



การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM356-T6 กับ SSM6061-T6 โดยกรรมวิธีการเชื่อมทิกและการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

Comparison of Mechanical and Macrostructural Behavior of TIG and Friction Stir Welded Dissimilar Aluminium Alloys SSM356-T6 and SSM6061-T6

อามีนะ เมฆารัฐ¹, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี², เสกสรร สุธรรมานนท์¹, มุฮามัด เต๊ะยอ³
Amina Mekharat¹, Prapas Muangjunburee², Sakesun Suthummanon¹, Muhamad Tehyo³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลรวมถึงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็งต่างชนิดกัน คือ SSM356-T6 และ SSM6061-T6 ด้วยกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการเชื่อมทิก ซึ่งการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นกระบวนการเชื่อมที่สภาวะของแข็ง แต่กระบวนการเชื่อมทิกเป็นการเชื่อมที่สภาวะหลอมละลาย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการเชื่อมโลหะผสม สำหรับวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยเป็นชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็งความหนา 4 มิลลิเมตร เป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับการเชื่อมต่อชน โดยลวดเติมที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมชนิด AA4043 จากผลการทดสอบความแข็งแรงดึงและโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมทิกและการเชื่อมเสียดทานแบบกวน พบว่ารอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM356-T6 กับ SSM6061-T6 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการเชื่อมทิก

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน การเชื่อมทิก อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง SSM356-T6 อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง SSM6061-T6

Abstract

The objective of this research was to investigate the mechanical properties and macrostructural of dissimilar aluminium alloys SSM356-T6 and SSM6061-T6 jointed by different processes: TIG and Friction stir welding (FSW). Friction stir welding 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 SSM356-T6 and SSM6061-T6 by FSW were superior to TIG welding.

Keywords: FSW, TIG, Aluminium SSM356-T6, Aluminium SSM6061-T6

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

³ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³ Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

บทนำ

ปัจจุบันชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่หล่อด้วยกระบวนการหล่อฉีด (Die Casting) ในอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอากาศยาน อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดน้ำหนักและการใช้พลังงาน เนื่องจากอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำและมีน้ำหนักเบาคิดเป็น 1 ใน 3 ของน้ำหนักเหล็ก (Benedyk, 2010)

การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิด (Dissimilar Joint) มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากเหตุผลในเชิงเทคนิค การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดสามารถนำข้อดีของอะลูมิเนียมแต่ละชนิดมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Tehyo, Muangjumburee & Chuchom, 2011; Bang, Bang, Song & Joo, 2013) แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดกันยังมีความยุ่งยากเนื่องจากอะลูมิเนียมผสมแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและเชิงกลที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมต่อชิ้นส่วนอะลูมิเนียมหล่อต่างชนิดกัน กำลังมีบทบาทในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมซีปนาวุธ เป็นต้น

สำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อผสม เช่น กระบวนการเชื่อมทิกเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ให้คุณภาพของแนวเชื่อมสูงและสะอาด (Muangjumburee, Tehyo & Tamjai, 2017) ซึ่งปัญหาที่มักพบบ่อยครั้งเมื่อเชื่อมด้วยวิธีการหลอมละลาย คือ การรักษาสมบัติทางกลของบริเวณแนวเชื่อม (Mechanical Properties of Joint) ให้ใกล้เคียงกับเนื้อโลหะเดิมให้มากที่สุด เนื่องจากการเชื่อมแบบหลอมละลายนั้นจะทำให้เกิดจุดพยุรจนบริเวณแนวเชื่อมและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ในส่วนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นการเชื่อมในภาวะของแข็ง (Solid State Welding) ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะของเกรนที่เล็กละเอียด สามารถรับแรงได้สูง อีกทั้งยังเหมาะกับการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดที่ยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลาย เนื่องจากความยากลำบากในการควบคุมความร้อนในบริเวณแนวเชื่อม (Mishra & Ma, 2005; Sirirak, Santhaweesuk, Onwong & Kraiklang, 2016)

การเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง SSM356-T6 กับ SSM6061-T6 ซึ่งเป็นการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมต่างชนิดกันเป็นเทคโนโลยีใหม่และยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุบริเวณแนวเชื่อมในการเชื่อมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยจะศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล รวมถึงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 กับ SSM6061-T6 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการเชื่อมที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน และการเชื่อมทิก

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาคและสมบัติทางกลของบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน บริเวณเขตอิทธิพลของความร้อนทางกล และเนื้อโลหะเดิมจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการเชื่อมทิกของอะลูมิเนียมหล่อผสมต่างชนิดกัน (Dissimilar Joint)

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมต่อชิ้นประกอบด้วยอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 และ SSM6061-T6 ทดสอบหาปริมาณธาตุองค์ประกอบในโลหะด้วยวิธี OES (Optical Emission Spectrometer) โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 และลวดเติมชนิด AA4043 เป็นวัสดุเนื้อเติมในรอยเชื่อมทิกมีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อช่วยลดจุดหลอมเหลว



และลดความเหนียวในขณะเชื่อมที่ลวดเชื่อมหลอมละลาย (Jannet, Mathews & Raja, 2014) มีองค์ประกอบของธาตุในโลหะเติม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง (wt%)

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Al
SSM356	7.74	0.57	0.05	0.06	0.32	0.01	0.05	0.02	0.01	Bal.
SSM6061	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. กระบวนการทางความร้อน T6

กระบวนการทางความร้อน T6 ใช้สำหรับปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM356 และ SSM6061 ก่อนนำไปเชื่อม โดยมีขั้นตอนการทำการกระบวนการทางความร้อน T6 ดังนี้

1) การอบละลาย (Solution Heat Treatment) อุณหภูมิ 540°C เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งของแข็ง SSM356 และ 530°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งของแข็ง SSM6061 (Boonchouytan, Chatthong, Rawangwong & Burapa, 2014)

2) เมื่อทำการอบชิ้นงานทดสอบตามระยะเวลาต่างๆ ตามขั้นตอนการทดลองและจุ่มชิ้นงานทดสอบลงในน้ำ

3) เมื่อผ่านในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 แล้ว นำชิ้นงานทดสอบไปบ่มที่อุณหภูมิ 160°C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง สำหรับอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งของแข็ง SSM356 และ 185°C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง สำหรับอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งของแข็ง SSM6061 (Boonchouytan et al., 2014)

4) เมื่อทำการบ่มชิ้นงานทดสอบตามระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองแล้วนำชิ้นงานไปจุ่มลงในน้ำ

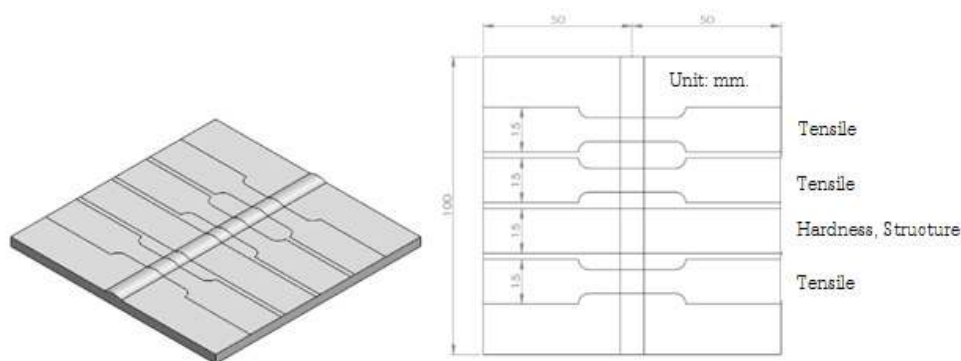
3. วิธีการทดลอง

อะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM356-T6 และ SSM6061-T6 ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร และความกว้าง 50 มิลลิเมตร การเชื่อมทิกแบบใช้ลวดเติม ทำการเชื่อมต่อชนในท่าราบ เชื่อมทั้งสองด้าน ใช้ลวดเติมชนิด AA4043 มีแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมแนวเชื่อม การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (FSW) เป็นการเชื่อมต่อชนจับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดแนวเชื่อม (Fixture) บนเครื่องกัดแนวตั้ง เครื่องมือควมมีบ่า (Shoulder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ตัวกวน (Pin) รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และยาว 3.2 มิลลิเมตร เครื่องมือทำมุมเอียง 3 องศากับชิ้นงาน โดยลักษณะการวางชิ้นงานกำหนดให้อะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM356-T6 อยู่ทางด้านแอดวานซิงไซด์ (Advancing Side: AS) และอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM6061-T6 อยู่ทางด้านรีทรีตติงไซด์ (Retreating Side: RS) เบื้องต้นมีการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับแต่ละกระบวนการดังแสดงเงื่อนไขในการเชื่อมในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรของกระบวนการเชื่อม

Process	FSW	TIG
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสแตนอิลีคโทรด (มม)	-	3.2
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเติม (มม)	-	2.4
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	-	15.6
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	-	140
ความเร็วเดินเชื่อม (มม/นาที)	112	250
แก๊สคลุม	-	อาร์กอน
อัตราการไหลของแก๊ส (ลิตร/นาที)	-	15
ความเร็วหมุนเครื่องมือกลวน (รอบ/นาที)	1400	-
มุมเอียงเครื่องมือกลวน (องศา)	3	-
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาของเครื่องมือกลวน (มม)	20	-
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องมือกลวน (มม)	5	-
ความยาวตัวกลวน (มม)	3.2	-
แรงกด (kN)	4.5	-

การเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็งต่างชนิดกันในแต่ละตัวแปรจะทำการซ้ำกัน 3 ชั้น โดยชิ้นงานที่เชื่อมได้แต่ละชิ้นถูกนำไปตัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและสมบัติเชิงกลแบ่งเป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติแรงดึง 3 ชิ้น ชิ้นงานทดสอบความแข็งและโครงสร้างมหภาค 1 ชิ้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแบ่งชิ้นงานทดสอบทางโลหะวิทยาและทางกล

4. โครงสร้างทางโลหะวิทยา

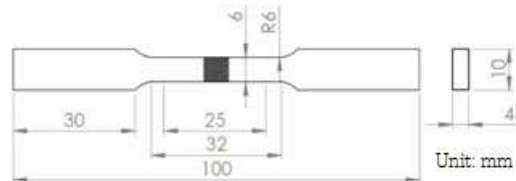
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม โดยนำชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมเรียบร้อยแล้ว นำมาตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม นำไปขัดด้วยกระดาษทรายและผ้าสักหลาด จากนั้นนำไปกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายเจือจางเคลเลอร์ (Keller's Reagent) และไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบลำแสงเพื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้าง ทางมหภาคของแนวเชื่อม



5. การทดสอบสมบัติเชิงกล

1) สมบัติแรงดึง

การทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมด้วยเครื่อง Hounsfield Test Machine เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-E8M ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

2) สมบัติความแข็ง

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

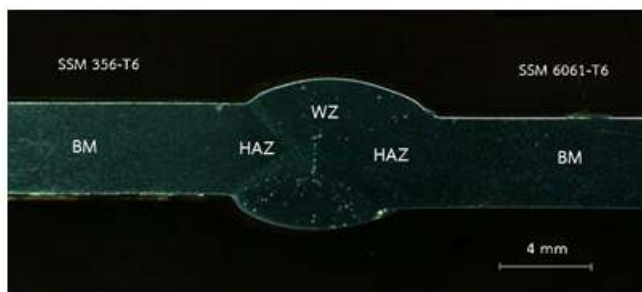
ผลการวิจัย

1. ลักษณะโครงสร้างทางมหภาค

ผลการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็งต่างชนิดกันของทุกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 3 จากภาพถ่ายมหภาครอยเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อแข็ง SSM356-T6 กับ SSM6061-T6 ของทุกระบวนการเชื่อมประสานกันได้ดี รอยเชื่อมของกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนไม่พบรูพรุนและเนื้อเชื่อมมีการเรียงตัวสลับกันของอะลูมิเนียมผสมทั้งสองชนิดอย่างชัดเจนดังภาพที่ 3 (ก) ในรอยเชื่อมที่กึ่งกลางกระจายตัวอย่างชัดเจนดังภาพที่ 3 (ข) การเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีความหนาของบริเวณเนื้อเชื่อมเท่ากับบริเวณโลหะฐานดังภาพที่ 3 (ก) ซึ่งต่างกับการเชื่อมทิก ที่บริเวณเนื้อเชื่อมมีความหนามากกว่าบริเวณโลหะฐานเนื่องจากการเติมโลหะเข้าไปในเนื้อเชื่อมดังภาพที่ 3 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ภาพหน้าตัดของแนวเชื่อม (ก) การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (ข) การเชื่อมทิก

2. ความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม

สมบัติแรงดึงประกอบด้วยค่าความเค้นคราก (Yield Strength) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่าการยืดตัว (Elongation) และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแนวเชื่อมเมื่อเทียบกับเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง SSM356-T6 และ SSM6061-T6 ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นกระบวนการเชื่อมที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิม SSM356-T6 แนวเชื่อมมีประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 69.3 กระบวนการเชื่อมทิกมีประสิทธิภาพของแนวเชื่อมลดลงเหลือร้อยละ 64 โดยประสิทธิภาพแนวเชื่อมสามารถคำนวณได้จากการนำผลค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมหารด้วยค่าความแข็งแรงดึงของเนื้อโลหะเดิม (Boonchouytan, Ratanawilai, Muangjunburee & Tapasa, 2011)

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

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมต่อระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็งต่างชนิด SSM356-T6 และ SSM6061-T6

Joint	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Joint Efficiency (BM SSM356-T6) (%)	Joint Efficiency (BM SSM6061-T6) (%)
BM SSM356-T6	119.90	243.0	2.88	-	-
BM SSM6061-T6	78.29	260.0	7.00	-	-
FSW	122.59	168.3	8.11	69.3	64.7
TIG	117.80	155.6	7.44	64.0	59.8



(ก)

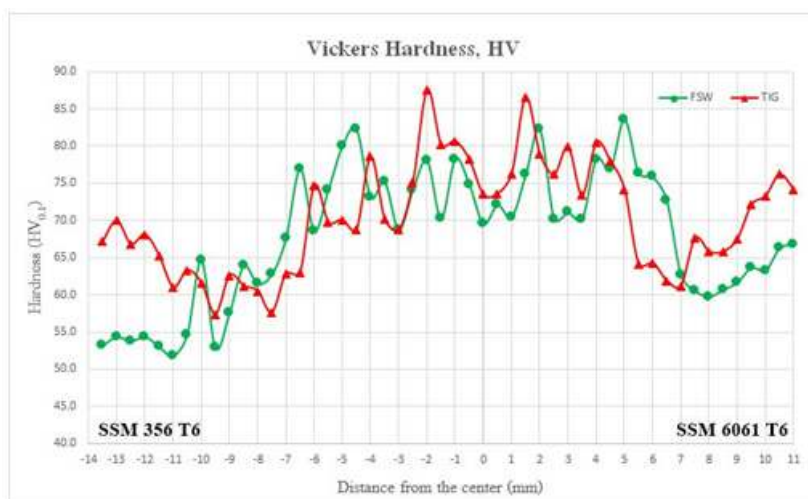


(ข)

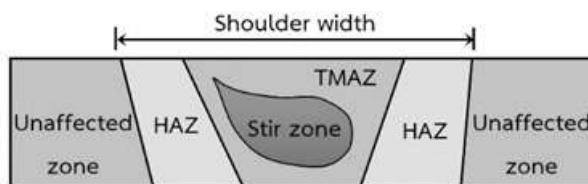
ภาพที่ 4 บริเวณที่เกิดการแตกจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ (ก) การเชื่อมเสียดทานแบบกวน และ (ข) การเชื่อมทิก

3. ความแข็งของแนวเชื่อม

กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถแบ่งแนวเชื่อมออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 6 ประกอบด้วย บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) บริเวณเขตอิทธิพลของความร้อนทางกล (TMAZ) บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) สำหรับกระบวนการเชื่อมทิกสามารถแบ่งแนวเชื่อมออกเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (WZ) บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) จากภาพที่ 5 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็งต่างชนิดกัน ในทุกกระบวนการเชื่อมที่บริเวณตรงกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงที่สุดและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ของทุกกระบวนการเชื่อมมีค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำที่สุด



ภาพที่ 5 ค่าความแข็งแนวเชื่อม



ภาพที่ 6 ภาพตัดขวางรอยเชื่อม FSW

ที่มา: Nandan, DebRoy & Bhadeshia (2008); Bergant & Grum (2014); Podrzaj, Jerman & Klobcar (2015)

ค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 ประมาณ 77 HV และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM6061-T6 ประมาณ 73.8 HV กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนบริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) มีค่าความแข็งประมาณ 74.9 HV และบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ที่มีค่าความแข็งต่ำสุดประมาณ 60.7 HV การเชื่อมทิกมีค่าความแข็งบริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (WZ) ประมาณ 73.5 HV และบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งต่ำสุดประมาณ 52.5 HV

อภิปรายผล

จากการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมพบว่ากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและกระบวนการเชื่อมทิกสามารถเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็งต่างชนิดกันได้ โดยแนวเชื่อมมีการประสานกันได้ดี ในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่บริเวณตรงกลางแนวเชื่อมที่ถูกกวน มีการเรียงตัวสลับกันของเนื้ออะลูมิเนียมผสมต่างชนิดกันเป็นรูปฟันปลาอย่างชัดเจน และไม่พบรูพรุนในเนื้อเชื่อม แต่กระบวนการเชื่อมทิกพบรูพรุนเกิดขึ้นในเนื้อเชื่อม เนื่องจากการเชื่อมทิกเป็นการเชื่อมแบบหลอมละลาย ในขณะที่เชื่อมไฮโดรเจนละลายอยู่ในเนื้อเชื่อมขณะที่โลหะกำลังหลอมละลายและติดอยู่เมื่อเนื้อเชื่อมแข็งตัวทำให้มีลักษณะเป็นรูพรุนเกิดขึ้นในเนื้อเชื่อม

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 และ SSM6061-T6 พบว่าอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 มีค่าความแข็งแรงดึง 243 MPa ซึ่งน้อยกว่าอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM6061-T6 ที่มีค่าความแข็งแรงดึง 260 MPa และจากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมจากทั้ง 2 กระบวนการเชื่อม พบว่าแนวเชื่อมเกิดการขาดของชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณเนื้อโลหะเดิมทางด้านอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ทางด้านอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 เนื่องจากความร้อนในการเชื่อมแบบหลอมละลายที่บริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ส่งผลต่อสมบัติแรงดึง (Jannet, Mathews & Raja, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึงของโลหะพื้นฐาน โดยอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM356-T6 มีค่าความแข็งแรงดึงน้อยกว่าอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง SSM6061-T6

จากการทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ พบว่าค่าความแข็งของทุกกระบวนการเชื่อมบริเวณตรงกลางแนวเชื่อมมีค่าสูงที่สุดและค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) จะมีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมจะมีบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ในกระบวนการเชื่อม ซึ่งการเชื่อมทิกความร้อนจากเปลวอาร์คทำให้บริเวณดังกล่าวกลายเป็นสภาพถูกอบอ่อนส่งผลให้เกิดการอ่อนตัวและบริเวณแนวเชื่อมมีค่าความแข็งมากกว่า (Muangjumburee, 2012) โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่าความแข็งเนื้อเชื่อมสูงที่สุดเนื่องจากผลของวัฏจักรทางความร้อนของวัสดุที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการตกตะกอนของเกรนที่มีความหยาบ (Colligan, Konkol, Fisher & Pickens, 2003; Boonchouytan, Chatthong, Rangwangwong & Burapa, 2013)



สรุป

การเชื่อมต่อนออะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็งต่างชนิดกันระหว่าง SSM356-T6 และ SSM6061-T6 ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการเชื่อมทิก ผลการวิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) โครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของทุกกระบวนการเชื่อมมีการประสานกันของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดได้ดี ในกระบวนการเชื่อมทิกมีการหลอมละลายของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดที่สมบูรณ์ โดยเฉพาะการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ดี อย่างไรก็ตามการเชื่อมทิกพบรูพรุนกระจายตัวอยู่ทั่วไป

2) ค่าความแข็งแรงดึงของกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่าสูงสุด คือ 168.3 MPa รองลงมา คือ กระบวนการเชื่อมทิก มีค่าความแข็งแรงดึง คือ 155.6 MPa

3) บริเวณตรงกลางแนวเชื่อมของทุกกระบวนการเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ และบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด โดยบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็ง SSM356-T6 มีค่าความแข็งแรงประมาณ 77 HV และบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมผสมหล่อทั้งแข็ง SSM6061-T6 มีค่าความแข็งแรงประมาณ 73.8 HV บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (WZ) ในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 74.9 HV และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ในกระบวนการเชื่อมทิกมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดประมาณ 52.5 HV

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ใช้อะลูมิเนียมหล่อผสมในการทดลอง ซึ่งอะลูมิเนียมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อะลูมิเนียมหล่อผสม (Cast Aluminium Alloys) และอะลูมิเนียมผสมใช้แรงขึ้นรูป (Wrought Aluminium Alloys) ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้สนใจสามารถทดลองกับอะลูมิเนียมผสมที่ใช้แรงขึ้นรูป เพื่อขยายขอบเขตขององค์ความรู้ต่อไป

รายการอ้างอิง (Reference)

- Bang, H., Bang, H., Song, H. & Joo, S. (2013). 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*, 51, 544-551.
- Benedyk, J. (2010). Aluminum alloys for lightweight automotive structures. *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 79-113.
- Bergant, Z. & Grum, J. (2014). Heat Treatment Effects of Laser Cladded 12 Ni Maraging Tool Steel with Ni-Co-Mo Alloys. *Journal of Heat Treatment and Materials*, 69(2), 114-123.
- Boonchouytan, W., Chatthong, J., Rangwangwong, S. & Burapa, R. (2013). Friction Stir Welding of Dissimilar Joint of Aluminum Semi-Solid Metal Between SSM356 and SSM6061. *The Journal of Industrial Technology*, 9(3), 47-62.
- Boonchouytan, W., Chatthong, J., Rawangwong, S. & Burapa, R. (2014). Effect of Heat Treatment T6 on the Friction Stir Welded SSM6061 Aluminum Alloys. *Energy Procedia*, 56, 172-180.



- Boonchouytan, W., Ratanawilai, T., Muangjunburee, P. & Tapasa, K. (2011). Friction Stir Welded of SSM Cast 356 Aluminium Alloys with T6 Heat Treatment. *KKU Engineering Journal*, 38(3), 219-232.
- Colligan, K. J., Konkol, P. J., Fisher, J. J. & Pickens, J. R. (2003). Friction stir welding demonstrated for combat vehicle construction. *Welding Journal*, 82(3), 1-6.
- Jannet, S., Mathews, P. & Raja, R. (2014). Comparative investigation of friction stir welding and fusion welding of 6061 T6-5083 O aluminum alloy based on mechanical properties and microstructure. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 62(4), 791-795.
- Mishra, R. S. & Ma, Z. Y. (2005). Friction stir welding and processsing (Vol. 50). *Materials Science and Engineering R: Reports*, 1-78.
- Muangjunburee, P. (2012). *WELDING ENGINEERING*. Songkhla: Educational Technology, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.
- Muangjunburee, P., Tehyo, M. & Tamjai, J. (2017). Effect of High Efficiency TIG Welding Process Using Active Gas on 304 Stainless Steel Weld Geometries. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 9(1), 112-125.
- Nandan, R., DebRoy, T. & Bhadeshia, H. (2008). Recent advances in friction-stir welding-Process, weldment structure and properties. *Progress in Materials Science*, 53(6), 980-1023.
- Podrzaj, P., Jerman, B. & Klobcar, D. (2015). Welding Defects at Friction Stir Welding. *Metalurgija*, 54(2), 387-389.
- Sirirak, W., Santhaweesuk, C., Onwong, J. & KraiKlang, R. (2016). Friction Stir Welding of Aluminum Alloys: A Review and Prospective for the Future. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 23(3), 64-82.
- Tehyo, M., Muangjunburee, P. & Chuchom, S. (2011). Friction stir welding of dissimilar joint between semi-solid metal 356 and AA6061-T651 by computerized numerical control machine. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33(4), 441-448.