

สมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมแบบต่อชนอะลูมิเนียมผสม 6061-T6 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

Mechanical Properties of Butt-Joint Welded Aluminum Alloy 6061-T6 Prepared by Friction Stir Welding

สุขแก้ว คำเมืองสา¹, จิราพันธ์ ธรรมชนิเพชร², นรินทร์ สิริกุลรัตน์³

Sookkaew Khammuangsa¹, Jirapan Dutchanephet², Narin Sirikulrat³

¹ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์ 053-943445

¹Department of Physics & Materials Science, Faculty of Science, Chiangmai University, Muang, Chiangmai 50200

E-mail address: sook_k@windowslive.com

²Department of Physics & Materials Science, Faculty of Science, Chiangmai University, Muang, Chiangmai 50200

E-mail address: jieeb_jira@hotmail.com

³Department of Physics & Materials Science, Faculty of Science, Chiangmai University, Muang, Chiangmai 50200

E-mail address: scphi003@chiangmai.ac.th

บทคัดย่อ

นำอะลูมิเนียมผสม 6061-T6 ที่ขึ้นรูปโดยการรีดเป็นแผ่นหนา 6 มิลลิเมตร ไปเชื่อมเสียดทานแบบกวน โดยใช้สลักแกนหมุนกวนสอง แบบในการเชื่อม คือแบบทรงกระบอกผิวเกลียวปลายตัดและแบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายมน ขึ้นตัวอย่างที่เชื่อมแล้วถูกนำไปทดสอบแรงดึงและความแข็งของรอยเชื่อม ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วในการเชื่อมที่เหมาะสมคือ 600 ม.ม./นาที และ 750 ม.ม./นาที สำหรับสลักแกนหมุนกวนแบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายมน ค่าแรงดึงสูงสุดคือ 238 เมกะปาสกาล และ 249 เมกะปาสกาล การยืดตัวมีค่าประมาณ 7.5 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์สำหรับตัวอย่างที่เตรียมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายมน ความแข็งแรงสูงสุดของรอยเชื่อมมีค่าประมาณ 84.40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชิ้นงานเดิมที่ไม่ผ่านการเชื่อม ความแข็งที่ทดสอบผ่านรอยเชื่อมโดยใช้เครื่องวิกเกอร์สไมโครฮาร์ดเนส มีค่าอยู่ในช่วง 72 ถึง 119 วิเอชเอ็น และบริเวณที่อ่อนที่สุดอยู่ที่บริเวณกลางรอยเชื่อม

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทาน, การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, สลักแกนหมุนกวน, การเชื่อมอะลูมิเนียม, AA 6061

Abstract

Aluminum alloy 6061-T6 rolled plate with a thickness of 6 mm was used for butt joint friction stir welding. Two types stir axles were employed for welding, the straight end threaded surface axle (SETSA) and sphere end smooth surface axle (SESSA). The tensile strength and hardness through the welded joints were investigated. Results from the experiments found that the optimum traveling speed was 600 rpm and 750 rpm for

SESSA. The highest tensile strength of 238 MPa and 249 MPa and elongation of about 7.5% and 10.0% were observed for the specimens prepared by using SESSA respectively. The welded joint strength was found to be about 84.40% of that unwelded parent plate. The Vickers microhardness through welded joint was found to vary 72-119 VHN and the weakest area was found in the middle area of the joint.

Keywords: Friction welding, Friction stir welding, FSW, Cylindrical Tool Pressure, Aluminum welding, AA6061

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน^[1-2] (Friction Stir Welding Process : FSW) เป็นเทคนิคใหม่ที่คิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1991 โดยสถาบันวิจัยเทคโนโลยี ของอังกฤษ (The Welding Institute: TWI) เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ และเริ่มมีการนำผลิตภัณฑ์ที่เชื่อมด้วยเทคนิคนี้ เข้าในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1998 โดย บริษัท โบอิง (The Boeing Company) การเชื่อมอะลูมิเนียม แต่เดิมนั้นใช้กระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย(Fusion Weld) จากสมบัติการนำสภาพความร้อนที่ดี จึงใช้พลังงานความร้อนในการเชื่อมที่อุณหภูมิสูงกว่า 660 C⁰ และความร้อนจากการหลอมละลาย ยังมีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในโครงสร้างจุลภาคของวัสดุบริเวณรอยเชื่อม(Heat Affected Zone: HAZ) เกิดปัญหาโครงสร้างในรอยเชื่อมอ่อนตัว^[3] ส่วนเทคนิคการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน นั้นใช้พลังงานความร้อนในการเชื่อม ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลาย ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานทำให้วัสดุอ่อนตัว อยู่ในช่วงสภาวะพลาสติก จึงไม่ก่อให้เกิดครีส์และควันพิชี่ที่จะแพร่ออกมาจากการ



หลอมละลายวัสดุ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบในทางตรงต่อการเกิดภาวะโลกร้อนอันเป็นปัญหาสาธารณสุขในปัจจุบัน

ปัจจุบัน ยังไม่พบว่ามีการใช้เทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบกวนกับอะลูมิเนียมผสม 6061-T6 (อะลูมิเนียม-แมกนีเซียม-ซิลิกอน)^[4] ในภาคอุตสาหกรรม และในฐานะข้อมูลอ้างอิงยังไม่พบว่ามีการศึกษาวิจัยอะลูมิเนียมผสมเกรดนี้ในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้จึงได้สนใจนำประเด็นนี้มาเป็นปัญหา ในการศึกษาวิจัยโดยการพัฒนาประยุกต์ใช้ เครื่องกัดโลหะแบบแกนต์ตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติ ในการศึกษาค้นคว้า ถึงสมบัติเชิงกลในรอยเชื่อม จากตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมด้วยการต่อชน(Butt-Joint)^[5] เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหางานเชื่อมอะลูมิเนียมผสม ด้วยการเสียดทานแบบกวนที่มีแนวโน้มจะนำมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ในอนาคตเพิ่มขึ้น ประกอบกับในปัจจุบัน ยังมีข้อมูลอ้างอิงในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมด้วยเทคนิคนี้ค่อนข้างน้อย จึงมีความน่าสนใจและเหมาะสมที่จะใช้เป็นกรณีศึกษา เพื่อผลักดันให้การเชื่อมเสียดทานแบบกวน ใช้งานได้ในอนาคต ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นการเพิ่มฐานข้อมูลอ้างอิง การพัฒนาเทคโนโลยีเทคนิคการเชื่อมวัสดุอะลูมิเนียมผสมในประเทศไทยให้สามารถพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืนได้ต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

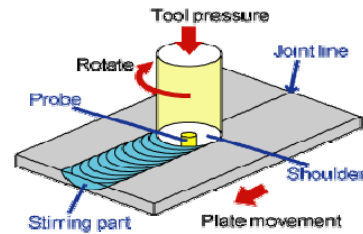
2.1 เพื่อพัฒนาประยุกต์ใช้เครื่องกัดโลหะแกนต์ตั้ง ระบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของรอยเชื่อมแบบต่อชน ด้วยหัวกดเชื่อมสองแบบ ที่ใช้ตัวแปรความเร็วรอบและความเร็วในการเชื่อม

2.3 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล ในรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนของวัสดุอะลูมิเนียมผสม เกรด6061-T6

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน^[6-7] จัดอยู่ในกลุ่มการเชื่อมด้วยแรงดัน เป็นการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) ที่ไม่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอกในการหลอมละลายชิ้นงาน แต่จะอาศัยการเสียดสีจากพลังงานกลให้เกิดความร้อนขึ้น การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (แสดงตามรูปที่1) มีลักษณะการสร้างแรงเสียดทาน โดยชิ้นงานจะถูกยึดอยู่กับที่อย่างมั่นคง การเสียดสีเกิดจากการหมุนของหัวกดเชื่อม (Tool Pressure) เมื่อบริเวณที่เสียดสีกันเกิดความร้อนขึ้น จนถึงสถานะพลาสติก (Plastic State) สลักแกนหมุนกวน (Pin) ที่ติดอยู่ส่วนปลายของหัวกดเชื่อม จะหมุนกวนให้เนื้อโลหะประสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยกำหนดให้ชิ้นงานที่ถูกกวนเนื้อออกไป อยู่ด้านขามมือ (Retreating Side: R) เมื่อเทียบกับทิศทางการหมุนเชื่อมตามเข็มนาฬิกา (clockwise) และชิ้นงานที่ถูกกวนเนื้อวัสดุเข้ามาเดิมอยู่ด้านขามมือ (Advancing Side: A) ของรอยเชื่อม ซึ่งวัสดุโลหะที่สามารถนำมาเชื่อมต่อกันอาจเป็นทั้งวัสดุชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันก็สามารถประสานติดกันได้^[8]



รูปที่ 1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวน FSW^[9]

ความร้อนจากการเสียดทาน (Friction)^[10] เกิดขึ้นจากรวด้านทานผิวสัมผัสของวัสดุเสียดสีกัน ระหว่างหัวกดเชื่อม (เหล็กเครื่องมือ) และชิ้นงานตัวอย่าง(แผ่นอะลูมิเนียมผสม) จึงเกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณรอยต่อเชื่อม ซึ่งปริมาณความร้อนจะเกิดขึ้นสองชั้นคอนด้วยกันคือ

ชั้นคอนแรกความร้อนที่เกิดขึ้น ในขณะที่หัวกดเชื่อมแทรกตัวเข้าไปในเนื้อโลหะงาน (Sticking) จนทำให้ความร้อนสัมผัสเสียดสีกับผิวชิ้นงาน ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่(1)

ชั้นคอนที่สอง ความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อหัวกดเชื่อมเคลื่อนที่ให้เกิดรอยเชื่อม (Sliding) ซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องจากชั้นคอนแรก ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่(2)

$$Q_{total} = \frac{2}{3} \pi P \mu \omega (R_{shoulder}^3 - R_{pin}^3) \quad (1)$$

$$Q_{total} = \frac{2}{3} \pi \tau \omega (R_{shoulder}^3 - R_{pin}^3) \quad (2)$$

โดยที่ Q_{total} คือค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดทาน P คือแรงกดดันของหัวกดเชื่อมลงบนวัสดุงาน μ คือแรงเสียดทานระหว่างหัวกดเชื่อม(เหล็กกล้า)และวัสดุงาน(อะลูมิเนียมผสม) τ คือแรงบิดของหัวกดเชื่อม ω คือความเร็วเชิงมุมของหัวกดเชื่อม $R_{shoulder}$ คือรัศมีของบ่าให้ความร้อน และ R_{pin} คือรัศมีของสลักแกนหมุนกวน

ข้อดีโดยทั่วไปของเทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบกวนคือ ไม่เกิดการเสียดทานจากการเชื่อม ไม่ใช้ลวดเชื่อมเดิมในระหว่างเชื่อม ไม่ต้องใช้ก๊าซคลุมระหว่างทำการเชื่อม ไม่เกิดการอาร์คจึงไม่มีควันและรังสีใดๆ ฟิล์มออกไซด์บนผิวงานเชื่อมไม่เป็นอุป

สรรคต่อการเชื่อม ภายหลังจากเชื่อมไม่ต้องมีการตกแต่งผิวรอยเชื่อม และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง

ส่วนข้อเสียหรือข้อจำกัด คือ การลงทุนเครื่องจักรมีราคาสูง ต้องใช้อุปกรณ์จับยึดที่มีลักษณะเฉพาะชิ้นงานนั้นๆ ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่ซับซ้อนหรือรอยต่อแบบฟิลเลท (Fillet Welds) ชิ้นงานต้องมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่จับยึดของเครื่องจักรที่จะทำการเชื่อม และจะเกิดรูที่ปลายรอยเชื่อมหลังจากสิ้นสุดการเชื่อมเสมอ

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมการทดลอง เริ่มต้นด้วยการกำหนดเงื่อนไขการทดลองวิจัยจากค่าตัวแปรลักษณะหัวกดเชื่อม ด้วยความเร็วรอบหัวกดเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม(แสดงตามตารางที่1) ตัดชิ้นทดสอบวัสดุอะลูมิเนียมผสมเกรด6061-T6 ความหนา 6 ม.ม. ความกว้าง 76 ม.ม. และมีความยาว 200 ม.ม. จำนวน 36 การทดลอง โดยมีสัญลักษณ์ ความหมายของรหัสชิ้นงานดังนี้

- R** หมายถึง หัวกดเชื่อมแบบผิวเรียบปลายมน
- T** หมายถึง หัวกดเชื่อมแบบผิวเกลียวปลายตัด
- L** หมายถึง ความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 950 รอบ/นาที
- H** หมายถึง ความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 1,180 รอบ/นาที

ตัวอย่างการแปลความหมายรหัสชิ้นงาน

R-L475 หมายถึง งานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบผิวเรียบปลายมนใช้ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที มีความเร็วในการเชื่อม 475 ม.ม./นาที

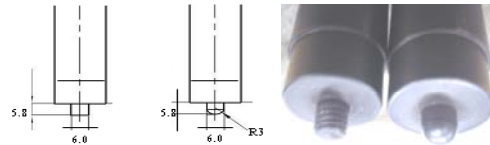
ตารางที่ 1 กำหนดเงื่อนไขการทดลอง

ความเร็วเชื่อม (mm/min)	สลักแถมมุมเหลี่ยมผิวเรียบปลายโค้งมน			สลักแถมมุมเหลี่ยมผิวเกลียวปลายตัด		
	ความเร็วรอบ 950 (rpm/min)	ความเร็วรอบ 1180 (rpm/min)	ความเร็วรอบ 950 (rpm/min)	ความเร็วรอบ 1180 (rpm/min)	ความเร็วรอบ 950 (rpm/min)	ความเร็วรอบ 1180 (rpm/min)
475	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
600	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
750	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3

หมายเหตุ: 1-3 หมายถึงลำดับที่ทำการทดลอง

สร้างหัวกดเชื่อม ด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น^[11-12] D2 ตามมาตรฐานของสมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งอเมริกา (The American Iron and Steel Institute: AISI) กำหนดขนาดบ่าให้ความร้อน(Shoulder) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ม.ม. สลักแถมมุมกาน(Pin Tool) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 ม.ม. ยาว 5.7 ม.ม. โดย

มีความแตกต่างกันสองแบบ คือแบบทรงกระบอกผิวเกลียว M6×0.8 ม.ม. และแบบทรงกระบอกผิวเรียบปลายโค้งมน (แสดงตามรูปที่2) หลังการขึ้นรูปนำหัวกดเชื่อมไปปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนด้วยวิธีพิเศษด้วยเตาศูญญากาศ (Vacuum Heat Treatment) และหลังการอบชุบก่อนการใช้งาน ทำการอบคืนไฟสองครั้งได้ ค่าความแข็งที่ 61±2 HRC



รูปที่ 2 ลักษณะหัวกดเชื่อมสองแบบ

4.2 การเชื่อมทดสอบตัวอย่าง ทดลองเชื่อมแผ่นอะลูมิเนียมผสม หนา 6 ม.ม. โดยการพัฒนาประยุกต์เครื่องกัดโลหะแกนตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติ (Milling Machine) ที่สร้างอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานเชื่อมแบบรอยต่อชน (แสดงตามรูปที่3) ด้วยสลักแถมมุมกานทรงกระบอกแบบผิวเรียบและแบบผิวเกลียว ทำมุมเอียง 2.5 องศา (α2.5°) หมุนด้วยความเร็วรอบ (Rotational Speed) 950 และ 1,180 รอบ/นาที ซึ่งแต่ละความเร็วรอบของสลักแถมมุมกานทั้งสองแบบ ใช้ความเร็วในการเชื่อม(Welding Speed) ที่ระดับ 475 600 และ 750 ม.ม./นาที



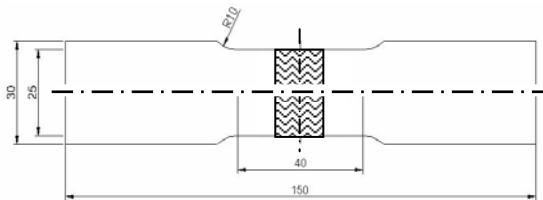
รูปที่ 3 เครื่องมือกัดโลหะแกนตั้งและการเชื่อมชิ้นงานแบบต่อชน

4.3 ทดสอบสมบัติเชิงกลรอยเชื่อม นำชิ้นทดลองที่ได้ตามเงื่อนไขต่างๆ มาทำการศึกษาสมบัติเชิงกลในรอยเชื่อม ในเบื้องต้น จะทำการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมวัสดุด้วยสายตา เพื่อตรวจสอบหารอยแตกร้าว คุณภาพของผิวรอยเชื่อม จากนั้นนำชิ้นงานมาตัดแบ่งออกเป็นส่วนๆ สำหรับการศึกษาศักยภาพด้วยวิธีอื่นๆ (แสดงตามรูปที่4) ซึ่งผลการศึกษาคงสอดคล้องกันเป็นลำดับขั้นตอน ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบด้วยสายตาแบบไม่ทำลาย ในระดับมหภาค (Macro Structure) จึงจะนำไปเตรียมเป็นชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึง และวัดค่าความแข็งในรอยเชื่อม

	Hardness Test			Hardness Test			Hardness Test	
	Macro Structure	Tensile Test	Root Bending Test	Macro Structure	Tensile Test	Tensile Test	Macro Structure	Discard
25	10	30	30	10	30	30	10	25

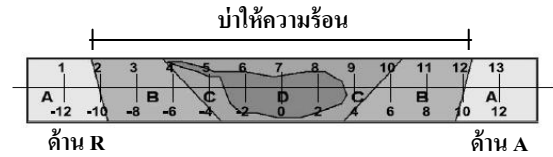
รูปที่ 4 การตัดแบ่งชิ้นงานเตรียมชิ้นทดสอบ^[2]

ทดสอบแรงดึงโดยการเตรียมชิ้นทดสอบ ด้วยเครื่องกัดโลหะ ให้มีขนาดตามมาตรฐาน D1.2^[13] (American Welding Society: AWS) สำหรับงานเชื่อมอะลูมิเนียมแบบแผ่นหนาไม่เกิน 25 มม. มีระยะ Gauge length 40 มม. มีความกว้าง 25 มม. รัศมีขอบข้างไม่น้อยกว่า 10 มม. ความกว้างสำหรับปากจับ 30 มม. (5+25+5) ส่วนความยาวสำหรับปากจับ ได้กำหนดตามความเหมาะสมกับเครื่องมือทดสอบยี่ห้อ HUNG TA รุ่น HT-8339 ในที่นี้ให้ความยาวเท่ากับ 150 มม.(แสดงตามรูปที่5) ซึ่งเป็นความกว้างของชิ้นสอบงานเชื่อม จำนวนสามตัวอย่างต่อหนึ่งเงื่อนไขทดลอง โดยใช้มาตรฐานความเร็วในการดึงทดสอบ 1 มม./นาที



รูปที่ 5 ชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน D1.2

ทดสอบค่าความแข็งในรอยเชื่อม โดยการทดสอบวิธีแบบไมโครวิกเกอร์ส^[14] ที่มีลักษณะหัวกดแบบเพชรทรงพีระมิด ด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งยี่ห้อ STARTEC รุ่น SMV-1000 (Digital Microhardness Tester) ใช้แรงกด 0.2 กิโลกรัมแรงใช้เวลากดวัดนาน 10 วินาที (Low -force hardness test) วัดรอยกดและคำนวณค่าความแข็งที่มีหน่วย HV0.2/10 บริเวณภาคตัดรอยเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการเชื่อม ในแนวกึ่งกลางของความหนาชิ้นทดสอบ(แสดงตามรูปที่6) จำนวน 13 จุดกด นับจากจุดกึ่งกลางของรอยเชื่อมไปทางด้านขวา(Retreating Side: R) จำนวนหกจุดและด้านซ้าย(Advancing Side: A) จำนวนหกจุดระยะห่างจากศูนย์กลางหลุมกดถึงหลุมกดเท่ากับสองมิลลิเมตร จำนวนจุดกดสามครั้งและคำนวณหาค่าความแข็งเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งกด



รูปที่ 6 จุดกดทดสอบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม^[2]

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานวิจัยตามเงื่อนไขการทดลอง ได้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลในรอยเชื่อมดังนี้

5.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ได้ผลค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมแต่ละเงื่อนไขตามตารางที่ 2 พบว่าสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมน ให้แรงดึงสูงสุดที่ 150 ถึง 249 MPa การยึดตัว 3.75 ถึง 10.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียวพบว่าให้แรงดึงสูงสุดที่ 188 ถึง 254 MPa การยึดตัว 5.00 ถึง 11.25 เปอร์เซ็นต์

5.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในรอยเชื่อม โดยการเปรียบเทียบกับความแข็งแรงวัสดุเดิม(Base Material) ได้ผลตามตารางที่ 3 พบว่ารอยเชื่อมสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมนมีประสิทธิภาพ 50.80 ถึง 84.40 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการยึดตัว 21.40 ถึง 57.10 เปอร์เซ็นต์ สลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียวปลายตัดพบว่ามีประสิทธิภาพ 63.70 ถึง 86.10 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพ การยึดตัว 28.60 ถึง 64.30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงในรอยเชื่อม

Specimen	Yield strength	Ultimate strength	Elongation
	(Mpa.)	(Mpa.)	(%)
6061-T6	294	295	17.50
R-L475	214	214	10.00
R-L600	233	240	5.00
R-L750	228	238	10.00
R-H475	150	150	3.75
R-H600	233	243	10.00
R-H750	241	249	7.50
T-L475	226	236	6.25
T-L600	205	210	5.00
T-L750	243	254	11.25
T-H475	195	209	5.00
T-H600	188	188	5.00
T-H750	202	214	8.75

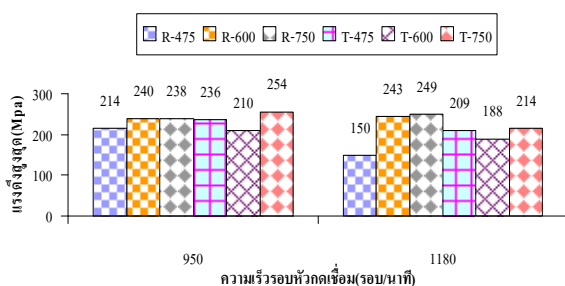
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยเชื่อม

รหัสชิ้นทดสอบ	แรงดึงสูงสุด (Mpa)	ประสิทธิภาพ (%)	การยืดตัว (%)	ประสิทธิภาพ (%)
6061-T6	295	100	17.50	100
R-L475	214	72.50	10.00	57.10
R-L600	240	81.40	5.00	28.60
R-L750	238	80.70	10.00	57.10
R-H475	150	50.80	3.75	21.40
R-H600	243	82.40	10.00	57.10
R-H750	249	84.40	7.50	42.90
T-L475	236	80.00	6.25	35.70
T-L600	210	71.20	5.00	28.60
T-L750	254	86.10	11.25	64.30
T-H475	209	70.80	5.00	28.60
T-H600	188	63.70	5.00	28.60
T-H750	214	72.50	8.75	50.00

5.3 การเปรียบเทียบผลด้วยความเร็วรอบหัวกดเชื่อม จาก

กราฟเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงในรอยเชื่อมกับความเร็วรอบหมุนหัวกดเชื่อม (แสดงตามรูปที่7) พบว่าที่ความเร็วหมุนหัวกดเชื่อม(Rotational Speed) 950 รอบ/นาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ 232 MPa และมีความแข็งแรงของรอยเชื่อมแปรปรวนใกล้เคียงกันเท่ากับ 16.78

ส่วนความเร็วหมุนหัวกดเชื่อม 1,180 รอบ/นาที พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ 208.83 MPa และมีค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมแปรปรวนแตกต่างกันมากเท่ากับ 36.61



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร็วรอบ

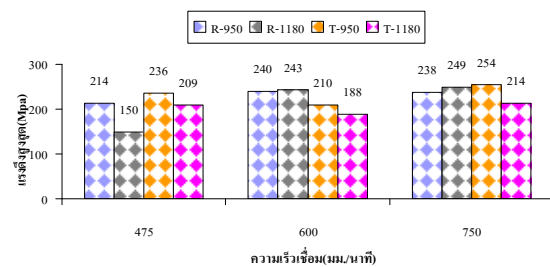
5.4 ผลการเปรียบเทียบด้วยความเร็วในการเชื่อม จาก กราฟ

เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึง ในรอยเชื่อมกับความเร็วการเชื่อม(Welding Speed) สามระดับคือ 475 600 และ750 ม.ม./นาที (แสดงตามรูปที่8) พบว่า ที่ความเร็วการเชื่อม 475 ม.ม./นาที ความเร็วรอบ 950รอบ/นาที หัวกดเชื่อมแบบผิวเกลียวให้ความ

ต้านทานแรงดึงได้สูงที่ 236 MPa แต่คุณภาพผิวและความสมบูรณ์ผิวรอยเชื่อมไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

ที่ความเร็วเชื่อมการเชื่อม 600 ม.ม./นาที พบว่า หัวกดเชื่อมแบบผิวเรียบปลายมนความเร็วรอบ 950 และ1,180รอบ/นาที ให้ความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกันที่ 240 และ243 MPa ส่วนคุณภาพความสมบูรณ์ของผิวรอยเชื่อมเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

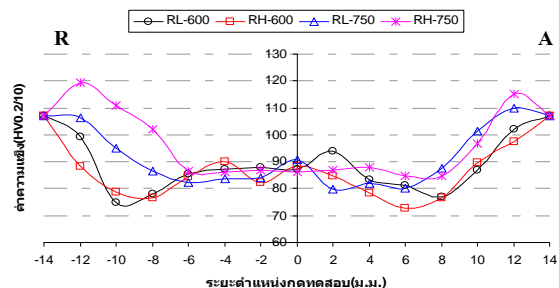
ที่ความเร็วเชื่อมการเชื่อม 750 ม.ม./นาที พบว่า ให้ความต้านทานแรงดึงสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่หัวกดเชื่อมแบบผิวเรียบปลายมนคุณภาพความสมบูรณ์ของผิวรอยเชื่อมมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร็วเชื่อม

5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งในรอยเชื่อม

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมพบว่าสลักแกนหมุนกานแบบผิวเรียบปลายโค้งมน ที่ความเร็วรอบ 950 และ1,180 รอบ/นาที ความเร็วในการเชื่อม 600 และ 750 ม.ม./นาที มีความเป็นไปได้กับการประยุกต์ใช้เครื่องมือ โดยให้คุณภาพของผิวรอยเชื่อมที่มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้งานได้จริง เมื่อนำผลการตรวจวัดค่าความแข็งในรอยเชื่อม ด้วยวิธีไมโครวิกเกอร์สมาทำการเปรียบเทียบด้วยกราฟ(แสดงตามรูปที่9) พบว่าค่าความแข็งต่ำกว่าวัสดุเดิมเกิดขึ้นห่างจากกึ่งกลางรอยเชื่อมประมาณ 3 ถึง 4 ม.ม. ความแข็งต่ำสุดเท่ากับ 72.59 HV0.2/10 และมีค่าสูงกว่าวัสดุเดิมเกิดขึ้นห่างจากกึ่งกลางรอยเชื่อมประมาณ 12 ม.ม. ความแข็งสูงสุดเท่ากับ 119.4 HV0.2/10



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิจัย โดยพัฒนาเครื่องกัดโลหะแกนตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับเชื่อมอะลูมิเนียม 6061-T6 ด้วยเทคนิคการเลียดทานแบบกวนสามารถสรุปผลได้ดังนี้

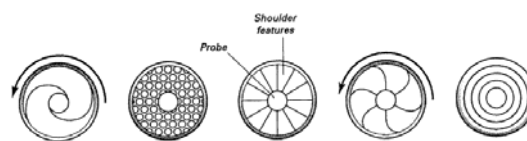
6.1 สลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมน มีผลต่อการทำให้ผิวรอยเชื่อมมีคุณภาพสมบูรณ์ดีกว่า เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเครื่องกัดโลหะนี้ สำหรับเชื่อมอะลูมิเนียม 6061-T6 ที่ความเร็วเชื่อม 600 และ 750 ม.ม./นาที ความเร็วรอบหัวกดเชื่อมมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงไม่มากนัก ส่วนสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียว มีแนวโน้มที่จะให้คุณภาพผิวรอยเชื่อม และค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบหัวกดเชื่อมต่ำลงที่ 950 รอบ/นาที และอัตราเร็วการเชื่อมช้าลงที่ 475 ม.ม./นาที

6.2 สมบัติเชิงกลและคุณภาพความสมบูรณ์ของผิวรอยเชื่อม สรุปได้ว่าการใช้ความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 1,180 รอบ/นาที ที่ความเร็วในการเชื่อม 600 ม.ม./นาที มีค่าการต้านทานแรงดึงในรอยเชื่อมสูงสุด 243 MPa โดยที่วัสดุเดิมมีความแข็งแรงดึงสูงสุด 295 MPa ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพรอยเชื่อมได้ 82.40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการยืดตัว 57.10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมมีค่าระหว่าง 72.59 ถึง 94.09 HV0.2/10 ลดลงจากเดิมประมาณ 20 HV 0.2/10 โดยมีความกว้างเท่ากับขนาดความโตของบ่าให้ความร้อนจากนั้นอีก 2 มม. ความแข็งจะเพิ่มขึ้น และคงที่เท่ากับวัสดุเดิมที่ 107.5 HV0.2/10 โดยให้คุณภาพของผิวรอยเชื่อมที่ดีและเหมาะสมกว่า

6.3 ข้อเสนอแนะ จากผลการศึกษาวิจัยการพัฒนาเครื่องกัดโลหะแกนตั้งระบบกึ่งอัตโนมัติ สำหรับเชื่อมอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6 เห็นว่าควรมีการศึกษาวิจัยในอีกสองกรณี คือ

กรณีที่หนึ่ง ควรมีการศึกษาถึงโครงสร้างและสมบัติเชิงกลในรอยเชื่อมด้วยขบวนการทางความร้อน ภายหลังจากการเชื่อม เพื่อให้ทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อม โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของรอยเชื่อม (Elongation)

กรณีที่สอง ควรมีการศึกษาถึงลักษณะบ่าให้ความร้อนของหัวกดเชื่อม (แสดงตามรูปที่ 10) เพื่อพัฒนาการเชื่อมด้วยสลักแกนหมุนแบบผิวเกลียวที่ความเร็วรอบ 950 รอบ/นาที และสลักแกนหมุนแบบผิวเรียบที่ความเร็วรอบ 1,180 รอบ/นาที ที่เชื่อมด้วยความเร็ว 750 ม.ม./นาที ที่ให้ความแข็งแรงสูงแต่คุณภาพผิวรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐานในการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการหารูปแบบบ่าให้ความร้อนที่เหมาะสม ในการเชื่อมด้วยการเลียดทานแบบหมุนกวน กับอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 10 ตัวอย่างลักษณะผิวของบ่าให้ความร้อนแบบต่างๆ^[7]

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษา จากกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ทุนสนับสนุนบางส่วนจาก คณะวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Emple Smith, P., and Dawes, C.J.. 1991. Friction-stir butt welding. GB Patent No. 912597. 8, International patent application No. PCT/GB92/02203.
- [2] บรรเจิด ดอนเนตรงาม. 2550. อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนแบบหัวโค้งของการเชื่อมอะลูมิเนียม AA6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเลียดทานหมุนกวน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] นิพันธ์ ศิริศักดิ์. 2536. ปัญหาในการเชื่อมอะลูมิเนียม. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยพัฒนาและตรวจสอบงานเชื่อม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีพระนครเหนือ.
- [4] วิลเลียมส์ ดี., คาลิสเตอร์ เจ.อาร์.. วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน. 2548. แปลจาก Materials Science and Engineering โดย สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ และคณะ. กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- [5] แบบรอยต่องานเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.frictionstirlink.com/desc.html>. [9 พฤษภาคม 2554].



- [6] อนัน พรหมสิทธิบุตร. 2546. การพัฒนาเทคนิคการเชื่อมแบบเสียดทานสำหรับเชื่อมท่อโลหะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [7] Rajiv, S. Mishra, Murray. and W. Mahoney. Friction stir welding and processing/editors. USA : ASM International, 2007.
- [8] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. บุญส่ง จงกลณี. และสมควร แววดี. 2551. อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI1015. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551. สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 555-560.
- [9] What is Friction Stir Welding (FSW). [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.m-osaka.com/fsw/en/fsw/about_fsw.html. [6 พฤษภาคม 2554].
- [10] Frigaard, O., Grong, O., and Midling, OT. 2001. A process model for friction-stir welding of age hardening aluminum alloys. Metallurgical and Material Transactions. 32A(5) : 1189-1200.
- [11] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. 2551. ข้อมูลด้านเทคนิค. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.isit.or.th/techinfoview.asp?link=/object/1000000/ToolSteels.htm&ContentID=1011&CatID=100000>. [1 พฤษภาคม 2554].
- [12] บริษัท ศรีเพชรสตีลอิมพอร์ต เอ็กซ์พอร์ต จำกัด. เหล็กทำแม่พิมพ์และเครื่องมือ. [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.sripetch.com/default.asp>. [4 พฤษภาคม 2554].
- [13] ชูชาติ ดั่งสงค์. 2550. การทดสอบงานเชื่อมแบบท่าลายสภาพ. กรุงเทพฯ : ส.ส.ท..
- [14] ทศนัย แสนพลพัฒน์. แนวทางการวัดทดสอบความแข็ง. ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. [1 เมษายน 2554].

