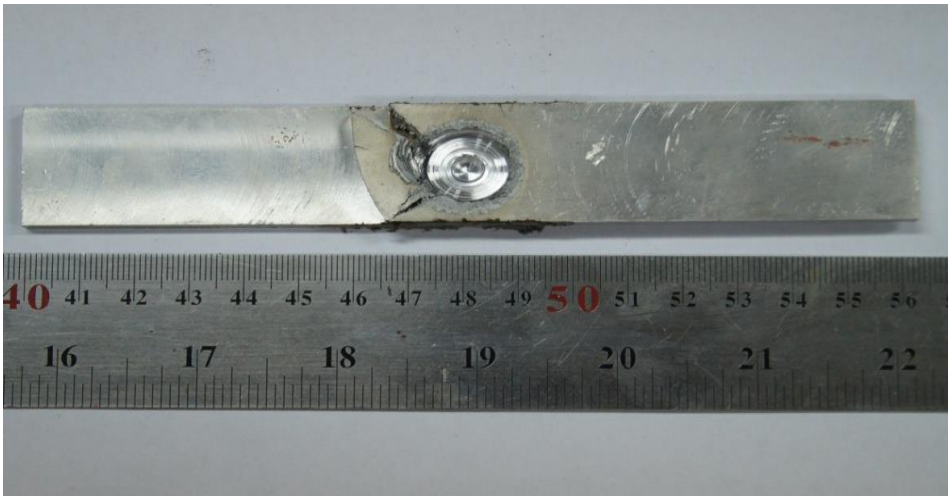
รูปที่ 4.3 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที

4.1.4 ลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที

ผลจากกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด ดังรูปที่ 4.4 (ก) (ข) และ (ค) พบว่าผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมที่ระยะเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที เกิดการประสานกันไม่ดีในรอยเชื่อมและบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ไม่ดี พบรอยแตกร้าวของรอยเชื่อม อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติก เกิดการเคลื่อนตัวของเนื้อวัสดุได้สะดวกแล้วล้นจากบ่าของตัวกวนเกิดเป็นครีบ



(ก) เวลาในการกดแช่ 60 วินาที



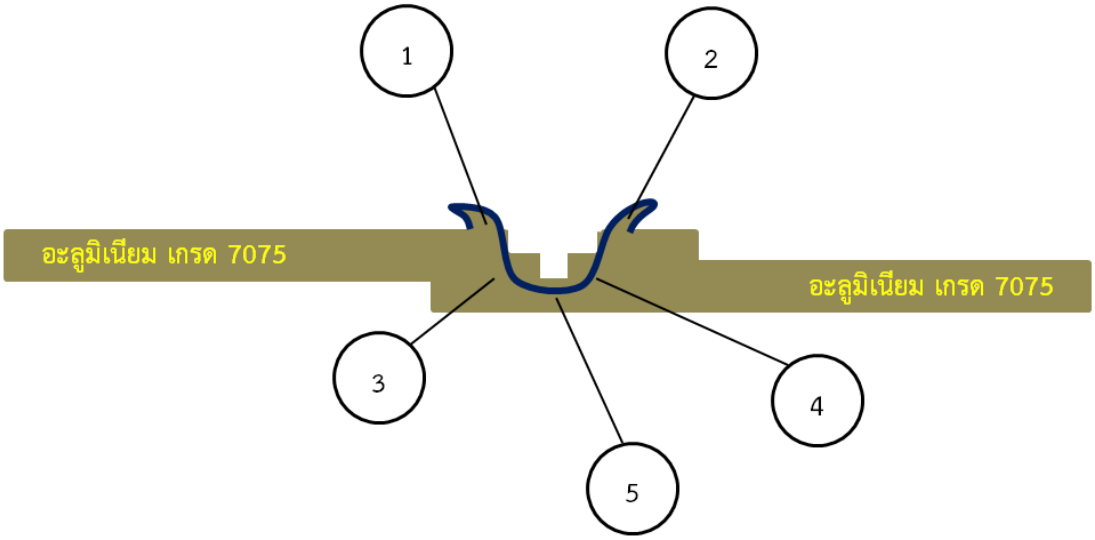
(ข) เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

(ค) เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

รูปที่ 4.4 แสดงผิวรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที

4.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure)

หลังจากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 ซึ่งมีตัวแปรที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคก็แตกต่างตามไปด้วย เนื่องจากภายในโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงของอะตอม อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยสนใจโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการเชื่อม 5 บริเวณ ได้แก่ บริเวณที่ 1 และ 2 เป็นบริเวณที่เกิดเป็นครีบของชิ้นงานหลังการเชื่อม บริเวณที่ 3 และ 4 เป็นบริเวณที่ยากที่ชิ้นงานเกิดการยึดติด และบริเวณที่ 5 เป็นบริเวณด้านล่างสุดของชิ้นงาน ซึ่งบริเวณเหล่านี้ได้รับอิทธิพลความร้อนจากการเชื่อม ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยการตรวจสอบที่กำลังขยาย 100 และ 200 ไมโครเมตร สำหรับการเชื่อมชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 ชิ้นงานมีรูตรงกลางหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด เนื่องจากกระบวนการเชื่อม

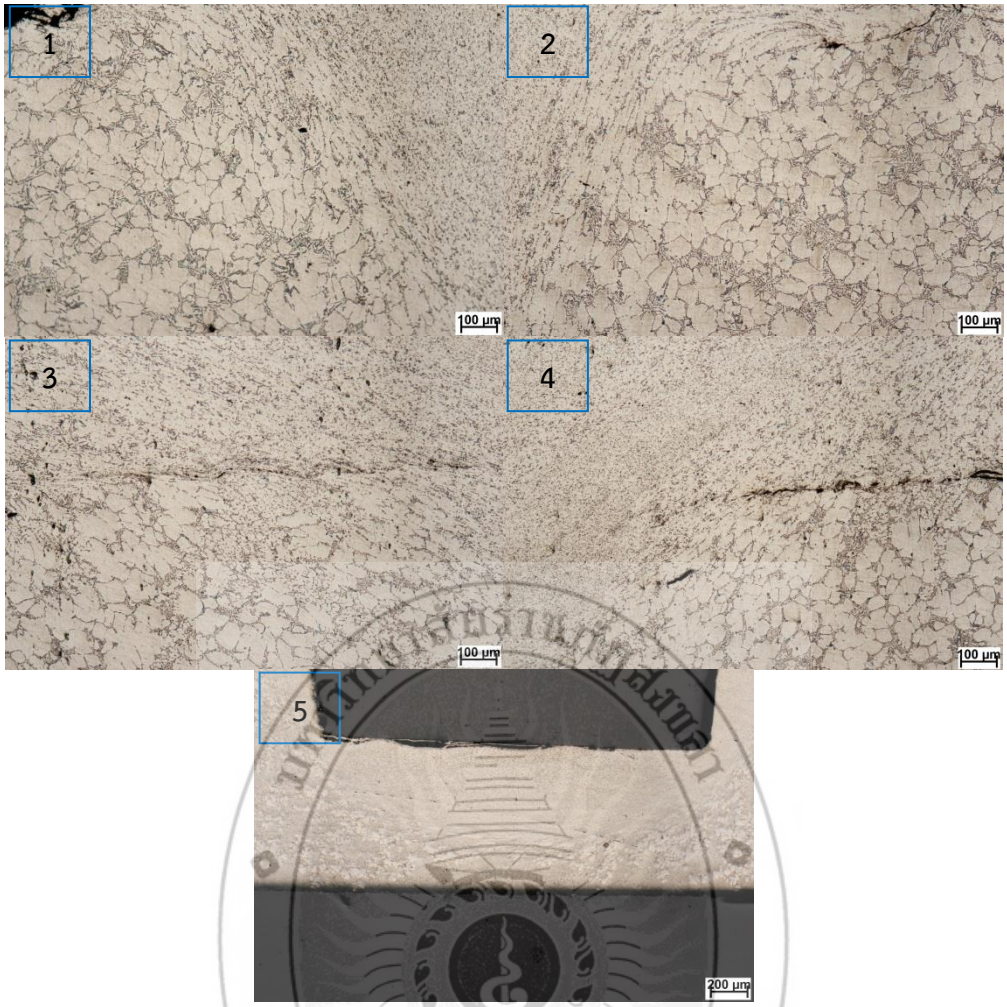


รูปที่ 4.5 แสดงบริเวณของชิ้นงานเชื่อมที่ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค

4.2.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที

จากการเชื่อมเสียดทานแบบจุดแสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค โดยโครงสร้างจุลภาคแต่ละบริเวณจะมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแบ่งเป็นบริเวณเนื้อเชื่อม (Stir zone; SZ) (บริเวณ 3 และ 4) บริเวณนี้จะเกิดโครงสร้างเกรนที่ละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ เนื่องจากได้รับผลกระทบโดยตรงจากหัวพินที่เกิดจากการกวน ส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างเดิมของเนื้อโลหะ บริเวณเนื้อเชื่อมจะได้รับความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานจนนำไปสู่การเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic deformation) อย่างไรก็ตามความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที (ดังรูปที่ 4.6) พบว่ายังเกิดช่องว่าง (Hook) หลังการเชื่อม เนื่องจากการเชื่อมต่อกันยังไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการเกิดความร้อนที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดช่วงช่วงที่อ่อนตัวของวัสดุน้อยตามไปด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (Heat affected zone; HAZ) (บริเวณ 1, 2 และ 5) ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน แต่โครงสร้างที่เป็นไปมีลักษณะที่หยาบ และมีการไหลตัวของเนื้อวัสดุในทิศทางเดียวกันกับการหมุนของหัวพิน เพราะเกิดจากแรงที่กระทำกับเนื้อวัสดุรอบๆ หัวพิน เป็นที่น่าสังเกตว่าบริเวณที่ได้รับความร้อนจากการกวนในบริเวณด้านใต้ของหัวพิน (บริเวณ 5) มีเกรนที่หยาบสลับกับเกรนที่ละเอียด เนื่องจากอิทธิพลการส่งผ่านความร้อนในขณะที่เชื่อม

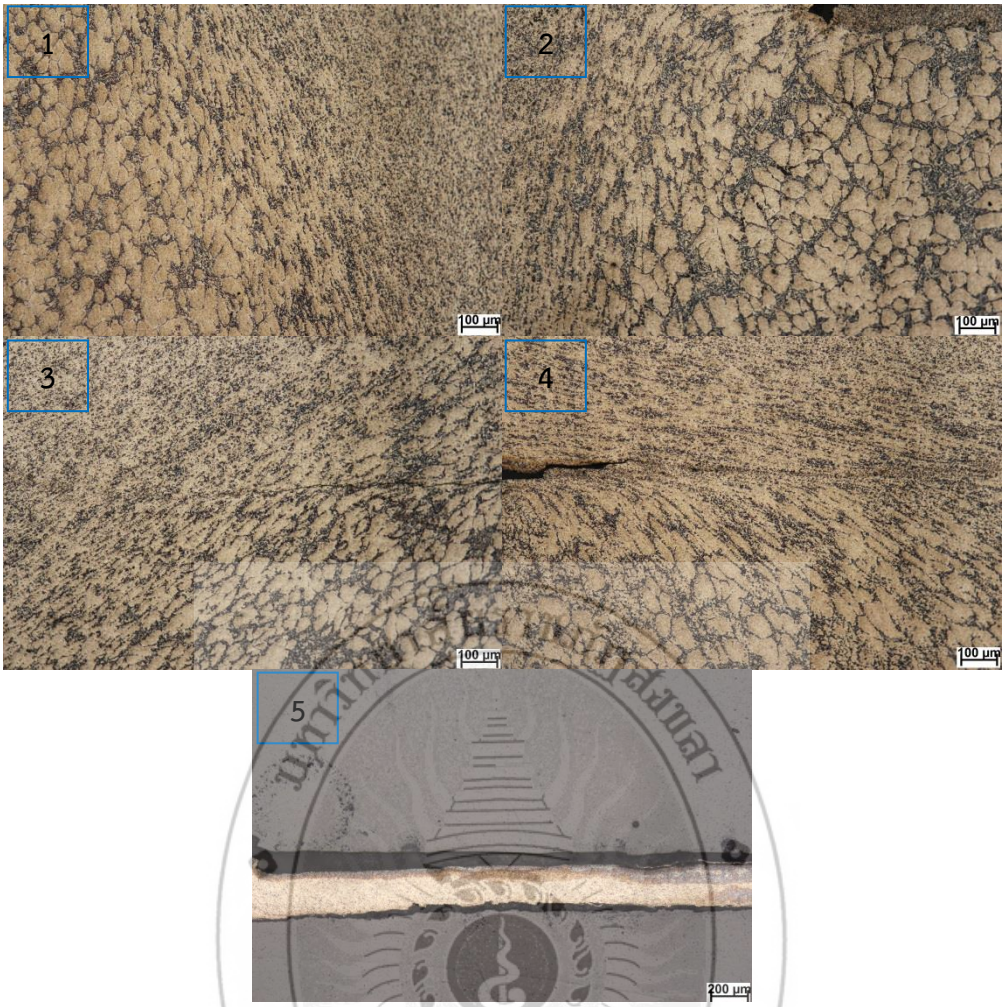
อย่างไรก็ตามการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที บริเวณเชื่อมยังไม่สมบูรณ์ ยังมีรอยแตกเล็กๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 บริเวณที่ 4 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างรวดเร็วหลังการเชื่อม เป็นสาเหตุให้เกิดการหดตัวของเนื้อวัสดุบริเวณที่ได้รับความร้อน จนนำไปสู่การแตกร้าวขนาดเล็ก นอกจากนั้นอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 ยังมีค่าการนำความร้อนที่ดี จึงนำไปสู่สาเหตุของการแตกได้เช่นกัน ซึ่งการแตกจะเกิดในระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบจุด สำหรับบริเวณเนื้อโลหะเดิม (ไม่ได้แสดงในรูป) หรือบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบทางความร้อนหรือแรงที่กระทำ โครงสร้างยังมีรูปร่างก้อนกลมเหมือนเดิม



รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

4.2.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที

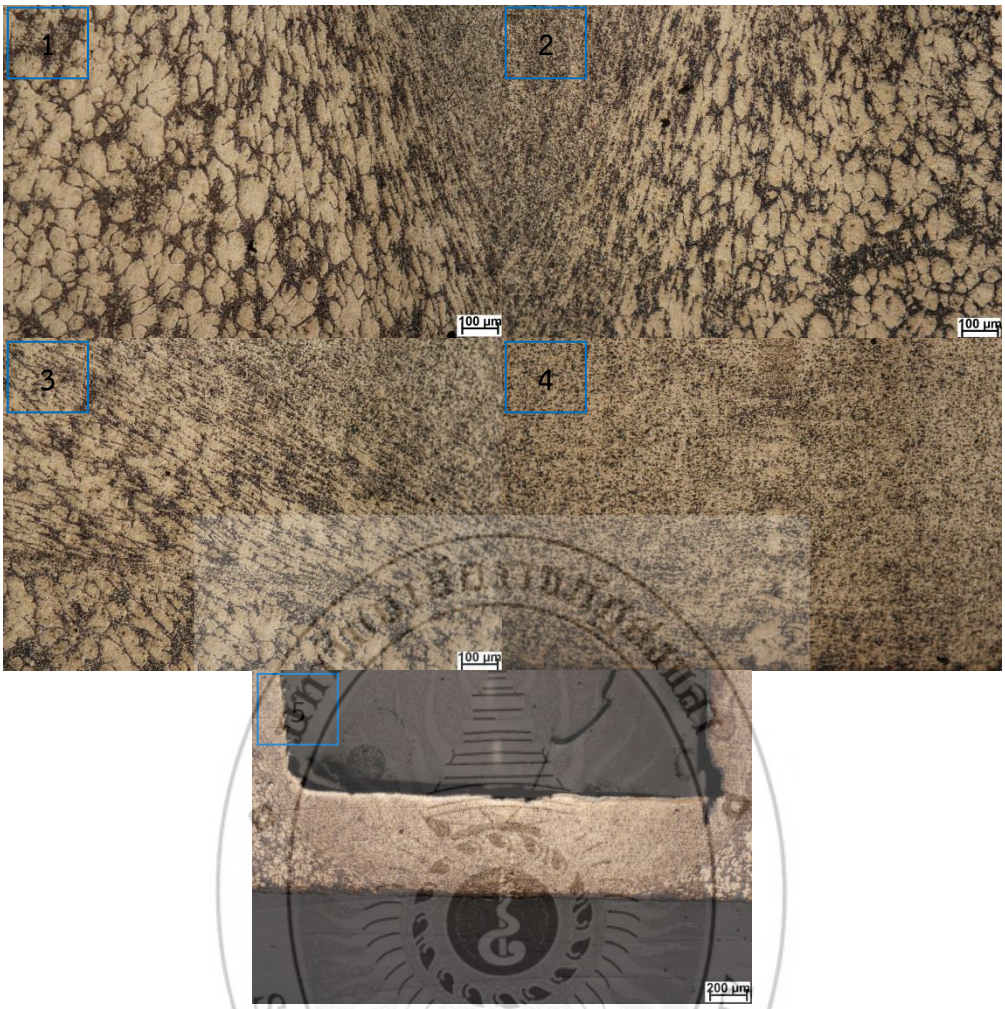
การเพิ่มเวลาในการกดแช่ส่งผลให้เกิดการแผ่ความร้อนที่สูงขึ้น นำไปสู่การเกิดบริเวณอิทธิพลทางความร้อนที่มากขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มเวลาในการกดแช่ จาก 60 วินาที ไปสู่ 90 วินาที ทำให้บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนกว้างขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.7 บริเวณที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นเกรนที่ละเอียดและมีขนาดที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตามความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที หลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดก็ยังพบว่ามีการเชื่อมประสานกันที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 บริเวณที่ 3 และ 4 พบว่ามีรอยแตกขนาดเล็กตามแนวขวางของเนื้อเชื่อม ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการอ่อนตัวของวัสดุ ความร้อน และแรง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการยึดติดที่ดีต่อกัน สำหรับรูปที่ 4.7 บริเวณที่ 1 และ 2 เป็นบริเวณครีบ (Flash) ของชิ้นงาน บริเวณนี้จะเกิดการไหลของโครงสร้างก้อนกลมจนไปสู่การตกตะกอนของเกรนใหม่ที่ละเอียดขึ้น (Refill grain) เกรนที่ละเอียดจะเพิ่มสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อม เป็นที่น่าสังเกตว่าเกรนก้อนกลมบางส่วนบริเวณอิทธิพลทางความร้อนเกิดการเติบโตของเกรน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะเชื่อมนำไปสู่การเกิดการรวมตัวกันของเกรน (α อะลูมิเนียมเมตริกซ์) ส่วนเฟสยูเทกติก ($MgZn_2$) ที่แทรกตัวระหว่างขอบเกรนก็ถูกทำลายให้มีขนาดที่เล็กลง และรวมตัวกันกับอะลูมิเนียมเมตริกซ์



รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

4.2.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที

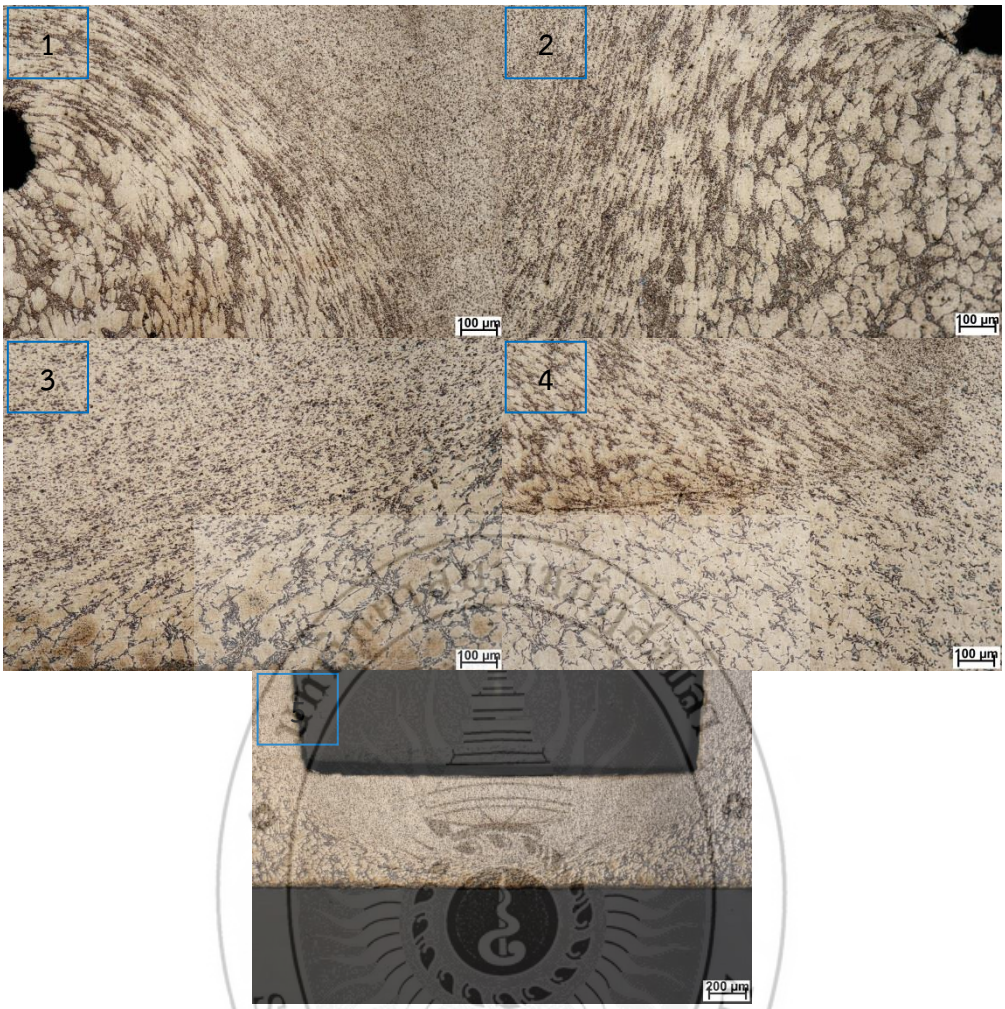
การเพิ่มเวลาในการกดแช่ที่สูงขึ้นจาก 60 วินาที ไปสู่ 120 วินาที มีแนวโน้มที่ดีขึ้น เพราะส่งผลให้ปริมาณของช่องว่างหลังการเชื่อมลดลง เนื่องจากในการเชื่อมการเสียดทานระหว่างบ่าของหัวกวนกับผิวของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 มีเวลาในการเสียดทานนานขึ้น นำไปสู่การสร้างความร้อนได้สูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณเนื้อเชื่อมของชิ้นงานอยู่ในสภาวะการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกได้สูง ทำให้การเชื่อมยึดติดได้ดีตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าจัดบกพร่อง (Defect) หลังการเชื่อมน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 นอกจากนั้นความร้อนที่สูงทำให้เกิดการตกตะกอนที่สมบูรณ์ของโครงสร้างก้อนกลมเดิม นำไปสู่เกรนที่ละเอียดในบริเวณเนื้อเชื่อมได้มากกว่าที่เวลากดแช่ที่ 60 และ 90 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.8 บริเวณที่ 4 ในทำนองเดียวกันเกรนจะละเอียดและมีขนาดที่กว้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 บริเวณที่ 5 ซึ่งเป็นบริเวณปลายหัวพินกวน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นสูงตามเวลาที่ใช้ในการกดแช่ ส่วนรูปที่ 4.8 บริเวณที่ 1 และ 2 ลักษณะโครงสร้างและการไหลของเนื้อวัสดุคล้ายๆ กันกับที่เวลาในการกดแช่ 60 และ 90 วินาที แต่มีขนาดที่กว้างเพิ่มขึ้นกว่าเดิม จะเห็นได้ว่าการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ที่แตกต่างกันนำไปสู่ลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ตัวแปรเหล่านั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เพราะส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิมของวัสดุ



รูปที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

4.2.4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที

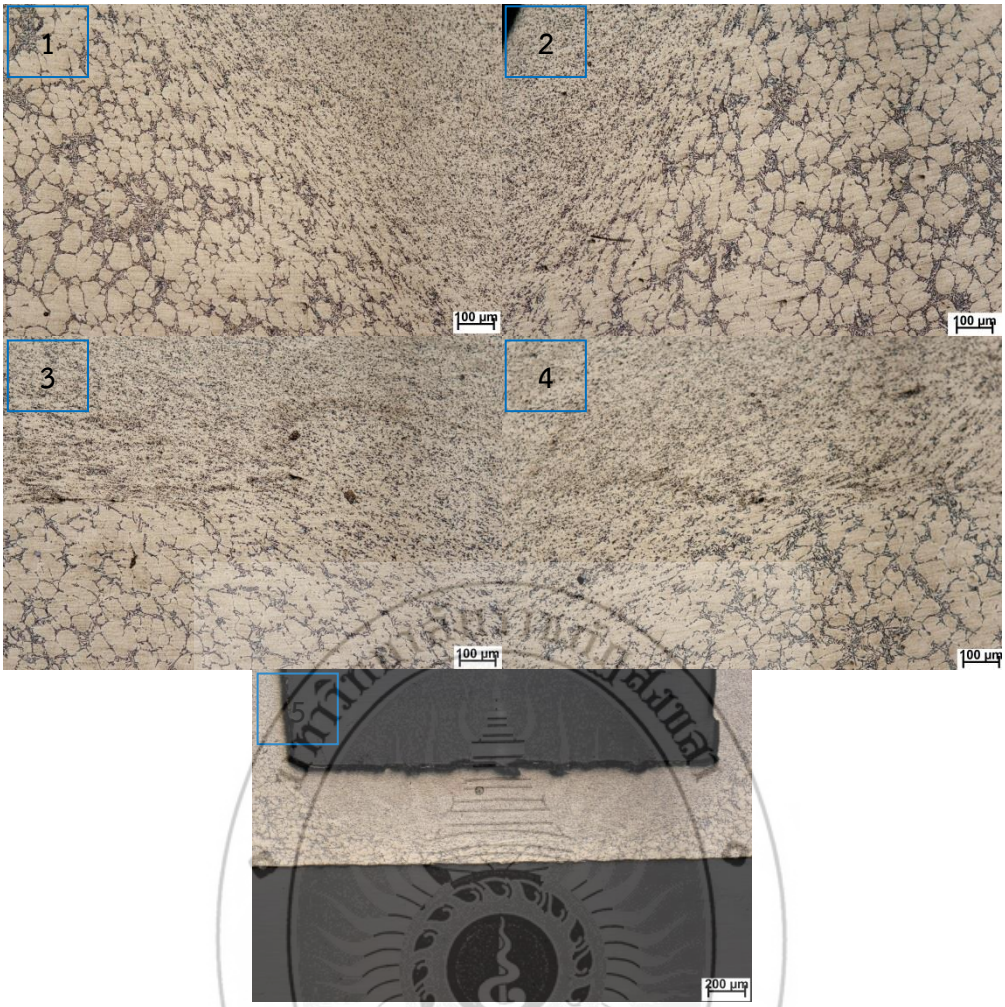
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที จะเห็นได้ชัดเจนว่าความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น นำไปสู่การยึดติดที่ดีขึ้นของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด เพราะปริมาณช่องว่างหรือจุดบกพร่องของชิ้นงานหลังการเชื่อมลดน้อยลง โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณรอยเชื่อมทั้งหมดมีความสมบูรณ์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 บริเวณที่ 3 และ 4 ซึ่งส่งผลมาจากความเร็วรอบที่สูงขึ้นสร้างความร้อนในขณะที่เชื่อมได้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน จะสังเกตได้ว่าเนื้อวัสดุมีการไหลตัวที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่ 380 รอบ/นาที เพราะความเร็วรอบที่สูงลากเนื้อวัสดุให้เกิดการไหลตัวที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 บริเวณที่ 1 และ 2 แต่การไหลตัวของเนื้อวัสดุก็มีผลมาจากความร้อนด้วยเช่นกัน ความร้อนเข้า (Heat input) ในขณะเชื่อมเสียดทานแบบจุดสูงทำให้การไหลตัวของเนื้อวัสดุง่ายขึ้น ในทางตรงกันข้ามความร้อนในขณะเชื่อมที่ต่ำก็ส่งผลให้เนื้อวัสดุบริเวณรอยเชื่อมไหลตัวได้ยากเช่นกัน ความร้อนที่สูงขึ้นจากความเร็วรอบส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างบริเวณปลายหัวพินอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 บริเวณที่ 5 ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่กว้างขึ้น



รูปที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

4.2.5 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที

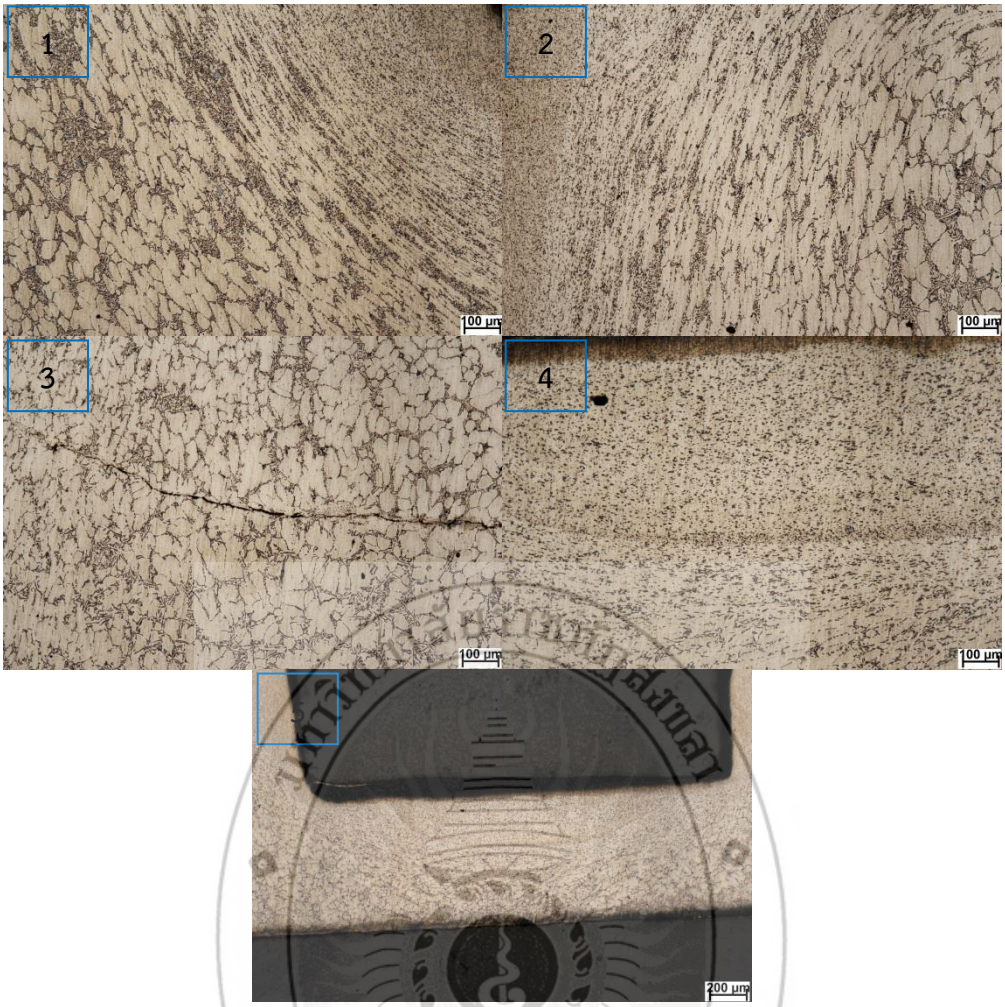
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที ที่เวลากดแช่ 90 วินาที จะคล้ายๆ กันกับที่เวลาในการกดแช่ 60 วินาที บริเวณรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์และไม่พบจุดบกพร่องหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด อย่างไรก็ตามเวลากดแช่ 90 วินาที นำไปสู่การกระจายตัวของเฟสยูเทกติกที่สม่ำเสมอขึ้น โดยบริเวณเนื้อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.10 บริเวณที่ 3 และ 4 พบว่าเฟสยูเทกติกเกิดการกระจายตัวทั่วบริเวณเนื้อเชื่อม เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กจากการถูกทำลายด้วยแรงหมุน จึงสามารถกระจายตัวได้ง่าย และสม่ำเสมอขึ้น เมื่อเวลาในการเชื่อมที่เหมาะสมจะส่งผลให้บริเวณรอยเชื่อมเกิดความสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้ามเวลาในการเชื่อมที่น้อยเกินไปทำให้กระบวนการสร้างความร้อนสั้น ส่งผลต่อการไม่ยึดติดของชิ้นงาน และเวลาที่นาไปในการเชื่อม ส่งผลให้บริเวณเนื้อเชื่อมกว้างเกินไป สำหรับบริเวณครีบทั้งสองด้านของความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที ที่เวลากดแช่ 90 วินาที เกิดความสมบูรณ์ของโครงสร้างจุลภาค ทิศทางการเรียงตัวของโครงสร้างจุลภาคขนานกับกับทิศทางการไหลของเนื้อวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 บริเวณที่ 1 และ 2 สำหรับรูปที่ 4.10 บริเวณที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในวงกว้างเช่นกัน



รูปที่ 4.10 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

4.2.6 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที

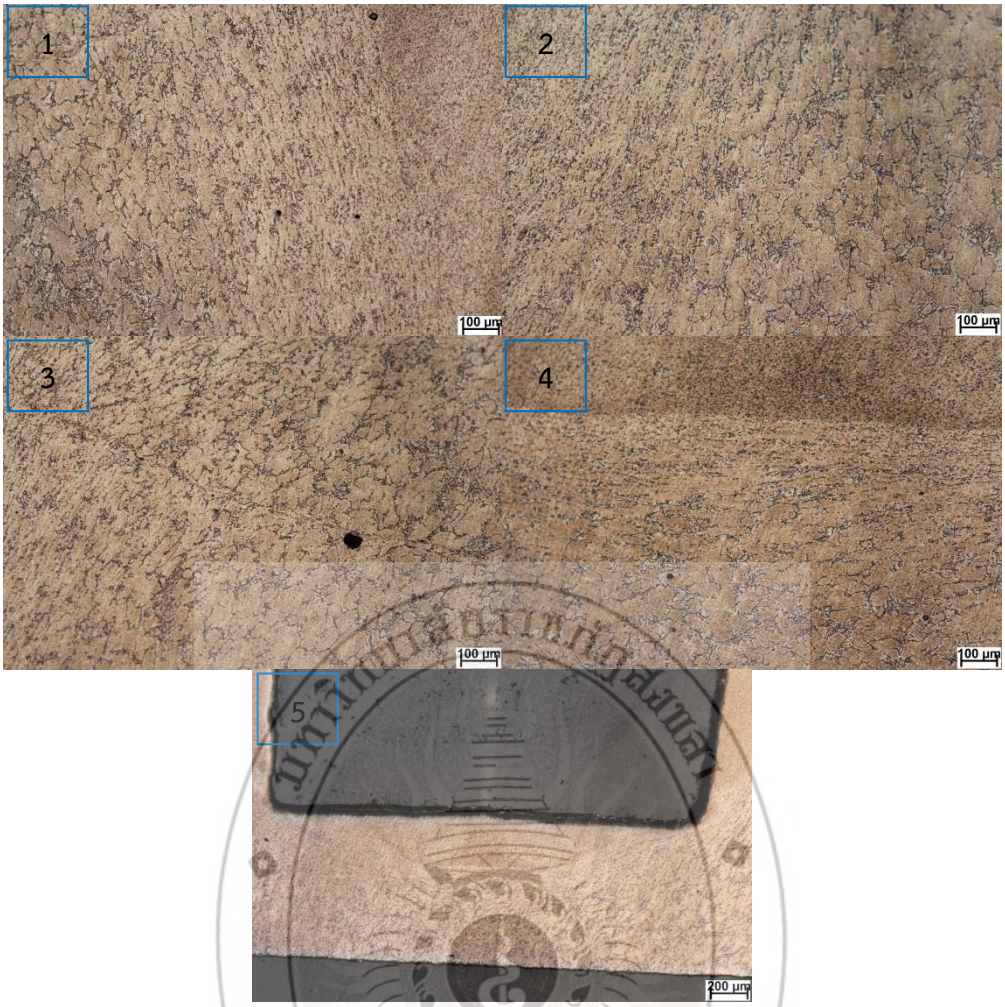
การเพิ่มเวลากดแช่เป็น 120 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าเกิดรอยแตกตามยาวแนวขวางกับเนื้อเชื่อม ซึ่งมาจากเวลาที่นานเกินไปความร้อนสะสมในการเชื่อมสูงมาก เมื่อชิ้นงานเย็นตัวหลังการเชื่อมจึงเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การแตกตามแนวยาวขวางเนื้อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.11 บริเวณที่ 3 จะเป็นได้ว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่สูง นำไปสู่การแตกร้าวได้ง่าย อย่างไรก็ตามการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid state) ของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 มีโอกาสแตกร้าวน้อยกว่าการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Liquid state) อย่างไรก็ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนเพิ่มด้วย เนื่องจากเวลาที่นานสามารถแพร่ความร้อนได้ไกลขึ้น นอกจากนั้นโครงสร้างจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยความร้อนในบริเวณที่กว้างด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 บริเวณที่ 1, 2, 3 และ 5 ตามลำดับ สำหรับการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เนื้อเชื่อมส่วนใหญ่มีความสมบูรณ์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

4.2.7 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที

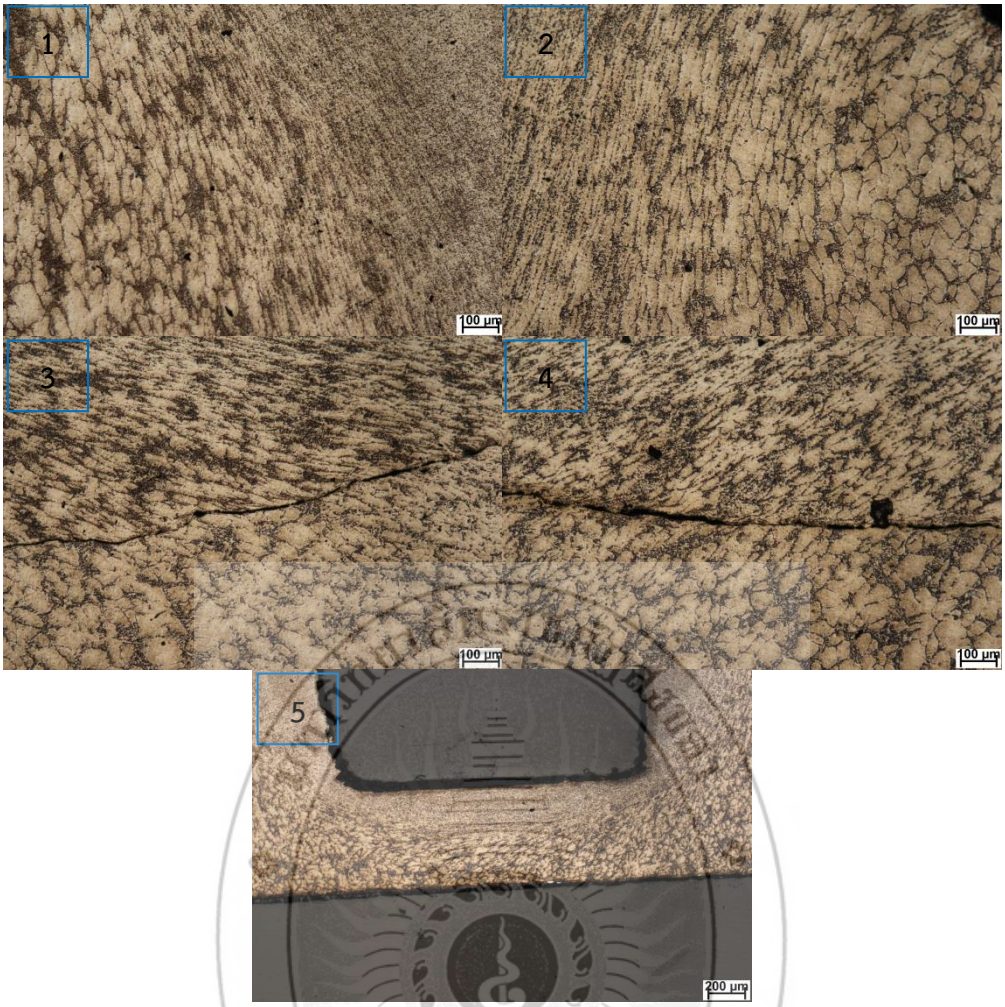
โครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าอะลูมิเนียมเมตริกซ์เกิดการเชื่อมต่อกันบริเวณขอบเกรนจนนำไปสู่เกรนหยาบ ซึ่งเฟสยูเทกติกจะแทรกตัวอยู่ระหว่างอะลูมิเนียมเมตริกซ์ หลังการเชื่อมเมื่อตรวจสอบด้วยโครงสร้างจุลภาคพบว่ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องหลังการเชื่อม แต่โครงสร้างมีลักษณะแบบหยาบ ซึ่งมาจากเวลาในการเชื่อมที่สั้นเกินไป ส่งผลให้ความร้อนในการเชื่อมน้อย จนนำไปสู่โครงสร้างจุลภาคมีลักษณะแบบหยาบ อย่างไรก็ตามความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ก็ส่งผลให้ชิ้นงานยึดติดสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 บริเวณที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนและแรงกระทำมากที่สุด และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมากที่สุดด้วยเช่นกัน สำหรับบริเวณที่สัมผัสกับบ่าของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 บริเวณที่ 1 และ 2 พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะแบบหยาบเช่นกัน ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน นำไปสู่สมบัติทางกลที่แตกต่างกันด้วย โดยเมื่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่สมบูรณ์ ทำให้มีสมบัติทางกลที่ดีด้วย และเมื่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคไม่สมบูรณ์ก็ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อมน้อยด้วยเช่นกัน ดังนั้นตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างมาก



รูปที่ 4.12 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

4.2.8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที

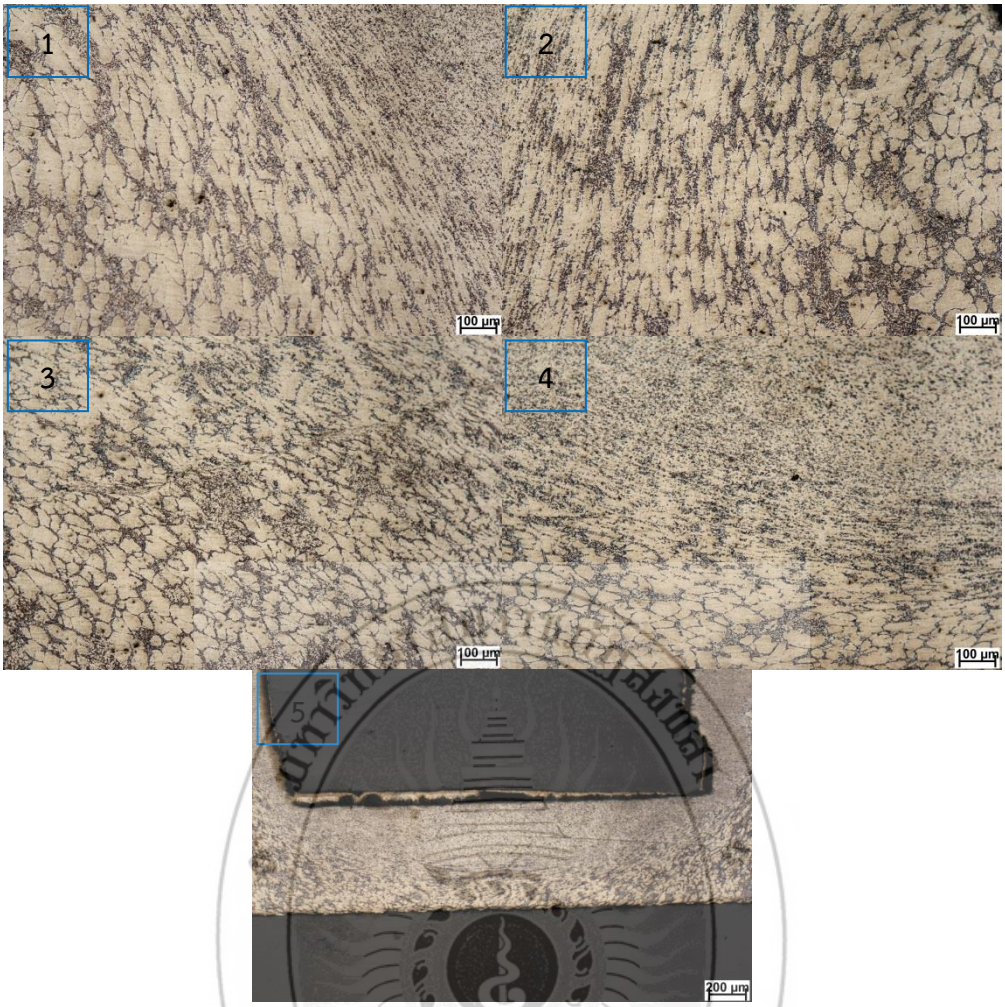
เวลากดแช่ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 4.13 แสดงลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที จะเห็นได้ว่ายิ่งเวลาในการเชื่อมที่สูงขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นก็เพิ่มตามไปด้วย ทำให้นำไปสู่การเกิดรอยแตกได้ง่าย สาเหตุมาจากการหดตัวของโครงสร้างจุลภาคหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด ซึ่งที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที พบการแตกขนาดใหญ่บริเวณเนื้อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.13 บริเวณที่ 3 และ 4 ลักษณะรอยแตกตามแนวขวางรอยเชื่อมแยกไปตามช่องระหว่างเกรน ลักษณะการแตกเช่นนี้จะส่งผลที่แย่ต่อสมบัติทางด้านการรับแรงดึง ความร้อนที่เกิดขึ้นนอกจากส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วยังส่งผลให้ชิ้นงานหลังการเชื่อมเกิดการแตกร้าวได้เช่นกัน ซึ่งหากมีความร้อนในขณะเชื่อมที่สูงเกินไป รูปที่ 4.13 บริเวณที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่ามีการไหลของเกรนอย่างชัดเจน เนื่องจากแรงเสียดทานที่เกดจากการหมุนของหัวพิน บริเวณปลายหัวพินความร้อนเกิดขึ้นรอบๆ หัวพินส่งผลให้ได้รับอิทธิพลของความร้อนเช่นกัน นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของเกรนบริเวณนั้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.13 บริเวณที่ 5



รูปที่ 4.13 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

4.2.9 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที

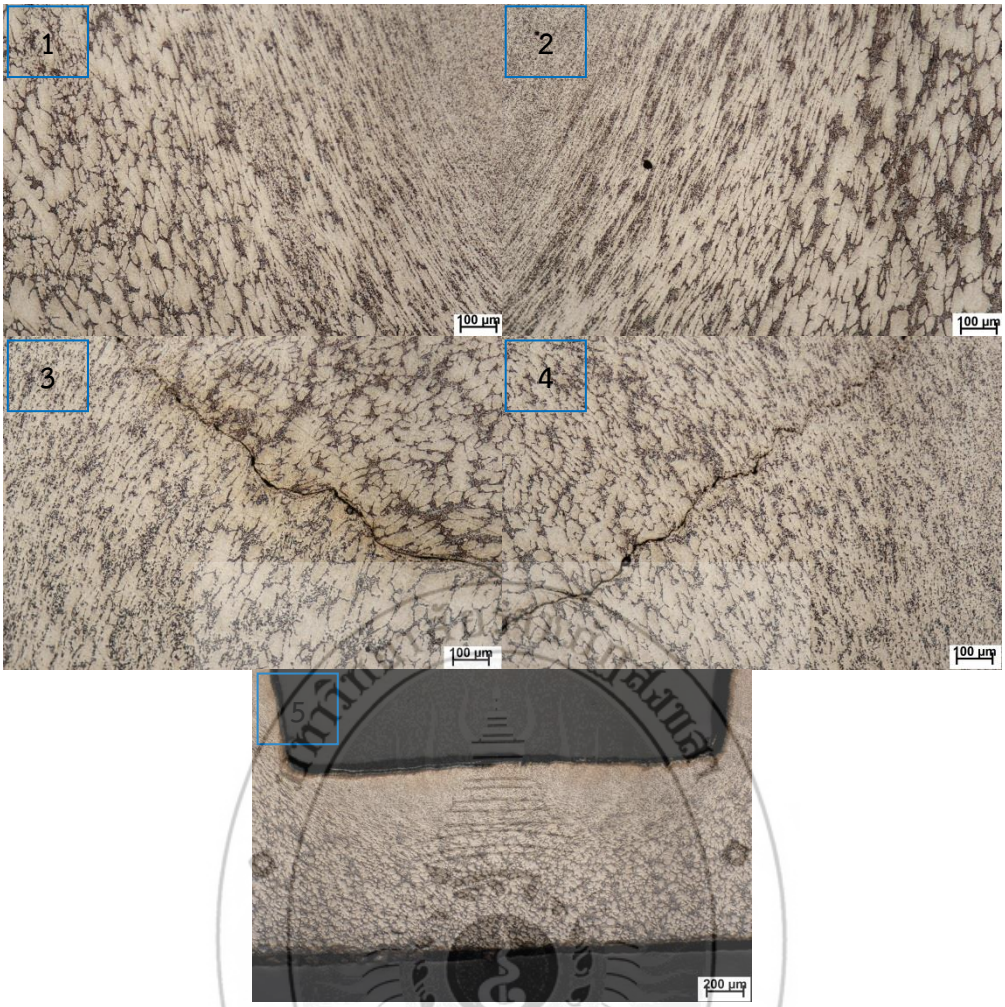
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที พบว่ารอยเชื่อมมีความกว้างที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ ส่งผลมาจากเวลาที่กดแช่ที่นาน ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นมีเวลาในการแพร่ผ่านไปยังโครงสร้างก้อนกลม ซึ่งเป็นโครงสร้างเดิมของวัสดุ ทำให้โครงสร้างก้อนกลมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะหยาบหรือโครงสร้างที่มีลักษณะละเอียดแตกต่างกันไป โดยที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที บริเวณเนื้อเชื่อม (รูปที่ 4.14 บริเวณที่ 3 และ 4) โครงสร้างจุลภาคมีขนาดที่เล็กละเอียด รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุด โดยเฉพาะรอยแตกร้าว อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าบริเวณปลายของหัวพินลักษณะโครงสร้างจุลภาคมีการไหลตัวไปในทิศทางเดียวกันเป็นบริเวณกว้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 บริเวณที่ 5 สาเหตุมาจากความร้อนที่เกิดสูงอันเนื่องมาจากเวลากดแช่ที่นาน และรูปที่ 4.14 บริเวณที่ 1 และ 2 แสดงบริเวณที่โดนความร้อนจากด้านบนของชิ้นงาน จนเกิดเป็นครีบ เนื้อวัสดุบางส่วนที่เกิดการไหลวนจะไหลขึ้นด้านบนชิ้นงานเชื่อมจนเป็นครีบ ดังนั้นการไหลของรางสร้างจึงไหลตามยาวขนานกับรอยเชื่อมชิ้นด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 บริเวณที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.14 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

4.2.10 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที

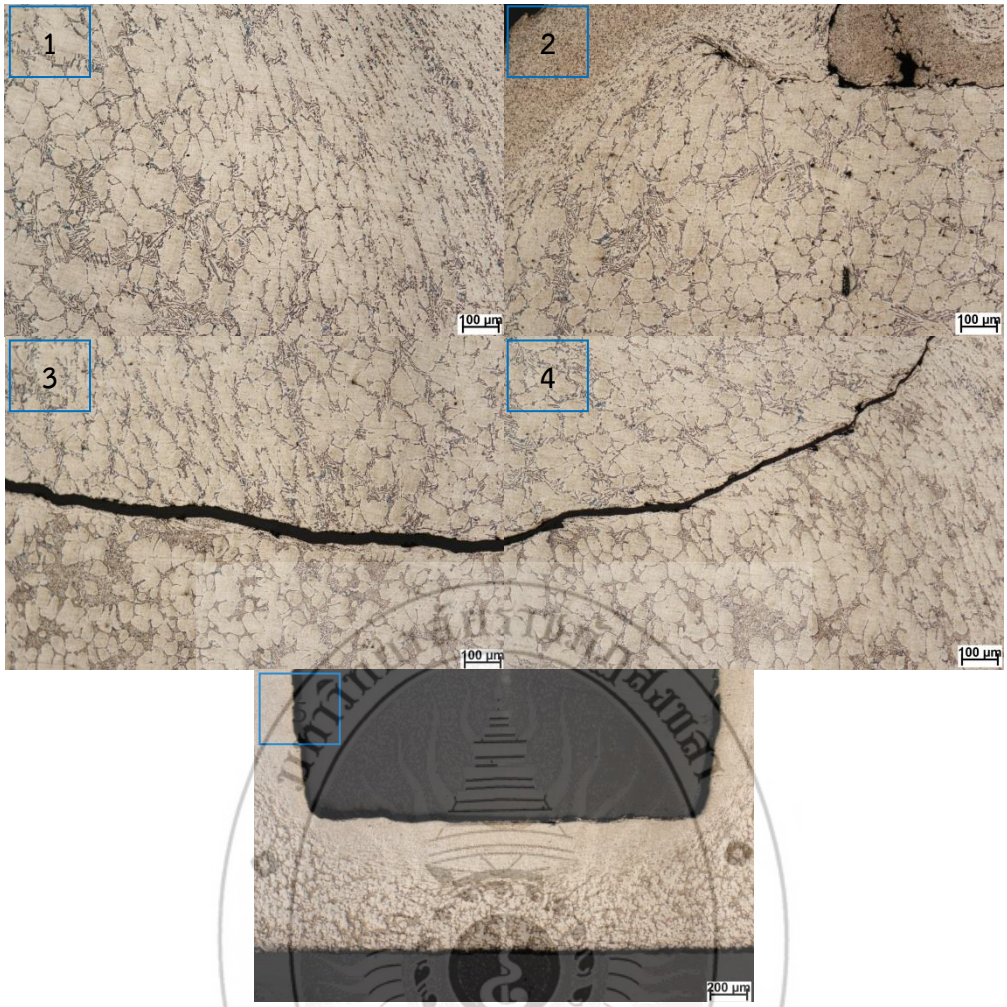
ความเร็วรอบเป็นอีกตัวแปรที่สร้างความร้อนในขณะเชื่อมเสียดทานแบบจุด โดยลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 60 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าบริเวณเนื้อเชื่อม (รูปที่ 4.15 บริเวณที่ 3 และ 4) พบรอยแตกขนาดใหญ่ตามขวางของรอยเชื่อมทั้งสองด้าน ลักษณะรอยแตกจะแตกจากตรงกลางเนื้อเชื่อมไปยังบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนไปหาเนื้อเดิมของวัสดุ โดยจะแตกร้าวตามขอบเกรนไปเรื่อยๆ สาเหตุมาจากความร้อยที่สูงเกินไป โดยที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที จะเกิดการแตกในทุกๆ เวลาในการกดแช่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที สร้างความร้อนที่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามบริเวณปลายหัวพินก็เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคอย่างชัดเจน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นส่งผลไปยังด้านล่างของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 บริเวณที่ 5 แต่บริเวณที่ได้รับความร้อนโดยตรงจากบ่าขอหัวกวนและผิวของชิ้นงานไม่พบรอยแตก เนื่องจากเป็นด้านบนของชิ้นงาน ทำให้การถ่ายเทความร้อนง่าย ส่งผลให้ชิ้นงานไม่เกิดการแตกร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.15 บริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60 วินาที

4.2.11 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที

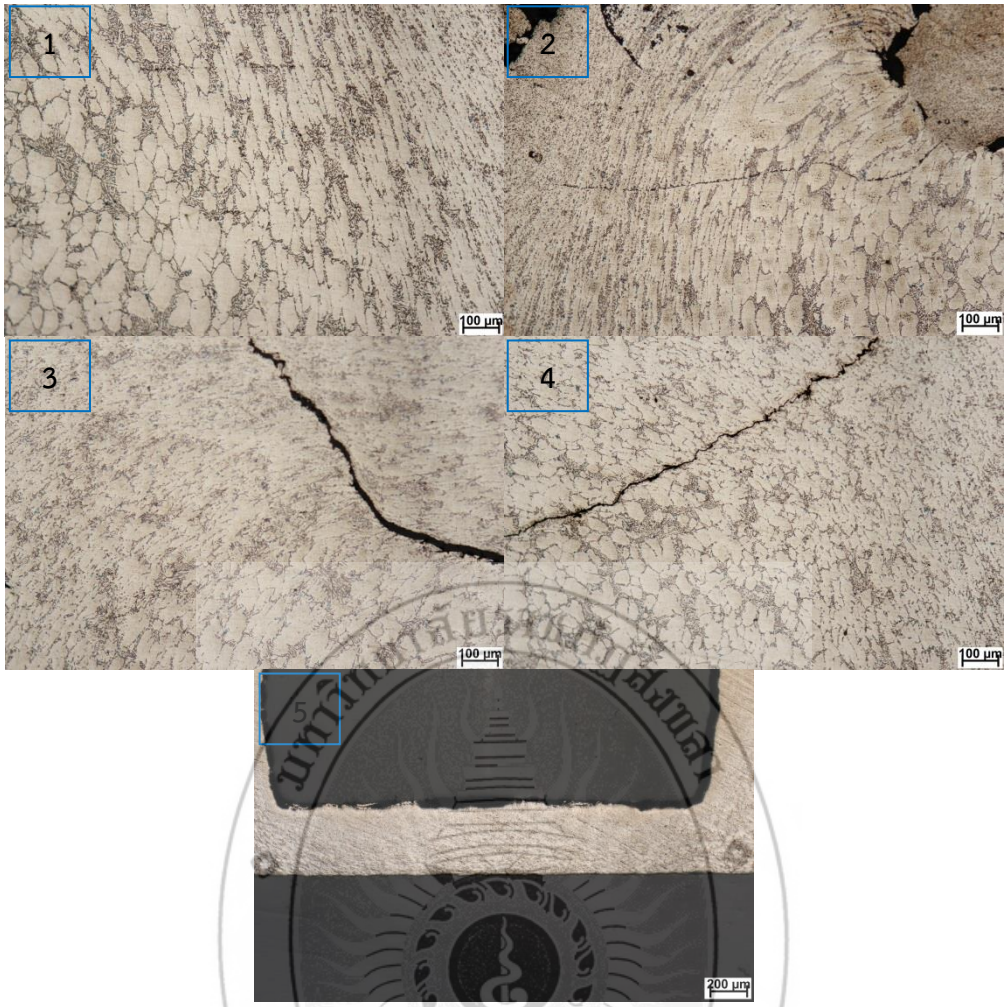
คล้ายๆ กันลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 90 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่ามีรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ตามขวางของรอยเชื่อมทั้งสองด้านเช่นกัน ลักษณะรอยแตกจะแตกจากตรงกลางเนื้อเชื่อมไปยังบริเวณเนื้อเดิมของวัสดุ โดยแตกตามยาวบริเวณขอบเกรนของวัสดุผ่านบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.16 บริเวณที่ 3 และ 4 ตามลำดับ รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ส่งผลต่อการต้านทานแรงดึงที่ต่ำ แต่ไม่ส่งผลต่อความแข็งของชิ้นงาน โดยค่าความแข็งจะขึ้นอยู่กับความร้อนและการเย็นตัวหลังการเชื่อม เวลาในการกดแช่ที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การสะสมความร้อนระหว่างการเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการแตกร้าวสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 การหาเทคนิคในการเชื่อมหรือหาตัวแปรจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามบริเวณครีบก็ไม่เกิดการแตกร้าวของชิ้นงาน ซึ่งคล้ายๆ กันกับที่เวลากดแช่ 60 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.16 บริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 90 วินาที

4.2.12 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที

รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลากดแช่ 120 วินาที จะเห็นได้ว่าเมื่อตรวจสอบในระดับจุลภาค พบรอยแตกร้าวขนาดใหญ่บริเวณเนื้อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.17 บริเวณที่ 3 และ 4 ซึ่งที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที ในทุกการทดลองพบรอยแตกร้าวอย่างชัดเจน เพราะการหมุนของหัวกวนที่เร็วสร้างความร้อนที่สูง และเป็นสาเหตุของการแตกร้าว เป็นที่น่าสังเกตว่าเวลาในการกดแช่ที่นานจะทำให้รอยแตกมีความกว้างที่สูงขึ้นด้วย และส่งผลให้บริเวณรอยเชื่อมมีความกว้างตามไปด้วย รูปที่ 4.17 บริเวณที่ 1 และ 2 พบว่าเกรนถูกดึงให้เกิดการไหลตัวไปในทิศทางเดียวกัน โดยเกรนเหล่านี้จะไหลในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกันกับทิศทางของการหมุนเชื่อม ลักษณะการไหลของเกรนจะไหลวนรอบหัวพินที่ใช้ในการเชื่อม เกรนบริเวณดังกล่าวจึงมีลักษณะเป็นวงรียาวเรียงตัวไปในแนวเดียวกัน ซึ่งเนื้อวัสดุบางส่วนข้างๆ บ่ากวนจะถูกแรงกระทำให้ไหลออกไปเป็นครีบของชิ้นงานหลังการเชื่อม เสียดทานแบบจุด



รูปที่ 4.17 ลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อมเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 120 วินาที

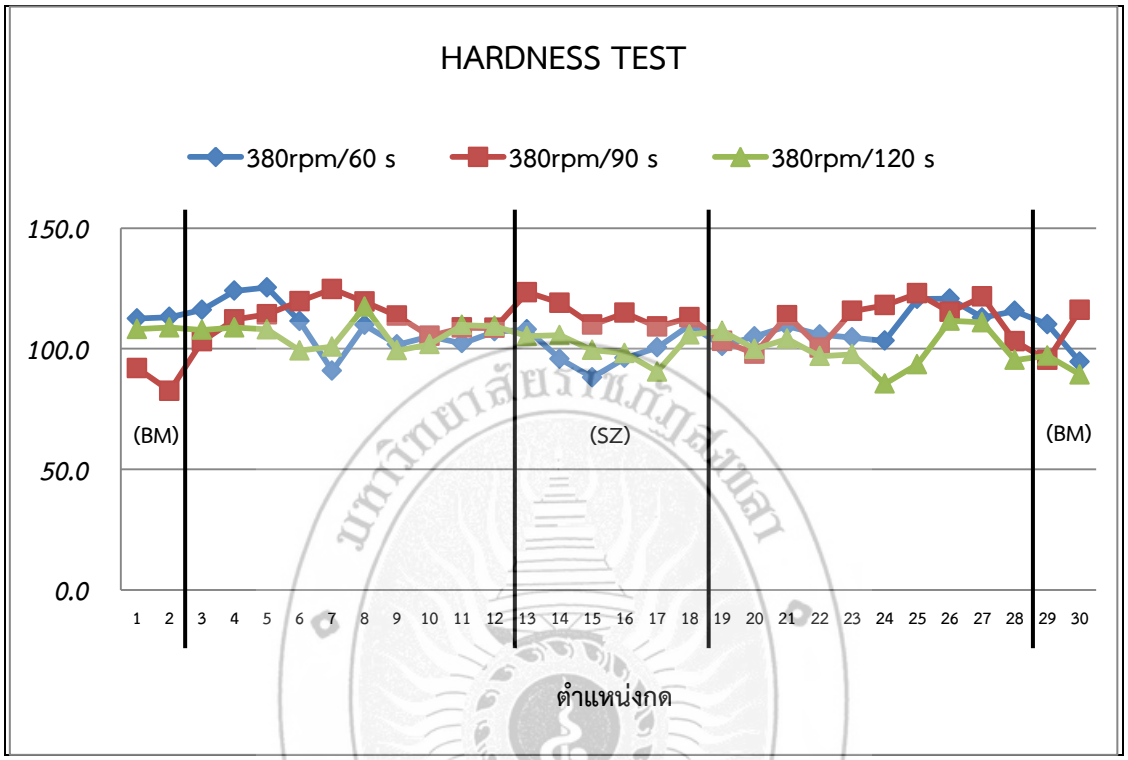
4.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส โดยการกดบริเวณพื้นที่หน้าตัดรอยเชื่อม ซึ่งถูกตัดขนานกับรอยเชื่อม ขัดให้เรียบ ใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที บนรอยเชื่อมบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน และเนื้อโลหะเดิม รอยกดมีระยะห่างกันประมาณ 400 µm หรือประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที ระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที ดังนี้

4.3.1 ผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

รูปที่ 4.18 แสดงผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 90.2 HV บริเวณเนื้อเชื่อม (SZ) ที่เวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 99.72, 114.87 และ 100.80 HV ตามลำดับ ซึ่งค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมสูงกว่าเนื้อโลหะเดิมเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 10.55, 27.35 และ 11.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามบริเวณที่

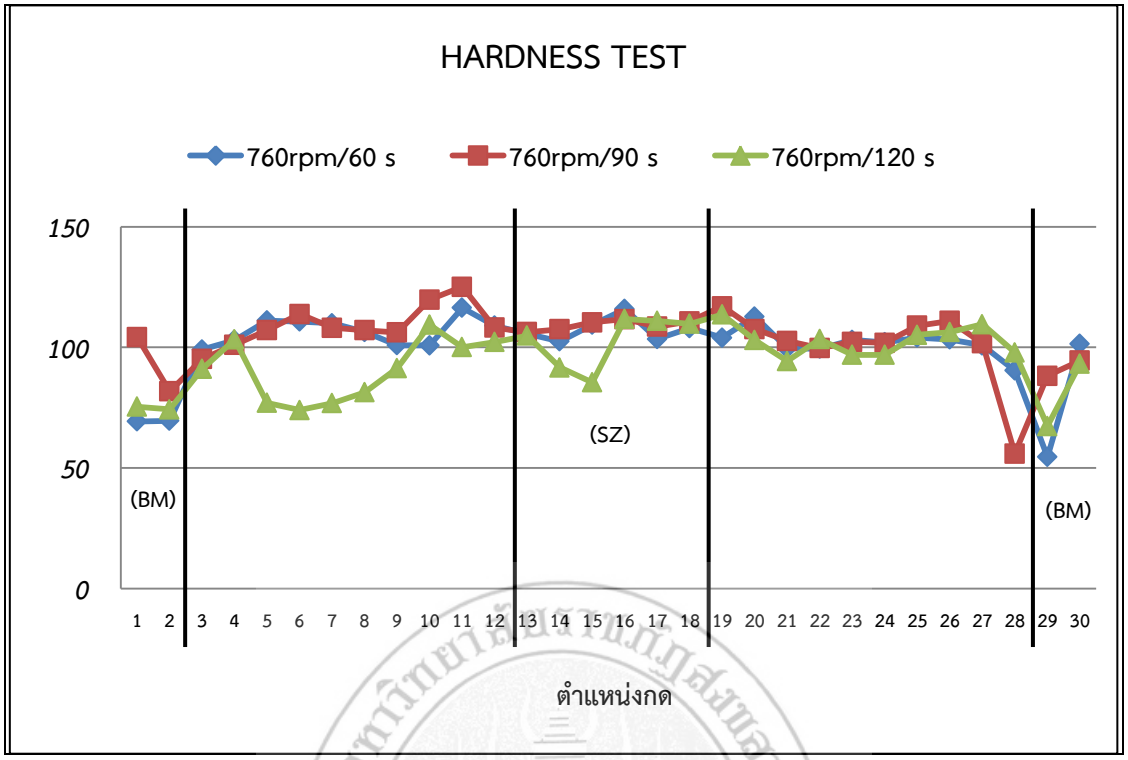
ได้รับผลกระทบทางความร้อนพบว่ามีค่าความแข็งน้อยกว่าบริเวณเนื้อเชื่อมและเนื้อเดิมของวัสดุเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงของเกรนจากความร้อนในขณะเชื่อม ส่งผลให้มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 90 วินาที มีค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมเฉลี่ยสูงกว่าที่เวลากดแช่อื่นๆ



รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

4.3.2 ผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

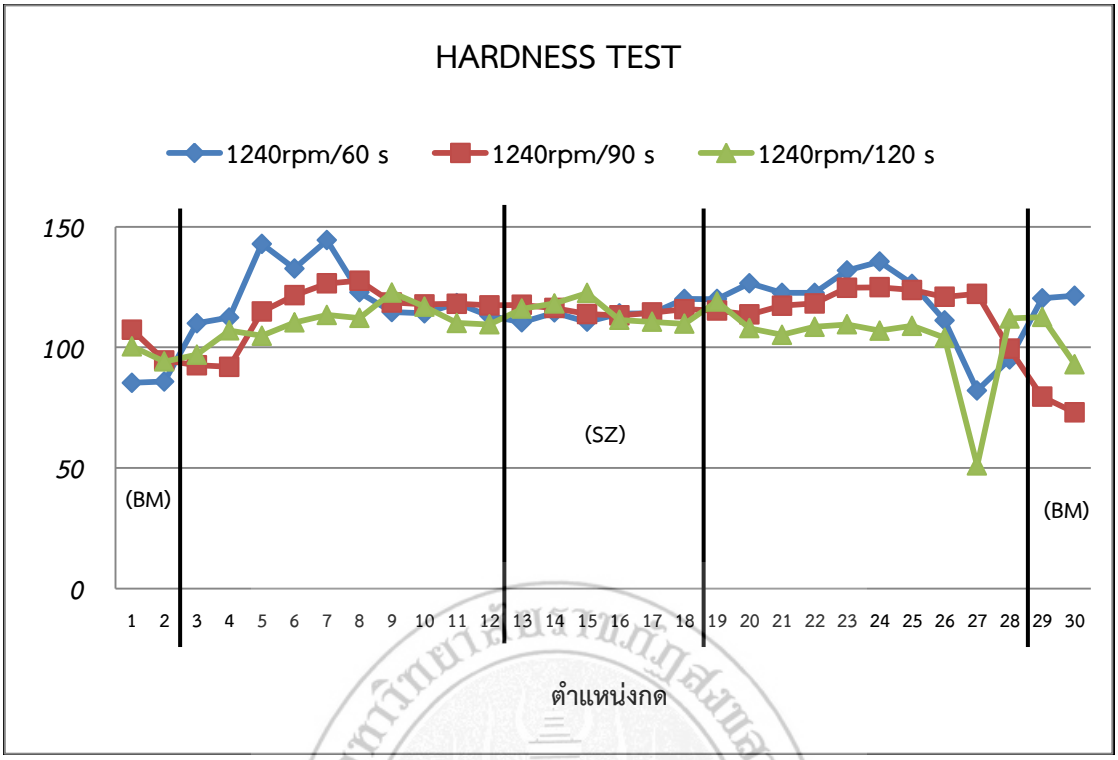
การเพิ่มความเร็วในการหมุนเชื่อมที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที เวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิม เฉลี่ยอยู่ที่ 90.8 HV ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ตัวแปรความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที บริเวณเนื้อเชื่อมให้ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาในการกดแช่ พบว่าเวลาในการกดแช่ 60 วินาที ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 107.50 HV คิดเป็น 19.18 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเวลาในการกดแช่ 90 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 109.22 HV ซึ่งเป็นค่าความแข็งสูงสุด คิดเป็น 21.09 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการกดแช่ 120 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 102.45 HV คิดเป็น 13.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที พบว่าความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงกว่า เพราะความร้อนจากการหมุนที่สูงกว่า นำไปสู่โครงสร้างจุลภาคที่ละเอียดกว่า ส่งผลให้ได้ค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงกว่าด้วย



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 760 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

4.3.3 ผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

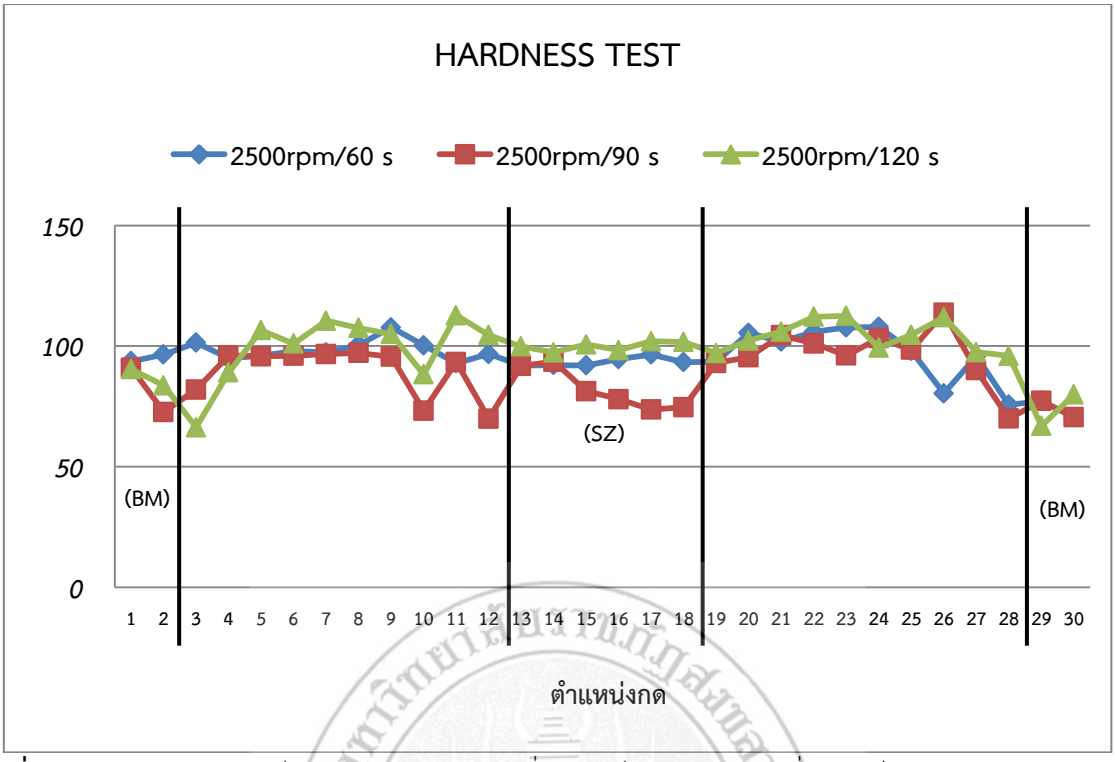
รูปที่ 4.20 แสดงผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงกว่าที่ความเร็วรอบ 380 และ 760 รอบ/นาที อย่างชัดเจน กลไกการสร้างความร้อนเกิดจากการหมุนของหัวกวน ทำให้รอบในการหมุนที่สูงสร้างความร้อนได้สูงกว่า ส่งผลโดยตรงต่อค่าความแข็ง แต่ความแข็งที่สูงไปนำไปสู่สมบัติด้านความเปราะของชิ้นงานเช่นกัน และเมื่อตรวจสอบความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิมมีค่าเฉลี่ยที่ 91.1 HV ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับเนื้อวัสดุเดิมในตัวแปรอื่นๆ สำหรับบริเวณเนื้อเชื่อมพบว่าคล้ายๆ กันในทุกการทดลอง โดยมีค่าที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งที่เวลาในการกดแช่ที่ 60 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 113.93 HV คิดเป็น 26.31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัสดุเดิม สำหรับเวลาในการกดแช่ที่ 90 วินาที ค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 115.18 HV คิดเป็น 27.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในการทดลองที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ที่ 120 วินาที ค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 114.75 HV คิดเป็น 27.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมส่งผลต่อความแข็งของชิ้นงานหลังการเชื่อม นอกจากนั้นการเย็นตัวของชิ้นงานหลังการเชื่อมก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน ซึ่งเมื่อชิ้นงานหลังการเชื่อมเย็นตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งที่สูง ในทางตรงกันข้ามหลังการเชื่อมหากชิ้นงานเย็นตัวอย่างช้าๆ ส่งผลให้ความแข็งของชิ้นงานน้อยลงตามไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

4.3.4 ผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

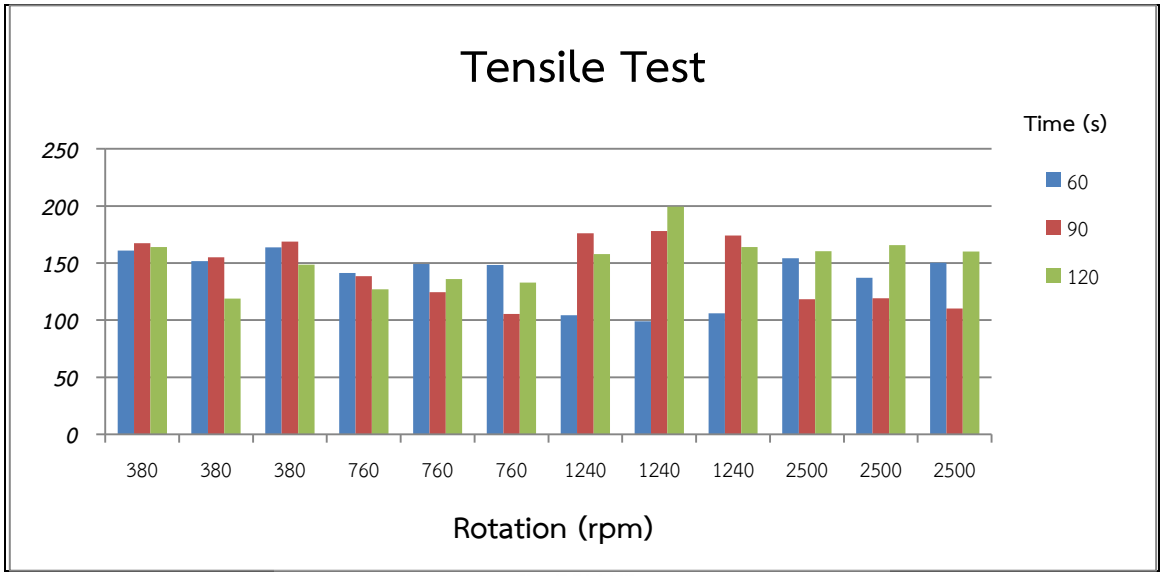
รูปที่ 4.21 แสดงผลความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที จากการทดลอง พบว่าค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิมมีค่าเฉลี่ยที่ 90.0 HV บริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน เพราะความเร็วรอบที่สูงส่งผลให้เกิดความร้อนได้ดี นำไปสู่การแผ่ความร้อนได้รวดเร็ว ส่งผลให้บริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน โดยที่เวลาในการกดแช่ 60 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ย 93.42 คิดเป็น 3.57 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัสดุเดิม ซึ่งเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย เวลาในการกดแช่ 90 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ย 82.17 HV คิดเป็น 1.2 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการกดแช่ 120 วินาที มีค่าความแข็งเฉลี่ย 99.98 HV คิดเป็น 8.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งกับความเร็วรอบอื่นๆ พบว่ามีค่าไม่สูงมาก เนื่องจากการหมุนที่เร็วเกินไปส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนบางส่วนในขณะเชื่อมเสียดทานแบบจุด ความร้อนเหล่านั้นไม่ถูกส่งไปที่ชิ้นงานและไม่ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

4.4 การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและเวลาในการกดแช่ ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลอง ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดอยู่ที่ 199.3 MPa ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 120 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร เนื่องจากที่ตัวแปรดังกล่าวเนื้อเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องหลังจากการเชื่อม อีกทั้งมีโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมที่ละเอียด ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ดี ในทางตรงกันข้าม ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 90 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่ามีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนต่ำสุดที่ 98.7 MPa สำหรับตัวแปรดังกล่าวพบว่ามีการเชื่อมติดที่ไม่สมบูรณ์ นำไปสู่สมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงเฉือนที่ต่ำ เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที ในทุกเวลากดแช่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนในระดับปานกลาง แต่เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแสดงให้เห็นว่ามีการแตกร้าวบริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งมาจากความเร็วรอบในการทดลองนี้สูงส่งผลให้ความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน ทำให้เนื้อเชื่อมที่ตัวแปรนี้มีความแข็งเปราะ ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนอยู่ที่ 149.5 MPa สำหรับที่ความเร็วรอบ 380 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนอยู่ที่ 164.1 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสมบูรณ์ของชิ้นงานหลังการเชื่อมส่งผลต่อสมบัติทางด้านแรงดึงโดยตรง ซึ่งมาจากตัวแปรที่แตกต่างกันที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงที่ความเร็วรอบ 380, 760, 1240 และ 2500 รอบ/นาที และเวลาในการกดแช่ 60, 90 และ 120 วินาที

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแข็งแรงดึงด้วยวิธีการทางสถิติ

ในสมมุติฐานการทดลองจะทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (main effects) และผลกระทบ (interaction) ที่ 2 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ คือ ความเร็วรอบของกรรมวิธีเสียดทานแบบจุด

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบแตกต่างกัน

- ทดสอบสมมติฐานอิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ ระยะเวลาการกดแช่

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่แตกต่างกัน

พิจารณา 2 Factor Interaction Effect

-ทดสอบอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและเวลาในการกดแช่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ ทุกระดับi,jไม่มีอิทธิพลของอันตรกิริยา $(i = 1,2,3,4;\ j = 1,2,3)$

$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของอันตรกิริยา $(i = 1,2,3,4;\ j = 1,2,3)$

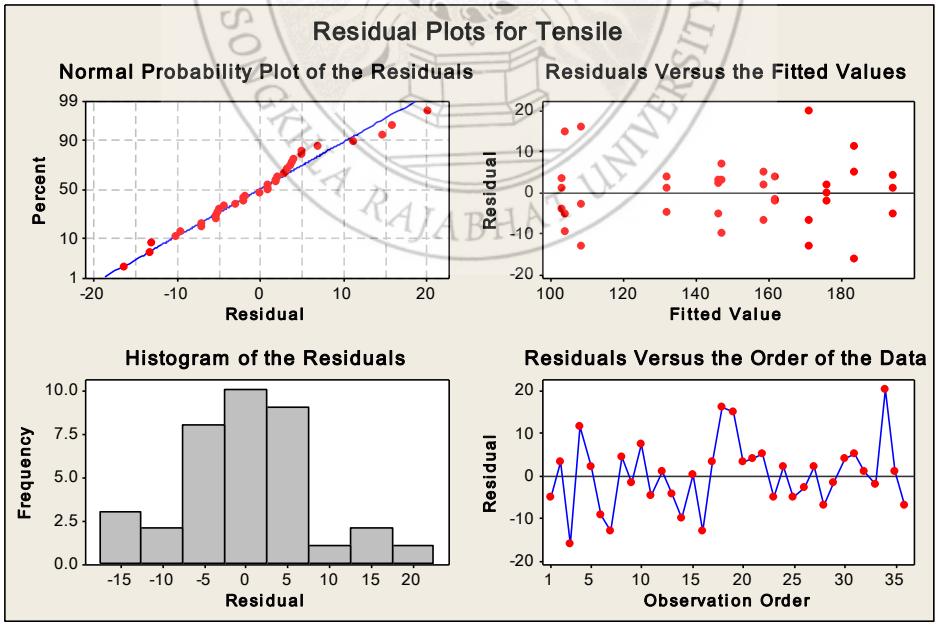
4.5.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบ

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม เป็นเส้นตรง และการกระจายตัวรอบค่าศูนย์ในลักษณะใด เพื่อให้มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะการควบคุมโดยพิจารณาดังนี้

1) พิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล โดยดูจากกราฟ residual versus the order of the data จากรูปที่ 4.23 เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่มอยู่ภายใต้พิกัดควบคุมหรือไม่จากลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญ จากภาพ ดังกล่าวไม่พบความผิดปกติของเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม

2) พิจารณากระจายตัวว่าข้อมูลเป็นแบบการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากข้อมูลมีมากกว่า 30 ตัว จึงพิจารณาจาก Histogram of the residuals ดังรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงการกระจายตัวแบบ normal distribution จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

3) พิจารณาข้อมูลรอบค่าศูนย์ ลักษณะการกระจายตัวอยู่ในแนวเดียวกันมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์จาก (Model Adequacy Checking) ดังรูปที่ 4.23 ลักษณะข้อมูล Residuals versus the fitted values ที่ได้มีบางค่าที่กระจายตัวออกห่างจากจุดศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอทำให้ไม่มั่นใจในความแปรปรวนของเงื่อนไขในการทดลอง มีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน



รูปที่ 4.23 การวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง

จากรูปที่ 4.24 แสดงช่วงความเชื่อมั่น ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของรอยเชื่อมจากปัจจัยต่างๆ เหลื่อมกัน แสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 12 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบได้ดังนี้

ทดสอบความแตกต่างกันของความแปรปรวน จากสมมติฐาน

$\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \sigma_4^2, \sigma_5{}^2, \sigma_6{}^2, \sigma_7^2, \sigma_8^2, \sigma_9^2, \sigma_{10}^2, \sigma_{11}^2, \sigma_{12}^2$ คือค่าความแปรปรวนของแต่ละการทดลอง

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5{}^2 = \sigma_6{}^2 = \sigma_7^2 = \sigma_8^2 = \sigma_9^2 = \sigma_{10}^2 = \sigma_{11}^2 = \sigma_{12}^2$$

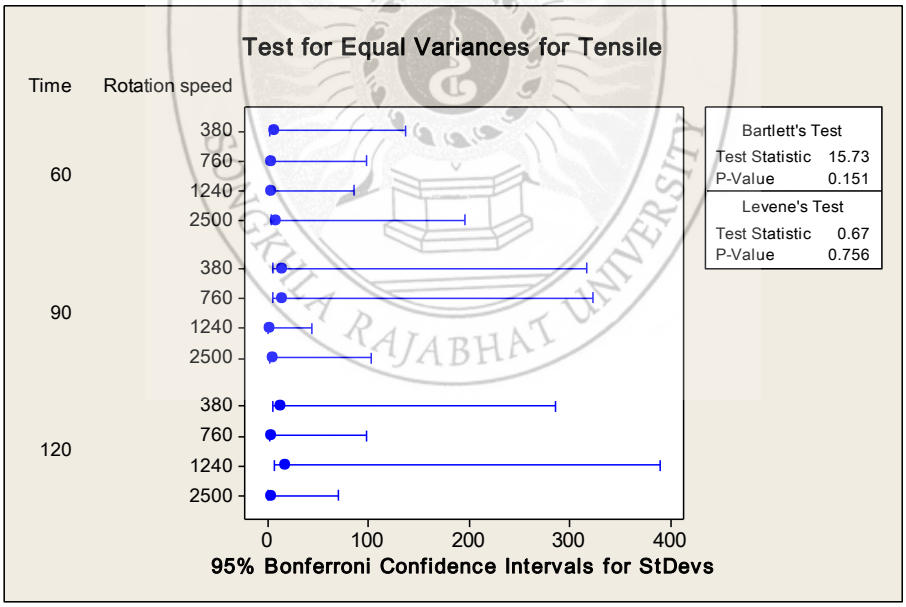
ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 12 เท่ากัน

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2 \neq \sigma_5{}^2 \neq \sigma_6{}^2 \neq \sigma_7^2 \neq \sigma_8^2 \neq \sigma_9^2 \neq \sigma_{10}^2 \neq \sigma_{11}^2 \neq \sigma_{12}^2$$

ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 12 ไม่เท่ากัน

ทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

จาก Bartlett's Test ผลของการคำนวณที่ได้ ดังรูปที่ 4.24 ยอมรับ H_0 เนื่องจากค่า Value = 0.151 ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า α = 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 12 ครั้ง มีค่าเท่ากัน หรือมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.24 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าความแข็งแรงดึงตามปัจจัยต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 4.1 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 93.50% หมายความว่า ความผันแปรต่างๆ ของการทดลองที่สามารถควบคุมได้ (Controllable) เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์หรือปัจจัยต่างๆที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง มีค่าเท่ากับ

93.50% ส่วนที่เหลือประมาณ 6.50% เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) ดังนั้น การออกแบบการทดลองครั้งนี้ ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.1 แสดง ANOVA ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วรอบ และเวลาในการกดแช่

Analysis of Variance for Tensile, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rotation speed	3	6824.1	6824.1	2274.7	24.24	0.00
Time	2	5094.7	5094.7	2547.4	27.15	0.00
Rotation speed*Time	6	20483.9	20483.9	3414	36.38	0.00
Error	24	2252.1	2252.1	93.8		
Total	35	34654.8				

S = 9.68705 R-Sq = 93.50% R-Sq(adj) = 90.52%

4.5.2 ทดสอบสมมติฐานของการทดลอง

ในการทดสอบสมมติฐานในการทดลองจะต้องทำการพิจารณาที่ผลกระทบหลัก (main effects) และผลกระทบ (interaction) ที่ 2 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

พิจารณา Main Effect

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือ

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของความเร็วรอบแตกต่างกัน

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ปฏิเสธ H_0 เนื่องจากค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha α = 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยความเร็วรอบ มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

-ทดสอบสมมติฐานอิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่

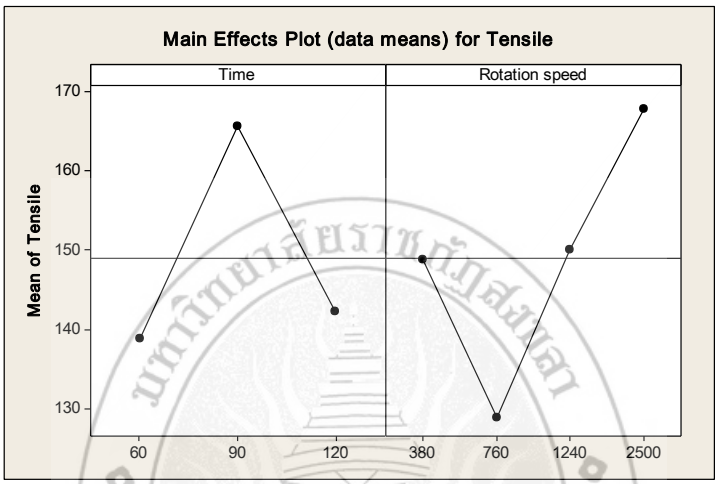
$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta = 0$ สำหรับทุกระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของระยะเวลาการกดแช่แตกต่างกัน

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ปฏิเสธ H_0 เนื่องจากค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อ

เทียบกับค่า Alpha α = 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยความเร็วรอบของเครื่องมือและเวลากดแช่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความเร็วรอบ และเวลาในการกดแช่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง พบว่าเพิ่มเวลาในการกดแช่ จาก 60 วินาที เพิ่มเป็น 90 วินาที ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มความเร็วรอบ พบว่าความเร็วที่ 2500 รอบ/นาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด ส่วนความเร็วรอบที่ 1240 รอบ/นาที นั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงดึงน้อยลงมา แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบ และเวลาการกดแช่

พิจารณา 2 Factor Interaction Effect

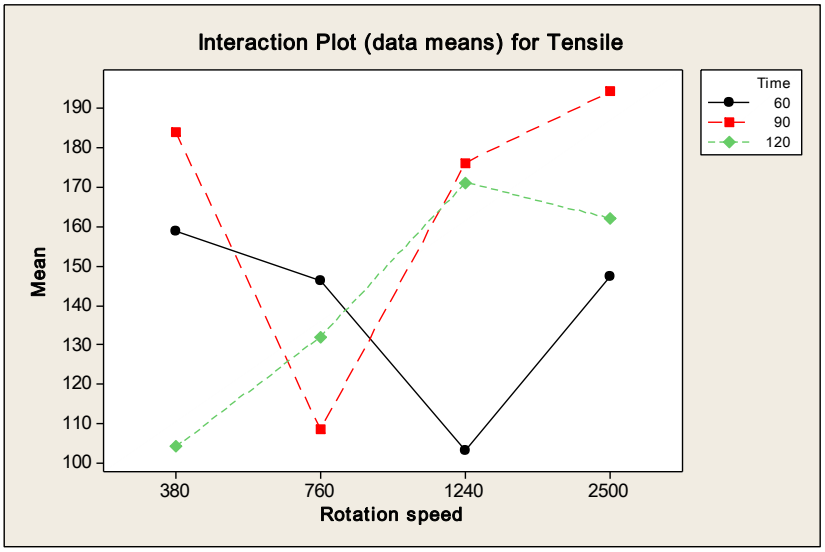
-ทดสอบอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและเวลาในการกดแช่

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ ทุกระดับi,jไม่มีอิทธิพลของอันตรกิริยา $(i = 1,2,3;\ j = 1,2)$

$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของอันตรกิริยา $(i = 1,2,3;\ j = 1,2)$

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของอันตรกิริยาด้วย ANOVA พบว่าปฏิเสธ H_0 เนื่องจากค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า Alpha α = 0.05 ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่ามีอิทธิพลของอันตรกิริยา ระหว่างความเร็วรอบกับความเร็วเดินกวนมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากรูปที่ 4.26 กราฟแสดง Interaction ระหว่างอิทธิพลของ เวลาในการกดแช่ และความเร็วรอบ พบว่าที่เวลาในการแช่ 90 วินาที มีแนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเร็วรอบ จาก 1240 รอบ/นาที เป็น 2500 รอบ/นาที โดยพบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบ/นาที และเวลากดแช่ 90 วินาที



รูปที่ 4.26 อันตรกิริยาระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบ และเวลาการกดแช่

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM 7075 ซึ่งหลังการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของวัสดุกลุ่มนี้ ชิ้นงานถูกนำไปทดสอบสมบัติทางกล ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค หลังจากการทดลองผลการศึกษาทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

การเชื่อมเสียดทานแบบจุดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM 7075 พบว่าสามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานยึดติดกันได้ดี และสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

(1) ความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดอยู่ที่ 199.3 MPa ที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 120 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร และความแข็งแรงดึงเฉือนต่ำสุดที่ 98.7 MPa ได้จากตัวแปรที่ความเร็วรอบ 1240 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 90 วินาที และระยะกดลึก 2 มิลลิเมตร

(2) ความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมสูงกว่าเนื้อโลหะเดิม และบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนมีค่าความแข็งน้อยกว่าบริเวณเนื้อเชื่อมและเนื้อเดิมของวัสดุ

(3) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 93.50 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมได้ และส่วนที่เหลือประมาณ 6.50% เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้

(4) ชิ้นงานหลังการเชื่อมยึดติดทุกตัวแปร โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมมีลักษณะละเอียด และโครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบทางความร้อนมีลักษณะหยาบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรมีการศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบจุดของวัสดุจำพวกเหล็กหล่อ ซึ่งมีการใช้งานในการผลิตชิ้นส่วนระบบราง เพื่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

(2) ควรมีการศึกษาวิจัยสร้างเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบจุดเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมจริง ซึ่งอุตสาหกรรมการต่อเรือ อุตสาหกรรมระบบราง อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจะได้ประโยชน์ด้วย

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ (2554) การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบจุดของรอยต่อเกยอะลูมิเนียมผสมเกรด 1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เจนณรงค์ นาคเทวัญ (2555) การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธงชัย เครือเผือ (2552) การเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง A356 ด้วยการเสียดทานแบบกวน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประภาศ เมืองจันทร์บุรี (2550) อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะและสมบัติทางกลในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม A356 ซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีการหล่อกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

มูหามัด เต๊ะยอ (2554) การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 356 กับอะลูมิเนียมผสม AA6061-T651 โดยใช้เครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วรพงค์ บุญช่วยแทน (2554) การตรวจหารอยบกพร่องในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 หล่อกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวนในสภาพของกระบวนการทางความร้อน T6 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วรพงค์ บุญช่วยแทน ธเนศ รัตนวิไล ประภาศ เมืองจันทร์บุรี และกนิษฐ์ ตะปะสา (2554) การเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาพของกระบวนการทางความร้อน T6 บทความวิจัย วิศวกรรมสาร มข ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2554

ศุภชัย ชัยณรงค์ (2554) การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีเสียดทานแบบกวน สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อดิศร เปลี่ยนดิษฐ์ และกิตติพงษ์ กิมะพงษ์ (2554) อิทธิพลระยะลึกและรูปทรงบ่าของเครื่องมือเชื่อมต่อความแข็งแรงของรอยต่อการเชื่อมเสียดทานแบบจุดระหว่างอะลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Mukuna P. (2014) “Friction Stir Spot Welding of Dissimilar Materials: An Overview”.

R.S. Mishra, Z.Y. Ma, (2005) “ Friction Stir Welding and Processing.” Journal of Material Science and Engineering. Vol. 50.

X. W. Yang, T. Fu, and W. Y. Li1, (2014) “Friction Stir Spot Welding: A Review on Joint Macroand Microstructure, Property, and Process Modelling” Advances in Materials Science and Engineering. pp. 1–11.

Z. Shen, X. Yang, Z. Zhang, L. Cui, and T. Li, (2013) “Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints,” Materials and Design, vol. 44, pp. 476–486.