

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061

Friction Stir Welding Aluminum Semi-Solid Metal 6061

วรพงศ์ บุญช่วยแทน* จักรนรินทร์ ฉัตรทอง

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างทางมหภาค จุลภาค และสมบัติทางกล ของแนวเชื่อมต่อชนที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 โดยใช้หัวกวนทรงกระบอก ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 2 ปัจจัย คือ ความเร็วหมุนเชื่อมของหัวกวนที่ 710, 1000 และ 1400 rpm และความเร็วเดินเชื่อมที่ 80, 112 และ 160 mm/min ซึ่งความเร็วหมุนเชื่อมของหัวกวน และความเร็วเดินเชื่อมมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างทางมหภาค จุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อม จากการทดลองพบว่าโครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณแนวเชื่อมมีความละเอียดกว่าเนื้อโลหะเดิม ด้านแอดวานซ์ซิงไซด์ และด้านรีทรีตติ้งไซด์ เกิดการบิดเบี้ยวของเกรนไม่เป็นรูปร่าง เนื่องจากการหมุนของหัวกวน ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ 166.57 MPa ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm ความเร็วเดินเชื่อมที่ 112 mm/min และที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อมที่ 112 mm/min จะทำให้มีค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ 63.1 HV

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 ประสิทธิภาพแนวเชื่อม

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of parameters on the macrostructure, the microstructure and the mechanical properties of friction stir welded butt joints of aluminum alloy sheets Semi-Solid Metal (SSM) 6061. The cylindrical pin was used as the welding tool geometry. The condition of friction stir welding were different tool rotation speed (710, 1000 and 1400 rpm) and welding speed (80, 112 and 160 mm/min). The rotation speed and welding speed significantly affected the structure and mechanical properties of the friction stir welding. The results showed that metallurgy structure of stirred zone was higher resolution than base metal. The advancing side and retreating side exhibited the distorted shape of the grain due to rotation speed. The tool rotation speed 1400 rpm and welding speed 112 mm/min provided the maximum tensile strength of 166.57 MPa, while the rotation speed 1000 rpm and welding speed 112 mm/min offered the maximum hardness of 63.1 HV.

Keywords : Friction Stir Welding, Aluminum Cast Semi Solid Metal 6061 (SSM 6061), Joint Efficiency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding; FSW) เป็นการเชื่อมโลหะในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) ที่คิดค้นโดยสถาบันการเชื่อมอังกฤษ (The Welding Institute; TWI) เพื่อเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมแบบด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย เช่น อะลูมิเนียมผสมเกรดต่าง ๆ มากมาย [1]-[3] กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ทำให้เกิดโครงสร้างของแนวเชื่อมที่มีเกรนเล็กละเอียด สามารถรับแรงได้สูง ซึ่งการเชื่อมแบบหลอมละลายไม่สามารถทำได้ [4] และจะมีความเหมาะสมมากสำหรับการเชื่อมโลหะที่ไม่ต้องการให้เกิดการหลอมเหลวขึ้น ตรงกับหลักการของการผลิตอะลูมิเนียมผสมหล่อแบบกึ่งของแข็ง เมื่อไม่นานมานี้ได้มีผู้ทำการทดลองเชื่อมต่อชนวัสดุอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง ซึ่งการเชื่อมดังกล่าวยังเป็นที่ยอมรับเฉพาะในวงการวิจัยเท่านั้น ยังไม่ได้นำออกอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากนัก อะลูมิเนียมที่นิยมนำมาเชื่อม เช่น SSM 356 A. Binraheem et. al, 2008 [5] ได้แสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบ ความเร็วเดินเชื่อม ความสมดุลของแรงกด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความร้อนจากการเสียดทาน มีผลต่อเนื้อโลหะ และสมบัติทางกลของรอยเชื่อม สอดคล้องกันกับ T. Kruepue and P.Muangjumburee, 2008 [6] บริเวณรอยเชื่อมมีลักษณะ โครงสร้างที่ละเอียดมากซึ่งมีผลมาจากความเร็วหมุน และความเร็วเดินเชื่อม ไปในทางเดียวกันกับ J.Naktewan, 2011 [7] บริเวณรอยเชื่อมมีลักษณะ โครงสร้างที่แตกหักมากซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาค $Al, Cu_2Fe, Mg_2Si, Al_2CuMg$ และ $Al_2Cu_3Zn_3$ ในอะลูมิเนียมแมทริกซ์กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ถูกกวน ซึ่งมีผลมาจากความเร็วหมุน และความเร็วเดินเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียดทานแบบของอะลูมิเนียมผสม ที่ได้จากกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง SSM 6061 ซึ่งเป็นวัสดุใหม่ เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่มาก และยังไม่ปรากฏหลักฐานในการทำวิจัยอีกด้วย

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง SSM 6061 ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ปัจจัยที่ศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ความเร็วหมุนเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อม โดยมุ่งเน้นผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางมหภาคจุลภาค และสมบัติทางกล (ความแข็ง และความแข็งแรง) ของวัสดุดังกล่าว

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 มีเครื่องมืออุปกรณ์ วัสดุ และตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

2.1 วัสดุและปัจจัยในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียมผสมที่หล่อด้วยกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง โดยการพ่นฟองแก๊สเฉื่อยในน้ำโลหะ (GISS) [8] SSM 6061 โดยมีส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก) แสดงดังตารางที่ 1 ชิ้นงานทดลองมีขนาดความหนา 4 mm ความยาว 100 mm และความกว้าง 50 mm (50x100x4 mm) แผ่นวัสดุทั้งสองถูกยึดประกอบเป็นรอยต่อชน และยึดแน่นบนอุปกรณ์ (Jig) ที่ถูกติดตั้งบนแท่นเครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Milling Machine) โดยที่ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของแนวเชื่อม

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี ของ SSM 6061

Elements	SSM 6061
Si	0.8
Fe	0.7
Cu	0.4
Mn	0.15
Mg	1.2
Zn	0.25
Ti	0.15
Cr	0.35
Al	Bal.
Tensile Strength (MPa)	164

ตัวกวนที่ใช้ทดลองเป็นทรงกระบอกที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKD 11 โดยมีขนาดความยาวหัวพิน 3.2 mm ความโต 5 mm และความโตหัว Shoulder 20 mm

โดยการทดลองครั้งนี้การเชื่อมจะถูกเชื่อมด้วยเครื่องกัดแนวตั้ง เอียงตัวกวน 3 องศา การทดลองการเชื่อมเสียดทานแบบกวน หัวพินหมุนกลงไปในเนื้อวัสดุจนเกิดการเสียดทาน เป็นระยะเวลา 30 วินาที

จากนั้นความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างผิวหัวพิน และบ่าของ Tool จะทำให้เกิดความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว และเกิดการเคลื่อนที่ไหลวนรอบ ๆ หัวพิน เดินเชื่อมตามความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดแนวเชื่อมก่อนยกหัวพินให้หัวพินหมุนการเสียดทานครั้งที่ ๓ ตำแหน่งสุดท้ายของการเชื่อมประมาณ 20 วินาที จากนั้นก็ยกหัวพินขึ้นจากชิ้นงาน

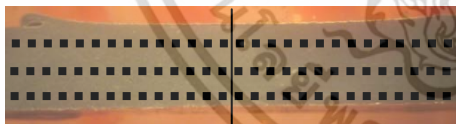
การกำหนดตัวแปรและระดับในการทดลอง ในการทดลองกำหนดให้มี 2 ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วหมุนเชื่อม (Rotation Speed) มี 3 ระดับ คือ 710, 1000, 1400 rpm และความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed) มี 3 ระดับ คือ 80, 112, 160 mm/min ซึ่งระดับของปัจจัยการทดลองเหล่านี้ได้อ้างอิงมาจาก การทดลองของ [9] และสอดคล้องกับความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

2.3 โครงสร้างทางโลหะวิทยา

ชิ้นทดสอบจะถูกตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม จากนั้นนำไปขัดด้วยกระดาษทราย และผ้าสักหลาด นำไปกัดกรด ด้วยสารละลายเจือจาง Keller's Reagent และนำไปดูโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.4 การทดสอบความแข็ง

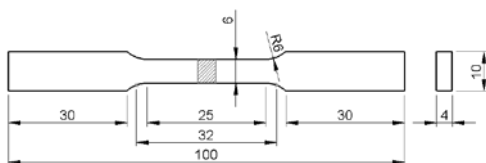
ชิ้นงานทดสอบความแข็งจะถูกตัดตามขวางของแนวเชื่อม การทดสอบจะใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ กดบริเวณพื้นที่หน้าตัด แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บริเวณพื้นที่หน้าตัดที่กดความแข็ง

2.5 การทดสอบความแข็งแรง

ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงจะถูกตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม รูปร่างของชิ้นทดสอบจะถูกแสดงดังรูปที่ 2 โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM-E8M



รูปที่ 2 ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM-E8M

3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

จากการทดลองซึ่งได้แก่ลักษณะแนวเชื่อมที่ได้จากการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลกระทบอื่นเนื่องมาจากความร้อนทางกล (Thermo) ไปเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขของการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อม ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงเป็นข้อๆ ดังนี้

3.1 ผลของโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ลักษณะผิวด้านบนของแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า มีลักษณะเรียบ และสะอาด ที่ความเร็วในการเดินเชื่อมต่ำ [10] อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมยังน้อยที่จะทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติก และที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1400 rpm) มีลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่ขรุขระ คล้ายเกล็ดปลา เป็นรอยที่เกิดจากบ่าของ Tool อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อยของด้าน Retreating Side อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการเคลื่อนตัวของเนื้ออะลูมิเนียมได้ สะดวกเคลื่อนออกจากบ่าของ Tool [11]



รูปที่ 3 ลักษณะผิวด้านบนของแนวเชื่อม

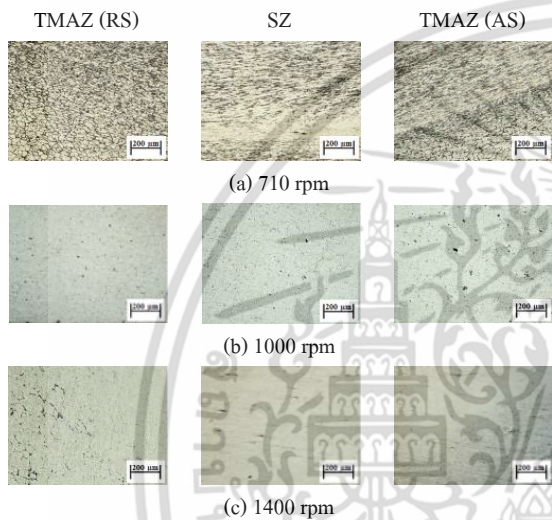
โครงสร้างทางมหภาคของแนวเชื่อม แสดงรูปที่ 4 พบว่า รอยเชื่อมมีลักษณะที่ประสานเข้าด้วยกันเป็นอย่างดีของทั้งสองชิ้น ความร้อนจะเกิดการสะสมในรอยเชื่อมอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการไหลวนรอบ ๆ ตัวกวน เมื่ออะลูมิเนียมเกิดการแข็งตัวโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมจะมีลักษณะภาพร่างการผสมกันของเนื้อโลหะทั้งสองข้าง เนื่องมาจากแรงกดและความร้อน ทำให้การไหลวนของเนื้ออะลูมิเนียมเป็นแบบเรียบ และมีทิศทางการไหลวนรอบตัวกวน รอยเชื่อมของความเร็วหมุนของหัวพินสูง มีลักษณะรอยเชื่อมที่กว้างกว่ารอยเชื่อมของความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ เนื่องมาจากความร้อนที่มากกว่าทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกหมุนวนเป็นบริเวณกว้างกว่าด้วยความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ [12]



รูปที่ 4 โครงสร้างทางมหภาคของแนวเชื่อม

โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (Stir Zone; SZ) จะมีความละเอียดมากกว่า เมื่อเทียบกับบริเวณที่ได้รับ

Mechanical Affected Zone; TMAZ) จะมีลักษณะเรียวยาว เนื่องจากผลจากการเสียรูปจากปฏิกิริยาทางกลที่ได้รับจากตัวกวน [13] เมื่อค่าความเร็วหมุนเชื่อมยิ่งเพิ่มขึ้น ความร้อนจากการเสียดทานและการไหลวนของเนื้อโลหะก็จะมีปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ลักษณะเกรนในบริเวณแนวกวนมีความละเอียดขึ้น [14]-[15] ดังนั้นอิทธิพลของความเร็วหมุนเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางโลหะวิทยาของแนวเชื่อม



รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค

3.2 ผลของค่าความแข็งแรง

ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม แสดงดังตารางที่ 2 แนวเชื่อมที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือ ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm และความเร็วเดินเชื่อม 112 mm/min มีประสิทธิภาพแนวเชื่อม 101.57% โดยที่ประสิทธิภาพแนวเชื่อมคำนวณได้จากสมการที่ 1 [16]

$$\text{Joint Efficiency} = \frac{\text{Tensile of Welding}}{\text{Tensile of Base Metal}} \quad (1)$$

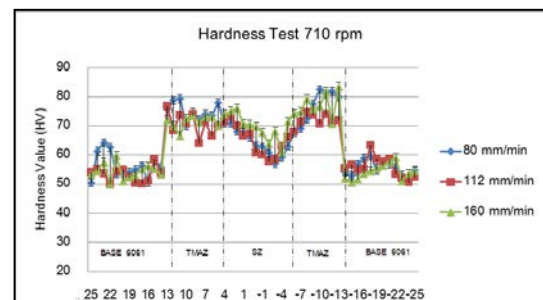
ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม

Rotation Speed	Welding Speed	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Joint Efficiency
710	80	163.40	130.72	2.50	99.63
	112	144.67	115.73	3.37	88.21
	160	144.63	115.71	2.52	88.19
1000	80	138.73	110.99	2.12	84.59
	112	149.20	119.36	2.90	90.98
	160	129.57	103.65	2.08	79.00
1400	80	163.17	130.53	5.84	99.49
	112	166.57	133.25	4.13	101.57
	160	125.10	100.08	2.09	76.28
Base SSM 6061		164.00	131.20	3.90	-

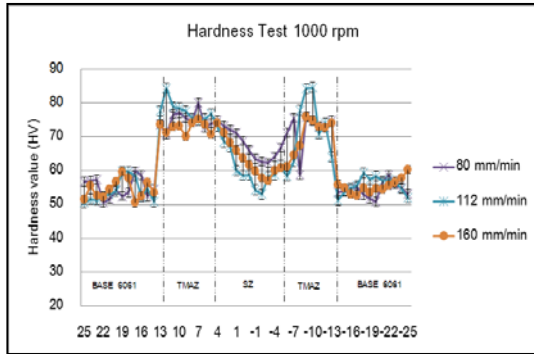
ผลการทดสอบความแข็งแรง ซึ่งงานทดสอบความแข็งแรงตามมาตรฐาน E8M ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ พบว่าค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม 166.57 MPa ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm และความเร็วเดินเชื่อม 112 mm/min พบว่า ยิ่งค่าความเร็วหมุนเชื่อมเพิ่มขึ้น ความร้อนจากการเสียดทานระหว่างตัวกวนกับเนื้อวัสดุจะมีมากขึ้น ทำให้การกระจายตัวและการประสานกันของเนื้อวัสดุมีความสมบูรณ์ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงจึงมีค่าสูงขึ้น [11] [9] [17]

3.3 ความแข็งของแนวเชื่อม

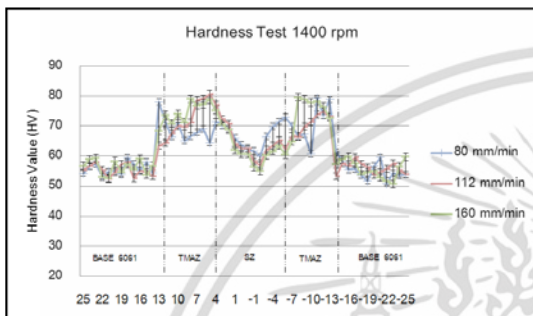
ค่าความแข็งของแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าการกระจายตัวของค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่บริเวณตรงกลางจะมีค่าต่ำสุดและจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล ของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม สาเหตุดังกล่าวจะมาจากผลของวัฏจักรทางความร้อนของวัสดุที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการตกตะกอนของเกรนที่มีความหยาบ [18] หลังจากบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกลในการกวนแล้ว ความแข็งของแนวเชื่อมจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงค่าความแข็งเดิมของเนื้อโลหะทั้งสองชนิด เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการกวน โดยค่าความแข็งดังกล่าวจะผันแปรไปตามแต่ละตัวแปรเชื่อม เหตุผลที่ทำให้โลหะมีการอ่อนตัวเป็นผลพวงมาจาก [19] เกิดการอัดตัวกันของโครงสร้างในบริเวณแนวกวนและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเชิงซ้อนของรูปร่างของเกรนลักษณะและการกระจายตัวของเฟสต่างๆ ในโครงสร้างจุลภาคของบริเวณที่ถูกกวน การกระจายตัวและความหนาแน่นของเนื้อวัสดุที่ลดลงทำให้มีการอ่อนตัวของเนื้อวัสดุส่งผลให้ค่าความแข็งลดน้อยลง



(a) 710 rpm



(b) 1000 rpm



(c) 1400 rpm

รูปที่ 6 ค่าความแข็งของแนวเชื่อม

ค่าความแข็งของบริเวณเนื้อโลหะเดิมของอะลูมิเนียมเกรด SSM 6061 ประมาณ 54.50 HV และค่าความแข็งของบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล (TMAZ) ของ SSM 6061 ประมาณ 74.3 HV ส่วนค่าความแข็งของความเร็วหมุนเชื่อม 710 rpm แสดงดังรูปที่ 7(a) ความแข็งเฉลี่ยที่ตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) ประมาณ 63.10 HV ค่าความแข็งของความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm แสดงดังรูปที่ 7(b) ความแข็งเฉลี่ยที่ตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) ประมาณ 66.10 HV และค่าความแข็งของความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm แสดงดังรูปที่ 7(c) ความแข็งเฉลี่ยที่ตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) ประมาณ 62.60 HV นอกจากนี้ค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 84.60 HV ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 112 mm/min และค่าความแข็งต่ำสุดที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 160 mm/min ประมาณ 75.90 HV

4. สรุปผลการวิจัย

กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง SSM 6061 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ไม่ว่าการฉีกใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างชื่อวารสารและชื่อผู้แต่ง

1) ลักษณะผิวด้านบนของแนวเชื่อมจะมีความเรียบและสม่ำเสมอ มีความผสมเข้ากันได้ดีของเนื้อโลหะ เกิดครีบลึกน้อยบริเวณแนวเชื่อมด้าน Retreating Side

2) โครงสร้างทางมหภาคของแนวเชื่อมมีการผสมกันของอะลูมิเนียมผสมทั้งสองด้าน ไม่มีข้อบกพร่องใดๆ เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม รอยเชื่อมมีลักษณะที่ประสานเข้าด้วยกันเป็นอย่างดีทั้งสองชั้น บริเวณรอยเชื่อมจะมีลักษณะภาพร่างคล้ายกับหัวหอมรีที่มีภาพแบบปรากฏชัดเจน

3) โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อม พบว่า บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) จะมีความละเอียดมากกว่า เมื่อเทียบกับเกรนที่บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal; BM) ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากความร้อนทางกล (TMAZ) จะมีลักษณะเรียวยาว บิดเบี้ยว ไม่เป็นรูปร่าง เนื่องจากปฏิกิริยาทางกลที่ได้รับจากตัวกวน

4) ผลการทดสอบสมบัติทางกล ค่าความแข็งแรง พบว่า ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม 166.57 MPa ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm ความเร็วเดินเชื่อมที่ 112 mm/min

5) ผลการทดสอบสมบัติทางกล ค่าความแข็ง พบว่า ค่าความแข็งของแนวเชื่อม 84.60 HV ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 112 mm/min

6) สมบัติทางกลของแนวเชื่อม ที่ความเร็วหมุนเชื่อมสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันที่ค่าความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ค่าความแข็งแรงจะมีค่าน้อยลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needham, M. G. Murch, P. Temple smith and C. J. Dawes, "Friction Stir Butt Welding," International Patent application, No. PCT/GB92/02203 and GB patent application, No. 9125978.8, 1991.

[2] W.M. Thomas and E.D. Nicholas, "Friction Stir Welding for the Transportation Industries,"

- Materials and Design, vol.18, pp.269-273, December, 1997.
- [3] O. T. Midling and E. J. Morley, "Friction Stir Welding," International patent application, No. PCT/NO95/00005, 1998.
- [4] R. S. Mishra and Z. Y. Ma, "Friction Stir Welding and Processing," Materials Science and Engineering, vol.50, pp.1-78, August, 2005.
- [5] A. Binraheem, N. Memongkol and P. Muangjunburee, "Investigation of Metallurgical and Mechanical properties of Joining of Semi Solid (SSM) A356 by Friction stir Welding process," IE Network Conference 2008, Songkhla, Thailand, pp.1111-1116, 8-9 May 2008.
- [6] T. Kruepue and P. Muangjunburee, "The Effect of Welding Speed and Tool Pin Profile on Metallurgical and Mechanical Properties of Joining of Semi-Solid (SSM) Aluminium Alloy A 356 by Friction Stir Welding Process (FSW)," IE Network Conference 2008, Songkhla, Thailand, pp.933-939, 8-9 May 2008.
- [7] J. Naktewan, "Friction Stir Welding of Semi Solid Cast 7075 Alloy," Thesis for the Degree of Master of Engineering in Material Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand, 2011.
- [8] R. Burapa, R. Canyook and J. Wannasin, "Development of the Gas Induced Semi-Solid Metal Processing for A356 Aluminum Alloy," Engineering Prince of Songkla University Conference 2006, Songkhla, Thailand, pp.549-554, 21-22 May 2006.
- [9] Y.G. Kim, H. Fujii, T. Tsumura, T. Komazaki and K. Nakata, "Three defect types in friction stir welding of aluminum die casting alloy," Materials Science and Engineering, vol.A415, pp.250-254, January, 2006.
- [10] Y.H. Zhao, S.B. Lin, W. Lin and F.X. Qu, "The influence of pin geometry on bonding and mechanical properties in friction stir weld 2014 Al alloy," Materials Letters, vol.59, pp.2948-2952, October, 2005.
- [11] Y.G. Kim, H. Fujii, T. Tsumura, T. Komazaki and K. Nakata, "Effect of Welding parameter on Microstructure in stir zone of FSW joints of Aluminum die casting alloy," Materials Letters, vol.60, pp.3830-3837, April, 2006.
- [12] Z.Y. Ma, S.R. Sharma and R.S. Mishra, "Effect of friction stir processing on the microstructure of cast A356 aluminum," Material Science and Engineering A, vol.433, pp.269-278, October, 2006.
- [13] O. Hatamleh and A. De Wald, "An investigation of the peening effects on the residual stresses in friction stir welded 2195 and 7075aluminum alloy joints," Journal of Materials Processing Technology, vol.209, pp.4822-4829, June, 2009.
- [14] P. Cavaliere, E. Cerri and A. Squillace, "Mechanical response of 2024 - 7075 aluminium alloys joined by Friction Stir Welding," Journal of Materials Science, vol.40, pp.3669-3676, 2005.
- [15] P. Cavaliere, A. De Santis, F. Panella and A. Squillace, "Effect of welding parameter on mechanical and microstructural properties of dissimilar AA 6082 - AA 2024 joints produced by friction stir welding," Materials and Design, vol.30, pp.609-616, March, 2009.
- [16] W. Boonchouytan, T. Ratanawilai, P. Muangjunburee and K. Tapasa, "Friction Stir Welded of SSM Cast 356 Aluminium Alloys with T6 Heat Treatment," KKU Engineering Journal, Vol.38, No.3, pp.219-232, July - September, 2011.
- [17] N. Shanmuga Sundaram and N. Murugan, "Tensile behavior of Dissimilar Friction-Stir-Welded joints of aluminium alloys," Materials and Design, vol.31, pp.4184-4193, October, 2010.
- [18] J. Colligan Kevin, J. Konkol Paul, Fisher James J. and R. Pickens Joseph, "Friction stir welding demonstrated for combat vehicle construction," Welding Journal, pp.1-6, 2003.
- [19] S.A. Khodir and T. Shidayanagi, "Friction stir welding of dissimilar AA2024 and AA7075 aluminum alloys," Materials Science and Engineering, vol.B148, pp.82-87, February, 2008.