

การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM 356 กับ SSM 6061 โดยกรรมวิธีการเชื่อมทิกและการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

Comparison of mechanical and microstructural behavior of TIG and friction stir welded dissimilar aluminium alloys SSM 356 and SSM 6061

อามีนะ เมฆารัตน์^{1*} ประภาศ เมืองจันทร์บุรี² เสกสรร สุธรรมานนท์³ คัมรณ พัททะกะ⁴ และ ศิวศิษย์ วิทยศิลป์⁵

^{1,3,4,5} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: mekharat@gmail.com^{1*}

Amina Mekharat^{1*} Prapas Muangjunburee² Sakesun Suthummanon³ Kamron Pitaks⁴ and

Sivasit Wittayasilp⁵

^{1,3,4,5} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

² Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

E-mail: mekharat@gmail.com^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล รวมไปถึงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมต่อระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็งต่างชนิดกัน คือ SSM 356 และ SSM 6061 ด้วยกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบกวน การเชื่อมทิกแบบเติมลวดและการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวด ซึ่งการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นกระบวนการเชื่อมที่สภาวะของแข็ง แต่กระบวนการเชื่อมทิกนั้นเป็นการเชื่อมที่สภาวะของเหลว อีกทั้งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการเชื่อมโลหะผสม สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยเป็นชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็งความหนา 4 มิลลิเมตร เป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับการเชื่อมต่อชน โดยลวดเติมที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมชนิด AA4043 จากผลการทดสอบความแข็งแรงดึงและโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมทิกและการเชื่อมเสียดทานแบบกวน พบว่ารอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง 356 กับ 6061 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการเชื่อมทิกทั้งแบบเติมลวดและไม่เติมลวด

คำสำคัญ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, การเชื่อมทิก, อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง 356, อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง 6061

Abstract

The objective of this research was to investigate the mechanical properties and macrostructural of dissimilar aluminium alloys SSM 356 and SSM 6061 jointed by using different processes: TIG (with filler), TIG (without filler) and Friction stir welding. Friction stir welding (FSW) is a solid state welding. An aluminium alloys 4 mm thickness was used as based material for preparing butt joint welded and filler rod type of AA4043 was used as joining the plate. The result showed that the tensile properties of joints dissimilar aluminium alloys SSM 356 and SSM 6061 by FSW were superior to TIG (with filler) and TIG (without filler) welding.

Keywords: FSW, TIG, Aluminium SSM 356, Aluminium SSM 6061

1. บทนำ

ปัจจุบันชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่หล่อด้วยกระบวนการหล่อฉีด (Die Casting) ในอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอากาศยาน อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดน้ำหนักและการใช้พลังงานเนื่องจากอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำและมีน้ำหนักเบาคิดเป็น 1 ใน 3 ของน้ำหนักเหล็ก [1]

การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิด (Dissimilar joint) มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากเหตุผลในเชิงเทคนิค การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดสามารถนำข้อดีของอะลูมิเนียมแต่ละชนิดมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดกันยังมีความยุ่งยากเนื่องจากอะลูมิเนียมผสมแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและเชิงกลที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมต่อชิ้นส่วนอะลูมิเนียมหล่อต่างชนิดกัน กำลังมีบทบาทในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมซีปนาวุธ เป็นต้น

สำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อผสม เช่น กระบวนการเชื่อมทิกปัญหาที่มักพบบ่อยครั้งเมื่อเชื่อมด้วยวิธีการหลอมละลายคือ การรักษาสมบัติทางกลของบริเวณแนวเชื่อม (Mechanical Properties of Joint) ให้ใกล้เคียงกับเนื้อโลหะเดิมให้มากที่สุด เนื่องจากการเชื่อมแบบหลอมละลายนั้นจะทำให้เกิดรูพรุนบริเวณแนวเชื่อมและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone : HAZ) ในส่วนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding : FSW) เป็นการเชื่อมในภาวะของแข็ง (Solid state welding) ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะของเกรนที่เล็กละเอียด สามารถรับแรงได้สูง อีกทั้งยังเหมาะกับการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดที่ยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลาย เนื่องจากความยากลำบากในการควบคุมความร้อนในบริเวณแนวเชื่อม [3]

การเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง SSM 356 กับ SSM

6061 ซึ่งเป็นการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดกันเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่และยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุบริเวณแนวเชื่อมในการเชื่อมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยจะศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล รวมไปถึงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 กับ SSM 6061 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการเชื่อมที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน การเชื่อมทิกแบบเติมลวดและการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวด

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมต่อชนประกอบด้วยอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และ SSM 6061 ทดสอบหาปริมาณธาตุองค์ประกอบในโลหะด้วยวิธี OES (Optical Emission Spectrometer) โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงใน

ตารางที่ 1 และลวดเติมชนิด AA4043 เป็นวัสดุเนื้อเดิมในรอยเชื่อมทิกมีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อช่วยลดจุดหลอมเหลวและลดความหนืดในขณะที่ลวดเชื่อมหลอมละลาย [4] มีองค์ประกอบของธาตุในโลหะเติมดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง (wt%)

Element	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.
SSM 6061	0.60	0.70	0.28	0.15	1.00	0.25	0.15	0.20	-	Bal.

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเติม (wt%)

Filler metal	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ti	Cr	Al
AA4043	5.0	0.05	0.30	0.80	0.05	0.10	0.2	-	Bal.

2.2 วิธีการทดลอง

อะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM 356 และ SSM 6061 ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร และความกว้าง 50 มิลลิเมตร การเชื่อมทิกในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ การเชื่อมทิกแบบใช้ลวดเติม "TIG1" และการเชื่อมทิก

กแบบไม่ใช้ลวดเติม "TIG2" ทำการเชื่อมต่อนในท่าราบ เชื่อมทั้งสองด้าน ใช้ลวดเติมชนิด AA 4043 มีแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมแนวเชื่อม การเชื่อมเสียตทานแบบกวน (FSW) เป็นการเชื่อมต่อนจับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดแนวเชื่อม (Fixture) บนเครื่องกัดแนวตั้ง เครื่องมือกวนมีบ่า (Shoulder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หัวกวน (Pin) รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และยาว 3.2 มิลลิเมตร เครื่องมือทำมุมเอียง 3 องศากับชิ้นงาน เบื้องต้นมีการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับแต่ละกระบวนการดังแสดงเงื่อนไขในการเชื่อมใน

ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรของกระบวนการเชื่อม

Process	FSW	TIG1	TIG2
ขนาด Ø ทั้งสเตนอิลเล็คโทรด (มม)	-	3.2	3.2
ขนาด Ø ลวดเติม (มม)	-	2.4	-
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	-	15.6	15.6
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	-	140	140
ความเร็วเดินเชื่อม (มม/นาที)	112	250	350
แก๊สคลุม	-	อาร์กอน	อาร์กอน
อัตราการไหลของแก๊ส (ลิตร/นาที)	-	15	15
ความเร็วหมุนเครื่องมือกวน (รอบ/นาที)	1400	-	-
มุมเอียงเครื่องมือกวน (องศา)	3	-	-
ขนาด Ø บ่าของเครื่องมือกวน (มม)	20	-	-
ขนาด Ø เครื่องมือกวน (มม)	5	-	-
ความยาวตัวกวน (มม)	3.2	-	-
แรงกด (kN)	4.5	-	-

การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งต่างชนิดกันในแต่ละตัวแปรจะทำซ้ำกัน 3 ชิ้น โดยชิ้นงานที่เชื่อมได้แต่ละชิ้นถูกนำไปตัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและสมบัติเชิงกลแบ่งเป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติแรงดึง 3 ชิ้น ชิ้นงานทดสอบความแข็งและโครงสร้างมหภาค 1 ชิ้น

2.3 โครงสร้างทางโลหะวิทยา

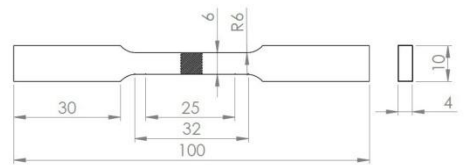
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมโดยนำชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมเรียบร้อยแล้วนำมาตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม นำไปขัดด้วยกระดาษทรายและผ้าสักหลาด จากนั้นนำไปกัดกรด (Etching) ด้วย

สารละลายเจือจาง Keller's Reagent และไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบลำแสงเพื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางมหภาคของแนวเชื่อม

2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.4.1 สมบัติแรงดึง

การทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมด้วยเครื่อง Hounsfield test machine เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-E8M ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

Unit: mm

2.4.2 สมบัติความแข็ง

การทดสอบสมบัติความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ ชิ้นงานทดสอบถูกตัดตามขวางของแนวเชื่อมออกแรงกดในแนวตั้งน้ำหนักกด 100 กรัม เวลากด 10 วินาที ระยะห่างของแต่ละจุดที่กด 0.5 มิลลิเมตร โดยกดตำแหน่งละ 1 ครั้ง

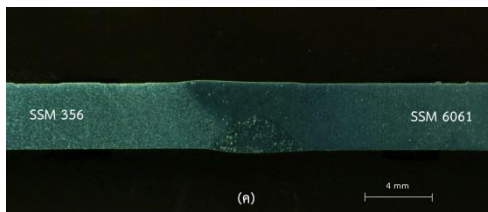
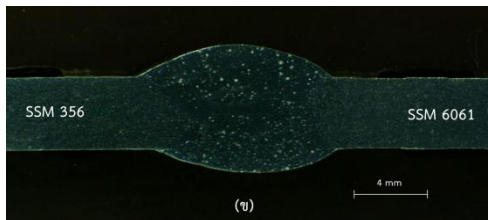
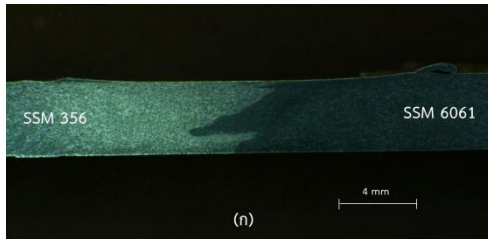
3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

3.1 ลักษณะโครงสร้างทางมหภาค

ผลการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งต่างชนิดกันของทุกกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2 จากภาพถ่ายมหภาครอยเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM 356 กับ SSM 6061 ของทุกกระบวนการเชื่อมประสานกันได้ดี รอยเชื่อมของกระบวนการเชื่อมเสียตทานแบบกวนไม่พบรูพรุนและเนื้อเชื่อมมีการเรียงตัวสลับกันของอะลูมิเนียมผสมทั้งสองชนิดอย่างชัดเจนดังรูปที่ 2 (ก) ในรอยเชื่อมที่กแบบเติมลวดและไม่เติมลวดมีรูพรุนกระจายตัวอย่างชัดเจนดังรูปที่ 2 (ข) และ (ค) โดยรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณเนื้อเชื่อมเนื่องจากไฮโดรเจนละลายอยู่ในเนื้อเชื่อมขณะที่กำลังหลอมละลายและติดอยู่เมื่อเนื้อเชื่อมแข็งตัวทำให้มีลักษณะเป็นรูพรุน

การเชื่อมเสียตทานแบบกวนและการเชื่อมแบบไม่เติมลวดมีความหนาของบริเวณเนื้อเชื่อมเท่ากับ

บริเวณโลหะฐานดังรูปที่ 2 (ก) และ (ค) ซึ่งต่างกับการเชื่อมทิกแบบเติมลวดที่บริเวณเนื้อเชื่อมมีความหนา มากกว่าบริเวณโลหะฐานดังรูปที่ 2 (ข)



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดของแนวเชื่อม
(ก) การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (ข) การเชื่อมทิกแบบเติม
ลวด (ค) การเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวด

3.2 ความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม

สมบัติแรงดึงประกอบด้วยค่าความเค้นคราก (Yield strength) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าการยืดตัว (Elongation) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแนวเชื่อมเมื่อเทียบกับเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM 356 และ SSM 6061 ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นกระบวนการเชื่อมที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิม SSM 6061 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 106.3% กระบวนการเชื่อมทิกแบบเติมลวดและไม่เติมลวดมีประสิทธิภาพของแนวเชื่อมลดลงเหลือ 92.2% และ 76.9% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพแนวเชื่อมสามารถคำนวณได้จากการนำผลค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมหารด้วยค่าความ

แข็งแรงดึงของเนื้อโลหะเดิม [5]

$$\text{Joint Efficiency} = \frac{\text{Tensile test of weld}}{\text{Tensile test of BM}} \quad (1)$$

ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่ามากที่สุด คือ 147.7 MPa และการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวดมีค่าความแข็งแรงดึงน้อยที่สุดคือ 106.8 MPa เนื่องจากความร้อนในการเชื่อมแบบหลอมละลายบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ส่งผลต่อสมบัติแรงดึง [4] โดยความแข็งแรงดึงของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM 6061 มีค่าน้อยกว่าอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM 356 ทำให้ลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณเนื้อโลหะเดิมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM 6061 ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมต่อระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็งต่างชนิด SSM 356 และ SSM 6061

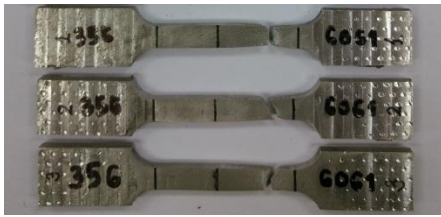
Joint	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Joint Efficiency (BM SSM 356)(%)	Joint Efficiency (BM SSM 6061)(%)
BM SSM 356	96.15	168.5	1.92	-	-
BM SSM 6061	83.72	138.9	2.67	-	-
FSW	117.76	147.7	8.5	87.6	106.3
TIG1	104.85	128.0	9.82	76.0	92.2
TIG2	82.48	106.8	10.42	63.4	76.9



(ก)



(ข)

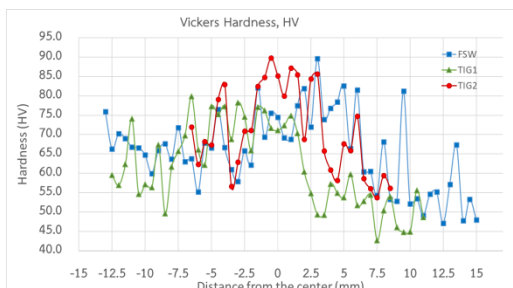


(ค)

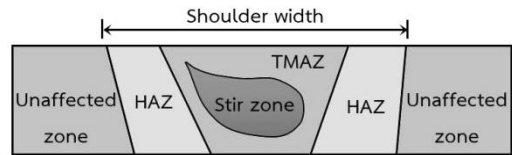
รูปที่ 3 บริเวณที่เกิดการแตกจากการทดสอบแรงดึงของ
ชิ้นงานทดสอบ (ก) การเชื่อมเสียดทานแบบกวน
(ข) การเชื่อมทิกแบบเต็มลวด (ค) การเชื่อมทิกแบบไม่เต็ม
ลวด

3.3 ความแข็งของแนวเชื่อม

จากรูปที่ 4 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อม
อะลูมิเนียมผสมทองแดงชนิดกัน คือ SSM356 และ
SSM 6061 โดยอะลูมิเนียมผสมทองแดง SSM 356 อยู่
ด้านซ้ายมือมีค่าความแข็งมากกว่าอะลูมิเนียมผสม
ทองแดง SSM 6061 ด้านขวามือ บริเวณที่ได้รับ
ผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ของทุกกระบวนการ
เชื่อมมีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากการเชื่อม
อะลูมิเนียมผสมจะมีบริเวณที่ได้รับผลกระทบจาก
ความร้อน (HAZ) ในกระบวนการเชื่อม การเชื่อมทิก
ความร้อนจากเปลวอาร์คทำให้บริเวณดังกล่าว
กลายเป็นสภาพถูกอบอ่อนส่งผลให้เกิดการอ่อนตัว
และบริเวณแนวเชื่อมมีค่าความแข็งมากกว่า [6] ,[7]
ในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถแบ่ง
แนวเชื่อมออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยการ
เชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่าความแข็งเนื้อเชื่อมมาก
ที่สุดและกระบวนการเชื่อมทิกแบบเต็มลวดและไม่เต็ม
ลวดมีค่าความแข็งเนื้อเชื่อมใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4 ค่าความแข็งแนวเชื่อม



รูปที่ 5 ภาพตัดขวางรอยเชื่อม FSW [8],[9],[10]

ค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิมของ
อะลูมิเนียมผสมทองแดง SSM 356 ประมาณ 72.7
HV และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมทอง
แดง SSM 6061 ประมาณ 56 HV กระบวนการ
เชื่อมเสียดทานแบบกวนบริเวณตรงกลางแนวเชื่อม
(SZ) มีค่าความแข็งประมาณ 82.9 HV และบริเวณ
ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็ง
ต่ำสุดประมาณ 60.3 HV การเชื่อมทิกแบบเต็มลวดมี
ค่าความแข็งบริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (WZ)
ประมาณ 73.4 HV และบริเวณได้รับผลกระทบจาก
ความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งต่ำสุดประมาณ 49.4
HV และการเชื่อมทิกแบบไม่เต็มลวดบริเวณตรงกลาง
แนวเชื่อม (WZ) มีค่าความแข็งสูงสุดประมาณ 83.4
HV และบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ)
มีค่าความแข็งประมาณ 62.6 HV

4. สรุปผลการวิจัย

การเชื่อมต่ออะลูมิเนียมผสมทองแดงต่าง
ชนิดกันระหว่าง SSM 356 และ SSM 6061 ด้วย
กระบวนการเชื่อมแบบ FSW และ ทิก ผลการวิจัย
สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) โครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของทุก
กระบวนการเชื่อมมีการประสานกันของอะลูมิเนียมทั้ง
สองชนิดได้ดี ในกระบวนการเชื่อมทิกมีการหลอม
ละลายของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดที่สมบูรณ์
โดยเฉพาะการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยเชื่อมมี
ความสมบูรณ์ดี อย่างไรก็ตามการเชื่อมทิกแบบเต็ม
ลวดและไม่เต็มลวดพบรูพรุนกระจายตัวอยู่ทั่วไป

2) ค่าความแข็งแรงดึงของการเชื่อมแบบ FSW
สูงสุด คือ 147.7 MPa รองลงมาคือ กระบวนการ
เชื่อมทิกแบบเต็มลวดมีค่าความแข็งแรงดึง 128.0
MPa ซึ่งมากกว่าการเชื่อม ทิกแบบไม่เต็มลวดที่มีค่า
ความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด คือ 106.8 MPa เนื่องจาก

กระบวนการเชื่อมทิกแบบเติมลวดชนิด 4043 จะมีธาตุซิลิกอน (Si) ผสมอยู่สูง ซึ่งมีสมบัติในการต้านการแตกร้อน [6] ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น

3) บริเวณตรงกลางแนวเชื่อมของทุกกระบวนการเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ และบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด โดยบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็ง SSM 356 มีค่าความแข็งแรง 72.7 HV และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็ง SSM 6061 มีค่าความแข็งแรง 56.0 HV บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (WZ) ในกระบวนการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวดมีค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 83.4 HV และในกระบวนการเชื่อมทิกแบบเติมลวดมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดประมาณ 49.4 HV

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือวิจัย จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Benedyk J. Aluminum alloys for lightweight automotive structures. Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles 2010;79:113.
- [2] Han Sur Bang, Hee Seon Bang, Song H, Joo S. Joint properties of dissimilar Al6061-T6 aluminum alloy/Ti-6%Al-4%V titanium alloy by gas tungsten arc welding assisted hybrid friction stir welding. Materials and Design 2013;51:544-551.
- [3] Mishra RS, Ma ZY. Friction stir welding and processing. Materials Science and Engineering: R 2005;50:1-78.
- [4] Jannet S, Mathews PK, Raja R. Comparative investigation of friction stir welding and fusion welding of 6061 T6-5083 O aluminum alloy based on mechanical properties and microstructure. Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering 2013;61(2):181-186.
- [5] วรพงศ์ บุญช่วยแทน, ธเนศ รัตนวิไล. การเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 หล่อทั้งแข็งโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาพของกระบวนการทางความร้อน T6. KKU Engineering Journal 2011;38(3): 219-232.
- [6] ประกาศ เมืองจันทร์บุรี. วิศวกรรมการเชื่อม WELDING ENGINEERING. สงขลา: เทคโนโลยีการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2555.
- [7] Yamamoto S. Arc welding of specific steels and cast Irons. Japan: Shinko Welding Service Co., Ltd; 2008.
- [8] Podražaj P, Jerman B, KlobČr D. Welding Defects at Friction Stir Welding. Metalurgija 2015;54(2):387-389.
- [9] Bergant Z, Grum J. Heat treatment effects of laser clad 12 Ni maraging tool steel with Ni-Co-Mo alloys. Journal of Heat Treatment and Materials 2014;69(2):114-123.
- [10] Nandan R, DebRoy T, Bhadeshia H. Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties. Progress in Materials Science 2008;53(6):980-1023.