รายงานการวิจัย

การเชื่อมต่างวัสดุของอะลูมิเนียม SSM356 กับ SSM6061
โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน

Dissimilar of SSM356 with SSM6061 Aluminiums Alloy
by Friction Welding Process

นายศุภชัย ชัยณรงค์
นายชัยยุทธ มีงาม

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. ๒๕๕๗

ชื่องานวิจัย การเชื่อมต่างวัสดุของอะลูมิเนียม SSM356 กับ SSM6061 โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน

ผู้วิจัย นายศุภชัย ชัยณรงค์
นายชัยยุทธ มีงาม

คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปี 2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการเชื่อมเสียดทานของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี GISS โดยตัวแปรที่เชื่อมเสียดทาน ได้แก่ ความเร็วรอบที่ 1550, 1700 และ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัดที่ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานต่างชนิดกันยึดติดด้วยกันได้ดี โครงสร้างจุลภาคของทั้งสองวัสดุผสานเข้ากันได้ ซึ่งพบว่าที่ความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.240 MPa และความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 64.0 HV

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title	Dissimilar of SSM356 with SSM6061 Aluminium Alloy by Friction Welding Process
Researcher	Mr. Suppachai Chainarong Mr. Chaiyoot Meengam
Faculty	Industrial
Year	2557

Abstract

The objective of this study is parameters that affect to friction welding of semi-solid metal 356 aluminium alloy with semi-solid metal 6061 aluminium alloy from a rheocasting technique named gas induced semi solid process. The parameters are rotation speeds such as 1550, 1700 and 1880 rpm burn of length at 2, 2.5 and 3 mm respectively. From experiment found that can produce a very good weld and microstructure mixture, rotational speed of 1850 rpm, burn of Length of 2.5 millimeters has maximum ultimate tensile strength average was 87.240 MPa and rotation speed at 1700 rpm has maximum vickers hardness is 64.0 HV

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงองค์ความรู้สำหรับเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการแบบใหม่ๆ ซึ่งจากการวิจัยมีผลที่ดี โดยงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความร่วมมือจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้และความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย ตลอดจนนักศึกษาและคณาจารย์ทุกท่านในโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการให้ความร่วมมือสำหรับงานวิจัยนี้ให้มีความสำเร็จและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งนำไปสู่มีความสำเร็จและสมบูรณ์ของงานวิจัย

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตลอดจนศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา จนสามารถดำเนินงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วนทุกประการ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ทำงานวิจัยต้องขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ และขอน้อมรับเพื่อนำไปปรับปรุงต่อไป คณะผู้ทำงานวิจัยต้องขอขอบพระคุณทุกท่าน ทุกฝ่าย ที่มีส่วนในการสนับสนุนสำหรับการทำวิจัยด้วยใจจริง 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/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
การดำเนินงานวิจัย	11
วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	12
เครื่องมือและอุปกรณ์	13
ขั้นตอนการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	18
ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อมหลังการเชื่อมเสียดทาน	18
การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค	24
การตรวจสอบอนุภาคการกระจายตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	27
อิทธิพลความเร็วรอบกับการแตกหักของอนุภาค	28
ความแข็งแรงดึง	29
ความแข็ง	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	**หน้า**
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึง	36
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความแข็ง	38
ประวัติผู้เขียน	40

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง SSM 6061 12
3.2 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง SSM356 13
3.3 ตัวแปรในการทดลองเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุ 17
4.1 ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมเสียดทานระหว่าง อะลูมิเนียม SSM6061 กับ SSM356 29
ผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม 37
ผนวก ข ผลการทดสอบความแข็ง 39

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 3
2.2 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียม เกรด SSM356 4
2.3 หลักการเชื่อมเสียดทาน 5
2.4 ขั้นตอนการเชื่อมเสียดทาน 5
2.5 เครื่องกลึงระบบอัตโนมัติ 7
2.6 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370 7
2.7 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส 8
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป 11
3.2 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM6061 12
3.3 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM356 13
3.4 เครื่องกลึงชิ้นงานยี่ห้อ JET รุ่น GHB-1340A 13
3.5 เครื่องกลึงระบบอัตโนมัติ 14
3.6 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน 14
3.7 ชิ้นงานทดสอบอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 15
3.8 กระบวนการเชื่อมเสียดทานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งต่างวัสดุ 16
4.1 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร 18
4.2 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร 19
4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร 19
4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร 20
4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร 21
4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร 21
4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร 22
4.8 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร 23
4.9 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร 23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม 24
4.11 ตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค 24
4.12 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ตัวแปรในการเชื่อมแตกต่างกัน 25
4.13 การตรวจสอบขนาดของอนุภาคหลังการเชื่อม 27
4.14 ลักษณะอนุภาค Mg_2Si ของชิ้นงานบริเวณเนื้อเชื่อมของตัวแปรต่างๆ 28
4.15 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมจากกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 29
4.16 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร 31
4.17 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร 31
4.18 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร 32

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ช่วงเวลา 30 ปี ที่ผ่านมา วัสดุอะลูมิเนียมถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางด้านสมบัติทางกล โครงสร้าง และคุณสมบัติอื่นๆ เพื่อนำไปสู่การเพิ่มคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทำให้เหมาะในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยปัจจุบันมีเทคนิคและวิธีการมากมายในการเพิ่มคุณสมบัติเหล่านี้ เช่น การเพิ่มสมบัติทางกลด้วยกระบวนการทางความร้อน (T6) การทำให้อยู่ในรูปของวัสดุผสม หรือกระทั่งการปรับปรุงคุณสมบัติทางโครงสร้างจุลภาค เป็นต้น ประเทศไทยก็มีการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน แต่เทคนิคที่กำลังได้รับความสนใจ คือ การปรับปรุงคุณสมบัติทางโครงสร้างจุลภาคโดยใช้เทคโนโลยีของการหล่อกึ่งของแข็ง (Semi-solid) โดยการพ่นฟองแก๊สในน้ำโลหะ (GISS, Gas Induced Semi-Solid) ซึ่งถูกพัฒนาในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาอย่างต่อเนื่อง [1] ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างโลหะกึ่งของแข็งที่คล้ายกับกรรมวิธีการหล่อแบบ Rheocasting โดยการปล่อยแก๊สเฉื่อย (แก๊สอาร์กอน หรือไนโตรเจน) ผ่านแท่งกราไฟต์ ทำให้เกิดการไหลเคลื่อนที่ของน้ำโลหะในขณะที่แข็งตัวและได้โครงสร้างเกรนเป็นแบบก้อนกลม (globular grain) [2] เทคนิคการหล่อกึ่งของแข็งทำให้โครงสร้างเกรนเป็นแบบก้อนกลม ซึ่งไม่เป็นโครงสร้างเกรนแบบเดรนไดรต์เหมือนทั่วๆ ไป ส่งผลให้คุณสมบัติของอะลูมิเนียมดีและมีความสม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน และก็ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตของอุตสาหกรรมได้อีกด้วยเพราะใช้อุณหภูมิในการหล่อที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุ ทำให้แม่พิมพ์ (Mold) มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น [3] ซึ่งอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปโดยใช้เทคโนโลยีของการหล่อกึ่งของแข็งมีหลายเกรดด้วยกัน อะลูมิเนียม เกรด SSM356 และ SSM6061 ก็ผ่านการหล่อด้วยกระบวนการนี้ ซึ่งอะลูมิเนียมทั้งสองเกรดนี้ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบิน เป็นต้น การเชื่อมต่ออะลูมิเนียมทั้งสองเกรดนี้เข้าด้วยกันเป็นเรื่องที่ท้าทายมาก (Challenge) เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่แตกต่างกัน นำไปสู่การเชื่อมที่ยาก โดยเฉพาะการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Liquid State Welding) ที่อาจเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงทางโลหะวิทยา (Metallurgical changes) ความเค้นตกค้างหลังการเชื่อม (Residual stress) การบิดงอของชิ้นงานเชื่อม (Distortion) การแตกร้าวของรอยเชื่อม (Welding crack) และในระหว่างการแข็งตัวจากการหลอมละลายมีปัญหาการเกิดโพรงอากาศ (Porosity) [4] หรือกระทั่งการเลือกตัวแปรในการเชื่อมที่มีความเหมาะสมทำได้ยาก นำไปสู่การทำให้สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมลดลง

อย่างไรก็ตามเพื่อลดการเกิดปัญหาเหล่านั้นที่ส่งผลให้สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมลดลง การเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) ก็เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding) เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็งที่อาศัยการเสียดทานบริเวณผิวหน้ารอยต่อของชิ้นงานภายใต้แรงกด (Pressure) จนทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานเกิดความร้อนทั้งสองชิ้น แล้วใช้แรงกดอีกครั้งเพื่อให้ชิ้นงานยึดติดกัน [5] โดยการเชื่อมเสียดทานไม่จำเป็นต้องเติมลวดเชื่อมในขณะเชื่อม ซึ่งมีตัวแปรในการเชื่อม คือ ความเร็วหมุนหัวจับ (Spindle Speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) และแรงกด (Pressure) [6] อย่างไรก็ตามการเชื่อมชิ้นงานให้ได้สมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อมที่ดีต้องมาจากตัวแปรที่มีความเหมาะสมในการเชื่อม

จากข้อมูลและเหตุผลดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยจะศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการเชื่อมเสียดทานที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน ได้แก่ อะลูมิเนียม เกรด

SSM356 และ SSM6061 ที่จะเชื่อมเข้าด้วยกัน จากนั้นศึกษาจุดบกพร่องจากการเชื่อม (Defect) สมบัติทางโลหะวิทยา (โครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างมหภาค) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (OM) หรือกล้องอิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) สมบัติทางกลของแนวเชื่อม (Weld Metal) เช่น ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง และวิเคราะห์ผลทางสถิติเชิงวิศวกรรม เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในงานเชิงวิศวกรรมและประยุกต์ใช้จริงในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกันของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 และ SSM6061 โดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อมวัสดุวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกันของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 และ SSM6061 โดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน โดยใช้เครื่องกลึงในการควบคุมการเชื่อม ตัวแปรเบื้องต้นในการทดลอง คือ ความเร็วหมุนหัวจับ (Spindle Speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) และแรงกด (Pressure) โดยตัวแปรเบื้องต้นในการทดลองถูกนำไปกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมต่อไป จากนั้นจะศึกษาโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างมหภาค ที่ส่งผลกระทบอันเนื่องมาจากความร้อนหลังจากการเชื่อม ทั้งบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณอื่นๆ ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อม และวิเคราะห์ผลทางสถิติเชิงวิศวกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกันของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 และ SSM6061 โดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน
- องค์ความรู้ที่ได้จากการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกันด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรมได้ เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน อุตสาหกรรมเครื่องบิน เป็นต้น
- ได้องค์ความรู้ใหม่สำหรับการเชื่อมเสียดทานในการเชื่อมวัสดุวิศวกรรมในกลุ่มอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน

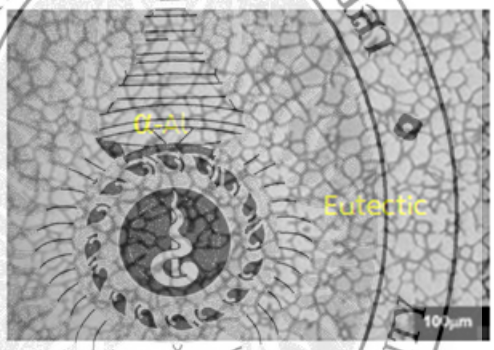
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

2.1.1 อะลูมิเนียมผสม เกรด SSM6061

อะลูมิเนียม AA 6061 เป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมที่มีแมกนีเซียมและซิลิกอนเป็นส่วนผสมสำคัญ สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยการผ่านกระบวนการบ่มแข็งและดึงเพื่อคลายความเค้นตามกระบวนการ T651 เพื่อให้ได้ความแข็งแรงสูงสุด อะลูมิเนียมผสมชนิดนี้นิยมใช้งานที่ต้องการทั้งความแข็งแรงสูงร่วมกับความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีเยี่ยม เช่น งานแม่พิมพ์เป่าพลาสติก งานโครงสร้างอาคาร (หมุดย้ำ) ราวสะพาน งานท่อขนส่ง สกีของเครื่องบินน้ำและเรือแคนนู ท่อดูดของเครื่องดูดฝุ่น รางเลื่อนของรถขนของ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน งานทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งงานในยานพาหนะต่างๆ เช่น เรือ รถบรรทุก และอากาศยาน เป็นต้น โดยมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1

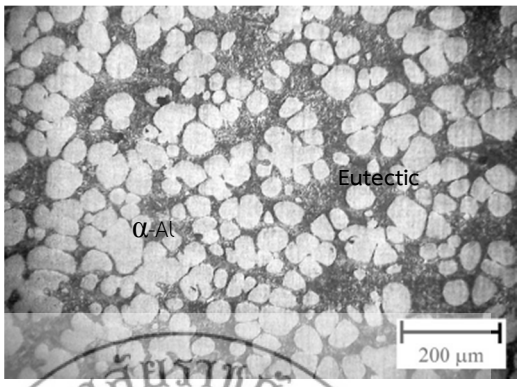


รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 [5]

2.1.2 อะลูมิเนียมผสม เกรด SSM 356

อะลูมิเนียมหล่อหมายเลข A356 เป็นโลหะผสมอะลูมิเนียม – ซิลิกอน เป็นแบบไฮโปยูเทคติคสามารถหล่อได้ดีทั้งในแบบหล่อทรายและแบบหล่อโลหะ มีความสามารถในการไหลตัวได้ดีและการหดตัวน้อยมาก ซึ่งมีผลทำให้สมบัติการต้านแรงดึงสูงขึ้นและมีความอ่อนเหนียวมากขึ้น การยืดตัวสูง ทนต่อแรงกระแทกได้สูง ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมหมายเลข A356 เป็น Al, 7%Si, 0.35%Mg, 0.20%Fe, 0.20%Cu, 0.10%Mn, 0.10%Zn และ 0.230%Ti การเติมแมกนีเซียมลงไปเล็กน้อย ทำให้สามารถปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ดี โดยการฟอร์มเฟส Mg_2Si ในเมตริกซ์ของอะลูมิเนียม กระบวนการทางความร้อนที่ใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลมีอยู่หลายวิธีแต่ที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ ชนิด T6 คือ การนำชิ้นงานไปอบละลายแล้วนำไปชุบน้ำจากนั้นจึงนำไปทำการบ่มแข็งเทียม การนำไปใช้งานเหมาะที่สุดกับงานที่ต้องการความทนทานต่อการผุกร่อนและความแข็งแรงสูงใช้งานอย่างกว้างขวางกับอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ชิ้นงานยานยนต์ต่างๆ ดังแสดงเฟสไดอะแกรมอะลูมิเนียม A356 แต่สำหรับอะลูมิเนียม เกรด SSM 356 เป็นอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปจากสถานะกึ่งของแข็ง โดย

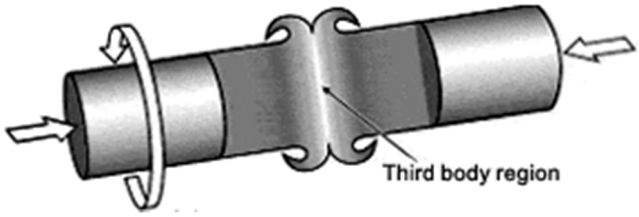
หลังจากการขึ้นรูปในสถานะกึ่งของแข็งทำให้โครงสร้างของอะลูมิเนียมมีลักษณะเป็นก้อนกลม แสดงในรูปที่ 2.2 โดยจะมีเฟสอะลูมิเนียมแอลฟาเป็นหลัก (α-Al) และมีเฟสยูเทคติกผสมอยู่ในสัดส่วนที่สูง โดยจะมีซิลิกอนเป็นหลักและซิลิกอนจะมีสมบัติทางด้านความสามารถในการหล่อและแมกนีเซียมจะทำให้สามารถปฏิบัติการทางความร้อนได้ดี



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างก้อนกลมของอะลูมิเนียม เกรด SSM356 [12]

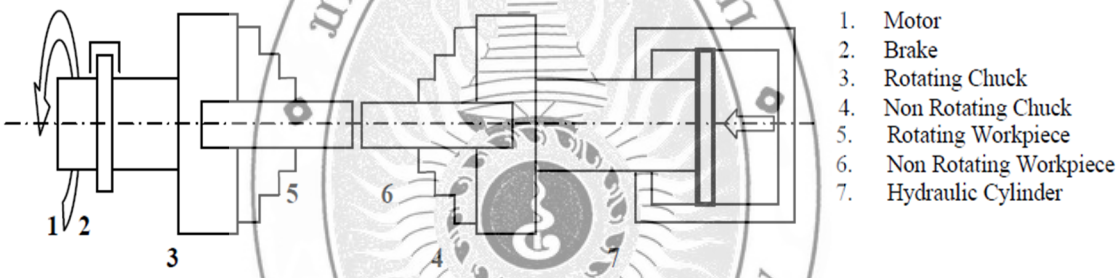
2.1.3 การเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding)

การเชื่อมโลหะในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขณะเชื่อมต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะนั้น โดยที่โลหะยังอยู่ในสภาวะของแข็งหรือบางครั้งอาจจะหลอมเหลวเพียงเล็กน้อย โลหะบางประเภทจะหลีกเลี่ยงการเชื่อมต่อที่อุณหภูมิของการหลอมละลาย เพราะว่าที่อุณหภูมิหลอมละลายเมื่อโลหะแข็งตัวก็อาจจะทำให้เกิดการแตกขึ้นได้และนอกจากนั้นก็จะมีการเกิดโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับโครงสร้างเริ่มต้นของโลหะนั้น จากเหตุผลข้างต้นจึงได้มีการคิดค้นการเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding, FW) ที่สถาบันการเชื่อมของอังกฤษ (The Welding Institute, TWI) การเชื่อมเสียดทานมีหลักการสร้างความร้อนคล้ายๆ กับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน คืออาศัยการเสียดทานระหว่างวัสดุ 2 ชิ้น เพื่อให้เกิดความร้อน แต่การเชื่อมเสียดทานไม่ใช้หัวเชื่อม (Tool) ในการเชื่อม เพราะความร้อนที่ได้เกิดจากการสัมผัสกันของผิวหน้ารอยต่อของชิ้นงานทั้งสองชิ้นภายใต้แรงกดจนทำใช้ผิวหน้าของชิ้นงานเกิดความร้อนทั้งสองชิ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้ารอยต่อส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัว (Softening) แล้วเสียรูปอย่างช้าๆ แบบ Plastic deformation แล้วให้แรงกดอีกครั้งเพื่อให้ชิ้นงานยึดติดกัน หลังจากนั้นจึงหยุดการหมุนของหัวจับชิ้นงานรอจนชิ้นงานเกิดการเย็นตัว จะเห็นได้ว่าการเชื่อมเสียดทานไม่มีการสิ้นเปลืองหัวเชื่อม การเชื่อมเสียดทานมีตัวแปรในการเชื่อม ที่สำคัญคือ คือ ความเร็วหมุนหัวจับ (Spindle Speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) และแรงกด (Pressure) และตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิดัง หรือการเตรียมผิวงาน เป็นต้น แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการเชื่อมเสียดทาน [13]

การเชื่อมเสียดทานจะมีขั้นตอนอยู่ 4 ขั้นตอน คือ การให้แรงกดชิ้นงานเพื่อให้ผิวหน้าของชิ้นงานทั้งสองชิ้นสัมผัสกันจนเกิดการเสียดทานระหว่างกัน โดยช่วงนี้จะส่งผลให้ชิ้นงานมีแรงเสียดทานที่สูง จากนั้นให้เวลาเพื่อให้ความร้อนเกิดการแพร่ไปยังชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้เกิดการอ่อนตัว บริเวณผิวรอยต่อ จากนั้นให้แรงกดอีกครั้งเพื่อให้ชิ้นงานที่อ่อนตัวเกิดการอัดตัว เวลาที่ใช้จะสั้นกว่าช่วงแรก เมื่อชิ้นงานเกิดกันจึงหยุดความเร็วรอบที่หมุนชิ้นงาน โดยขั้นตอนการเชื่อมเสียดทานดังแสดงในรูปที่ 2.4

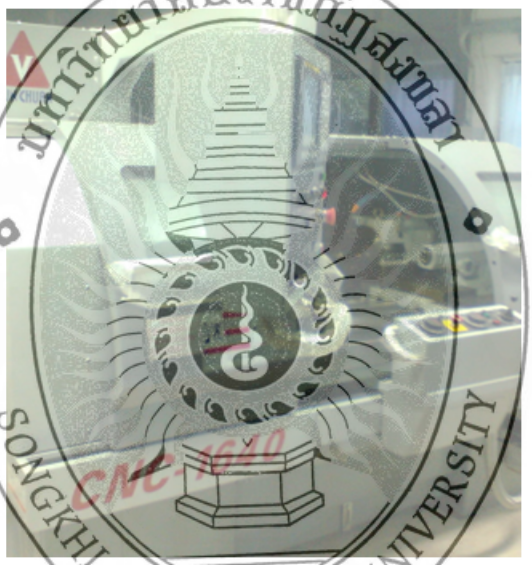


รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเชื่อมเสียดทาน [13]

2.1.4 เครื่องกลึงระบบอัตโนมัติ (Turning CNC)

CNC เป็นคำย่อของ Computer Numerical Control แปลว่าการควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เครื่องกัดซีเอ็นซี เครื่องกลึงซีเอ็นซี เครื่องเจียระไน เครื่องEDM ฯลฯ ซึ่งสามารถทำให้ผลิตชิ้นส่วนได้รวดเร็วถูกต้อง และเที่ยงตรง เครื่องจักรซีเอ็นซีแต่ละแบบแต่ละรุ่นจะมีลักษณะเฉพาะ และการประยุกต์ใช้งานที่ต่างกันออกไป แต่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทั้งหมดมีข้อดีเหมือนๆ กันคือ ข้อแรกเครื่องจักรกลซีเอ็นซีทุกเครื่องได้รับการปรับปรุงให้มีการทำงานอัตโนมัติทำให้ลดความวุ่นวายของผู้ควบคุมเครื่องจักรในการผลิตชิ้นงาน เครื่องจักรซีเอ็นซีหลายเครื่องสามารถทำงานโดยที่ผู้ควบคุมไม่ต้องคอยนั่งเฝ้าในระหว่างวัฏจักรการทำงานของเครื่อง (Machining cycle) และผู้ควบคุมสามารถไปทำงานอย่างอื่นได้ สิ่งนี้ทำให้ผู้ใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีได้ประโยชน์หลายอย่างรวมทั้งลดความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากคนมีน้อยมากมีความคงเส้นคงวาในการผลิตและสามารถทำนายเวลาในการผลิตแต่ละชิ้นได้ ข้อดีข้อที่สองของเทคโนโลยีซีเอ็นซีคือความคงเส้นคงวาและความถูกต้องแม่นยำของชิ้นงาน ซึ่งหมายความว่าเมื่อโปรแกรมที่เขียน

ทำงานอย่างถูกต้องแล้ว การผลิตชิ้นส่วน 2 ชิ้น 10 ชิ้น หรือ 1000 ชิ้นให้เหมือนกันทุกประการสามารถทำได้อย่างง่ายดายด้วยความสม่ำเสมอข้อดีข้อที่สามคือความยืดหยุ่นในการทำงาน เนื่องจากเครื่องจักรกลเหล่านี้ทำงานตามโปรแกรมการทำงานที่ต่างกันก็ง่ายเหมือนกับการโหลดโปรแกรมที่ต่างกัน เมื่อโปรแกรมประมวลผลและทำการผลิตชิ้นงานแล้ว เราสามารถเรียกโปรแกรมนั้นกลับมาใช้ใหม่ในครั้งต่อไปเมื่อต้องทำงานชิ้นนั้นอีก ในตอนเริ่มแรกการควบคุมเครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้โปรแกรมรหัสจีเป็นชุดคำสั่งควบคุมขับเครื่องมือตัดเฉือน (Tool) จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง หรือเปิด-ปิดสารหล่อเย็นหรือเปลี่ยนเครื่องมือตัดเฉือน เราไม่สามารถแยกเครื่องจักรซีเอ็นซีและรหัสจีออกจากกันได้ ถ้าเราต้องการให้เครื่องจักรซีเอ็นซีทำงานเราต้องเรียนรู้รหัสจีเพื่อที่เราจะได้พูดภาษาเดียวกับตัวควบคุมซีเอ็นซีได้ภายหลังโปรแกรม CAD/CAM ได้รับการพัฒนาขึ้นมา การนำ CAD/CAM มาใช้งานร่วมกับ CNC ก็เริ่มมากขึ้น ความเข้าใจเรื่องการรวม CNC กับ CAD/CAM จะช่วยให้เข้าใจวิธีการของโปรแกรมรหัสจีเพื่อให้เครื่องจักรซีเอ็นซีทำงาน แสดงในรูปที่ 2.5

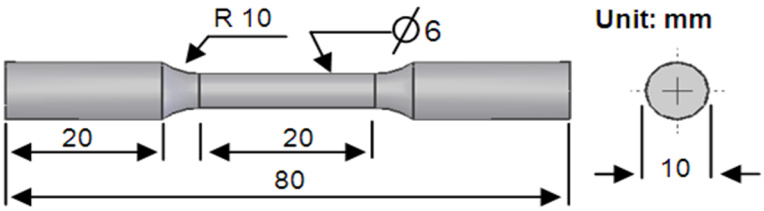


รูปที่ 2.5 เครื่องกลึงระบบอัตโนมัติ (Turning CNC)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

2.1.5 การทดสอบความแข็งแรงดึง

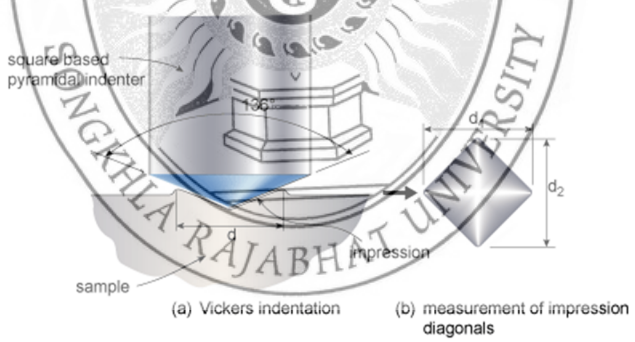
การทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงของกรรมวิธีโดยการแพร่ จะทดสอบแรงดึงของรอยยึดติดจากการต่อ ใช้ชิ้นทดสอบแบบลดขนาดตามมาตรฐานงานกลม นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแรงดึง ตามยาวกับแนวเชื่อม นำไปทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้องความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} มิลลิเมตร/วินาที โดยใช้มาตรฐาน ASTM (A370) เพื่อดูค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหลังจากการเสียรูป โดยการเตรียมชิ้นงานจะแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370

2.1.6 การทดสอบความแข็ง

เป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำลงบนชิ้นทดสอบ การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือ บริเนลล์ ร็อกเวลล์ และวิกเกอร์ส สำหรับในงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการทดสอบแบบวิกเกอร์ส เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส จะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวกวนโดยในการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ดังรูปที่ 2.7 โดยเวลาที่ใช้ในการกด 10 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ ประมาณค่าความแข็งประมาณ 1,500 kgf/mm^2 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนเฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีค่าระหว่าง 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ



รูปที่ 2.7 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/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยชาวบราซิล Eder Paduan Alves และคณะ [7] ได้เชื่อมอะลูมิเนียม AA 1050 เข้ากับสแตนเลส AISI 304 โดยในการเชื่อมใช้ชิ้นงานโต 14.8 มิลลิเมตร ยาว 100-110 มิลลิเมตร ใช้ตัวแปรเบื้องต้นที่ รอบในการหมุนเชื่อมที่ 3,200 รอบ/นาที แรงกดเริ่มต้น 2.1 MPa เวลา 7-32 วินาที และแรงกดช่วงที่สอง 0.7-2.8 MPa เวลา 1-2 วินาที ก่อนการเชื่อมมีการทำความสะอาดผิวหน้ารอยต่อด้วยน้ำยาอะซิโตน จากการทดลองครั้งนี้พบว่าที่ตัวแปรแรงกดเริ่มต้น 2.1 MPa เวลา 32 วินาที และแรงกดช่วงที่สอง 2.4 MPa เวลา 2 วินาที ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 80.08 MPa โดยผลจากการทดลองยังพบว่าอะลูมิเนียม AA 1050 มีการอ่อนตัวเข้าไปยังสแตนเลส

S. CELIK AND D. GUNES [8] ซึ่งเป็นนักวิจัยชาวเยอรมันได้ศึกษาการเชื่อมเสียดทานระหว่างอะลูมิเนียมคอมโพสิต เกรด A356 กับเหล็ก AISI 1030 โดยใช้แรงกด 2 ระดับคือ 20 และ 40 MPa เวลาในการเสียดทาน 4, 6, 8, 10 และ 12 วินาที จากนั้นเพิ่มแรงกดเป็น 40 และ 60 MPa เวลา 4 วินาที จากการทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานขาดที่อะลูมิเนียมคอมโพสิต เกรด A356 โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 99.05 MPa คิดเป็น 33.7 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัสดุเดิมของอะลูมิเนียมคอมโพสิต (MMC) ลักษณะการแตกหักจะเป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิต เกรด A356 ที่ไปยึดเกาะผิวหน้าของเหล็ก AISI 1030 มีการแตกหักของซิลิกอนบริเวณผิวหน้ารอยต่อ

นักวิจัยนำโดย I. Bhamji และคณะ ชาวอังกฤษ [9] ได้ศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกันโดยการใช้การเชื่อมแบบเสียดทาน ซึ่งในการเชื่อมจะใช้อะลูมิเนียม AA1050-H111 เข้ากับทองแดง C101 ชิ้นงานที่เชื่อมมีขนาดความโต 50 มิลลิเมตร ใช้แรงกดในการเชื่อม 75 MPa เวลาในการเสียดทาน 5 วินาที ก่อนที่จะใช้แรงกดเข้าไปอีก 2 มิลลิเมตร ในการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 76 MPa โดยหากใช้แรงกดเข้าไปน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ชิ้นงานไม่สามารถยึดติดได้

นักวิจัยกลุ่มจากจีน SONG Yu-lai และคณะ [10] ได้เชื่อมเหล็กหล่อ (nodular cast iron) กับอะลูมิเนียม Al 1050 ชิ้นงานมีขนาดความโต 20 มิลลิเมตร และก่อนการเชื่อมมีการขัดผิวรอยต่อด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,000 กริด ตัวแปรที่ใช้ คือ แรงกดเริ่มต้น 40 MPa เวลา 1 วินาที และแรงกดช่วงที่สอง 100 MPa เวลา 3 วินาที ที่ความเร็วหมุน 3,000 รอบ/นาที จากการทดลองพบว่าอะลูมิเนียม Al 1050 แพร่ไปยังเหล็กหล่อเนื่องจาก อะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่น้องกว่าเหล็กหล่อเมื่อได้รับการเสียดทานจนเกิดความร้อนทำให้อ่อนตัวได้ง่ายกว่าเหล็กหล่อ จึงแพร่ไปยังเหล็กหล่อง่ายกว่า

P. Rombaut และคณะซึ่งเป็นนักวิจัยจากสถาบันงานเชื่อมของเบลเยี่ยม [11] ได้เชื่อมเหล็กกล้าละมุน (Mind Steel) กับอะลูมิน่า (Al_2O_3) ด้วยการเชื่อมเสียดทาน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเชื่อมต่างวัสดุที่ยากเข้าด้วยกัน จากการทดลองพบว่าการเชื่อมทำได้ยาก จึงนำเอาอะลูมิเนียม เกรด 5083 มาเป็นตัวประสาน

ระหว่างกลางชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น ทำให้เชื่อมชิ้นงานได้ เนื่องจากอะลูมิน่าและเหล็กกล้ามีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการเชื่อมต่อหันได้ยาก และตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อม คือ ความเร็วรอย 900 รอบต่อนาที และแรงกดที่ใช้คงที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

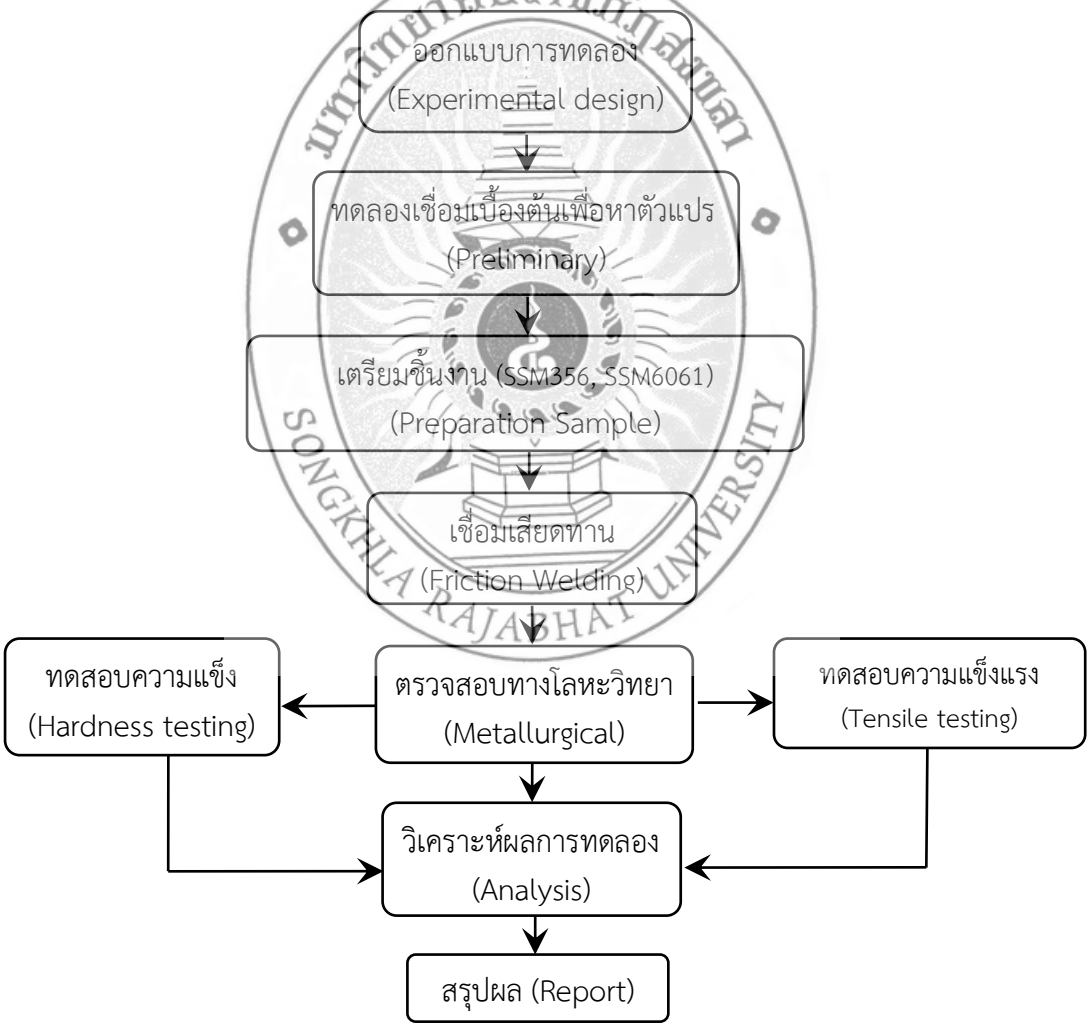
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การเชื่อมต่อชนของชิ้นงานทรงกระบอกต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานต้องใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทดลองวิจัย ซึ่งนำมาใช้เป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการทดลองและเครื่องมือหลักในการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินงานวิจัย

การเชื่อมต่อชนของวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding Process; FW) การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป

3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

โลหะที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยอะลูมิเนียมผสมสองเกรด คือ

3.2.1 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM6061

อะลูมิเนียมหล่อผสมเกรด 6061 มีส่วนผสมทางเคมี ซึ่งมีซิลิกอนเป็นธาตุผสมหลัก มีแมกนีเซียมเป็นธาตุผสมรองลงมา ดังตารางที่ 3.1 ธาตุพวกนี้ทำให้อะลูมิเนียมเกรดนี้มีความแข็งแรงปานกลาง ทนต่อการกัดกร่อน เกรดอลูมิเนียมในประเภทที่สามารถทำการ heat-treatable ได้นี้อาจจะขึ้นรูปในแบบ T4 temper (แก้ปัญหาการอบร้อนได้ แต่ไม่สามารถเร่งการอบร้อนได้) และเพิ่มความแข็งหลังจากการขึ้นรูปแบบคุณสมบัติ T6 โดยการเร่งการอบร้อน

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง SSM6061

Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
0.25	0.8-1.20	0.15-0.4	0.7	0.4-0.8	0.15	0.04-0.35	0.15	Balance

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ 3.2 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM6061

3.2.2 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM356

อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM356 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.2 โดยวัสดุอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 356 ผ่านการหล่อขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS (Gas induced semi-solid) ซึ่งเทคนิค GISS จะทำการหล่อที่อุณหภูมิประมาณ 700 ˚C เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 620 ˚C จะใช้แก๊สเฉื่อยพ่นผ่านแท่งกราไฟต์พรุน (แก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจน) เพื่อให้เกิดการไหลวนของน้ำโลหะเกิดการแตกตัวของโครงสร้างเดนไดรต์เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นนำน้ำโลหะอะลูมิเนียมไปเทลงใน Mold แล้วอัด (Squeeze) ที่ความดันไม่น้อยกว่า 2,000 Psi ค้างไว้จนโลหะแข็งตัว ได้เป็นชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความหนาประมาณ 12-15 มิลลิเมตร ขนาด 10x10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.3 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM356

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสมแบบกึ่งของแข็ง SSM356

วัสดุ	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Al
SSM 356	7.74	0.57	0.05	0.06	0.32	0.01	0.05	0.02	0.01	Bal.

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 เครื่องกลึง ใช้สำหรับการกลึงอะลูมิเนียม SSM7075 เพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานสำหรับเชื่อม โดยเครื่องกลึงที่ใช้เป็นเครื่องกลึง ยี่ห้อ JET รุ่น GHB-1340A นอกจากนั้นยังนำไปเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานเพื่อทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องกลึงชิ้นงานยี่ห้อ JET รุ่น GHB-1340A

3.3.2 เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ SHUN CHUAN รุ่น CNC-1640 ใช้ในการกลึงอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM6061 และอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM356 ให้มีขนาดตามแบบชิ้นงาน (Ø12x45 มิลลิเมตร) เพื่อใช้ในการทดลอง นอกจากนั้นเครื่องกลึงระบบอัตโนมัติยังถูกประยุกต์ใช้ในการเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่องกลึงระบบอัตโนมัติ (CNC Turning)

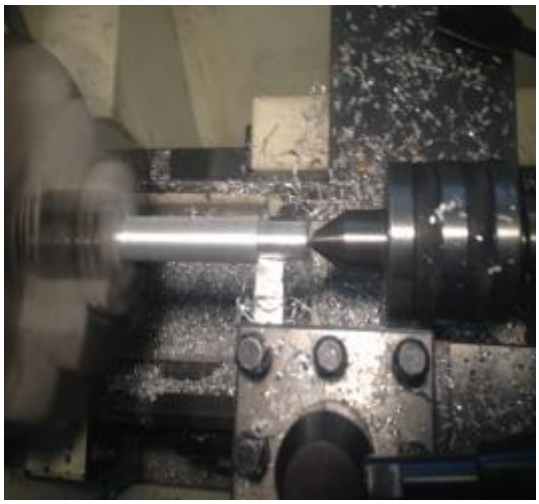
3.3.3 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน ใช้ในการตัดแบ่งชิ้นงานหลังจากการหล่อจนสำเร็จเป็นชิ้นงานเพื่อเตรียมไปกลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดลอง โดยเครื่องเลื่อยสายพานมีระบบน้ำหล่อเย็นในการระบายความร้อนแนวตัดในขณะเชื่อม เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเมื่อได้รับความร้อนจากการเลื่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานเชื่อมจะเริ่มจากการหล่อชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 และอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาเตรียมเป็นชิ้นงานเพื่อใช้สำหรับการทดลองดังต่อไปนี้

3.4.2 นำชิ้นงานที่ได้จากการตัด นำไปกลึงให้ไดขนาด 11.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ก) แล้วนำไปเลื่อยด้วยเลื่อยเหล็กโดยที่เลื่อยแบ่งชิ้นงานเป็นสองชิ้นดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ข) แล้วนำไปกลึงปาดหน้าให้ผิวด้านหน้าเรียบ และกลึงให้ได้ขนาดความยาว 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ค)



(ก) กลึงให้ได้ขนาด 12 มิลลิเมตร

(ข) ตัดแบ่งชิ้นงานเป็น 2 ชิ้น

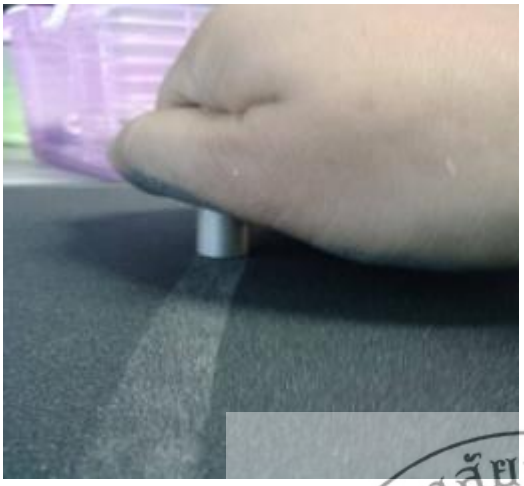
(ค) กลึงปาดหน้าให้ได้ความยาว 45 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดสอบอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

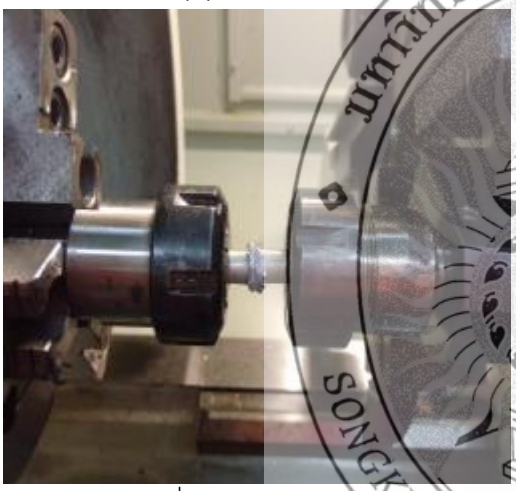
3.4.3 ในการเชื่อมเสียดทานด้วยเครื่องกลึง CNC ชิ้นงานก่อนการเชื่อมจะถูกขัดผิวหน้างานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 กริด เพื่อกำจัดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงานเชื่อมก่อนการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (ก) นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวและขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 กริด เรียบร้อยแล้วล้างผิวหน้าด้านที่จะเชื่อมด้วยน้ำยาอะซิโตน (Acetones) โดยในการล้างจะแช่ไว้ 45 วินาที เพื่อทำความสะอาดผิวงานเชื่อมจากคราบสกปรกและคราบไขมันที่ติดผิวงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (ข) แล้วใช้ลมเป่าจนผิวชิ้นงานแห้ง ขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ มือผู้ปฏิบัติงานไม่ควรสัมผัสชิ้นงานโดยตรง และควรสวมหน้ากากปิดจมูกเพื่อป้องกันการสูดดมน้ำยาอะซิโตนนำไปสู่ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเอง จากนั้นจับชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้แน่นโดยชิ้นงานข้างหนึ่งหมุนตามความเร็วรอบที่กำหนด และอีกข้างจับชิ้นงานอยู่กับที่ แล้วทำการเชื่อมเสียดทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (ค) โดยเชื่อมที่ระดับความเร็วรอบที่กำหนดไว้ โดยใช้ระยะเวลาในการ

เสียดทาน 15 วินาที หลังจากกดอัดเข้าไปได้ตามระยะกดอัดตามที่กำหนด จึงจะหยุดเครื่องแล้วกดอัดเข้าไปอีกที แล้วทิ้งไว้สักพักก่อนจะถอดชิ้นงานออก ดังแสดงในภาพที่ 3.8 (ง)

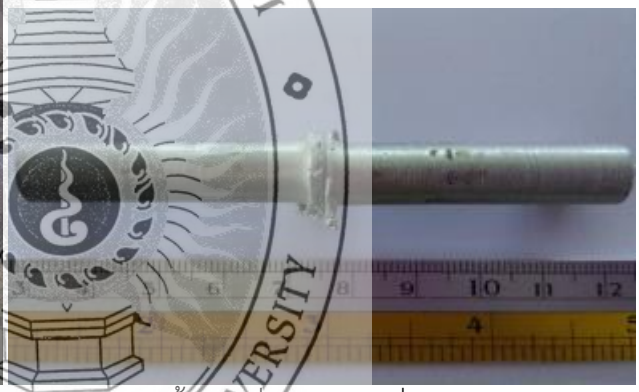


(ก) ขัดผิวหน้างาน

(ข) ล้างผิวชิ้นงานด้วนน้ำยาอะซิโตน



(ค) การเชื่อมเสียดทาน



(ง) ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมเสียดทาน

รูปที่ 3.8 กระบวนการเชื่อมเสียดทานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งต่างวัสดุ

3.4.4 สำหรับการเชื่อมเสียดทานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 และอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 ได้มีการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อม โดยมีการทดลองเชื่อมเบื้องต้นหลังจากการทดลองแล้ว พบว่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยตัวแปรความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมปรับเปลี่ยน 3 ระดับ คือ 1550, 1700, 1850 รอบต่อนาที ตามลำดับ ระยะกดอัดปรับเปลี่ยนที่ 3 ระดับ คือ 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรในการทดลองเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุ

Parameter		
Rotational Speed (RPM)	Burn of Length (mm)	Weld Time (second)
1550	2 2.5 3	15
1700	2 2.5 3	
1850	2 2.5 3	

3.4.5 หลังจากทดลองเชื่อมตามตัวแปรต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้แล้ว ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมเสียดทานก็จะนำไปตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ตรวจจุดบกพร่องของชิ้นงาน ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และทดสอบสมบัติทางกลต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาการเชื่อมเสียดทานของอะลูมิเนียมต่างเกรดกัน พบว่าสามารถทำการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานได้ ถึงแม้ว่าสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองมีการเชื่อมติดกันที่ดี และยังมีสมบัติทางกลที่ดีหลังการเชื่อมอีกด้วย โดยมีผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทาน (Physical characteristics of samples)

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1550 รอบต่อนาที

การเชื่อมเสียดทานที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่าชิ้นงานยึดติดเข้าด้วยกันได้ดีในทุกๆ ตัวแปรของการทดลอง แต่ชิ้นงานหลังการเชื่อมจะเกิดครีบ (Flash) ที่เกิดขึ้นแตกต่างกันออกไป จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัดในการเชื่อม 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ครีบที่เกิดหลังการเชื่อมมีปริมาณที่น้อย เนื่องจากเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณระหว่างผิวรอยต่อของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดเกิดขึ้นน้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นน้อยในระหว่างการเชื่อมส่งผลให้อะลูมิเนียมเกิดการอ่อนตัวที่น้อยตามไปด้วย ซึ่งทำให้บริเวณรอยเชื่อมเกิดการอ่อนตัวของเนื้อวัสดุได้น้อย นำไปสู่การเกิดครีบที่น้อย แต่อย่างไรก็ตามความร้อนที่น้อยส่งผลให้สมบัติทางกลแตกต่างกัน และไม่นำไปสู่การโก่งงอของชิ้นงาน และยังช่วยให้ขนาดความยาวของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมไม่เปลี่ยนแปลงมากด้วย

รูปที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ 4.2 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร

อย่างไรก็ตามการเพิ่มระยะกดอัดของชิ้นงานเชื่อมจากระยะกดอัดที่ 2 มิลลิเมตร ไปสู่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 กลับพบว่าเนื้อวัสดุที่เกิดการอ่อนตัวในขณะเชื่อมถูกผลักออกมาเป็นครีบบริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงกดส่งผลให้เกิดการไหลตัวของเนื้อวัสดุและแรงเหวี่ยงจากการเชื่อมก็ส่งผลด้วยเช่นกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM6061 จะมีการไหลของเนื้อวัสดุที่ดีกว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM356 เพราะชิ้นงานในขณะเชื่อมอยู่กับที่ ทำให้มีความร้อนสูงกว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM356 ที่เกิดการหมุนของชิ้นงาน นำไปสู่การสูญเสียความร้อนจากการหมุนของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าการเชื่อมเสียดทานอาศัยความร้อนจากการเสียดทานบริเวณรอยต่อเท่านั้น ซึ่งตัวแปรมาจากความเร็วรอบและระยะกดอัดของชิ้นงานเชื่อม [11] แต่ที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ก็ไม่พบการเสียรูปหรือชิ้นงานเกิดการโก่งงอ

รูปที่ 4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร

ระยะกดอัดจะส่งผลโดยตรงต่อความยาวของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม โดยระยะกดอัดที่มากก็จะทำให้ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมสั้นลง ในทางตรงกันข้ามหากระยะกดอัดน้อยก็ส่งผลให้ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมมีความยาวจากการเปลี่ยนแปลงน้อยลง [7-9] ดังรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร จะพบว่าการเพิ่มระยะที่กดอัดจากระยะกดอัดที่ 2 มิลลิเมตร ไปสู่ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร ส่งผลให้เกิดครีบเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร ก็ไม่พบการเสียรูปของชิ้นงานโดยชิ้นงานหลังจากการเชื่อมสมบูรณ์

4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1700 รอบต่อนาที

การเชื่อมเสียดทานที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1700 รอบต่อนาที แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 เมื่อตรวจสอบด้วยสายตา พบว่าชิ้นงานทุกชิ้นหลังจากการเชื่อมทุกตัวแปรมีความสมบูรณ์ ชิ้นงานยึดติดเข้าด้วยกันได้ดี ในทำนองเดียวกันชิ้นงานแต่ละชิ้นงานหลังการเชื่อมจะเกิดครีบที่แตกต่างกัน โดยครีบที่เกิดขึ้นมากมีแนวโน้มมาจากระยะในการกดอัดสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามระยะที่กดอัดน้อย ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดครีบที่น้อยเช่นกัน โดยในรูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมเสียดทานที่ตัวแปรของความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร เป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มความเร็วรอบในการเชื่อมส่งผลให้บริเวณรอยต่อของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM356 เกิดการอ่อนตัวด้วยกัน เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานมีความร้นเข้า (Heat Input) ในขณะเชื่อมที่สูงขึ้น แต่ความร้อนที่สูงขึ้นไม่ได้นำไปสู่การโก่งงอ หรือการบิดตัวของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมเสียดทาน

รูปที่ 4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร

ในทำนองเดียวกันการเพิ่มระยะกดอัดจากระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร ไปสู่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองจะคล้ายๆ กันกับตัวแปรการทดลองที่ความเร็วรอบในการหมุน 1500 รอบต่อนาที ซึ่งพบว่าครีบที่เกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมเกิดขึ้นมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อตรวจสอบด้วยสายตา ดังแสดงในรูปที่ 4.5 การเพิ่มขึ้นของปริมาณครีบเกิดจากความแตกต่างของแรงกดที่เกิดขึ้นจากการกดอัดชิ้นงานในระหว่างการเชื่อม [3-5] แต่ก็ไม่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมเกิดการเสียหายจากแรงกดเช่นกัน

รูปที่ 4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร เมื่อตรวจสอบด้วยสายตาพบว่าชิ้นงานมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดการโก่งงอ หรือบิดเบี้ยวของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม ระยะกดอัดจากระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร พบว่าครีบที่เกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมเกิดขึ้นมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะกดอัดอื่นๆ อย่างไรก็ตามครีบที่เกิดขึ้นมีลักษณะการเกิดครีบแบบรอบๆ ชิ้นงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการอ่อนตัวของเนื้อวัสดุทั่วบริเวณรอยต่อ

รูปที่ 4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1700 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร

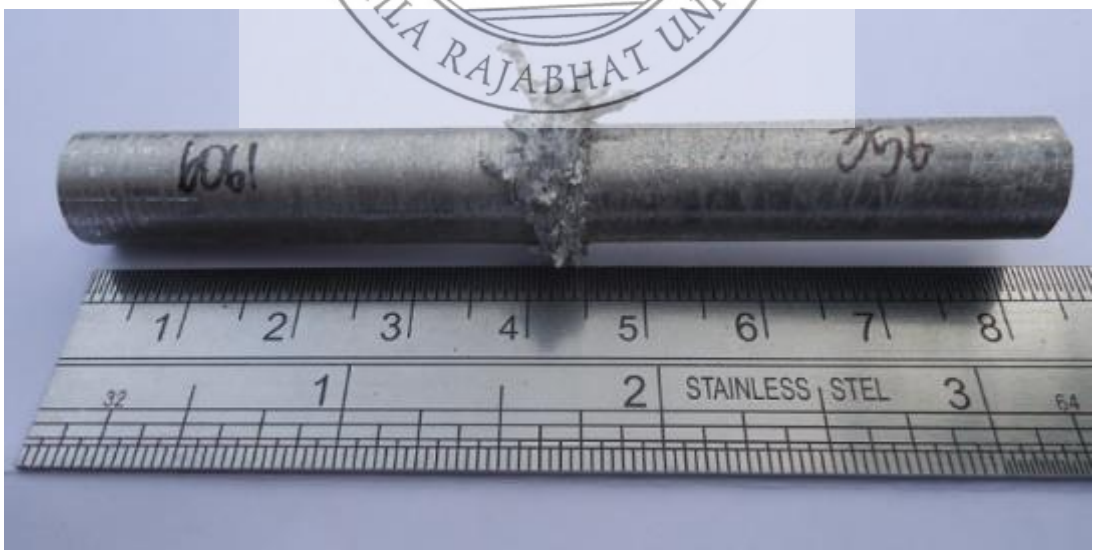
4.1.3 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที

การเชื่อมเสียดทานที่ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1850 รอบต่อนาที แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ ความเร็วหมุนเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความร้อนนำเข้าขณะเชื่อมมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เนื้อเดิมของอะลูมิเนียมเกิดการอ่อนตัวสูง ส่งผลให้มีโอกาสเกิดครีบได้ง่าย [14] และเกิดในปริมาณที่มาก ถึงแม้ว่าการเพิ่มความเร็วรอบในการเชื่อมให้สูงขึ้นจะ

ส่งผลต่อการเกิดครีบก็ตาม แต่ไม่ส่งผลใช้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอหรือเสียรูปจากกระบวนการเชื่อมเสียดทาน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมไม่ได้ส่งผลต่อบริเวณอื่นๆ นอกจากบริเวณรอยต่อของชิ้นงานเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์

รูปที่ 4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ของระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ลักษณะการเกิดครีบจะเกิดในปริมาณที่มากและเกิดรอบๆ ชิ้นงาน คล้ายๆ กับการทดลองในตัวแปรอื่นๆ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าครีบที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน เกิดจากการอ่อนตัวของทั้งอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM356 และเกิดขึ้นในช่วงรอยต่อที่กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ อย่างไรก็ตามชิ้นงานหลังจากการเชื่อมที่มีครีบที่มากเกินไปจะถือได้ว่าเป็นชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องได้เหมือนกัน [10] เนื่องจากการสูญเสียเนื้อวัสดุจากการเชื่อม และมีโอกาสนำไปสู่การได้สมบัติทางกลที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.8 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร

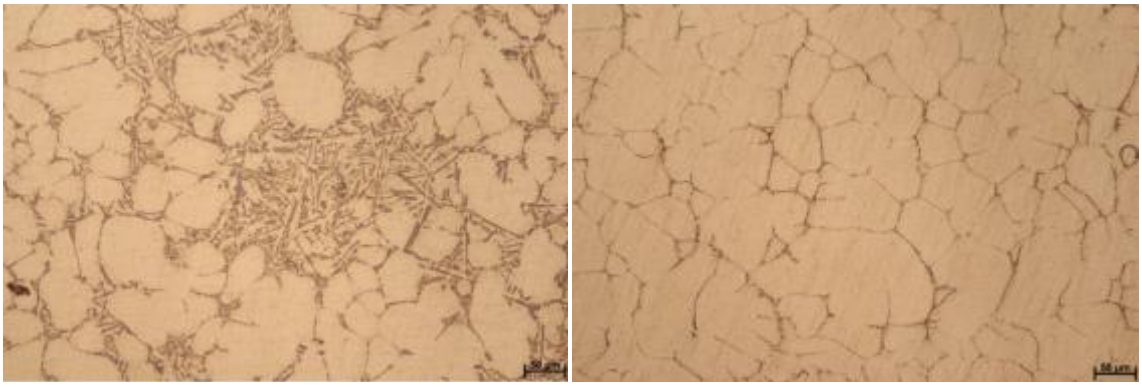
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ของระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร จากการทดลองในตัวแปรนี้พบว่ามีปริมาณครีบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรในการทดลองอื่นๆ เนื่องจากความเร็วรอบสำหรับใช้ในการเชื่อมที่ 1850 รอบต่อนาที ส่งผลให้เกิดความร้อนเข้าในการเชื่อมที่สูงแล้ว ระยะกดอัดที่ 3 มิลลิเมตร ก็ยังนำไปสู่การไหลตัวของเนื้อวัสดุที่กำลังอ่อนตัวได้ง่ายด้วย แต่ก็ไม่ส่งผลให้ชิ้นงานเสียรูปเช่นกัน จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมเสียดทานต่างเกรดของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 มีความสมบูรณ์ทุกๆ การทดลอง โดยตัวแปรความเร็วรอบในการหมุน และตัวแปรระยะกดอัดจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะนำไปสู่ลักษณะของชิ้นงานที่แตกต่างกัน การควบคุมกระบวนการทดลองจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทดลอง

รูปที่ 4.9 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่ 1850 รอบต่อนาที ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร

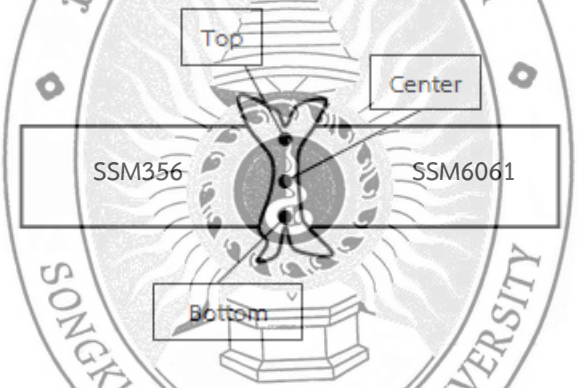
4.2 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure Test)

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก) จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีโครงสร้างพื้นฐาน (Base Metal) แบบก้อนกลม (α Phase) และมีเฟสยูเทกติก (Mg_2Si Phase) ที่เป็นเฟสของธาตุผสมแทรกอยู่ระหว่างเกรน ซึ่งหากเฟสเหล่านี้มีการกระจายตัวที่ดี จะส่งผลให้เกิดสมบัติทางกลที่ดีด้วย ทั้งสมบัติทางด้านความแข็งและความต้านทานแรงดึง คล้ายๆ กันอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 ที่ผ่านกระบวนการหล่อกึ่งของแข็งด้วยเทคโนโลยีการหล่อแบบ GISS ก็พบว่าโครงสร้างพื้นฐานแบบก้อนกลมเช่นกัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของก้อนกลมและขนาดของอนุภาคเฟสยูเทกติก ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข)



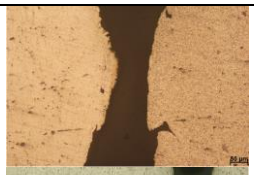
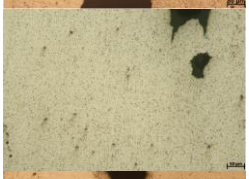
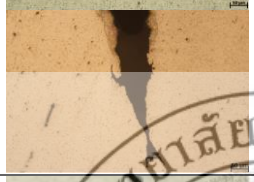
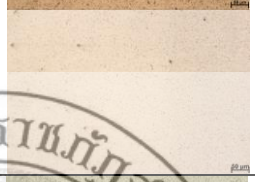
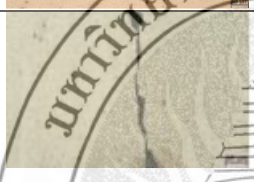
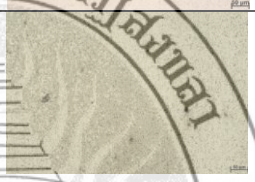
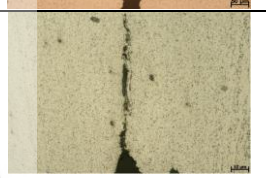
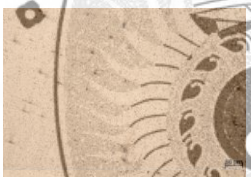
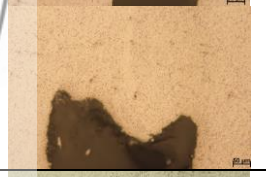
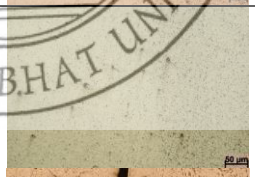
รูปที่ 4.10 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม (ก) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 และ (ข) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061

อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยสนใจบริเวณเนื้อเชื่อมของชิ้นงานเชื่อม ซึ่งถือว่าเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการเชื่อมมากที่สุด ดังนั้นลักษณะโครงสร้างจุลภาคจึงมีการตรวจสอบที่ 3 ตำแหน่งในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ซึ่งเป็นบริเวณเนื้อเชื่อม โดยตำแหน่งที่มีการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Rotation Speed (rpm)	Burn of Length (*mm*)	Position		
		Top	Center	Bottom
1550	2.0			
	2.5			
	3			
1700	2.0			
	2.5			
	3			
1850	2.0			
	2.5			
	3			

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

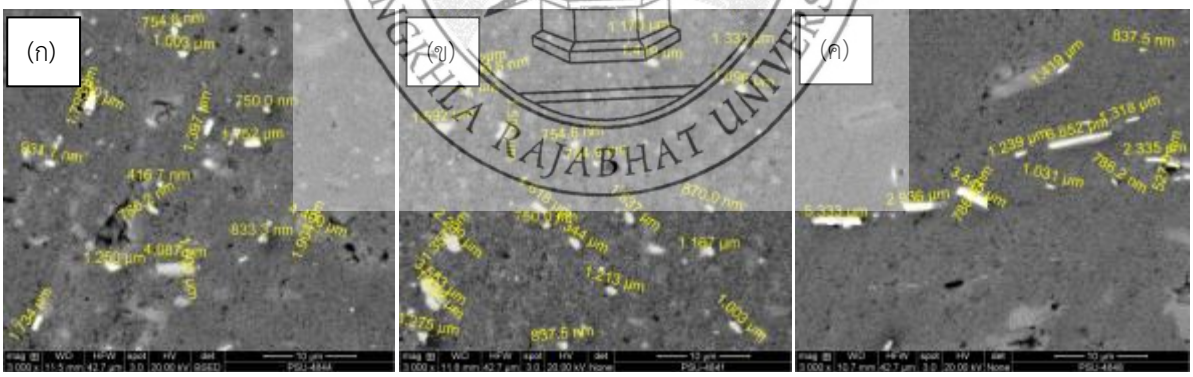
รูปที่ 4.12 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ตัวแปรในการเชื่อมแตกต่างกัน

จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเปรียบเทียบบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Zone; WZ) ในทุกๆ ตัวแปรที่ได้จากการทดลอง พบว่าเกรนก้อนกลมถูกแรงจากการเชื่อมทำลายจนเสียรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ซึ่งส่งผลให้ขนาดเกรดของวัสดุทั้งสองชนิดก็มีขนาดที่เล็กลง อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้สำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน ระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 เมื่อตรวจสอบจากโครงสร้างจุลภาค เนื่องจากพบว่าพื้นที่สัมผัสผิวรอยต่อ (Interface) ส่วนใหญ่หลังจากการเชื่อมเสียดทานยึดติดกันได้ดี มีเพียงเล็กน้อยที่ไม่สามรถยึดติดกันได้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าจะเป็นบริเวณด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน เนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเสียดทานไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังพบว่าเฟสอะลูมิเนียมเมตริกและเฟสยูเทกติกของทั้งสองผสานกันได้ดี ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมากเมื่อวัสดุสองชนิดมีสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน แต่งสำหรับการเชื่อมเสียดทานระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กลับพบว่าไม่เป็นเช่นนั้น แต่เฟสยูเทกติกของทั้งสองวัสดุก็อยู่ในรูปสารละลายของแข็งที่ใกล้เคียงกัน โดยเป็นสารละลายของแข็งในรูปแบบของ Mg_2Si จึงมีความเป็นไปได้ที่อะลูเนียมทั้งสองชนิดจะผสมผสานเข้ากันได้ดี สำหรับตัวแปรที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1550 รอบต่อนาที โครงสร้างทางจุลภาคแสดงให้เห็นว่าเกิดช่องว่าง (Void) หลังจากการเชื่อมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ สาเหตุมาจากการเกิดความร้อนที่ต่ำ (Heat input) เกินไปในขณะเชื่อม [13] เพราะมีความเร็วรอบในการหมุนที่น้อยเกินไป อย่างไรก็ตามจากการวิจัยพบว่าความเร็วรอบที่ต่ำกว่า 1500 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เสี่ยงต่อการที่ชิ้นงานไม่เกิดการยึดติดที่ดี เนื่องจากความร้อนเข้าในขณะเชื่อมต่ำมาก จนนำไปสู่การอ่อนตัวของเนื้อวัสดุได้ยาก และนำไปสู่การยึดติดที่ยากของชิ้นงานด้วย ในทางตรงกันข้ามเมื่อสังเกตที่ตัวแปรในการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ปริมาณช่องว่างที่เกิดหลังจากการเชื่อมลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากมีความร้อนในขณะเชื่อมเสียดทานที่สูงขึ้น แต่อาจนำไปสู่การเกิดครีบ (Flash) ที่มากเกินไปของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม โดยสาเหตุมาจากการเกิดแรงเหวี่ยงของเนื้อวัสดุที่อ่อนตัวจากการหมุน ซึ่งอาจนำไปสู่การสูญเสียเนื้อบริเวณเนื้อเชื่อมได้ [7] อย่างไรก็ตามการเกิดครีบของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมก็มีตัวแปรของระยะกดอัด (Burn of Length) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งระยะกดอัดที่สูงมักจะนำไปสู่การเกิดครีบที่มีปริมาณมากเช่นกัน

สำหรับตัวแปรที่ความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1700 รอบต่อนาที พบว่ามีการเกิดช่องว่างของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมบ้าง โดยเฉพาะที่ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะกดอัดที่น้อยที่สุดในการทดลองนี้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าช่องว่างส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านล่างของชิ้นงาน เพราะบริเวณดังกล่าวเกิดความเสี่ยงที่จะเกิดการสูญเสียความร้อนจากการหมุนของชิ้นงาน

4.3 การตรวจสอบอนุภาคการกระจายตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Particle dispersion Test by SEM)

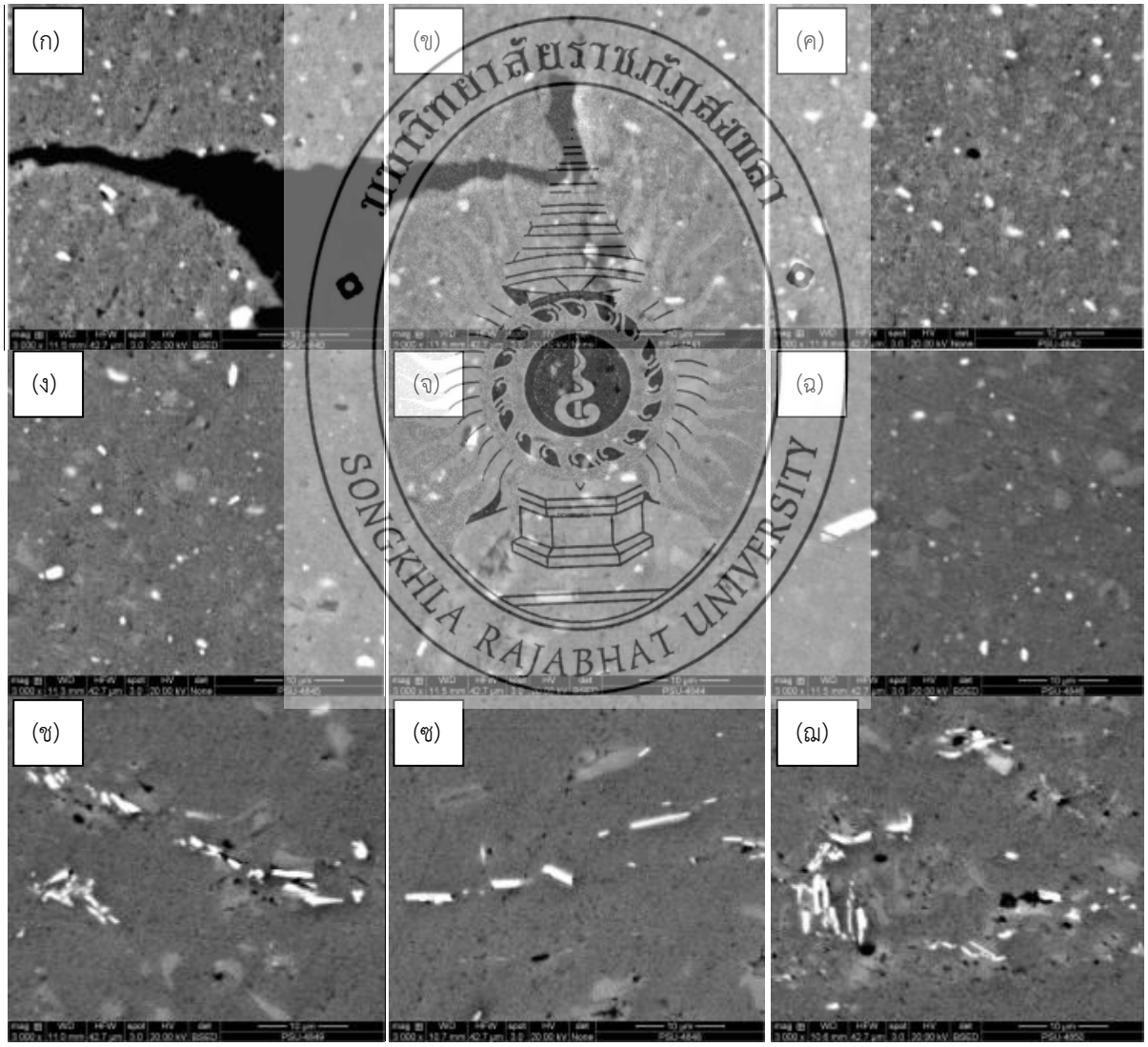
การกระจายตัวของอนุภาคและขนาดของอนุภาคมีผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม นอกการปริมาณช่องว่าง เพราะหากมีอนุภาค (Particle) ที่มีขนาดที่เล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วบริเวณเนื้อเชื่อม จะส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติทางกลที่ดี ในทางตรงกันข้ามหากหลังจากการเชื่อมแล้วพบว่าขนาดอนุภาคมีขนาดที่โตและมีการกระจายตัวแบบกระจุกตัวที่จุดใดจุดหนึ่ง จะนำไปสู่สมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมที่ต่ำตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคเฟสยูเทคติกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) โดยได้รับการสนับสนุนการใช้เครื่องมือจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จากการตรวจสอบพบว่าในแต่ละตัวแปรของการเชื่อมจะส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไม่เหมือนกัน แต่พบว่าอนุภาคของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมมีขนาดที่เล็กลงทุกการทดลอง เนื่องจากถูกแรงกระทำจากการเสียดทานทำให้อนุภาคถูกทำลายจนแตกหักนำไปสู่ขนาดอนุภาคที่เล็กลง โดยที่ความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ความยาว 1.573 ไมโครเมตร และขนาดอนุภาคกว้างที่ 0.876 ไมโครเมตร ซึ่งมีการกระจายตัวของอนุภาคทั่วเนื้อเชื่อม และอนุภาคมีรูปทรงแบบแผ่นเล็กๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) คล้ายๆ กันที่ความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1700 รอบต่อนาที พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ความยาว 1.450 ไมโครเมตร และขนาดอนุภาคกว้างที่ 1.084 ไมโครเมตร ซึ่งมีการกระจายตัวของอนุภาคทั่วทั้งเนื้อเชื่อมเช่นกัน แต่มีการกระจายตัวที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1550 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข) อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วรอบในการเชื่อมเพิ่มถึง 1850 รอบต่อนาที จะเห็นได้ชัดเจนว่าขนาดอนุภาคมีรูปร่างแบบแท่งและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอมากนัก เนื่องจากความเร็วที่สูงในการหมุนเสี่ยงต่อการสูญเสียความร้อนในขณะเชื่อม จึงทำให้อนุภาคเหล่านี้อ่อนตัวได้น้อย [5] ซึ่งยากต่อการแตกหัก โดยพบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ความยาว 2.756 ไมโครเมตร และขนาดอนุภาคกว้างที่ 1.286 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ค)



รูปที่ 4.13 การตรวจสอบขนาดของอนุภาคหลังการเชื่อม

4.4 อิทธิพลความเร็วรอบกับการแตกหักของอนุภาค (Effect of rotation with broken particle)

รูปที่ 4.14 แสดงการกระจายตัวของอนุภาค Mg_2Si ซึ่งเป็นเฟสยูเทกติกหลักที่อยู่ในอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1700 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคที่เล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ง, จ, ฉ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ และที่ความเร็วรอบในการเชื่อมที่ 1850 รอบต่อนาที พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่ยังรวมตัวกันเป็นกลุ่มและมีการกระจายตัวแบบบางจุดเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ช, ซ, ฌ) ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานไม่ดีมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรที่ 1700 รอบต่อนาที ซึ่งขนาดอนุภาคที่เปลี่ยนไปเกิดจากพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปในรูปแบบของสารละลายของแข็ง [9] ซึ่งเกิดจากการกระทำของแรงจากการหมุนและความร้อนที่เกิดจากการเสียดทาน อย่างไรก็ตามความเร็วรอบที่ต่ำที่ 1550 รอบต่อนาที ก็ยังพบรอยแตกเล็กๆ และการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ก, ข, ค)



รูปที่ 4.14 ลักษณะอนุภาค Mg_2Si ของชิ้นงานบริเวณเนื้อเชื่อมของตัวแปรต่างๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

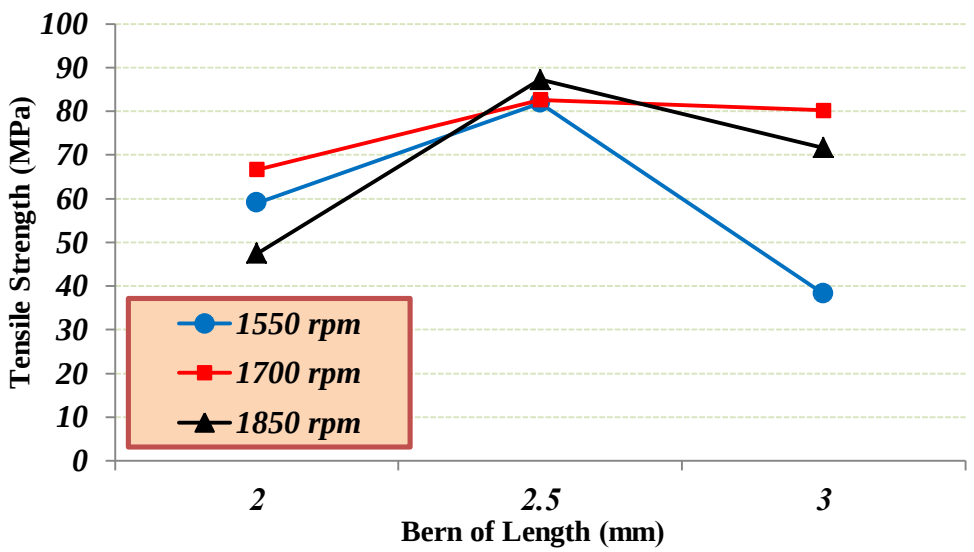
4.5 ความแข็งแรงดึง (Tensile Test)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของการเชื่อมเสียดทานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด SSM356 ซึ่งมีการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370 ดึงภายใต้อุณหภูมิห้องด้วยความเร็วในการดึงคงที่ตามมาตรฐาน [10] พบว่าตัวแปรความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.240 MPa และที่ตัวแปรความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.457 MPa จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่แตกต่างกันด้วย เพราะตัวแปรเหล่านี้จะนำไปสู่การเกิดความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบตัวแปรของระยะกดอัดพบว่ามีผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยระกดอัดที่ 2 มิลลิเมตร จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าระยะกดอัดอื่นๆ และเมื่อเพิ่มระยะกดอัดเป็น 2.5 มิลลิเมตร ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มระยะกดอัดเป็น 3 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึง มีค่าต่ำลงอีก เนื่องจากระยะกดอัดที่สูงเกินไป จะนำไปสู่การบีบให้เนื้อวัสดุเกิดการไหลตัวออกมาเป็นครีบมากเกินไป ซึ่งนำไปสู่การลดลงของสมบัติทางกลได้เช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมเสียดทานระหว่างอะลูมิเนียม SSM6061 กับ SSM356

RPM	TIME	SAMPLE 1(MPa)	SAMPLE 2(MPa)	SAMPLE 3(MPa)	Avg.
1550 rpm	2	52.5	61.93	62.73	59.053
	2.5	80.9	83.06	81.77	81.910
	3	49.46	30.51	34.63	38.200
1700 rpm	2	74.63	54.79	70.38	66.600
	2.5	69.85	85.47	92.51	82.610
	3	77.16	71.72	91.58	80.153
1850 rpm	2	35.99	63.22	43.16	47.457
	2.5	90.05	94.13	77.54	87.240
	3	78.04	71.59	65.19	71.607

อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดึงจากการทดลองทุกๆ ตัวแปรเมื่อเปรียบเทียบในรูปแบบกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่ามีผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความแข็งแรงดึงจะมีสูงขึ้นเมื่อระยะกดอัดเป็น 2.5 มิลลิเมตร เนื่องจากระยะกดอัดเป็น 2.5 มิลลิเมตร ส่งผลให้เกิดความร้อนจากการเสียดทานที่ทำให้เนื้ออะลูมิเนียมบริเวณรอยเชื่อมมีการอ่อนตัวที่เหมาะสม ซึ่งนำไปสู่ความสมบูรณ์ของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทาน

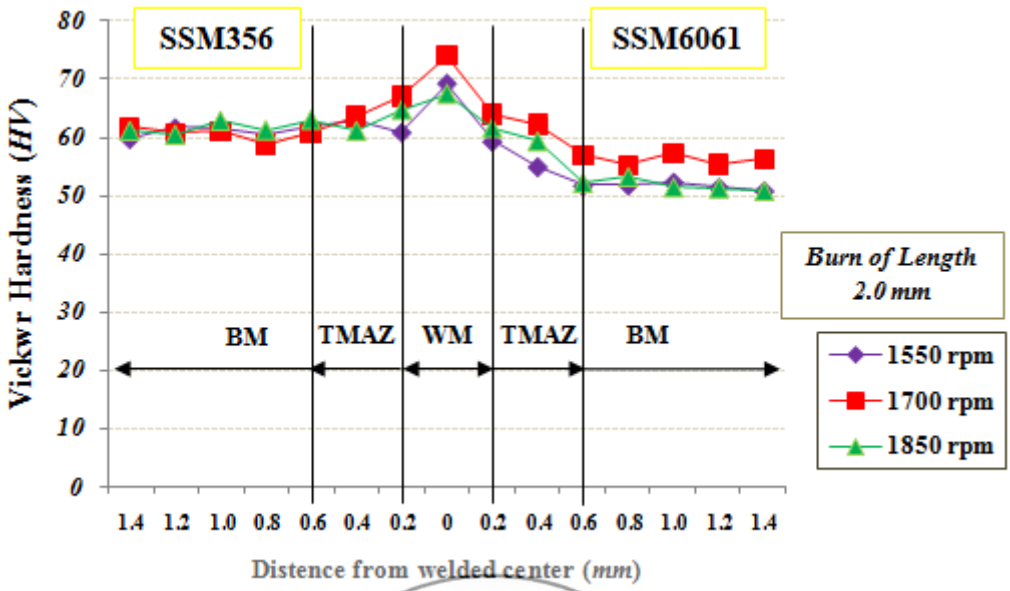


รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมจากกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356

จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่แตกต่างกันนั้นส่งผลมาจากความสมบูรณ์ของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม ลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา และสมบัติทางเคมีของวัสดุนั้นๆ อย่างไรก็ตามสมบัติเหล่านั้นที่ได้กล่าวมานั้นมาจากตัวแปรที่ใช้สำหรับการเชื่อม ซึ่งถือว่ามีความจำเป็นและเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทดลอง

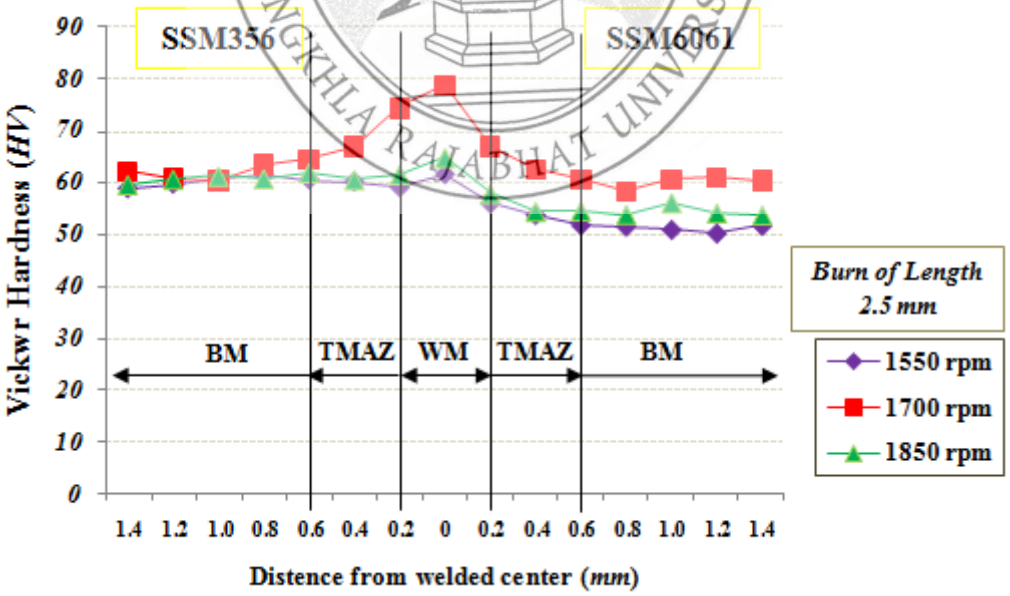
4.6 ความแข็ง (Hardness Test)

รูปที่ 4.16 4.17 และ 4.18 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 ที่ระยะกดอัด 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งสูงกว่าที่ตัวแปรอื่นๆ เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวพบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาค Mg_2Si อย่างสม่ำเสมอ [9] โดยที่ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่าบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณกระทบร้อน (TMAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 มีค่าความแข็งของเนื้อโลหะเดิมมากกว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 ที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 57.3 HV ความเร็วรอบในการเชื่อม 1550 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 54.4 HV และที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1850 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 56.7 HV ตามลำดับ



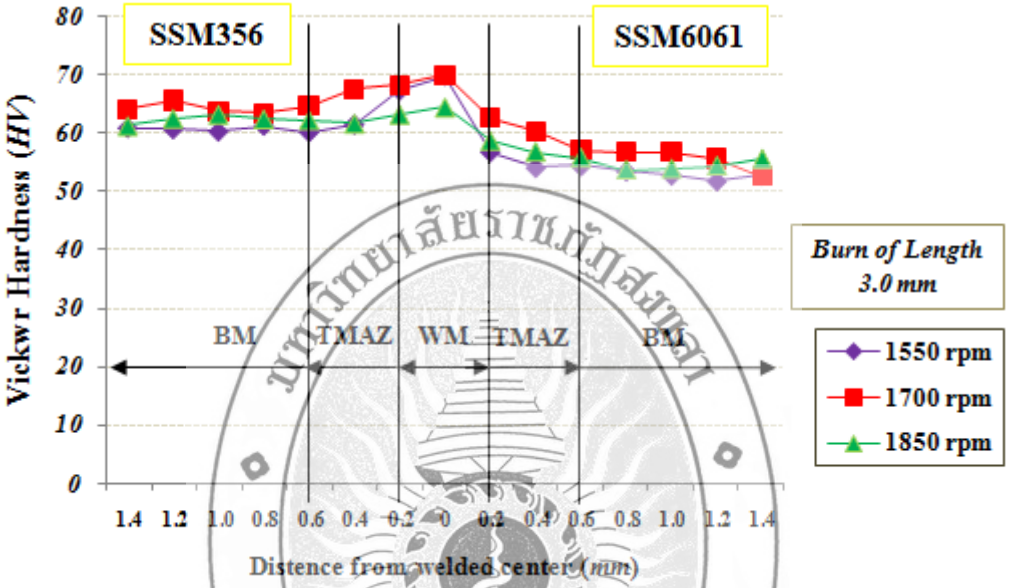
รูปที่ 4.16 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 2 มิลลิเมตร

การเพิ่มระยะกดอัดจาก 2 มิลลิเมตร ไปสู่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่ามีแนวโน้มที่ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระยะกดอัดเป็นการเพิ่มแรงกระทำในการเชื่อมจนนำไปสู่การบีบอัดของเนื้อวัสดุในขณะเชื่อม ซึ่งส่งผลให้บริเวณเนื้อเชื่อมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น [13] ซึ่งความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 64.0 HV ซึ่งเป็นค่าความแข็งสูงสุดที่ได้จากการทดลอง ความเร็วรอบในการเชื่อม 1550 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 56.6 HV และที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1850 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 58.3 HV ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 ที่ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร พบว่าความแข็งแรงดึงมีผลที่ไปในทำนองเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับระยะกดอัดอื่นๆ โดยที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที ให้ค่าความแข็งสูงสุด มีค่าความแข็งอยู่ที่ 62.0 HV และที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1850 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 59.4 HV ส่วนที่ความเร็วรอบในการเชื่อม 1550 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งอยู่ที่ 58.3 HV จะเห็นได้ว่าความแข็งของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับอนุภาคที่เกิดการแตกหักจากแรงกระทำ [5] ดังนั้นแรงกระทำที่เหมาะสมจึงมาจากตัวแปรที่ได้จากการทดลองที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.18 ความแข็งของชิ้นงานที่ระยะกดอัด 3 มิลลิเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

การเชื่อมเสียดทานต่างวัสดุระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด SSM6061 มีการเชื่อมติดเข้าด้วยกันได้ดีในทุกตัวแปรของการทดลอง ถึงแม้ว่าสมบัติทางกลของวัสดุทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน โดย ตัวแปรความเร็วรอบ 1850 รอบต่อนาที ที่ระยะกดอัด 2.5 มิลลิเมตร ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.240 MPa และความเร็วรอบในการเชื่อม 1700 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 64.0 HV ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของทั้งสองวัสดุผสานเข้ากันได้ โดยมีการแตกหักของอนุภาคของวัสดุทั้งสองชนิด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการนำวิธีการเชื่อมเสียดทานกับวัสดุกลุ่มอื่นๆ ที่เชื่อมได้ยาก เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองในเชิงองค์ความรู้ และควรนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

[1] เจษฎา วรรณสินธุ์, รอมฎอน บูรพาและ รังสินี แคนยุกต์. “Development of the Gas Induced Semi-Solid Metal Processing for A356 Aluminum Alloy” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7.

[2] Wannasin, J., Junudom, S., Rattanochaikul, T. and Flemings, M.C. “Development of the Gas Induced Semi-Solid Metal Process for Aluminum Die Casting Applications, Solid State Phenom” Vol. 141 (2008), pp.97-102, 2008.

[3] เจษฎา วรรณสินธุ์ และคณะ. “เทคโนโลยีการหล่ออะลูมิเนียมไดคาสติงแบบกึ่งของแข็ง” การประชุมวิชาการงานหล่อไทย ครั้งที่ 3. สงขลา, ประเทศไทย, 1-12. 2549.

[4] ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. “การเชื่อมและโลหะวิทยาการเชื่อมอะลูมิเนียม” ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รายงานการทดลองภายในการเชื่อมอลูมิเนียม SSM A356, 2550.

[5] K. Narasimha Murthy, V.P. Raghupathy and D. Sethuram (2011) “Friction Welding & Friction Stir Welding” International Center for Advancement of Manufacturing Technology. 24 & 25 November, 2011.

[6] http://www.twi-global.com/technologies/welding-surface-engineering-and-material processing/friction-welding/

[7] Eder Paduan Alves, et al., (2010) “Welding of AA1050 aluminum with AISI 304 stainless steel by rotary friction welding process” Vol.2, No.3, pp. 301-306.

[8] S. CELIK AND D. GUNES (2012) “Continuous Drive Friction Welding of Al/SiC Composite and AISI 1030” Welding research.

[9] I. Bhamji, et al., (2012) “Linear friction welding of aluminum to copper” Institute of Materials, Minerals and Mining Published by Maney on behalf of the Institute.

[10] SONG Yu-lai, et al., (2007) “Strength distribution at interface of rotary-friction-welded aluminum to nodular cast iron” Trans. Nonferrous Met. Soc.

[11] P. Rombaut, et al., (2011) “FRICTION WELDING OF STEEL TO CERAMIC” Sustainable Construction and Design 2011.

[12] ชัยยุทธ มีงาม และประภาศ เมืองจันทร์บุรี “การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็งโดยการแพร่” การประชุมข่ายงานโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (TMECT 5) ระหว่างวันที่ 19-20 มกราคม 2555 ณ โรงแรมมิลาเคิลแกรนท์ คอนเวลชั่น กรุงเทพมหานคร

[13] Mumin Sahin (2010) “FRICTION WELDING OF DIFFERENT MATERIALS” INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. 19 – 20 November 2010.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบแรงดึง

ตารางผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม

RPM	BURN OF LENGTH	SAMPLE 1 (MPa)	SAMPLE 2 (MPa)	SAMPLE 3 (MPa)
1550 rpm	2	52.5	61.93	62.73
	2.5	80.9	83.06	81.77
	3	49.46	30.51	34.63
1700 rpm	2	74.63	54.79	70.38
	2.5	69.85	85.47	92.51
	3	77.16	71.72	91.58
1800 rpm	2	35.99	63.22	43.16
	2.5	90.05	94.13	77.54
	3	78.04	71.59	65.19

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางผนวก ข ผลการทดสอบความแข็ง

Condition		SSM356								SSM6061						
		1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
1550 rpm	2	59.8	61.7	61.5	60.3	61.7	62.7	60.9	69.1	59.3	54.9	51.6	51.7	52.2	51.3	50.7
	2.5	58.9	59.8	60.9	61.5	60.6	60.2	59.1	61.6	56.0	53.8	51.8	51.5	50.9	50.2	51.7
	3	60.9	60.7	60.3	61.3	60.2	61.5	67.3	69.8	56.8	54.1	54.4	53.5	52.8	51.8	52.8
1700 rpm	2	61.7	60.8	61.2	58.8	60.8	63.6	66.9	73.9	64.0	62.1	57.0	55.2	57.2	55.3	56.3
	2.5	62.1	60.7	60.3	63.4	64.5	66.9	74.3	78.7	66.9	62.5	60.4	58.2	60.5	61	60.3
	3	64.2	65.7	63.9	63.4	64.7	67.6	68.2	70.0	62.7	60.4	57.1	56.7	56.9	55.6	52.7
1850 rpm	2	61.1	60.4	62.8	61.2	63.0	61.1	64.7	67.4	61.6	59.3	52.2	53.2	51.4	51.3	50.8
	2.5	59.6	60.6	61.2	60.7	61.9	60.5	61.5	64.8	57.8	54.4	54.5	53.8	56.1	54.1	53.7
	3	61.3	62.6	63.3	62.5	62.3	61.7	63.3	64.5	58.7	56.8	55.8	53.7	53.9	54.4	55.6

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY