รายงานการวิจัย

กลไกการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง ระหว่าง เกรด 356 กับ 7075

Mechanics of Diffusion Welding between of SSM 356 with 7075 Aluminum Alloy

ศุภชัย ชัยณรงค์
ชัยยุทธ มีงาม

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. ๒๕๕๙

ชื่องานวิจัย กลไกการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง ระหว่าง เกรด 356 กับ 7075
ผู้วิจัย นายศุภชัย ชัยณรงค์
นายชัยยุทธ มีงาม
คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ปี 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ในการทดลองใช้อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 7075 ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 45 มิลลิเมตร โดยกำหนดปัจจัยในการเชื่อม คืออุณหภูมิขณะเชื่อม 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 60 และ 120 นาที และ แรงกด 3 MPa ภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ปกคลุม 4 ลิตรต่อนาที หลังจากการเชื่อมทำการทดสอบสมบัติทางกล และวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยา ผลจากการทดลองเชื่อม พบว่าตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อม คือ อุณหภูมิขณะเชื่อม 500 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 120 นาที และแรงกด 3 MPa เพราะให้สมบัติทางกลมากที่สุด โดยค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดหลังจากเชื่อม มีค่า 94.94 MPa เมื่อเทียบกับเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 อยู่ที่ประมาณร้อยละ 56.48 และอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 อยู่ประมาณร้อยละ 65.85 และค่าความแข็งของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งเดิมของวัสดุโดยค่าความแข็งบริเวณรอยต่อเฉลี่ยจะอยู่ที่ 105.8 HV ด้านข้างของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 มีค่าความแข็งอยู่ที่ 89.3 HV และด้านข้างของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 มีค่าความแข็งอยู่ที่ 122.4 HV ซึ่งค่าความแข็งสูงกว่าเนื้อโลหะเดิม เป็นผลมาจากอุณหภูมิและเวลา ส่วนโครงสร้างจุลภาคหลังจากกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ เป็นโครงสร้างก้อนกลมซึ่งมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างเนื้อโลหะเดิมของวัสดุ

Research Title Mechanics of Diffusion Welding between of SSM 356 with 7075 Aluminum Alloy
Researcher Mr. Suppachai Chainarong
Mr. Chaiyoot Meengam
Faculty Industrial
Year 2015

Abstract

The research of this project was to study the weld of butt joint of Semi-Solid-Metal 356 Aluminum Alloy with Semi-Solid-Metal 7075 Aluminum Alloy by Diffusion Welding Process. In the experiment, Semi-Solid-Metal 356 Aluminum and Semi-Solid - Metal 7075 Aluminum cylinder shape with diameter 12 mm and length 45 mm in were used. The welding variables were welding temperature of 400, 450, 500 and 550 °C pressure time of 60 minutes and 120 minutes and pressure strength of 3 MPa with argon covering atmosphere of 4 liters per minutes. The result after the mechanic property test and the metallurgical structure analysis indicated that the appropriate welding variables were the welding temperature of 500 °C, the pressing time of 60 minutes and the pressure strength of 3 MPa, which yielded the most mechanical property. The average maximum tensile strength after welding was 94.94 MPa compared to that of the original SSM 356 at 56.48% and that of original SSM 7075 at 65.85%. The strength of the completed product after welding increased when compared to that of the original metal. The average strength value around the joint was 105.8 HV, the average strength value beside SSM 356 was 89.3 HV and that beside SSM 7075 was 122.4 HV, which was higher than that of the original metal resulting from the temperature and the time length. The microstructure after the diffusion welding process revealed a round structure, which was similar to that of the original metal.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความร่วมมือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ มากมายที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้และความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือบางชนิดในการทำวิจัย ตลอดจนนักศึกษาและคณาจารย์ทุกท่านในโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการให้ความร่วมมือ ช่วยเหลือ สนับสนุนงานวิจัยนี้ให้มีความสำเร็จและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนวิจัย ตามสัญญาเลขที่ 7/2559 ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยในการวิจัย ภายใต้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินทุนงบประมาณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และทำให้เกิดความสำเร็จและสมบูรณ์ของงานวิจัย

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย 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
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎี สมมุติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย	4
การทบทวนวรรณกรรม/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	16
การดำเนินงานวิจัย	16
วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	17
เครื่องมือและอุปกรณ์	17
ขั้นตอนการเชื่อมโดยการแพร่	21
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	25
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็ง	27
การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็งแรงดึง	28
บทที่ 4 ผลการทลองและวิจารณ์ผล	29
ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพชิ้นงานเชื่อม	29
ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงาน	32
ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงาน	34
ผลของการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	48

บรรณานุกรม 49

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบแรงดึง 51

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความแข็ง 53

ประวัติผู้เขียน 55

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 กลไกการเกิดการเชื่อมโดยการแพร่ 5
2.2 ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ 6
2.3 ลักษณะการแพร่ของอะตอมแบบแทรกตัว 7
2.4 แผนภาพสมดุลสองธาตุอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน-แมกนีเซียมซิลิไซด์ 10
2.5 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส 10
2.6 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงมาตรฐาน ASTM A370 12
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 16
3.2 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 17
3.3 เครื่องกลึง ยี่ห้อ Harrison 18
3.4 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน รุ่น CS-230 18
3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Digicon รุ่น TH-320 19
3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง 19
3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายและขัดสักหลาด 20
3.8 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง 20
3.9 เครื่องมืออุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ 21
3.10 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อแบบอัด 21
3.11 การเลื่อยชิ้นงานและลักษณะชิ้นงาน 22
3.12 ชิ้นงานทดลองของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 22
3.13 ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเพื่อกำจัดฟิล์มออกไซด์ 23
3.14 การเตรียมผิวหน้าชิ้นงานก่อนการเชื่อม 23
3.15 กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ 24
3.16 ตัวอย่างการให้อุณหภูมิเชื่อมที่ 400 องศาเซลเซียส เวลากดแช่ 60 นาที 25
3.17 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม 25
3.18 การหล่อตัวเรือนแบบเย็น 26
3.19 การขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย 26
3.20 ลักษณะของผงอะลูมิน่า 27
3.21 ลักษณะชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา 27
3.22 ชิ้นงานบริเวณพื้นที่กดหาค่าความแข็ง 28
3.23 ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM A370-10 28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 ชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ที่เวลาในการกดแช่ 60 นาที 30
4.2 ชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ที่เวลาในการกดแช่ 120 นาที 32
4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ 33
4.4 ค่าความแข็งของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ เวลากดแช่ 60 นาที 35
4.5 ค่าความแข็งของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ เวลากดแช่ 120 นาที 36
4.6 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เวลากดแช่ 60 นาที 37
4.7 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เวลากดแช่ 120 นาที 38
4.8 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิม 39
4.9 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที 40
4.10 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที 41
4.11 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที 42
4.12 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที 43
4.13 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที 44
4.14 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที 45
4.15 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที 46
4.16 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที 47

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงสัญลักษณ์กลุ่มอะลูมิเนียมหล่อผสม 9
3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 17

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเชื่อมมีอยู่หลายวิธี ในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตในงานอุตสาหกรรมนั้นๆ การเชื่อมที่ใช้ความร้อนจากการอาร์ค เรียกว่า การเชื่อมแบบหลอมละลาย ซึ่งความร้อนที่ได้จากการอาร์คจะทำให้เกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันของเนื้อโลหะบริเวณบ่อหลอม การหลอมละลายของเนื้อโลหะหลังจากการเชื่อมเมื่อโลหะแข็งตัวจะเกิดโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับโครงสร้างเดิมของโลหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยา นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการแตกของรอยเชื่อมในระหว่างการแข็งตัวจากการหลอมละลาย (Hot Crack) และมีปัญหาการเกิดโพรงอากาศ (Porosity) [1] ส่งผลโดยตรงให้สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเนื้อโลหะบริเวณบ่อหลอมละลาย ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีการเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้สมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาให้ใกล้เคียงกับโลหะเดิมมากที่สุดภายหลังจากการเชื่อม โดยการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ยึดโลหะเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะนั้น โดยที่โลหะยังอยู่ในสภาวะของแข็ง ซึ่งโลหะจะเชื่อมติดกันด้วยความร้อนในขณะเชื่อมที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว สำหรับกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่มีความเหมาะสมในการเชื่อมอะลูมิเนียมจากการหล่อโลหะกึ่งของแข็งได้แก่การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) และการเชื่อมโดยการแพร่ (Diffusion Bonding) เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนยังส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางโลหะวิทยาในบริเวณที่ได้รับการกวนจากแรงทางกลส่งผลให้เกรนมีความละเอียด (Fine Grain) แต่สำหรับกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่น้อย เพราะให้หลักการแพร่ของอะตอมเมื่อได้รับความร้อนพร้อมกับแรงกดที่ต่ำในขณะเชื่อม จากนั้นให้เวลาเพื่อให้เกิดการเชื่อมติดกันของวัสดุที่จะเชื่อมกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่จะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมดังนี้คือแรงกดขณะเชื่อม (Contact Pressure) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) อุณหภูมิในการเชื่อม (Temperature) และบรรยากาศ (Atmosphere) และตัวแปรอื่นๆ และความต้องการชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อไดคาสติ้ง (Die Casting) สูงขึ้นโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบินรวมไปถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรและอิเลคทรอนิกส์ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดน้ำหนักและการใช้พลังงาน [2] ดังนั้นจึงได้มีการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีในการหล่ออะลูมิเนียมไดคาสติ้งกันอย่างกว้างขวาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพในการผลิต เทคโนโลยีล่าสุดที่มีศักยภาพในการหล่อไดคาสติ้ง คือ กรรมวิธีการหล่อโลหะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal; SSM) ปัจจุบันนี้มีการใช้เทคโนโลยีการหล่อโลหะกึ่งของแข็งกันทั่วโลก ประเทศไทยก็เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการหล่อกึ่งของแข็งเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมในประเทศและที่กำลังได้รับความสนใจและพัฒนาในขณะนี้ คือ กระบวนการหล่อโลหะกึ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS (Gas Induced Semi-Solid) [3] เป็นกระบวนการหล่อโลหะกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการพ่นฟองแก๊สเฉื่อยผ่านแท่งกราไฟต์พรุนซึ่งเป็นกรรมวิธีแบบใหม่ สำหรับการผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่มีหลักการคล้ายกับวิธีการหล่อแบบรีโอคาสติ้ง (Rheocasting) ที่ให้โครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (Spheroidal Grain) ในการนำวัสดุประเภทนี้มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศโดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูป (Materials Forming)

และการซ่อม (Repairing) อะลูมิเนียมหล่อดังกล่าวก็จะมีการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อีกทั้งการเชื่อมก็มีบทบาทที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตในด้านการประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีงานเชื่อมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อความเหมาะสมกับสภาพของงาน และข้อจำกัดในการเชื่อมที่ส่งผลกระทบในด้านต่างๆ โลหะก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกกระบวนการเชื่อม โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ทำจากอะลูมิเนียมที่ผ่านการหล่อโลหะกึ่งของแข็งที่มีโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยา จากข้อมูลและเหตุผลดังที่กล่าวมาคณะผู้จัดทำจึงได้มีความสนใจศึกษาการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา ผลการทดลองสามารถกำหนดปัจจัยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- เพื่อศึกษากระบวนการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่
- เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานทดลองเชื่อม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

(1) ใช้กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่

(2) วัสดุที่ใช้ทำการทดลองเป็นอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM7075

(3) กำหนดปัจจัยในการทดลอง

1) ปัจจัยคงที่ ได้แก่
ความยาวชิ้นงาน 45 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
ใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อม อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที
แรงที่ใช้ในการกด 3 MPa

2) ปัจจัยไม่คงที่ ได้แก่
เวลาในการกดแช่ 60 และ 120 นาที
อุณหภูมิในการเชื่อมแพร่ชิ้นงาน 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส

(4) ทดสอบสมบัติทางกล ประกอบด้วย

1) การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)
2) การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

(5) ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ประกอบด้วย

1) โครงสร้างมหภาค (Macrostructure)
2) โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

(6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รู้กระบวนการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่
- สามารถกำหนดปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ได้
- ผลของการศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานทดลองเชื่อมสามารถนำมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ถึงคุณภาพของงานเชื่อมได้
- เป็นองค์ความรู้สำหรับการวิจัยต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

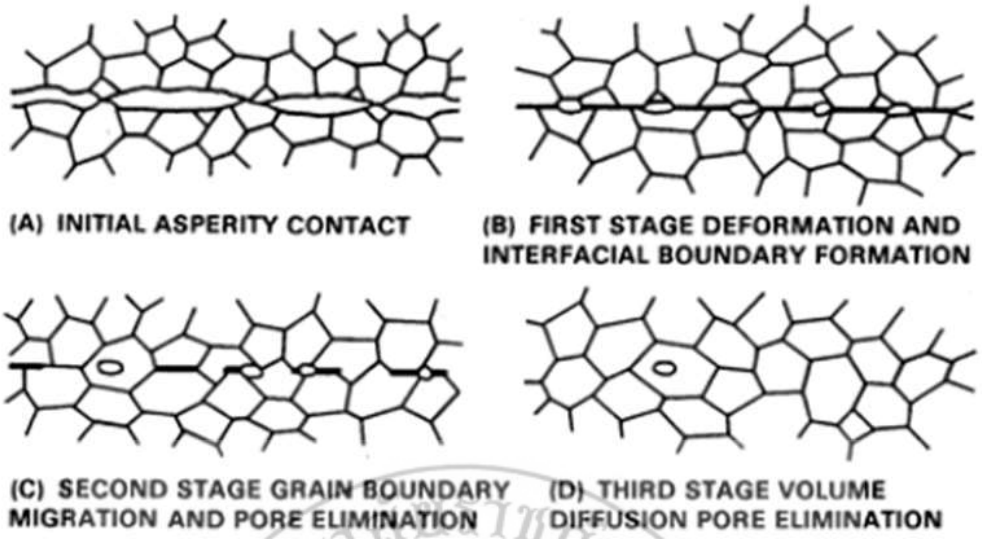
2.1.1 กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่

กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็งสามารถเชื่อมต่อวัสดุได้หลายชนิด เช่น เซรามิค (Ceramic) วัสดุผสม (Composites) และโลหะ (Metal) เป็นต้น กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ต้องอาศัยตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ แรงกดขณะเชื่อม (Pressure) เวลาในการกดแช่ (Time) และอุณหภูมิในการเชื่อม (Temperature) นอกจากนั้นยังมีตัวแปรอื่นๆ เช่น ความราบเรียบของผิวรอยต่อ (Surface Roughness) ความสะอาดของผิวรอยต่อ (Cleaning Surface) เป็นต้น โดยกลไกของการเชื่อมต่อจะอาศัยการแพร่ของอะตอมระหว่างวัสดุที่เชื่อมต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีอัตราการแพร่ดังสมการที่ 1 การเชื่อมโดยการแพร่สามารถเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิด (Dissimilar) วัสดุชนิดเดียวกัน(Similar) หรือเชื่อมหลายๆ ชิ้นพร้อมกันได้ (Sandwich) ซึ่งในการเชื่อมด้วยวิธีการนี้จะใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิดด้วยกัน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องปฏิกรณ์ในอุตสาหกรรมพลังงานปรมาณูอุตสาหกรรมการบิน และอวกาศ เป็นต้น ในการเชื่อมโดยการแพร่การเตรียมผิวงานเชื่อมมีความสำคัญมากโดยผิวหน้าที่เชื่อมต้องมีความราบเรียบของผิวที่เชื่อมต่อกัน นอกจากนั้นในการเชื่อมต้องมีการควบคุมบรรยากาศในขณะเชื่อมเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ซึ่งอาจทำภายใต้ระบบสุญญากาศหรือบรรยากาศที่มีก๊าซปกคลุม

$$D = Ae^{-(Q/RT)} \tag{2.1}$$

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (cm^2)
T คือ อุณหภูมิ (Kelvin)
R คือค่าคงที่ของแก๊ส
A คือค่าคงที่
Q คือพลังงานกระตุ้น

ในการแพร่สัมประสิทธิ์การแพร่ (D) จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกล่าวคือที่อุณหภูมิที่สูงยิ่งทำให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็วในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ช้าตามไปด้วยซึ่งอุณหภูมิที่ช่วยในการแพร่จะบ่งบอกให้เห็นปริมาณพลังงานกระตุ้นว่ามีปริมาณต่ำหรือสูงหากเกิดพลังงานกระตุ้นที่สูงเป็นผลมาจากอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิต่ำพลังงานกระตุ้นก็น้อยทำให้เกิดการแพร่ได้ช้าในการเชื่อมโดยการแพร่มีกลไกการแพร่อยู่ด้วยกัน 4 ช่วง คือ ช่วงเริ่มต้นของผิวสัมผัส (Initial Asperity Contact) เป็นช่วงที่ขึ้นกับแรงกดเพราะแรงกดที่สูงเกินไปส่งผลให้โครงสร้างบิดเบี้ยวและหากแรงกดที่ต่ำเกินไปส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสที่สูง



รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดการเชื่อมโดยการแพร่ [13]

ในช่วงแรกของการแพร่ (First Stage Deformation and Interfacial Boundary Formation) จะเป็นการเปลี่ยนรูปอย่างช้าๆ บริเวณขอบเกรนของชิ้นงานโดยที่ขอบเกรนจะเชื่อมต่อกัน ปริมาณช่องว่าง (Void) จะเริ่มลดลงช่วงที่สองของการแพร่ (Second Stage Grain Boundary Migration and Pore Elimination) เป็นช่วงที่เกิดการเคลื่อนย้ายของขอบเกรนเพื่อมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งส่งผลให้กำจัดช่องว่างที่ผิวสัมผัสส่วนในช่วงสุดท้ายหรือช่วงที่สามของการเชื่อม (Third Stage Volume Diffusion Pore Elimination) ช่วงนี้จะเกิดการแพร่ที่สมบูรณ์ปริมาณช่องว่างจะหายไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในการเชื่อมยังมีตัวแปรที่สำคัญดังต่อไปนี้

(1) อุณหภูมิในการเชื่อม (Temperature) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมโดยการแพร่ การเปลี่ยนอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยจะส่งผลอย่างชัดเจนต่อลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา และสมบัติทางกลอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเชื่อมโดยการแพร่อยู่เหนือช่วง 0.5 เท่า ของจุดหลอมเหลวของวัสดุ(Melting Point) ในอุณหภูมิระบบสัมบูรณ์ (Kelvin) ที่นำมาเชื่อมซึ่งจะไม่เกินจุดหลอมเหลวของวัสดุเพราะกรรมวิธีโดยการแพร่เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็งโดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเชื่อม คือ 0.6-0.8 เท่า ของจุดหลอมเหลวของวัสดุ ตัวแปรด้านอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ง่าย มีความแม่นยำในการควบคุมและที่สำคัญลักษณะโครงสร้างที่เกิดขึ้นจะส่งผลมาจากการควบคุมอุณหภูมิ โดยเฉพาะในช่วงของการเย็นตัวหลังจากการเชื่อม การควบคุมอุณหภูมิที่ไม่ดีพอจะส่งผลให้ลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปเกิดการเปลี่ยนเฟสหลังจากการเชื่อม

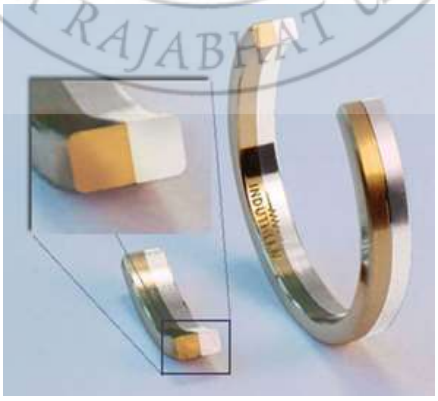
(2) เวลาในการกดแช่ (Holding Time) เวลาเป็นอีกตัวแปรที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าอุณหภูมิ โดยเวลาที่ใช้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยตรงเพราะเวลาจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ และส่งผลมายังระยะทางที่แพร่ (X) เวลาที่สูงทำให้การแพร่มีระยะทางในการแพร่ที่มากขึ้น ดังสมการที่ 2 ระยะเวลาที่สูงมากเกินไปยังส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปหลังจากการเชื่อม นอกจากนั้นเวลายังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเช่นกันโดยเวลาในการเชื่อมที่นานเกินไปอาจนำไปสู่การเติบโตของเกรนและเสียสมบัติทางกลหลังจากการเชื่อมเวลาในการเชื่อมที่นานเกินไปยังส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานเชื่อมได้ง่ายและการสูญเสียพลังงานดังนั้นตัวแปรทางด้านเวลาจึงมีความสำคัญในการเชื่อมโดยการแพร่

$$X = C(Dt)^{1/2} \quad (2.2)$$

เมื่อ X คือ ระยะที่เกิดการแพร่
D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (cm^2)
t คือ เวลา (Time)
C คือ ค่าคงที่

(3) แรงกดขณะเชื่อม (Contact Pressure) เป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งสามารถแสดงเป็นปริมาณได้ และยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา แรงกดจะมีอิทธิพลโดยตรงต่อสมบัติทางโลหะวิทยา การยึดติดของชิ้นงานและการเสียรูปของชิ้นงาน (Deformation) ในการเชื่อมแรงกดที่สูงทำให้ผิวสัมผัสแน่นเกินไป ช่วงแรกของการเชื่อมโดยการแพร่เกิดความเครียดที่สูงระหว่างผิวสัมผัส อาจทำให้โครงสร้างทางจุลภาคก่อนที่จะเชื่อมเสียรูปแต่แรงกดที่น้อยเกินไปส่งผลให้การยึดติดไม่ดี เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างหน้าผิวสัมผัสเยอะ ดังนั้นแรงกดจึงมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิและเวลาเวลาในการเชื่อมที่นานและอุณหภูมิเชื่อมสูงแรงกดก็จะน้อยลง ในทางตรงกันข้ามแรงกดที่สูงมากต้องใช้อุณหภูมิในการเชื่อมที่น้อยเวลาที่ใช้ต้องนานๆ เพื่อชิ้นงานเกิดการยึดติดที่ดี

นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ เช่น การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการเชื่อม ขนาดโครงสร้างทางจุลภาค การทำความสะอาดผิวงานเชื่อม เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ แต่ปัญหาหลักในการเชื่อมโดยการแพร่ คือ การเกิดฟิล์มออกไซด์ (Oxides Film) ระหว่างการเชื่อมฟิล์มออกไซด์จะมีจุดหลอมเหลวที่สูง ส่งผลให้เกิดการแพร่ระหว่างชิ้นงานได้ยากซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานลดลง ในกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่จึงต้องอาศัยการควบคุมบรรยากาศในการเชื่อม โดยในขณะเชื่อมต้องควบคุมบรรยากาศให้อยู่ในระบบสุญญากาศหรือบรรยากาศอาร์กอน นอกจากนั้นยังมีวิธีกำจัดออกไซด์อื่นๆ อีก เช่น การใช้สารเคมีการใช้กระดาษทรายในการเตรียมผิวงานก่อนการเชื่อม กรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้หลากหลายมีรูปร่างที่ซับซ้อนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่อาจมีข้อจำกัดด้านขนาดของชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ การเชื่อมโดยการแพร่มีตัวแปรหลัก 3 ตัวด้วยกัน ซึ่งเมื่อปรับลดตัวแปรด้านใดด้านหนึ่งก็จะทำให้ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องอาศัยตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อม



รูปที่ 2.2 ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ [12]

ข้อดีในการเชื่อมโดยการแพร่

1) รอยเชื่อมมีสมบัติทางกลที่ดี
2) หลังจากการเชื่อมโครงสร้างไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
3) สามารถเชื่อมชิ้นงานซ้อนทับกันได้หลายๆ ชั้น
4) การเชื่อมนี้เหมาะสำหรับเชื่อมโลหะที่แตกต่างกันและสามารถเชื่อมเซรามิคได้
5) สามารถเชื่อมจำนวนหลายๆ แนวเชื่อมพร้อมกันได้

ข้อจำกัดของการเชื่อมโดยการแพร่

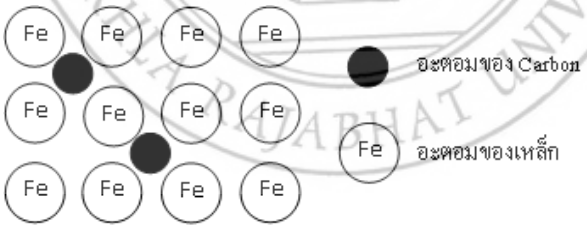
1) การกำจัดออกไซด์ในระหว่างการเชื่อม
2) การเตรียมผิวงานก่อนการเชื่อมโดยผิวชิ้นงานต้องปราศจากคราบไขมันความชื้นและต้องมีผิวที่ราบเรียบของชิ้นงานเชื่อมสูง
3) ต้องใช้เวลานานในการเชื่อม
4) มีข้อจำกัดในด้านความโตของชิ้นงานเชื่อม
5) การเชื่อมโดยการแพร่ไม่สามารถเชื่อมได้ครั้งละหลายๆ ชิ้น

2.1.2 กลไกการแพร่ของอะตอม (Diffusion Mechanism)

การแพร่ของอะตอม หมายถึง การเคลื่อนที่ของอะตอมจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ภายใต้พลังงานกระตุ้นซึ่งระบบ การแพร่ของอะตอมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การแพร่แบบแทรกตัว (Interstitial Diffusion) และการแพร่แบบแทนที่ (Substitution Diffusion)

(1) การแพร่แบบแทรกตัว (Interstitial Diffusion)

การแพร่ของอะตอมต่างชนิดกันที่เกิดขึ้นในกรณีที่ขนาดของอะตอมตัวถูกละลายมีขนาดเล็กกว่าอะตอมของตัวทำละลายมากๆ อาทิเช่น อะตอมของคาร์บอนซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอะตอมเหล็กมากทำให้อะตอมของคาร์บอนสามารถแทรกตัวในโครงสร้างผลึกได้ ดังนั้นการแพร่ของอะตอมแบบแทรกตัวจึงเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการแพร่ของอะตอมแบบแทรกตัว [6]

(2) การแพร่แบบแทนที่ (Substitution Diffusion)

ในกรณีของอะตอมของตัวทำละลายและตัวถูกละลายมีขนาดใกล้เคียงกันการแพร่ที่เกิดขึ้นจะเป็นการแพร่แบบแทนที่ กล่าวคือ การแพร่จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อจะต้องมีวาเคนซี คือ ตำแหน่งช่องว่างในโครงสร้างผลึก (Vacancy) ในตำแหน่งข้างเคียงอะตอมจึงสามารถแพร่ได้ ดังนั้นความเร็วในการ

แพร่ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างภายในโครงสร้างผลึก จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับจำนวนวาเคนซีที่เกิดขึ้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอะตอมต่างๆ
ภายในโครงสร้างมีพลังงานเพิ่มขึ้นสามารถเอาชนะพลังงานยึดเหนี่ยวและหลุดเป็นอะตอมอิสระ ทำให้เกิดวาเคนซีเป็นจำนวนมากดังนั้นการแพร่แบบแทนที่ ณ อุณหภูมิสูงจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการแพร่แบบแทนที่ ณ อุณหภูมิต่ำตัวแปรที่มีผลต่อการแพร่ได้แก่

1) อุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อะตอมต่างๆ มีพลังงานภายในสูงขึ้นทำให้เกิดการสั่นมากขึ้นเมื่ออะตอมใดๆ ที่มีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวจะหลุดออกจากโครงสร้างผลึกทำให้เกิดเป็นวาเคนซี และอะตอมต่างๆ เกิดการแพร่ได้ง่าย

2) ขนาดของอะตอมของตัวทำละลายและตัวถูกละลายในกรณีที่มีขนาดแตกต่างกันมาก เช่น อะตอมของเหล็กและคาร์บอนจะมีลักษณะการแพร่แบบแทรก แต่ในกรณีที่อะตอมทั้งสองมีขนาดใกล้เคียงกันจะมีลักษณะการแพร่แบบแทนที่

3) ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ (Diffusivity; D) โดยวัสดุแต่ละชนิดมีโครงสร้างผลึกและพลังงานยึดเหนี่ยวอะตอมที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อการแพร่ของอะตอม โดยพบว่าธาตุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของอะตอมสูงกว่าธาตุที่มีจุดหลอมเหลวสูง ซึ่งหมายถึง อะตอมของธาตุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสามารถแพร่ได้เร็วกว่าธาตุที่มีจุดหลอมเหลวสูง สัมประสิทธิ์การแพร่

4) จุดบกพร่องในโครงสร้างผลึกซึ่งจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะมีหลายลักษณะอาทิ เช่น วาเคนซีดิสโลเคชัน และบริเวณขอบเกรนซึ่งบริเวณเหล่านี้อะตอมต่างๆ สามารถแพร่ได้

2.1.3 อะลูมิเนียมผสม (Aluminium Alloy)

อะลูมิเนียมเป็นโลหะสำคัญที่ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะเนื่องจากมีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายประการ [7] เช่น มีความหนาแน่นน้อยและมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้และชิ้นส่วนบางอย่างในเครื่องบินจรวด และขีปนาวุธสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ง่ายจุดหลอมเหลวต่ำหล่อหลอมง่าย แต่เนื่องจากน้ำหนักเบาจึงนิยมใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า ทนทานต่อการกัดกร่อนต่อกรดและด่างหาซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพงมากนักกลุ่มดังแสดงสัญลักษณ์กลุ่มในตารางที่ 2.1

สัญลักษณ์อลูมิเนียมหล่อผสมตามมาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing Materials) มีตัวเลขสี่หลัก เช่น 1XXX และ 2XXX เป็นต้นซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้

ตัวเลขหลักที่หนึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงกลุ่มของอะลูมิเนียมผสมซึ่งมีอยู่ 7 กลุ่มหลักตามเนื้อหาที่กล่าวมาก่อนหน้า เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นต้น

ตัวเลขหลักที่สองเป็นสัญลักษณ์ใช้สำหรับกำกับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของโลหะให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม เช่น ตัวเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม ส่วน ตัวเลข 1-9 แสดงว่าเป็นโลหะที่ผสมเข้าไปเปลี่ยนแปลงจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่สอง คือ 0 (Cu 45 เปอร์เซ็นต์ Mg 15 เปอร์เซ็นต์ Si 05 เปอร์เซ็นต์ Cr 01 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับหมายเลข 2218 ตัวเลขหลักที่สองคือ 2 (Cu 40 เปอร์เซ็นต์ Ni 21 เปอร์เซ็นต์ Mg 15 เปอร์เซ็นต์ Si 02 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสังเกตได้ว่าหมายเลข 2218 มีนิเกิล (Ni) ผสมเข้าไป

ตารางที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์กลุ่มอะลูมิเนียมหล่อผสม [8]

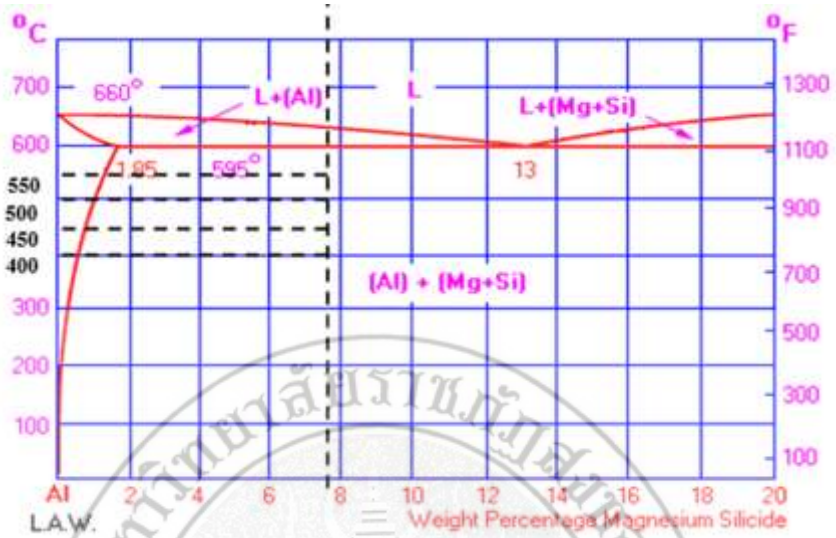
กลุ่มอะลูมิเนียม	ธาตุผสมอะลูมิเนียม
1XXX	อะลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 9900%
2XXX	ทองแดง (Copper, Cu)
3XXX	ซิลิกอน (Silicon, Si) – ทองแดง (Copper, Cu) – แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) ซิลิกอน (Silicon, Si) – แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) ซิลิกอน (Silicon, Si) – ทองแดง (Copper, Cu)
4XXX	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5XXX	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
7XXX	สังกะสี (Zinc, Zn)
8XXX	ดีบุก (Tin, Sn)
9XXX	ธาตุอื่นๆ (Other Element)
6XXX	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

ตัวเลขหลักที่สามและสี่เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่มเดียวกันความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น หมายเลข 2024 ตัวเลขหลักที่สามและสี่คือ 14 (Cu 44 เปอร์เซ็นต์ Si 08 เปอร์เซ็นต์ Mn 08 เปอร์เซ็นต์ Mg 04เปอร์เซ็นต์) และหมายเลข 2017 ตัวเลขหลักที่สามและสี่ คือ17 (Cu 40 เปอร์เซ็นต์ Si 08 เปอร์เซ็นต์ Mn 05 เปอร์เซ็นต์ Mg 05 เปอร์เซ็นต์ Cr 01 เปอร์เซ็นต์)

อะลูมิเนียมผสม-ซิลิกอนเป็นโลหะผสมที่สำคัญได้รับการใช้งานกันมากในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานมากมาย เช่น สามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยการทำเอจจิ่งมีความหนาแน่นน้อยน้ำหนักเบามีความเหนียว สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่ายโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหักมีจุดหลอมเหลวต่ำ และมีอัตราการไหลตัวสูงค่าการนำไฟฟ้าคิดเป็น 64.94 เปอร์เซ็นต์ IACS (International Association of Classification Societies) ซึ่งไม่สูงนักและเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าในกรณีที่คำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกายและมีค่าการนำความร้อนสูง และผิวหน้าของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จากคุณสมบัติด้านเหล่านี้จึงนิยมนำอะลูมิเนียมใช้ทำแผ่นสะท้อนในแฟลชถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในโคมไฟ ชิ้นส่วนบางอย่างในเครื่องบินจรวดขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์เพื่อลดน้ำหนักของยานพาหนะให้น้อยลง ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและเหมาะสำหรับใช้ในงานเชื่อมแต่ไม่เหมาะสมกับงานกลึง

จากรูปที่ 2.4 แผนภาพสมดุลสองธาตุอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน-แมกนีเซียมซิลิไซด์ โดยจะมีลักษณะเด่นชัดที่ซิลิกอนแยกตัวไม่ละลายในอะลูมิเนียมโดยการปฏิกิริยายูเทคติคที่อุณหภูมิที่ 577 องศาเซลเซียส และมีส่วนผสมของซิลิกอน 1.16 เปอร์เซ็นต์ การแยกตัวทำให้ปฏิกิริยายูเทคติค จากโลหะหลอมเหลว 1.16 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอนจะให้เฟส α ที่มี 1.65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอนเฟส Si มีสมบัติที่แข็งและเปราะถ้าในโครงสร้างมีการตกผลึกของเฟส Si ขนาดใหญ่จะมีลักษณะต่อเนื่องมีผลทำให้โลหะผสมสามารถมีความแข็งแรงต่ำ และขาดสมบัติด้านความเหนียวการปรับปรุงสมบัติทางกลของโลหะผสม

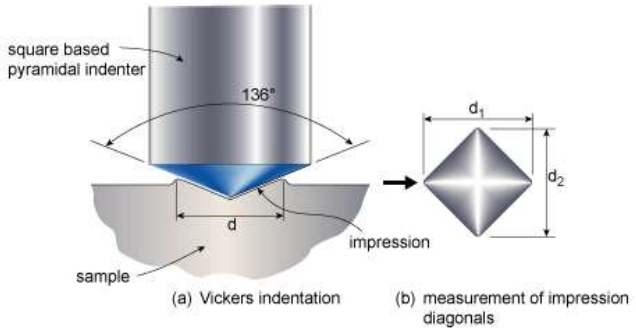
สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น เพิ่มอัตราการเย็นตัวภายในแบบหล่อให้สูงขึ้นเพิ่มปริมาณนิวเคลียสของการแข็งตัวเพื่อขนาดเกรนให้เล็กลงหรือใช้เทคนิคโมดิฟิเคชัน



รูปที่ 2.4 แผนภาพสมดุลสองธาตุอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน-แมกนีเซียมซิลิไซด์ [9]

2.1.4 การทดสอบความแข็ง

เป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำลงบนชิ้นทดสอบ การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือ บริเนลล์ ร็อกเวลล์ และวิกเกอร์ส สำหรับในงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการทดสอบแบบวิกเกอร์ส เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส จะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวกวนโดยในการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยเวลาที่ใช้ในการกด 10 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ ประมาณค่าความแข็งประมาณ 1,500 kgf/mm^2 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนเฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีค่าระหว่าง 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ



รูปที่ 2.5 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส

การวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส บริเวณภาคตัดตามยาวรอยกวนเพื่อหาว่าในแต่ละบริเวณของชิ้นทดสอบกวนมีค่าความแข็งภายในเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.3 ดังแสดงต่อไปนี้

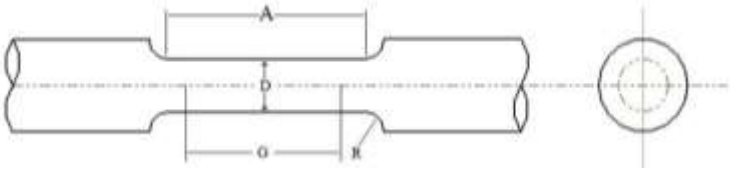
$$Hv = \frac{1.854P}{d^2} \tag{2.3}$$

เมื่อ

Hv	คือ	ค่าความแข็งแบบ Vickers (kgf /mm^2)
P	คือ	แรงกด (kgf)
d	คือ	ขนาดเส้นทแยงมุม d_1 และ d_2 เฉลี่ย (mm)

2.1.5 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ใต้สภาวะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้นนั้น คือ การเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (Gauge Length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืด หรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบโลหะได้รับแรงดึงในแกนเดียวจะเกิดการเสียรูปขึ้น และถ้าชิ้นทดสอบโลหะสามารถคืนตัวกลับสู่ขนาดเริ่มต้นเมื่อนำแรงที่กระทำออกไปนั้น คือ โลหะมีการเสียรูปแบบคืนตัว (Elastic Deformation) ขนาดของการเสียรูปแบบคืนตัวของโลหะจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในระหว่างที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวอะตอมของโลหะจะเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมในปริมาณที่ไม่มาก ดังนั้นเมื่อเอาแรงที่กระทำออกไปโลหะที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวอะตอมของโลหะจะเคลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิม ทำให้โลหะกลับไปสู่รูปทรงเดิม ถ้าโลหะเกิดการเสียรูปแบบถาวร (Plastic Deformation) ในระหว่างที่เกิดการเสียรูปแบบถาวรอะตอมของโลหะเกิดการเคลื่อนออกไปอย่างถาวรจากตำแหน่งเดิม และจะคงอยู่ที่ตำแหน่งใหม่แม้ว่าจะนำแรงที่กระทำออกไปก็ตาม บ้างโลหะสามารถเกิดการเสียรูปแบบถาวรได้มากโดยปราศจากการแตกร้าวซึ่งถือเป็นสมบัติหนึ่งทางวิศวกรรมของโลหะที่นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด กระบวนการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM มีดังนี้ E8 สำหรับวัสดุโลหะ D638 สำหรับวัสดุพลาสติก D2343 สำหรับวัสดุไฟเบอร์ D897 สำหรับวัสดุกาว D987 สำหรับวัสดุกระดาษและ D412 สำหรับวัสดุยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงของกรรมวิธีโดยการแพร่จะทดสอบแรงดึงของรอยยึดติดจากการต่อใช้ชิ้นทดสอบแบบลดขนาดตามมาตรฐานงานกลมนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแรงดึงตามยาวกับแนวเชื่อม นำไปทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้องความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้มาตรฐาน ASTM A370 เพื่อดูค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหลังจากการเสียรูป โดยการเตรียมชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงมาตรฐาน ASTM A370

2.1.7 โครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgy Structures)

โครงสร้างของโลหะวิทยาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ศึกษาโครงสร้างมหภาค และการศึกษาโครงสร้างจุลภาค

1) โครงสร้างมหภาค (Macrostructure) เป็นการตรวจสอบทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบรูณ์ของรอยต่อ การซึมลึกบริเวณที่ได้อิทธิพลกระทบร้อนตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่างๆ ของรอยเชื่อม

2) โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า เป็นกล้องที่ใช้แสดงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้ จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูการกระจายตัว และลักษณะเกรนของโครงสร้างบริเวณรอยต่อ บริเวณที่ได้รับอิทธิพลกระทบร้อนและบริเวณเนื้อโลหะเดิม

3) ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

การทำเรือนแบบเย็นชิ้นงานจะวางอยู่ในแบบหล่อ จากนั้นเท่เรซินซึ่งผสมชนิดตามอัตราส่วนน้ำหนักหรือปริมาณที่กำหนดและคนจนเป็นเนื้อเดียวกันลงในแบบหล่อเรซินที่ใช้ คือ อะครีลิดมีความสะดวกในการใช้งานเวลาในการเซทตัว และการหดตัวน้อยจะแข็งตัวโดยการเติมสารทำให้แข็งตัวและเมื่อแข็งตัวแล้วจะเป็นเทอร์โมและทนสารเคมี

การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิกอนคาร์ไบด์ตั้งแต่เบอร์ 220, 320, 400 และขัดจนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหน้าเรียบ แล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้นในขณะขัดนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกได้แก่ผงโลหะ และซิลิกอนคาร์ไบด์ออกให้หมดเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไปทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาด

การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอลูมิน่า (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) หรืออาจจะใช้กากเพชรขัดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งสูงมากโดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05 – 0.3 ไมครอน

การกัดด้วยน้ำยา (Etcing) ชิ้นงานตรวจสอบชิ้นงานที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิด

ของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กก็จะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมกับแอลกอฮอล์โดยโครงสร้างมหภาคตามมาตรฐาน ASTME 304-00 โครงสร้างจุลภาคภาคตามมาตรฐานASTME 407-99

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

เจนณรงค์นาคเทวัญ [4] ได้ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งเกรด 7075 งานวิจัยนี้เป็นการเชื่อมต่อชนอะลูมิเนียมผสมซึ่งหล่อโดยเทคโนโลยีกึ่งของแข็ง SSM7075 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ความเร็วเชื่อม 70, 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที ภายใต้ความเร็วรอบ1110 และ 1320 รอบต่อนาที ปรากฏว่าชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1320 รอบต่อนาที เกิดเป็นโพรงตรงส่วนล่างของบริเวณที่ถูกกวนส่วนงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1110 รอบต่อนาที มีความสมบรูณ์ดีหลังจากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1110 รอบต่อนาที มาทดลอง 4 สภาวะทางความร้อนคือสภาวะหลังเชื่อม สภาวะบ่อเทียมหลังเชื่อมสภาวะอบละลายหลังเชื่อม และ T6 หลังเชื่อมผิวของแนวเชื่อมที่มีความเร็วเชื่อม 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที ของสภาวะอบละลายหลังเชื่อมและT6 หลังเชื่อมมีลักษณะพุพองใต้ผิวเนื่องจากการขยายตัวของอากาศภายในแนวเชื่อมส่วนผิวของแนวเชื่อมที่สภาวะอื่นๆ มีความสมบรูณ์ดี โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมมีลักษณะทั่วไปคล้ายกันทุกสภาวะการทดลองเช่นกัน แต่ที่สภาวะอบละลายหลังเชื่อมและ T6 หลังเชื่อมของชิ้นงานที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที เกิดการแตกร้าวตรงบริเวณที่ถูกกวน เนื่องจากการชุบเย็นหลังจากอบละลาย นอกจากนั้นโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ถูกกวนเกรนมีการขยายตัวใหญ่ขึ้นมาก เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่มีความเร็วเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเกรนทีการขยายตัวเพียงเล็กน้อย รวมไปถึงความแข็งที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าสูงกว่าความเร็วเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวในแนวเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที การตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับเทคนิคเอ็กซ์เรย์ (EDX) ในบริเวณที่ถูกกวนมีความแตกหักของเฟส $Al_7Cu_2FeMg_2SiAl_2CnMg$ และ $Al_2Mg_3Zn_3$ กระจายอยู่ทั่วแนวเชื่อมมีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 197.3 HV จากการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ1110รอบต่อนาทีที่ความเร็วเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาทีหลังจากการทำ T6 หลังเชื่อมสำหรับค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 459.23 MPa ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพของแนวเชื่อมที่ 101.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองที่สภาวะอื่นๆ

ชัยยุทธ มีงาม [5] งานวิจัยนี้ศึกษาการเชื่อมต่อชนอะลูมิเนียมผสมที่หล่อโดยเทคโนโลยีกึ่งของแข็ง SSM356 ที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (As Cast) และผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดยการแพร่ (Diffusion Bonding Process) โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ แรงกด 0.4, 0.9, 1.8, 2.4 และ 2.7 MPa เวลากดแช่ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการเชื่อม 495 องศาเซลเซียส ทดลองภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ปกคลุม 4 ลิตรต่อนาที หลังจากการเชื่อมทำการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคโครงสร้างจุลภาค และทดสอบสมบัติทางกลผลจากการทดลองพบว่าโครงสร้างบริเวณรอยต่อชน (Bond Line) ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเป็นก้อนกลม ซึ่งคล้ายโครงสร้างเดิมของวัสดุและอนุภาคซิลิกอนเกิดการแตกหักจากแรงกด ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 อยู่ที่ 129.30 MPa ที่ตัวแปร 1.8 MPa ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ 76 เปอร์เซ็นต์ และที่ตัวแปร 2.4 MPa ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 123.12 MPa ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ 72 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 168 MPa ส่วนค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 อยู่ที่ 182.20 MPa ที่ตัวแปร 2.4 MPa ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ 61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิม ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 มีค่าความต้านทานแรง

ดึงสูงสุด 297 MPa ทดลองภายใต้เวลากดแช่ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการเชื่อม 495 องศาเซลเซียส บรรยากาศอาร์กอนที่ปกคลุม 4 ลิตรต่อนาที และค่าความแข็งหลังการเชื่อมของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่บริเวณรอยต่อโดยมีค่าเฉลี่ย 91 HV ส่วนอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 มีค่าความแข็งลดลงโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 124 HVตามลำดับ

เดช เหมือนขาว ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม [6] ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของทองเหลืองโดยกระบวนการเชื่อมแพร่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลทองเหลืองโดยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ โดยเป็นการเชื่อมทองเหลืองแบบต่อเกยตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ 500, 650 และ 800 องศาเซลเซียส แรงกด 1.2 MPa และเวลากดแช่ 60 นาทีโดยในการศึกษาครั้งนี้เน้นศึกษาโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล และพฤติกรรมระหว่างการแพร่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบริเวณแนวเชื่อมเกิดการแพร่ของอะตอมทองเหลืองอย่างเห็นได้ชัดเจน สมบัติทางกลหลังจากการเชื่อมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

เดช เหมือนขาว ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม [7] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนโดยกระบวนการเชื่อมแพร่ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน โดยกระบวนการเชื่อมแพร่ในการออกแบบกระบวนการเชื่อมแพร่โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 โดยรอยต่อเกยทำการเชื่อมด้วยการแพร่โดยใช้อุณหภูมิ 750, 850 และ 950 องศาเซลเซียส และทำการกดชิ้นงานโดยใช้ความกดดัน 2.0 MPa โดยใช้เวลา 60 และ 90 นาที ผลการวิจัยพบว่าความแข็งแรงของรอยต่อจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลา

Huang, YRidley, NHum phreys, FJ และ Cui,JZ [8] ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด 7075 โดยศึกษาปัจจัยในการเชื่อมแพร่ (Diffusion Bonding; DB) ของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด 7075 ที่ได้รับการตรวจสอบอุณหภูมิต่างๆ แรงกดดันและเวลาโดยใช้เครื่องทดสอบ Gleeble 1500 หลังจากการกำจัดของพื้นผิวออกไซด์ การแก้ปัญหาอินทรีย์ถูกใช้ในการปกป้องพื้นผิวก่อนที่จะมีการแพร่จุดแข็งที่ประสบความสำเร็จ หลังจากการแพร่ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการแพร่กระจายเขตแดนเกรนและการขยายตัวของเกรน ในระหว่างกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในพันธะระหว่างอะตอมที่มีแรงเฉือนโลหะ และโครงสร้างจุลภาคที่ได้รับจากอุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่อยู่ที่ 510-520 องศาเซลเซียส มีการยึดติดกันที่วัสดุแสดงพฤติกรรมอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด 7075 ที่เหมาะสมลักษณะและกลไกการแพร่

Liming L, Jitai, NYanhong, T&Xiaodng, M [9] ได้ศึกษากลไกการแพร่และโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอะลูมิเนียมคอมโพสิทเมทริกซ์ Al_2O_3/6061 โดยความสัมพันธ์ระหว่างจุลภาคของพารามิเตอร์ร่วมกัน และการเชื่อมเหล็กหรือความแข็งแรงของอะลูมิเนียมคอมโพสิทเมทริกซ์ Al_2O_3/6061 ภายใต้การเชื่อมแพร่กระจาย การศึกษาผลมีดังนี้ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมเป็นออกไซด์ในเขตเชื่อมการอยู่ของออกไซด์ในการร่วมกัน เชื่อมไม่เพียงแต่เป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของอะตอมเมทริกซ์ แต่ทั้งนี้ยังทำลายการเชื่อมต่อที่ดีระหว่างเมทริกซ์และเฟสเสริมออกไซด์กลายเป็นอนุภาคเล็กๆ จากเยื่อหุ้มที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเชื่อมและผลในการลดลงของการทำลายร่วมกันเชื่อมซึ่งเพิ่มความแข็งแรงของข้อต่อเชื่อมบนพื้นฐานของการแพร่กระจายของการเชื่อมอะลูมิเนียมคอมโพสิทเมทริกซ์ Al_2O_3/6061

Muratoglu, MYilmaz, O&Aksoy, M [10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมสองชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมคอมโพสิต เกรด 2124 เชื่อมเข้ากับอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ โดยอะลูมิเนียมคอมโพสิตมีปริมาณซิลิกอนคอมโพสิตผสมอยู่ในสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์

ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 ที่อุณหภูมิอบละลาย 495 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบ่มเทียมที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เชื่อมภายใต้ตัวแปรที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียสเวลาที่ใช้ 30 นาที แรงกด 25 MPa และเชื่อมภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 3 บาร์ จากการทดลองพบว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งต่างกันตามเนื้อเดิมของวัสดุ โดยความแข็งชิ้นงานด้านอะลูมิเนียมคอมโพสิต 2124 มีค่าความแข็ง เฉลี่ย 255 HV ส่วนค่าความแข็งเฉลี่ยด้านอะลูมิเนียมบริสุทธิ์เฉลี่ย 184 HVและเมื่อศึกษาความเค้นที่ตกค้างหลังจากเชื่อมชิ้นงานพบว่าชิ้นงานมีความเค้นตกค้างที่ลดลง เนื่องมาจากชิ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว เมื่อได้รับความร้อนอีกจึงเป็นการปลดปล่อยพลังงานที่ตกค้าง และยังพบอีกว่าปริมาณทองแดงจากอะลูมิเนียมคอมโพสิต เกรด 2124 แพร่ไปยังด้านอะลูมิเนียมบริสุทธิ์แต่ซิลิกอนบริเวณรอยต่อลดน้อยลง

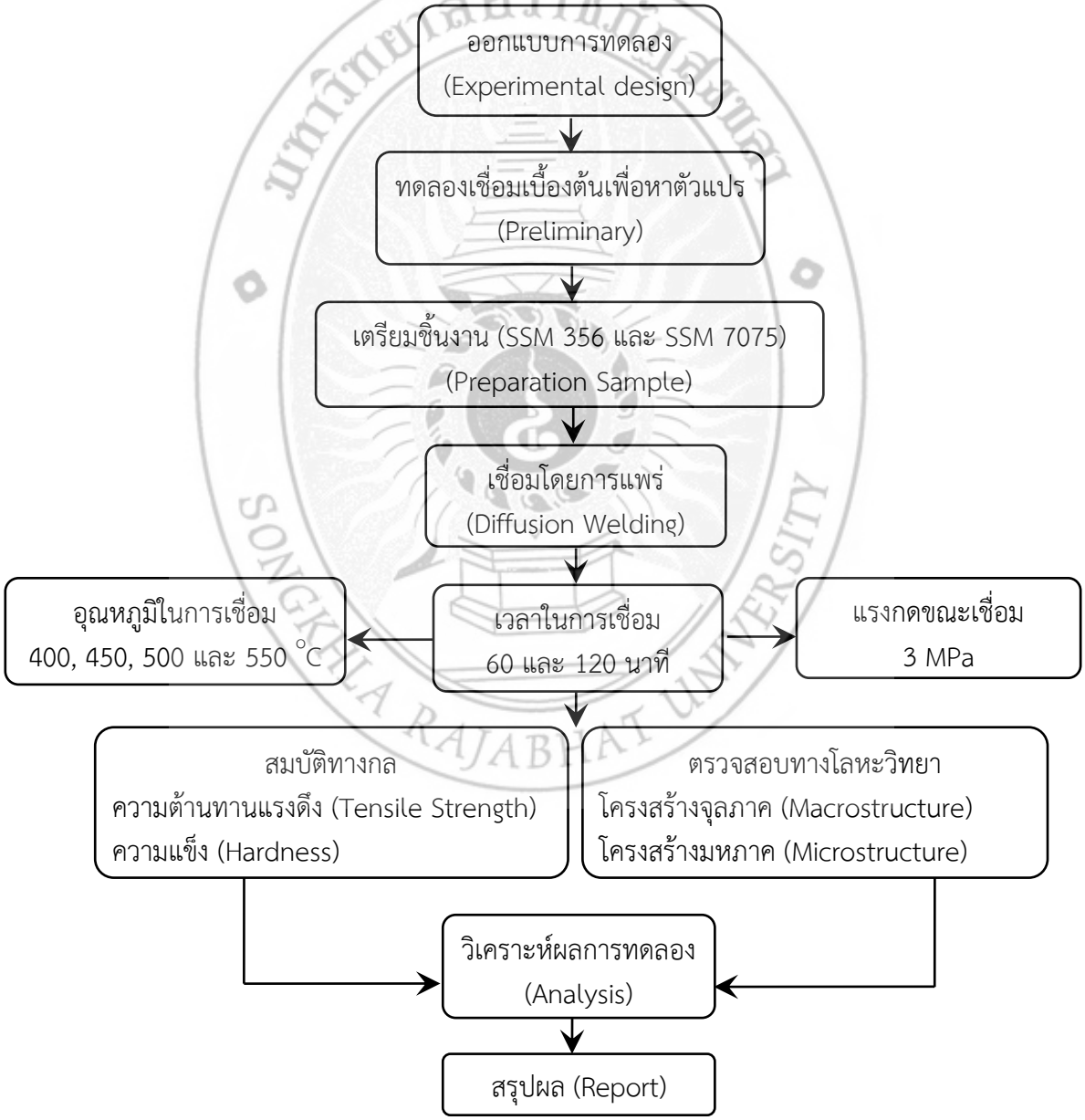
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการเชื่อม เช่น อุณหภูมิและเวลาผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลโดยการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินงานวิจัย



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 °C เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 641 °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 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

กล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม ไปจนถึงขั้นตอนของการตรวจสอบคุณสมบัติทางกล ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องกลึง ยี่ห้อ Harrison ใช้ในการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ ชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 โดยให้มีขนาดตามแบบชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลองและใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐาน ASTM A370-10 เพื่อทดสอบแรงดึงและโครงสร้างทางโลหะวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่องกลึง ยี่ห้อ Harrison

3.3.2 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน รุ่น CS-230 ใช้ในการตัดแบ่งชิ้นงานอะลูมิเนียมเพื่อเตรียมชิ้นงานไปกลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดลอง โดยเครื่องเลื่อยสายพานจะมีระบบน้ำหล่อเย็นในการระบายความร้อนของแนวขณะตัดชิ้นงานอะลูมิเนียม เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคเมื่อได้รับความร้อนจากการเลื่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน รุ่น CS-230

3.3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Microhardness Machine) ทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Digicon รุ่น TH-320 เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell และ Vicker แบบตั้งโต๊ะ ใช้สำหรับทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมหลังจากกรรมวิธีเชื่อมโดยการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Digicon รุ่น TH-320

3.3.4 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine) ทดสอบความแข็งแรงดึง ใช้สำหรับทดสอบค่าความแข็งแรงดึงหลังจากกรรมวิธีเชื่อมโดยการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.3.5 เครื่องขัดกระดาษทรายและขัดผ้าสักหลาด โดยใช้ในการขัดเตรียมผิวหน้าชิ้นงาน ก่อนนำชิ้นงานไปดูโครงสร้างทางโลหะวิทยาในระดับโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ซึ่งเครื่องสามารถปรับรอบได้ด้วยระบบอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายและขัดสักหลาด

3.3.6 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM) ซึ่งมีกำลังขยายที่สูงประมาณ 50 – 500 เท่า ใช้ในการดูภาพโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยตัวกล้องจะต่อกับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อส่งถ่ายข้อมูลจากการถ่าย ทำให้สามารถเก็บภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3.3.7 เครื่องมืออุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ (Diffusion Welding) โดยใช้เครื่องกดในการกดอัดชิ้นงาน (Compression Machine) และให้ความร้อนระบบปิดโดยให้อยู่ในตู้ควบคุมความร้อน โดยชิ้นงานจะยึดติดกับหัวกดของเครื่องทดสอบแรงดึง จากนั้นจะใช้โปรแกรมในการควบคุมแรงกดของเครื่องทดสอบแรงดึง และจะควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อน เวลาในการกดแช่ นอกจากนี้ยังปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าไปในเตา ดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เครื่องมืออุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่

3.4 ขั้นตอนการเชื่อมโดยการแพร่

การเตรียมชิ้นงานเชื่อมจะเริ่มจากการหล่อชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ก) กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ข) ที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบกึ่งของแข็งด้วยวิธีการ GISS (Gas Induced Semi -Solid) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

(ก) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 (ข) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075

รูปที่ 3.10 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อแบบอัด

นำอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 7075 ที่ผ่านการหล่อแบบอัด ไปการตัดเป็นชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×100×15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ก) ด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน ในการเลื่อยใช้น้ำหล่อเย็นในการระบายความร้อนของชิ้นงานและยังเป็นการรักษาคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน จะได้ชิ้นงาน 5 ชิ้น ต่อ 1 แผ่นชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข)

(ก) ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเลื่อย (ข) การเลื่อยชิ้นงานทดลองโดยใช้ระบบน้ำหล่อเย็น

รูปที่ 3.11 การเลื่อยชิ้นงานและลักษณะชิ้นงาน

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ตัดเสร็จเรียบร้อย ไปกลึงปอกผิวด้วยความเร็วรอบที่ 800 รอบต่อนาที อัตราการป้อนลึก ครั้งละ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วในการเดิน 10 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบเป็นรูปทรงกระบอก และกลึงปาดผิวหน้าเพื่อให้ได้ระนาบในการเชื่อม โดยชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 45 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชิ้นงานทดลองของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง

กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่จะเริ่มจากการเตรียมผิวหน้าชิ้นงาน 2 ชิ้น คือ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 โดยนำชิ้นงานขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 เพื่อกำจัดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงานเชื่อมก่อนการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ในส่วนการขัดชิ้นงานผู้ปฏิบัติงานต้องสวมถุงมือยาง เพื่อป้องกันคราบไขมันและสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นจากมือ

รูปที่ 3.13 ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเพื่อกำจัดฟิล์มออกไซด์

หลังจากที่ผ่านการเตรียมผิวและขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 แล้วนำชิ้นงานมาล้างผิวหน้าด้านที่จะเชื่อมด้วยน้ำยาอะซิโตน (Acetones) โดยในการล้างจะแช่ไว้ 30 วินาที เพื่อทำความสะอาดผิวชิ้นงานเชื่อมจากคราบไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ก) ผิวหน้าชิ้นงานจนแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ข) ในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ มือผู้ปฏิบัติงานไม่ควรสัมผัสผิวหน้าชิ้นงานโดยตรงและควรสวมหน้ากากปิดจมูกเพื่อป้องกันการสูดดมน้ำยาอะซิโตน นำไปสู่ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

(ก) ล้างผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำยาอะซิโตน (ข) ลมเป่าผิวหน้าชิ้นงานจนแห้ง

รูปที่ 3.14 การเตรียมผิวหน้าชิ้นงานก่อนการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่จะนำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวหน้าชิ้นงานก่อนการเชื่อมมาประกอบเข้าด้วยกันในสภาวะของการปรับแรงกดคงที่ ตามตัวแปรในการทดลองในการนำชิ้นงานเข้าเตาจะใส่ชิ้นงานไปยังบริเวณหัวกดทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยให้อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 อยู่ด้านบนและอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 อยู่ด้านล่าง เพราะอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 มีค่าความแข็งกว่าอะลูมิเนียม

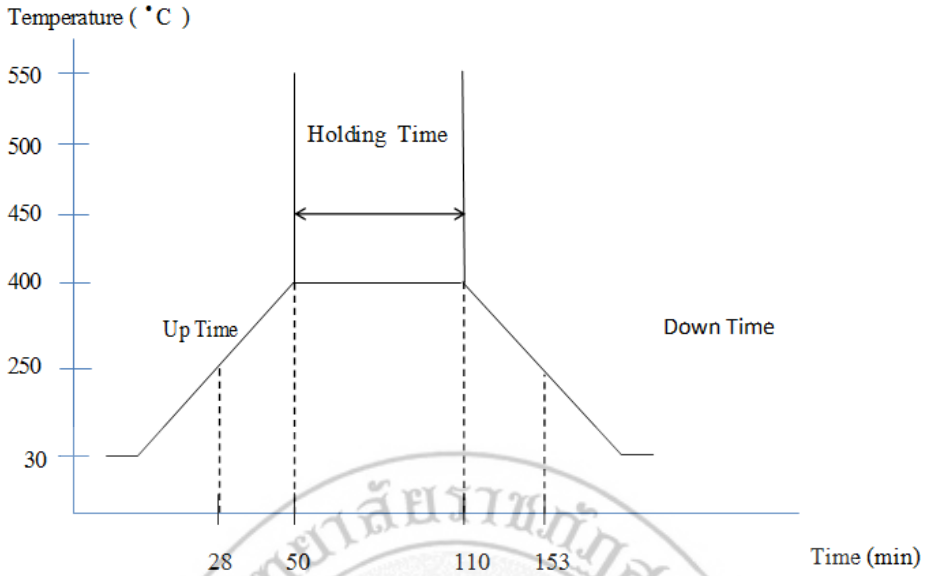
หล่อกึ่งแข็ง SSM 356 ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ก) จากนั้นตั้งชิ้นงานให้ตั้งฉากซึ่งจะทำให้ชิ้นงานตรงกัน เริ่มกดชิ้นงานตามแรงที่ตั้งไว้ในโปรแกรมของเครื่องกด โดยแรงกดจะเป็นตัวแปรคงที่ คือ 3 MPa ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ข) หลังจากนั้นทำการเปิดอุณหภูมิตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมจะเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง คือ 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส และเวลาในการกดแช่จะเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน คือ 60 และ 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ค) หลังจากตั้งแรงกดและอุณหภูมิในการเชื่อมเสร็จ ก็เปิดแก๊สอาร์กอนให้ไหลเข้าเตาด้วยอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที และวิเคราะห์สังเกตการทดลองจนครบเวลาตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ก่อนหน้าประมาณ 4-5 ชั่วโมงต่อชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ง) หลังจากนั้นปิดแก๊สและปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในเตา

(ก) จับชิ้นงานกับชุดหัวกด (ข) ตั้งแรงเพื่อกดชิ้นงาน

(ค) เปิดชุดควบคุมอุณหภูมิ (ง) ควบคุมการทดลอง

รูปที่ 3.15 กระบวนการเชื่อมโดยการแพร่

การให้อุณหภูมิในขณะเชื่อมจะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก อุณหภูมิในช่วงขึ้นจะให้ภายในระยะเวลา 60 นาที จนถึงอุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส ช่วงที่สอง จะให้อุณหภูมิจะคงที่ไว้ช่วง 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 และ 120 นาที ตามตัวแปรการทดลอง เพื่อให้ชิ้นงานเข้าสู่ช่วงของการแพร่นำไปสู่การยึดติดของชิ้นงานช่วงที่สาม เมื่อเวลาในการแช่ชิ้นงานครบ อุณหภูมิภายในเตาจะเริ่มลดลงตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ภายในเวลา 60 นาที จากนั้นก็ปล่อยให้เตาเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งลำดับการให้อุณหภูมิในการเชื่อมโดยการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการให้อุณหภูมิเชื่อมที่ 400 องศาเซลเซียส เวลากดแช่ 60 นาที

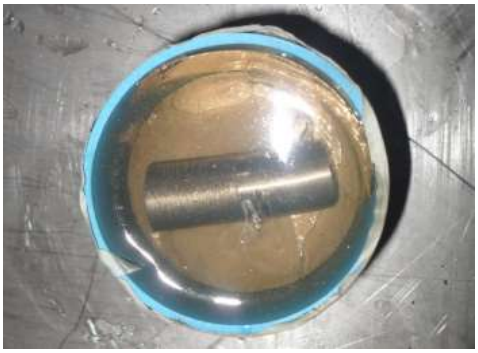
3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน หลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่มีดังต่อไปนี้

นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 มาเลื่อยออกข้างละ 30 มิลลิเมตร เพื่อที่จะนำชิ้นงานมาหล่อทำตัวเรือนแบบเย็น (Cold Mounting)

รูปที่ 3.17 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม

การทำเรือนหุ้มชิ้นงาน (Mounting) เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็กไม่สามารถจับด้วยมือได้จะต้องใช้อุปกรณ์จับยึดเพื่อช่วยในการขัดให้มีผิวหน้าเรียบ โดยผสมน้ำยาเรซินเข้ากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 10: 1 แล้วรอให้เรซินแข็งตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การหล่อตัวเรือนแบบเย็น

นำชิ้นงานที่ผ่านการหล่อตัวเรือนแบบเย็นเสร็จเรียบร้อย มากลึงปาดหน้าผิวชิ้นงาน โดยกลึงเข้าไปครึ่งหนึ่งของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม เพื่อที่จะนำชิ้นงานไปขัด และดูโครงสร้างทางโลหะวิทยา การขัดหยาบ คือ การขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทรายและน้ำ โดยเริ่มตั้งแต่เบอร์ 200, 400, 600, 800, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดชิ้นงานจะใช้น้ำฉีดระบายความร้อนอยู่ตลอด เพื่อกำจัดเศษโลหะที่ขัดออกมาจากกระดาษทราย ดังแสดงในรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 การขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

การขัดละเอียด คือ การขัดละเอียดขั้นสุดท้ายบนจานหมุนหุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยมีน้ำผสมผงขัดที่มีขนาดละเอียด 0.3 และ 0.05 ไมครอน ผงที่ใช้ คือ ผงอะลูมิน่า (Al_2O_3) โดยมีขนาดอนุภาค 0.3 ไมครอน และขนาดอนุภาค 0.05 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3.20 จะใช้ขัดละเอียดในขั้นสุดท้าย ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะช่วยขัดผิวของชิ้นงานทดสอบให้เรียบเทียบเท่ากับกระจกเงา โดยมีน้ำหล่อเย็นช่วยชะล้างเศษโลหะออกจากจานหมุนดังกล่าวด้วย เครื่องขัดที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีความเร็วรอบประมาณ 150 - 500 รอบต่อนาที

รูปที่ 3.20 ลักษณะของผงอะลูมิน่า

นำชิ้นงานมากัดผิวหน้าด้วยสารละลาย (Keller's Reagent) ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังนี้

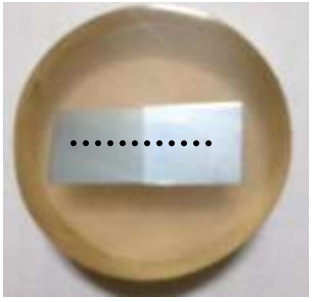
1) กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 48% 2 ml.
2) กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 ml.
3) กรดไนตริก 5 ml. และน้ำ 190 ml. เป็นระยะเวลา 5 - 10 วินาที แล้วล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง

นำชิ้นงานไปตรวจสอบเพื่อดูโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 ลักษณะชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

3.6 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดไปทดสอบความแข็ง ซึ่งในการทดสอบความแข็งนั้นผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการทดสอบความแข็งในหน่วย (Vickers) ด้วยเครื่องทดสอบแบบ Microhardness Vickers Test รุ่น HWDM - 3 Type A โดยได้กำหนดน้ำหนักกดของหัวกดคงที่ (Load Fixed) ไว้ที่ 100 กรัม กดเป็นเวลา 10 วินาที และกดหาค่าความแข็งของชิ้นงานในแต่ละสภาวะๆ แต่ละชิ้นจะทำการหาค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยการวัดหาค่าความแข็งจำนวน 11 จุด ต่อ 1 ชิ้นงาน และกดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อมที่ตรงกลางชิ้นงานเชื่อม และบริเวณอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 โดยระยะห่างระหว่างรอยกด 200 μm หรือประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ชิ้นงานบริเวณพื้นที่กดหาค่าความแข็ง

3.7 การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็งแรงดึง

การเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงนั้น จะนำชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ไปกลึงลดขนาดด้วยเครื่องกลึง โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM A370 - 10 โดยในการเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง จะกลึงในแนวตั้งฉากกับแนวเชื่อม และชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.23 จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบความแข็งแรงดึง เพื่อนำค่าจากการทดสอบความแข็งแรงดึงไปเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงของเนื้อโลหะเดิม

รูปที่ 3.23 ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM A370-10

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ มีตัวแปรดังต่อไปนี้ อุณหภูมิในการเชื่อม (Temperature) เวลาในการกดแช่ (Time) แรงกด (Contact Pressure) และบรรยากาศ (Atmosphere) เป็นต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมจะปรับเปลี่ยนที่ 4 ระดับ คือ 400, 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกดแช่ชิ้นงานจะปรับเปลี่ยนที่ 2 ระดับ คือ 60 และ 120 นาที และแรงกดชิ้นงานจะคงที่ 3 MPa ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 4 ลิตรต่อนาที ในหนึ่งการทดลองจะเชื่อมทั้งหมด 8 ชิ้น และจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง การทดลองรวมทั้งหมด 24 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ทดสอบความแข็ง ทดสอบความแข็งแรงดึงและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ได้แก่ โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมและเนื้อโลหะเดิม ซึ่งผู้ทำการทดลองจึงได้นำเอามาแสดงเพื่อเป็นตัวแทนเพียง 1 การทดลอง จะแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

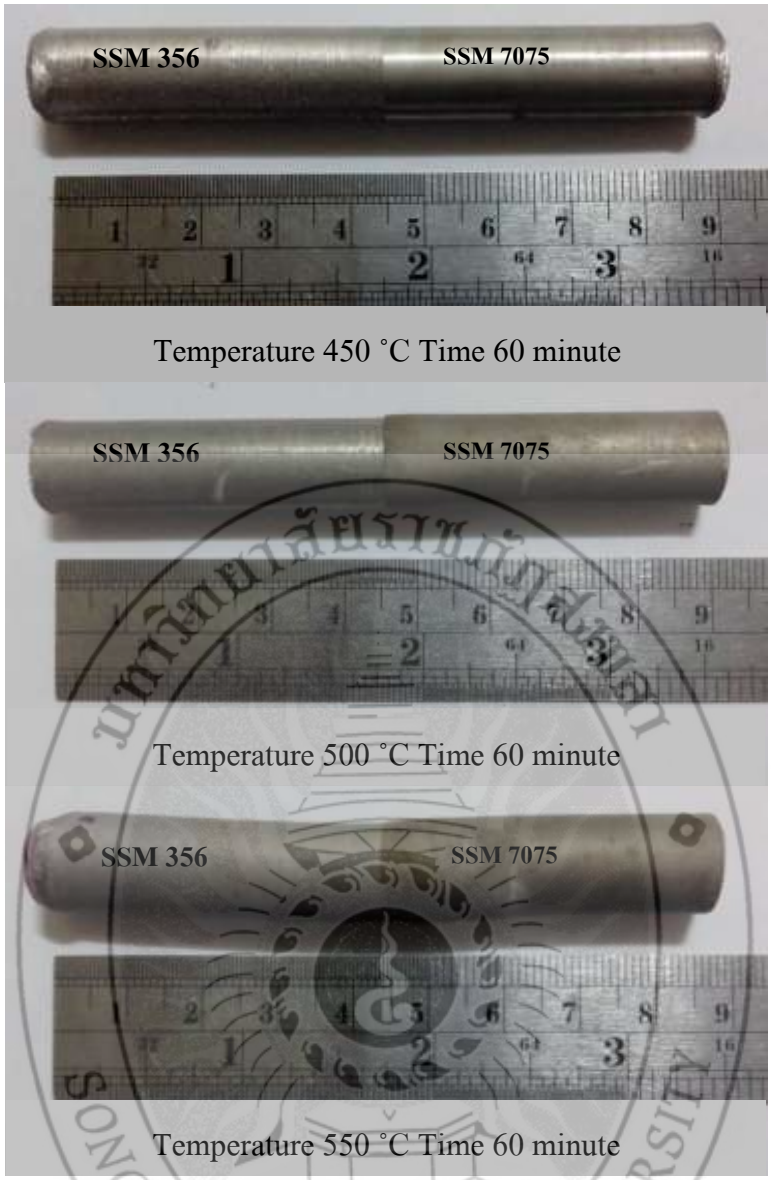
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

การเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ชิ้นงานเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 45 มิลลิเมตร หลังจากนั้นชิ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ จะนำมาทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพชิ้นงานเชื่อม การทดสอบความแข็งแรงดึง การทดสอบความแข็ง เป็นต้น ซึ่งจะเสนอผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพชิ้นงานเชื่อม

จากการทดลองเชื่อมโดยการแพร่ ลักษณะชิ้นงานหลังจากการเชื่อมต่อของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 พบลักษณะการโก่งงอ (Deflection) และบวมที่แตกต่างกัน เนื่องจากการได้รับอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะแรงกดที่สูง ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปตามแรงที่กด ดังแสดงในรูปที่ 4.1

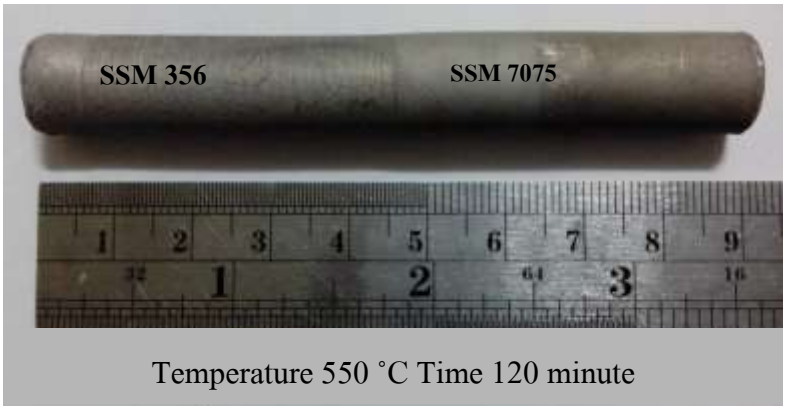
Temperature 400 ˚C Time 60 minute



รูปที่ 4.1 ชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ที่เวลาในการกดแช่ 60 นาที

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าที่เวลากดแช่ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้สภาวะแรงกดที่ 3 MPa ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้อยทำให้สามารถมองเห็นเส้นบริเวณรอยต่อของชิ้นงานได้ชัดเจน ชิ้นงานที่ยึดติดกันไม่เกิดการโก่งงอและบวมบริเวณรอยต่อ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 450 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแรงกดคงที่ ทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดการโก่งงอขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้เส้นรอยต่อของการเชื่อมเห็นได้ยากขึ้น เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวสัมผัสยึดติดกันดีขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปยังชิ้นงานให้สูงขึ้นอีกที่ 500 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ชัดเจนว่าแรงกดที่กระทำต่อชิ้นงานภายใต้อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ชิ้นงานเริ่มเกิดบวมอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยชิ้นงานจะเริ่มบวมด้านของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 เพราะแรงที่กดถูกกดจากด้านบนของชิ้นงานเพียงด้านเดียว ทำให้ชิ้นงานที่ถูกกดเกิดการเสียรูป ทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอส่งผลให้เส้นรอยต่อของการเชื่อมเห็นได้ยากขึ้น จากการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 550 องศาเซลเซียส ชิ้นงานหลังการเชื่อมเกิดการโก่งงออย่างชัดเจน เส้นรอยต่อเริ่มเห็นได้ยากขึ้น เมื่อตรวจสอบด้วยตาเปล่า ชิ้นงานเกิดการบวมที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานอย่างชัดเจน เนื่องจากแรงกดและอุณหภูมิที่สูงทำให้แรงกดถูกถ่ายแรง

ไปยังปลายทั้งสอง [10] ทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวตามแรงกดที่ใช้ในการกดเชื่อม นอกจากอุณหภูมิขณะเชื่อม เวลากดแช่และแรงกดในการเชื่อม ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมอย่างชัดเจน ชิ้นงานที่ได้รับแรงกดที่สูงอยู่แล้วจะเกิดการโก่งงอบริเวณรอยต่อเชื่อม โดยจะเริ่มโก่งงอจากบริเวณรอยต่อเชื่อมไปยังปลายทั้งสองด้านของชิ้นงาน ซึ่งมาจากแรงกดในการเชื่อมที่สูง เพราะในการเชื่อมชิ้นงานได้รับความร้อนในขณะเชื่อมเพิ่มขึ้นสูงส่วนปลายของชิ้นงานเชื่อมจะเกิดการบวม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการถ่ายแรงจากความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ อุณหภูมิที่น้อยไปจะส่งผลต่อการยึดติดจะมองเห็นเส้นรอยต่อจากการเชื่อมติดได้ชัดเจน แต่อุณหภูมิที่พอเหมาะทำให้เส้นรอยต่อจากการเชื่อมหายไป เมื่อตรวจสอบด้วยตาเปล่า แต่หากเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เส้นรอยต่อเห็นอีกครั้ง เนื่องจากแรงกดที่สูงทำให้แรงถูกถ่ายไปยังปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานจนเกิดการโก่งงอและบวม ส่งผลให้การยึดติดของชิ้นงานน้อยลง

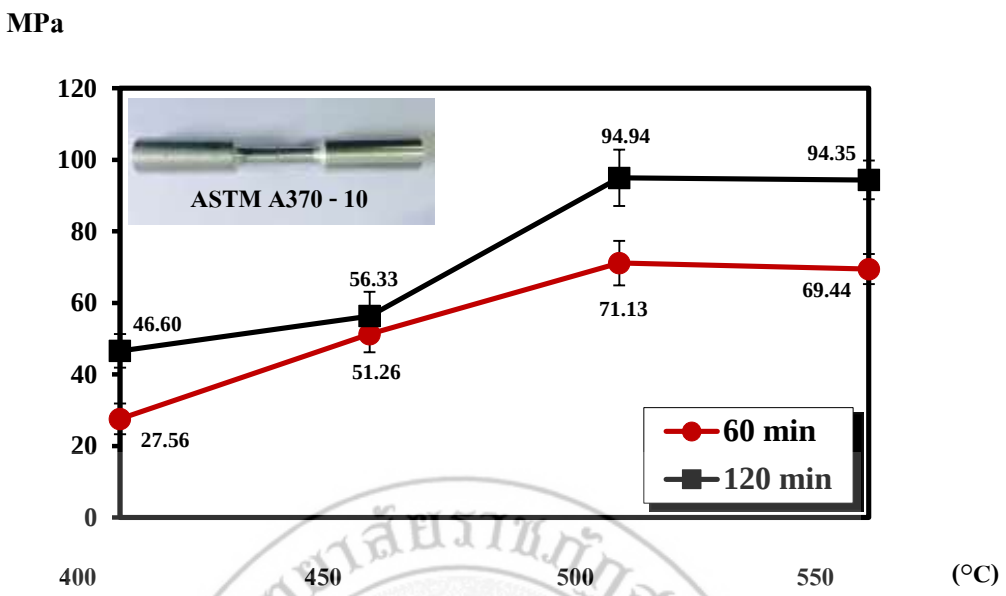


รูปที่ 4.2 ชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ที่เวลาในการกดแช่ 120 นาที

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าที่เวลากดแช่ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และแรงกด 3 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ช้าตามไปด้วย ต้องใช้เวลาเชื่อมที่นาน ทำให้ชิ้นงานบริเวณรอยต่อยึดติดได้ดี ชิ้นงานที่ยึดติดกันไม่เกิดการโก่งงอและบวมบริเวณรอยต่อ สามารถมองเห็นเส้นบริเวณรอยต่อของการเชื่อมได้ชัดเจน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 450 องศาเซลเซียส จากการเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานภายใต้สภาวะแรงกดคงที่ ทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดการโก่งงอ (Defection) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้เส้นบริเวณรอยต่อของการเชื่อมเห็นได้ยากขึ้น ชิ้นงานทั้งสองชิ้นเชื่อมประสานกันดีขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่เร็วขึ้นไปด้วย จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกที่ 500 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ชัดเจนว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่เร็วขึ้นตามไปด้วย ชิ้นงานเกิดการโก่งงอเพียงเล็กน้อย โดยชิ้นงานจะเริ่มโก่งงอจากด้านที่ถูกแรงกดกระทำ และเริ่มเกิดการบวมบริเวณรอยต่อ แต่เส้นบริเวณรอยต่อเห็นได้ยากขึ้น เมื่อตรวจสอบด้วยตาเปล่า ชิ้นงานทั้งสองชิ้นประสานติดกันได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงถึง 550 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าชิ้นงานเกิดการโก่งงอและบวมอย่างชัดเจน เนื่องมาจากการคลายความเครียดบริเวณที่รับแรงกดส่งถ่ายไปยังปลายชิ้นงาน เมื่อตรวจสอบด้วยสายตาสามารถมองเส้นบริเวณรอยต่อได้อีก ชิ้นงานหลังการเชื่อมเกิดการโก่งงอส่วนที่ปลายชิ้นงาน และเกิดการบวมจนทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวตามแรงกดที่ใช้ในการกดเชื่อม ภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ชิ้นงานก็มีความเสี่ยงต่อการเสียรูป เห็นได้ว่าแรงกดเชื่อมส่งผลต่อการโก่งงอของชิ้นงานโดยตรง ชิ้นงานที่ใช้เวลากดแช่ 120 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ใช้เวลากดแช่ 60 นาที พบว่าสัดส่วนของการยึดติดกันได้ดีกว่า เพราะเวลาในการเชื่อมที่นาน และอุณหภูมิขณะเชื่อมสูงแรงกดก็จะน้อยลง ในทางตรงกันข้ามแรงกดที่สูง ต้องใช้อุณหภูมิในการเชื่อมที่น้อยเวลาที่ใช้ต้องนานๆ เพื่อให้ชิ้นงานเกิดการยึดติดที่ดี

4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงาน (Tensile Strength Test)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมจะนำไปกลึงลดขนาดตามมาตรฐาน ASTM A370 - 10 โดยให้บริเวณรอยต่อเชื่อมอยู่ตำแหน่งกลางของชิ้นงานทดสอบแบบงานกลม และทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง ซึ่งผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงดึงของตัวแปรต่างๆ ของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 120 นาที และแรงกดที่ 3 MPa ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 46.60 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิม (Base) อยู่ที่ประมาณร้อยละ 27.72 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงเดิมเท่ากับ 168.09 MPa และร้อยละ 32.32 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงเดิมเท่ากับ 144.17 MPa ซึ่งอุณหภูมิที่น้อยทำให้ต้องใช้เวลาในการเชื่อมที่นาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 450 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 56.33 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ร้อยละ 33.51 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 39.07 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 94.94 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 56.48 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 65.85 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะเชื่อมที่อุณหภูมิสูงทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ที่รวดเร็ว และเป็นช่วงการแพร่สุดท้าย (Third Stage Volume Diffusion Pore Elimination) ช่วงนี้จะเกิดการแพร่ที่สมบูรณ์ ปริมาณช่องว่างจะหายไป แต่พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงถึง 550 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความแข็งแรงดึงลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 94.35 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมที่ร้อยละ 56.13 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 65.44 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ผลของอุณหภูมิที่สูงถึง 550 องศาเซลเซียส ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน และยังส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงด้วย อย่างไรก็ตามกลุ่มตัวอย่างจะอยู่ที่เส้นบริเวณรอยต่ออยู่ในสภาพที่ทุกอุณหภูมิ และเวลาที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึง เมื่ออุณหภูมิสูงและมีเวลามากขึ้น ส่งผลค่าความแข็งแรงดึงสูงเช่นกันแต่อุณหภูมิที่สูงมาก นอกจากนี้ยังอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติ

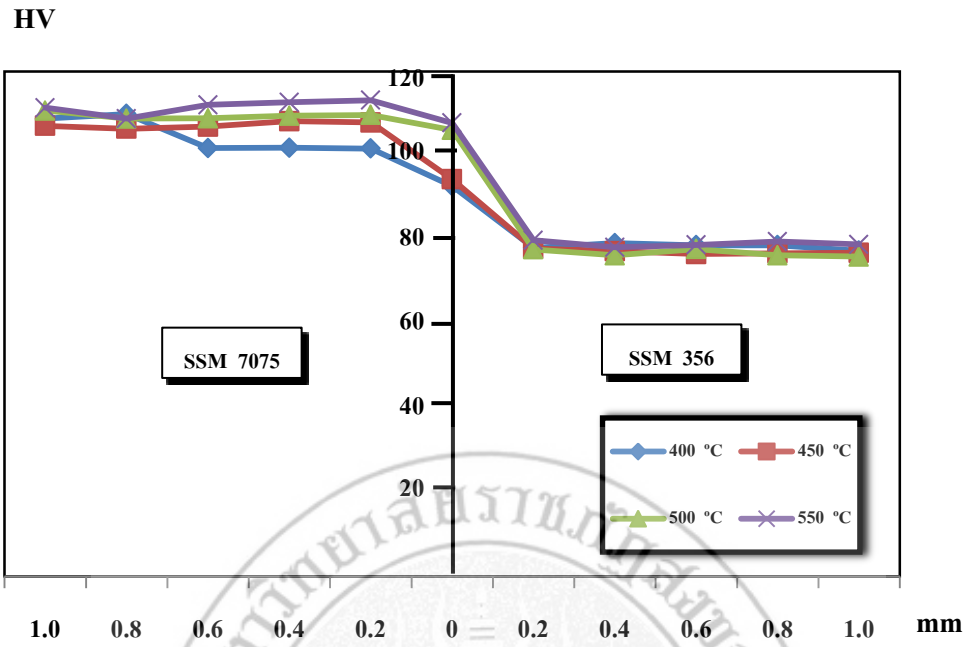
ของชิ้นงานหลังจากกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของรอยต่อ ดังสมการที่ 4.1

$$\text{Joint efficiency} = \frac{\text{UTS of bonded specimen}}{\text{UTS of SSM 356 specimen}} \times 100 \qquad (4.1)$$

ในทางตรงกันข้ามการที่อุณหภูมิขณะเชื่อมที่ต่ำ เวลาในการกดแช่ชิ้นงานอันสั้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากการกำจัดของช่องว่างที่ยังไม่สมบูรณ์ เป็นผลให้มีช่องว่างที่เหลืออยู่หลังจากการเชื่อมซึ่งเหล่านี้เป็นช่องว่าง และออกไซด์จะทำให้ความแข็งแรงดึงจะลดลง ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงที่สูงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 60 นาที พบค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 27.56 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 16.39 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 19.11 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 อุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ส่งผลต่อการยึดติดของชิ้นงานได้น้อย และความแข็งแรงดึงน้อยตามไปด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 450 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเฉลี่ยอยู่ที่ 51.26 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30.49 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 35.55 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นที่ 500 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเฉลี่ยอยู่ที่ 71.13 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 42.31 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 49.33 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 550 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งแรงดึงลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 69.44 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 41.31 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 48.16 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงภายใต้สภาวะแรงกดสูง ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงลดลง เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อเวลาในการกดแช่ชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย เพราะจะทำให้เกิดการแพร่ของอะตอมของวัสดุทั้งสองได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเชื่อมโดยแพร่ คือ อุณหภูมิขณะเชื่อม 500 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 120 นาที และแรงกด 3 MPa พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 94.94 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 56.48 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และร้อยละ 65.85 ของประสิทธิภาพรอยต่ออะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075

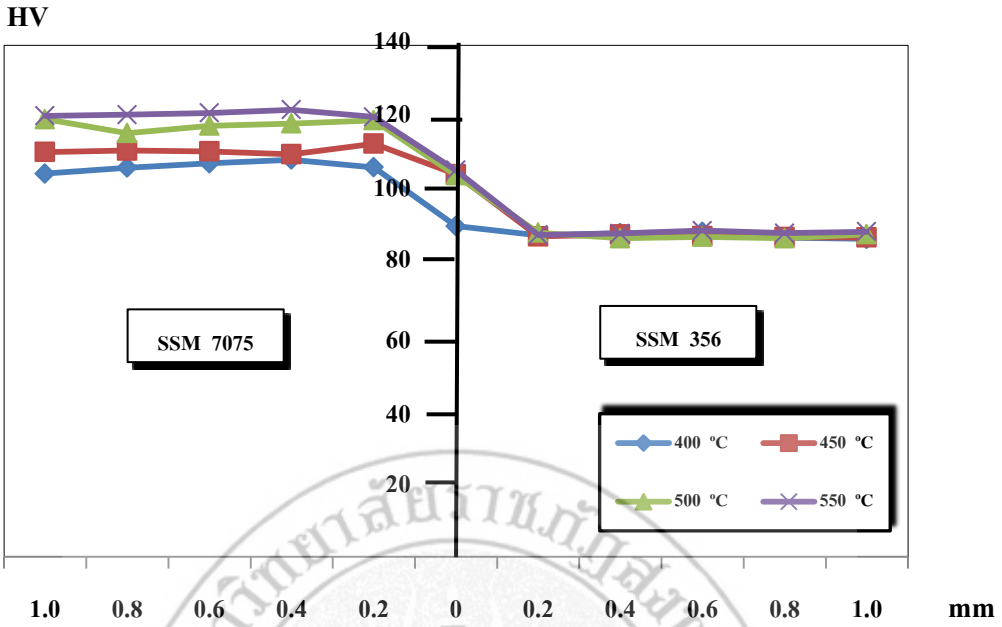
4.3 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงาน

การทดสอบหาค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์ส โดยการกดบริเวณพื้นที่หน้าตัดรอยเชื่อม ซึ่งถูกตัดขวางตั้งฉากกับแนวเชื่อมขัดให้เรียบ ใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที กดบริเวณแนวรอยต่อไปจนถึงเนื้อโลหะเดิมรวม 11 จุด รอยกดมีระยะห่างกันประมาณ 200 μm หรือประมาณ 0.2 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ เวลากดแช่ 60 นาที

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นทุกการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเนื้อโลหะเดิม (Base) เนื่องจากได้รับอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน โดยบริเวณรอยต่อพบว่าจะมีค่าความแข็งสูงกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ซึ่งมาบริเวณรอยต่อมีอนุภาคของซิลิกอนกับสังกะสีรวมตัวอยู่ ความร้อนในขณะเชื่อมทำให้เกิดการรวมตัวของเฟสยูเทคติกใหม่ ภายในอะลูมิเนียมหลักส่งผลให้เกิดค่าความแข็งขึ้น พบว่าแรงกดไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงไม่มากนัก แต่อุณหภูมิและเวลา ส่งผลต่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 มีค่าความแข็งอยู่ที่ 67.23 HV และเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 มีค่าความแข็งอยู่ที่ 104.70 HV ตัวแปรที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลากดแช่ 60 นาที ภายใต้แรงกด 3 MPa ให้ค่าความแข็งชิ้นงานสูงสุดโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อ เนื่องจากมีอนุภาคสังกะสีแพร่มายังบริเวณรอยต่อได้อย่างสมบูรณ์ ค่าความแข็งบริเวณรอยต่อจะอยู่ที่ 107.8 HV ส่วนด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 113 HV และด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 79.9 HV ส่วนในตัวแปรการทดลองที่ 400 องศาเซลเซียสพบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 92.8 HV ส่วนตัวแปรการทดลองที่450 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 94.4 HV และตัวแปรการทดลองที่ 500 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 106.1 HV จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งบริเวณรอยต่อจะเพิ่มสูงขึ้นทุกการทดลอง ซึ่งมาจากการอุณหภูมิและเวลาทำให้ประสิทธิ์การแพร่ได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ เวลากดแช่ 120 นาที

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นอุณหภูมิสูงและเวลานาน พบว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตัวแปรทีอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลากดแช่ 120 นาที ให้ค่าความแข็งชิ้นงานสูงสุด โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและเวลาที่นาน ทำให้ชิ้นงานบริเวณรอยต่อยึดติดกันได้อย่างสมบูรณ์ พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 105.8 HV ส่วนด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 122 HV และด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 89.9 HV ส่วนในตัวแปรการทดลองที่ 400 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 104.4 HV ส่วนในตัวแปรการทดลองที่ 450 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 104.7 HV และตัวแปรการทดลองที่ 500 องศาเซลเซียส พบค่าความแข็งบริเวณรอยต่ออยู่ที่ 90.5 HV จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งบริเวณรอยต่อจะเพิ่มสูงขึ้นทุกการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 พบว่าค่าความแข็งบริเวณรอยต่อจะลดลง เนื่องมาจากอุณหภูมิและเวลา อุณหภูมิต่ำสัมประสิทธิ์การแพร่ช้า ต้องใช้เวลานาน ทางตรงกันข้ามอุณหภูมิสูงสัมประสิทธิ์การแพร่ก็เร็ว ใช้เวลาน้อยเพื่อให้เกิดการยึดติดกันได้ดี

4.4 ผลของการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

โครงสร้างโลหะวิทยาสามารถแบ่งออกเป็น ชนิด คือ การศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) เป็นการตรวจสอบทางกายภาพ หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบรูณ์ของรอยต่อ การซึมลึกบริเวณที่ได้อิทธิพลกระทบร้อน ตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่างๆ ของรอยเชื่อม และการศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสดงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้

กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้ จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูการกระจายตัวและลักษณะเกรนของโครงสร้างบริเวณรอยต่อ บริเวณที่ได้รับอิทธิพลกระทบร้อนและบริเวณเนื้อโลหะเดิม

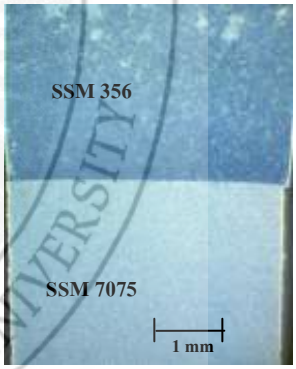
4.4.1 ผลของการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

โครงสร้างมหภาคจะตรวจสอบเพื่อดูความสมบรูณ์บริเวณรอยต่อ (Bond Line) ของชิ้นงานและตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่างๆ ของรอยต่อ โดยมีกำลังขยายอยู่ในช่วง 2 - 10 เท่าของชิ้นงาน ซึ่งในแต่ละการทดลองเมื่อดูในระดับโครงสร้างมหภาค พบว่ามีการยึดติดกันของชิ้นงานเชื่อมที่ดีแตกต่างกันไป ตามตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

(ก) อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

(ข) อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

(ค) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

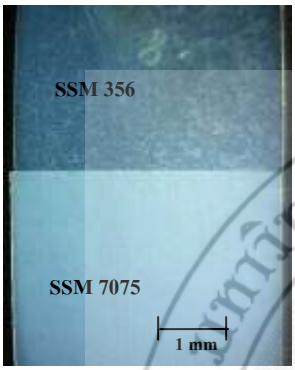


(ง) อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.6 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เวลากดแช่ 60 นาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงลักษณะโครงสร้างมหภาคของรอยต่อชิ้นงาน ที่เวลากดแช่ 60 นาที ภายใต้สภาวะแรงกด 3 MPa โครงสร้างมหภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) พบว่าบริเวณรอยต่อยึดติดกันและมีช่องว่างบริเวณขอบชิ้นงาน เนื่องจากการเตรียมผิวชิ้นงานที่ไม่ได้ระนาบ เส้นบริเวณรอยต่อสามารถมองเห็นได้ เมื่อตรวจสอบด้วยระดับสายตาจะเห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.6 (ข) พบว่าบริเวณรอยต่อยึดติดได้ดี ชิ้นงานเกิดการโก่งงอเล็กน้อย ไม่พบจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อเส้นบริเวณรอยต่อเริ่มมองเห็นได้ยากขึ้น เมื่อตรวจสอบด้วยระดับสายตา เมื่อเพิ่ม

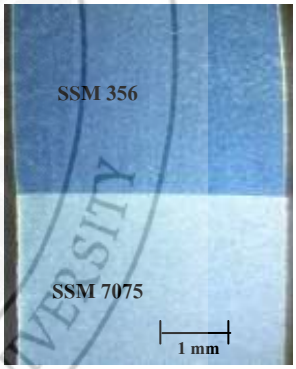
อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ค) จากการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นสูง พบว่าชิ้นงานเริ่มเกิดการโก่งงอและบวม แต่บริเวณรอยต่อยึดติดกันที่สมบรูณ์ เส้นบริเวณรอยต่อมองเห็นได้ยาก เมื่อตรวจสอบด้วยระดับสายตา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเชื่อมสูงถึง 550 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณรอยต่อชิ้นงานยึดติดที่สมบูรณ์ เมื่อตรวจสอบในด้วยระดับสายตา ไม่พบจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อ แต่อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นก็ยิ่งนำไปสู่ความเสี่ยงในการเสียรูปของชิ้นงานชิ้นงานเกิดการบวมบริเวณรอยต่อ สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้บริเวณโครงสร้างของอะลูมิเนียม SSM 356 เกิดการเติบโตของเกรน ซึ่งนำไปสู่การบวมของชิ้นงานหลังการเชื่อม



(ก) อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

(ข) อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

(ค) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



(ง) อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

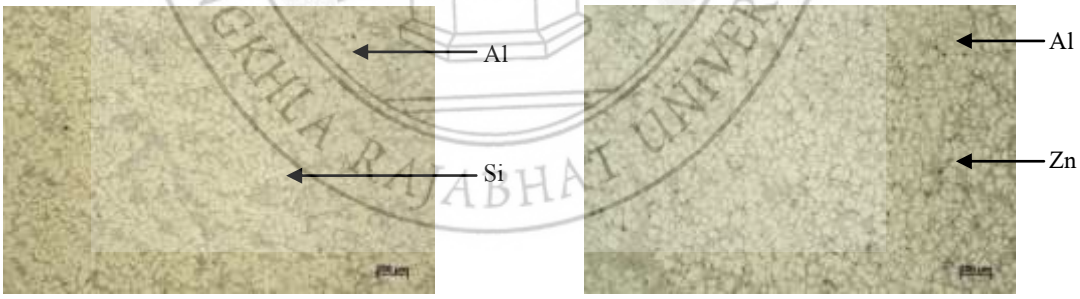
รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เวลากดแช่ 120 นาที

จากรูปที่ 4.7 แสดงลักษณะโครงสร้างมหภาคของรอยต่อชิ้นงานที่เวลาในการกดแช่ 120 นาที ภายใต้สภาวะแรงกดขณะเชื่อม 3 MPa ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) พบว่าบริเวณรอยต่อยึดติดกันได้ดีและชิ้นงานไม่เกิดการโก่งงอและบวม เมื่อตรวจสอบด้วยระดับสายตา แต่อุณหภูมิที่น้อยสามารถมองเห็นเส้นบริเวณรอยต่อได้อย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเพียงเล็กน้อยที่ 450 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.7 (ข) พบว่าบริเวณรอยต่อยึดติดได้ดียิ่งขึ้น ชิ้นงานเริ่มเกิดการโก่งงอ เนื่องมาจากแรงกดที่ผิวสัมผัสสูงทำให้ชิ้นงานเกิดความเครียดบริเวณรอยต่อสูงตามไปด้วย ไม่พบจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อ เส้นบริเวณรอยต่อเริ่มเห็นได้ยาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นที่ 500 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ค) จากการ

เพิ่มอุณหภูมิขึ้นสูง พบว่าชิ้นงานเริ่มเกิดการบวม แต่บริเวณรอยต่อเชื่อมทั้ง 2 ชิ้น ประสานเข้ากันที่สมบรูณ์ เมื่อตรวจสอบด้วยระดับสายตา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเชื่อมสูงถึง 550 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณรอยต่อชิ้นงานยึดติดที่สมบูรณ์ เมื่อตรวจสอบในด้วยระดับสายตา ไม่พบจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อ แต่อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นก็ยิ่งนำไปสู่ความเสี่ยงในการเสียรูปของชิ้นงาน ชิ้นงานเกิดการโก่งงอและบวม เส้นบริเวณรอยต่อสามารถมองเห็นได้อีก อุณหภูมิที่สูงยิ่งทำให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ช้าตามไปด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่ช่วยในการแพร่จะบ่งบอกให้เห็นปริมาณพลังงานกระตุ้นว่ามีปริมาณต่ำหรือสูง หากเกิดพลังงานกระตุ้นที่สูงเป็นผลมาจากอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิต่ำพลังงานกระตุ้นก็น้อยทำให้เกิดการแพร่ได้ช้า

4.4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

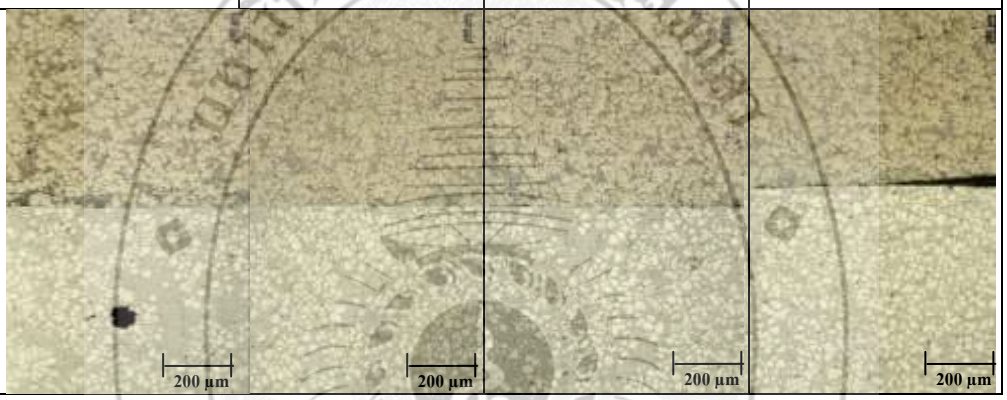
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อดูการกระจายตัวลักษณะเกรนของโครงสร้างบริเวณรอยต่อ และดูลักษณะกลไกการแพร่ของรอยต่อ ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะให้กำลังขยาย 200 ไมโครเมตร พบว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 จะประกอบไปด้วยเฟสแอลฟ่า (α) แบบก้อนกลมผสมกับเฟสยูเทกติก (Eutectic) ประกอบไปด้วย Al+Si ที่อยู่รอบๆ บริเวณโครงสร้างที่เป็นเฟสแอลฟ่า (α) โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิมเกรนของเฟส α-Al ถ้าสังเกตว่าสีขาวนั้นจะเป็นเกรนของอะลูมิเนียม ส่วนสีเทาจะเป็นเกรนของซิลิกอน แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) เป็นลักษณะก้อนกลมต่อเนื่องกันมีเฟส Si, Fe และ Mg จับกลุ่มรอบเฟส α - Al และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 โครงสร้างเป็นแบบก้อนกลมผสมกับเฟสยูเทกติก(Eutectic) ประกอบไปด้วย Al+Zn ที่อยู่รอบ ๆ บริเวณโครงสร้างที่เป็นเฟสแอลฟ่า (α) โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิมเกรนของเฟส α - Al ถ้าสังเกตว่าสีขาวนั้นจะเป็นเกรนของอะลูมิเนียม ส่วนสีดำจะเป็นเกรนของสังกะสี แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข) เป็นลักษณะก้อนกลมต่อเนื่องกันมีเฟส $MgZn_2$ จับกลุ่มรอบเฟส α – Al ในการดูโครงสร้างจุลภาคจะดูด้วยกัน 4 ตำแหน่ง ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหลังการเชื่อมดังต่อไปนี้



(ก) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 (ข) อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075

รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิม

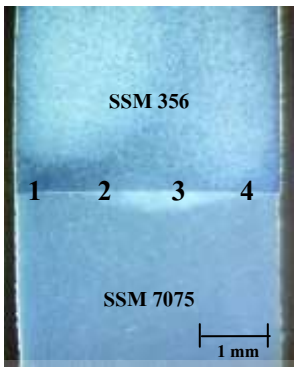
1) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

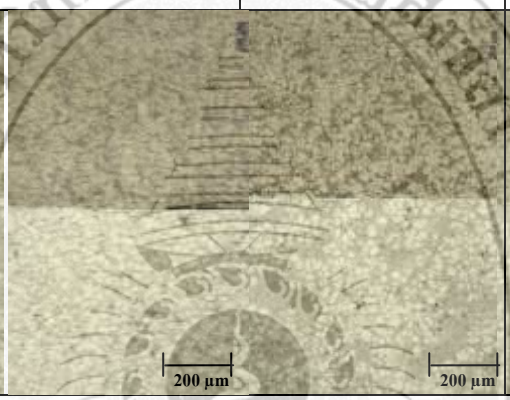
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
400 °C				

รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

จากรูปที่ 4.9 เมื่อตรวจสอบในระดับโครงสร้างจุลภาคแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานเกิดช่องว่าง (Void) บริเวณแนวรอยต่อ ซึ่งมีช่องขนาดเล็กๆ กระจายตลอดแนว เนื่องจากสาเหตุด้านอุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมที่น้อยเกินไป [8] การเชื่อมยังอยู่ในช่วงที่สองของการแพร่ (Second Stage Grain Boundary Migration and Pore Elimination) ทำให้โครงสร้างเกิดการแพร่ที่ยังไม่สมบูรณ์ กลไกของการแพร่จะแพร่จากขอบชิ้นงานไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงาน ตำแหน่งที่ 1 พบว่าโครงสร้างบริเวณนี้เกิดการยึดติดกัน แต่เมื่อตรวจสอบตำแหน่งที่ 2 กับตำแหน่งที่ 3 พบช่องว่างเล็กๆ กระจายอยู่ตลอดรอยเชื่อม เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำและเวลาที่น้อยทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ที่ช้า จึงต้องใช้เวลาเชื่อมนานๆ ส่วนตำแหน่งที่ 4 พบว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่ เนื่องจากการเตรียมชิ้นงานที่ไม่ได้ระนาบ

2) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

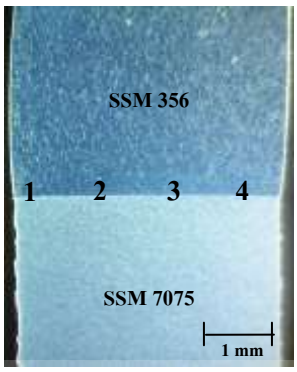


อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
450 °C				

รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

จากรูปที่ 4.10 ผลการเชื่อมที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลากดแช่ 60 นาที ลักษณะโครงสร้างมหภาคแสดงให้เห็นว่ารอยเชื่อมต่อเกือบสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าบริเวณรอยต่อยึดติดกันได้ดี ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคในบริเวณขอบของชิ้นงาน ไม่พบช่องว่างบริเวณรอยต่อเกิดการยึดติดกันสมบูรณ์ เนื่องมาจากตำแหน่งนี้เป็นขอบของชิ้นงาน ซึ่งจะได้รับอุณหภูมิและเกิดการแพร่ของชิ้นงาน ส่วนในตำแหน่งที่ 2 เป็นตำแหน่งที่ถัดจากขอบชิ้นงาน ในตำแหน่งนี้พบช่องว่างขนาดใหญ่ เนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำและเวลาอันสั้น จะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ช้า และตำแหน่งที่ 3 พบช่องว่างขนาดเล็ก เนื่องมาจากตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 จะอยู่บริเวณตรงกลางของชิ้นงานจะต้องเพิ่มอุณหภูมิและเวลาให้มากขึ้นจึงจะกำจัดช่องว่างให้หมดไป

3) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

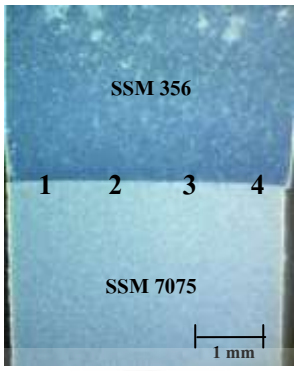


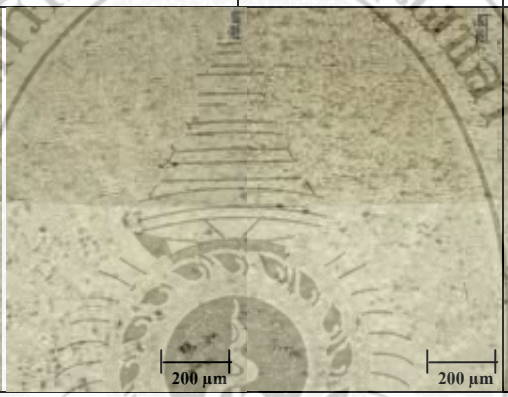
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
500 °C				

รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

จากรูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้เกิดสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็วตามไปด้วย ลดการเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อไม่พบจุดบกพร่องหลังจากการเชื่อมตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 เป็นตำแหน่งขอบชิ้นงาน โครงสร้างบริเวณนี้มีเกิดการประสานเข้าด้วยกันทั้ง 2 ชนิด ตำแหน่งที่ 2 พบช่องว่างเล็กมาก และตำแหน่งที่ 3 ไม่พบช่องว่างบริเวณรอยต่อ เนื่องมาจากอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงทำให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็ว จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของอะตอมได้ดี อิทธิพลทางความร้อนทำให้ชิ้นงาน เริ่มเกิดการเติบโตของเกรนไปพร้อมๆ โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เกิดการยึดติดกันที่สมบูรณ์ พบจุดบกพร่องน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกล ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติทางกลที่ดี

4) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที

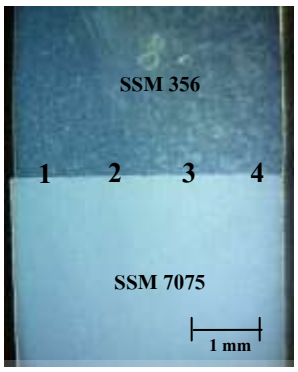


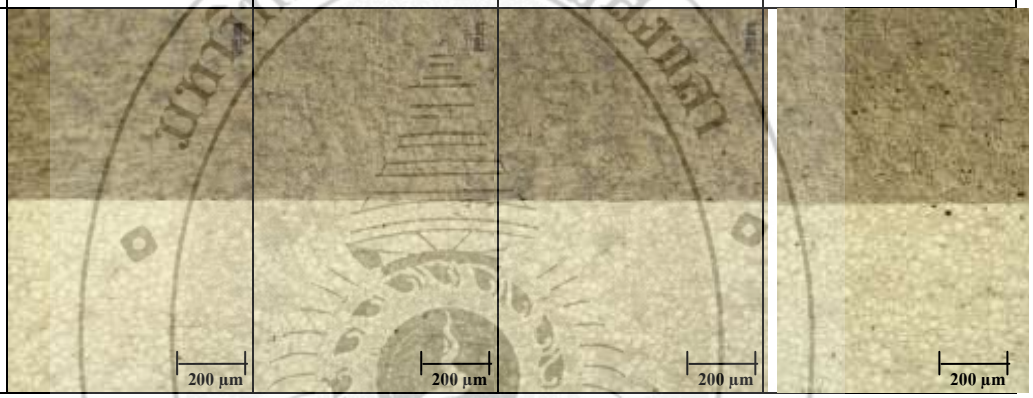
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
550 °C				

รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเวลา 60 นาที

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างมหภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูง ชิ้นงานบริเวณรอยต่อสมบรูณ์เมื่อตรวจสอบในระดับโครงสร้างจุลภาค พบว่าทุกตำแหน่งเกิดการประสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน พบช่องว่างเล็กๆ บริเวณตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้เกิดสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็วตามไปด้วย ลดการเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อ พบจุดบกพร่องเล็กน้อยหลังจากการเชื่อม การเชื่อมจะอยู่ในช่วงสุดท้ายหรือช่วงที่สามของการเชื่อม (Third Stage Volume Diffusion Pore Elimination) ช่วงนี้จะเกิดการแพร่ที่สมบูรณ์ ปริมาณช่องว่างจะหายไป แต่อุณหภูมิที่สูงถึง 550 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกรนของชิ้นงานเกิดการเติบโตบิดเบี้ยวอย่างชัดเจน และโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกล ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติทางกลที่ลดลง

5) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

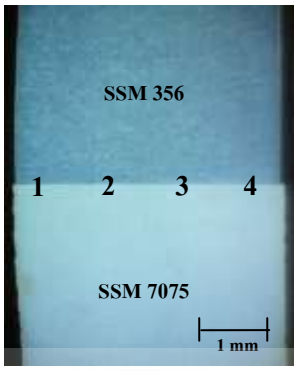


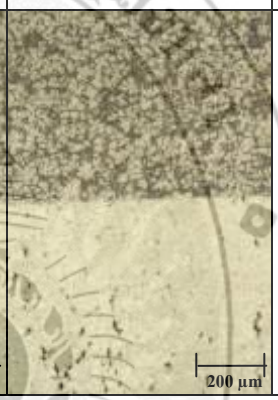
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
400 °C				

รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 4.13 พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 120 นาที เป็นอุณหภูมิน้อยและเวลาที่นาน ส่งผลให้เกิดสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่ช้าตามไปด้วย แต่เวลาเชื่อมที่นาน ช่วยลดการเกิดช่องว่างได้ เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 พบว่าบริเวณขอบของชิ้นงานเชื่อม เกิดการแลกเปลี่ยนของอะตอมทั้งสองได้เกือบสมบรูณ์ บริเวณรอยต่อยึดติดกัน แต่เมื่อตรวจสอบโครงจุลภาคในตำแหน่งที่ 2 พบช่องว่างขนาดเล็กๆ ยาวตลอดแนวเชื่อม เนื่องมาจากการเชื่อมอยู่ในช่วงที่สองของการแพร่ (Second Stage Grain Boundary Migration and Pore Elimination) เป็นช่วงที่เกิดการเคลื่อนย้ายของขอบเกรนเพื่อมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งส่งผลให้กำจัดช่องว่างที่ผิวสัมผัส ในตำแหน่งที่ 3 บริเวณรอยต่อยึดติดกันพบช่องว่างเพียงน้อย

6) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

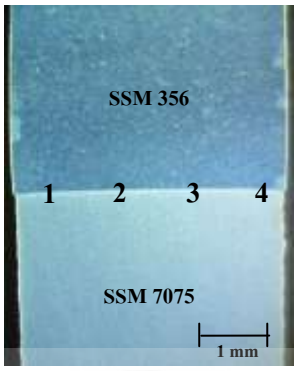


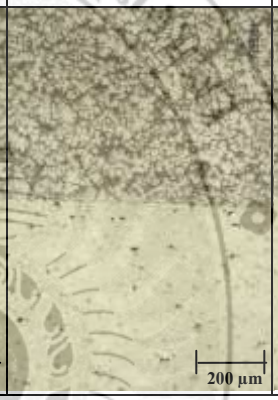
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
450 °C				

รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 4.14 พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเวลาในการกดแช่ 120 นาที เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้เกิดสัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็วตามไปด้วย ลดการเกิดช่องว่างเมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่ง 4 พบว่าบริเวณขอบของชิ้นงานเชื่อมเกิดการยึดติดกันที่สมบรูณ์ ชิ้นงานประสานเข้าเป็นเนื้อด้วยกัน เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและเวลาที่นาน ทำให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็ว จึงเกิดการแพร่ที่สมบรูณ์พบช่องว่างเพียงน้อยนิด อิทธิพลทางความร้อนและเวลาในการกดแช่ที่สูงเริ่มเกิดการเติบโตบิดเบี้ยวของเกรนทั้ง 2 วัสดุไปพร้อมๆ กัน จากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น พบจุดบกพร่องเพียงเล็กน้อยและมีขนาดที่เล็ก ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติทางกลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

7) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

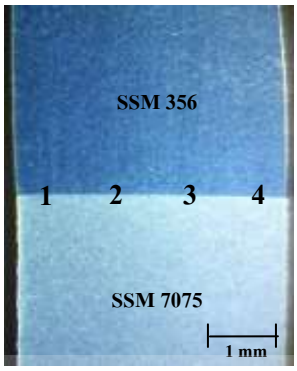


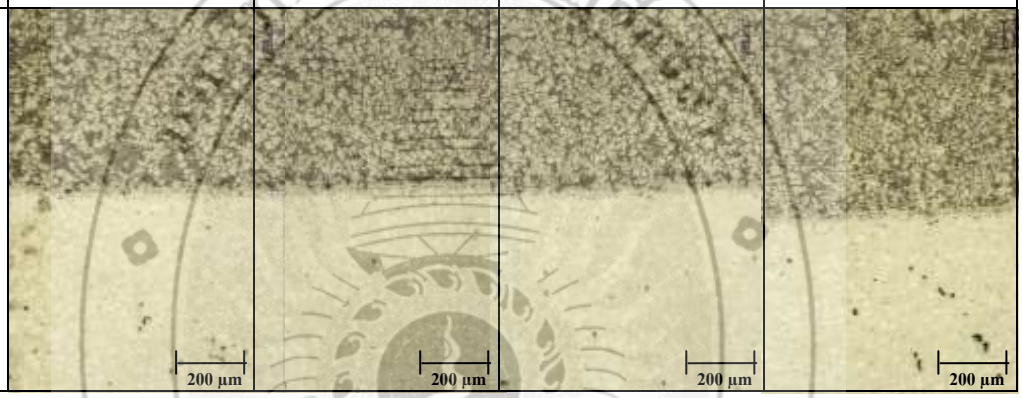
อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
500 °C				

รูปที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 4.14 พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 120 นาที ลักษณะโครงสร้างมหภาคแสดงให้เห็นว่ารอยต่อสมบูรณ์ พบว่าบริเวณเส้นรอยต่อยึดติดกันได้ดี เมื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคในตำแหน่งที่ 1 กับตำแหน่งที่ 4 โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบของชิ้นงาน เกิดการประสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกันบริเวณรอยต่อไม่พบช่องว่างและจุดบกพร่องแต่เกรนของอะลูมิเนียมทั้งสองเกิดการเติบโตอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนในตำแหน่งที่ 2 กับตำแหน่งที่ 3 ไม่พบช่องว่างบริเวณรอยต่อ อุณหภูมิที่สูงทำให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่ที่รวดเร็ว จึงเกิดการแพร่ที่สมบรูณ์ โครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างก้อนกลมซึ่งมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างเนื้อโลหะเดิมของวัสดุ นอกจากนี้บริเวณรอยต่อยังเกิดการรวมตัวของเฟสยูเทคติกใหม่ประกอบด้วย Al_2CuMg, Mg_2Si และ $Al_2Mg_2Zn_3$ เมื่อเทียบสมบัติทางกลพบว่าให้ผลสมบัติทางกลที่ดี

8) ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที



อุณหภูมิ	โครงสร้างจุลภาค			
	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
550 °C				

รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างจุลภาครอยต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเวลาในการกดแช่ 120 นาที พบว่าลักษณะโครงสร้างมหภาค แสดงให้เห็นว่ารอยต่อสมบูรณ์บริเวณเส้นรอยต่อยึดติดกันได้ดี เมื่อตรวจสอบในระดับโครงสร้างจุลภาคในตำแหน่งที่ 1 กับตำแหน่งที่ 4 พบว่าบริเวณขอบของชิ้นงานทั้งสองด้าน เกิดการประสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน บริเวณรอยต่อไม่พบจุดบกพร่องหรือช่องว่าง เมื่อตรวจสอบในตำแหน่งที่ 2 กับตำแหน่งที่ 3 บริเวณรอยต่อไม่พบจุดบกพร่อง แต่อุณหภูมิและเวลาที่สูงส่งผลให้เกรนเกิดการเปลี่ยนแปลงขอบเกรนและเกิดการเติบโตของเกรนอย่างชัดเจน โครงสร้างจุลภาคจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติทางกลลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเชื่อมต่อชนของวัสดุต่างชนิดกัน ระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 ด้วยกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ ชิ้นงานถูกนำไปทดสอบสมบัติทางกล ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค หลังจากการทดลองผลการศึกษาทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

การเชื่อมกระบวนการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง SSM 7075 พบว่าชิ้นงานมีแนวโน้มที่ยึดติดดี ชิ้นงานเชื่อมมีความสมบูรณ์ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(1) ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานทุกการทดลองมีการยึดติดที่ดี โดยชิ้นงานที่เชื่อมที่อุณหภูมิสูงมีโอกาสที่จะเกิดการบวนบริเวณรอยต่อ และชิ้นงานที่รับแรงกดที่สูงมีโอการเกิดการเสียรูปแบบโก่งงอ

(2) ความแข็งแรงดึงสูงสุดได้จากอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ 94.94 MPa และอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาในการกดแช่ 60 นาที พบค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 27.56 MPa ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่ได้จากการทดลอง

(3) ความร้อนในขณะเชื่อมทำให้เกิดการรวมตัวของเฟสยูเทคติกใหม่ ภายในอะลูมิเนียมหลักส่งผลให้เกิดค่าความแข็งขึ้นบริเวนรอยเชื่อม ซึ่งมีความแข็งเฉลี่ยที่ 104.70 HV

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมที่สามารถนำไปสู่การแพร่ของอะตอมที่รวดเร็วขึ้น ซึ่งการเชื่อมโดยการแพร่จะใช้เวลาในการเชื่อมที่นาน นอกจากนั้นควรเชื่อมในสภาวะบรรยากาศที่แตกต่างกัน เช่น การปรับเปลี่ยนก๊าซในการปกคลุม การเชื่อมในบรรยากาศแบบสุญญากาศ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอะตอมที่ดีขึ้น นำไปสู่ความรวดเร็วในการเชื่อมโดยการแพร่เพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

[1] ประภาศ เมืองจันทร์บุรี (2550) การเชื่อมและโลหะวิทยาการเชื่อมอะลูมิเนียม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รายงานการทดลองภายในการเชื่อมอลูมิเนียม SSM A356

[2] เจษฎา วรรณสินธุ์ และคณะ เทคโนโลยีการหล่ออะลูมิเนียมไดคาสติงแบบกึ่งของแข็ง การประชุมวิชาการงานหล่อไทย ครั้งที่ 3 สงขลา ประเทศไทย

[3] เจษฎา วรรณสินธุ์ รอมฎอน บูรพา และรังสินี แคนยุกต์ Development of The Gas Induced Semi - Solid Metal Processing for A356 Aluminum Alloy การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7

[4] เจนณรงค์ นาคเทวัญ (2555) การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งเกรด 7075 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[5] ชัยยุทธ มีงาม (2555) การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็งโดยการแพร่ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[6] เดช เหมือนขาว ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม (2556) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของทองเหลืองโดยกระบวนการเชื่อมแพร่ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

[7] เดช เหมือนขาว ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม (2556) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนโดยกระบวนการเชื่อมแพร่ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

[8] Huang Y, Ridley N, Humphreys F.J & Cui J.Z (1999) Diffusion Bonding of Superplastic 7075 Aluminum Alloy.

[9] Liming.L Jitai, N Yanhong, T. & Xiaodng, M (2000) Diffusion Bonding Mechanism and Microstructure of Welded Joint of Aluminum Matrix Composite Al_2O_3/6061.

[10] Muratoglu M Yilmaz, O. & Aksoy M (2006) Investigation on Diffusion Bonding Characteristics of Aluminum Metal Matrix Composites (Al/SiCp) With Pure Aluminum for Different Heat Treatment.

[11] Mahendran, G. Balasubramanian, V & Senthilvelan, T (2010) Influences of Diffusion Bonding Process Parameters on Bond Characteristics of Mg - Cu Dissimilar Joints.

[12] Mahendran G. Balasubramanian, V & Senthilvelan, T (2011) Mechanical and Metallurgical Properties of Diffusion Bonded AA 2024 Aluminum Alloy and Commercial Grade Copper.

[13] Kwang S.L, Yong N .K (2013) Solid-State Bonding Between Al and Cu by Vacuum hot Pressing.

[14] Lee, C.S. Li, H. and Chandel, R.S. Vacuum, F. (1999) Diffusion Bonding of Aluminum Metal Matrix Composite. Journal of Materials Processing Technology.

[15] Kitazono, K. Kitajima, A. Sato, E. Matsushita, J. Kuribayashi, K. (2002). Solid - State Diffusion Bonding of Closed - Cell Aluminum Foams Materials Science and Engineering.

[16] Daniel, R Cooper, J. Allwood, M (2014). The influence of Deformation Conditions in Solid–State Aluminum Welding Processes on The Resulting welds Strength Journal of Materials Processing Technology.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY