

**การเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมแผ่นรีด 6063
และอะลูมิเนียมหล่อผสมแมกนีเซียม-ซิลิกอน**
**Friction Stir Welding of Butt Joint between 6063 Aluminum Alloy Rolled Plate
and As-cast Mg-Si Aluminum Alloy Plate**

ศิวกร อ่างทอง¹ สมศักดิ์ แก่นทอง² นฤทธิ์ คชฤทธิ์³ สุรัตน์ ตรียวนพงศ์⁴ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์^{5*}
sivakorn.a@en.rmutt.ac.th¹, somsak.k@en.rmutt.ac.th²,
narit.k@en.rmutt.ac.th³, surat.t@en.rmutt.ac.th⁴, kittipong.k@en.rmutt.ac.th^{5*}

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ เพื่อประยุกต์การเชื่อมเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด 6063 และอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม-ซิลิกอนจากการหล่อ โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมซึ่งประกอบด้วย ความเร็วรอบในการหมุนและความเร็วเดินแนวเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนว ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมสูงเกินไปทำให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น รู หรือ พื้นที่การรวมตัวไม่สมบูรณ์ของโลหะ ในโลหะเชื่อมและส่งผลทำให้ความแข็งแรงดิ่งลดลง เมื่อการเชื่อมทำให้เกิดโลหะเชื่อมสมบูรณ์ที่หมายถึงมีค่าความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงมักเกิดที่แผ่นอะลูมิเนียมหล่อ ค่าความแข็งแรงดิ่งเฉลี่ยของรอยต่อที่สมบูรณ์มีค่าประมาณ 10-15% สูงกว่าความแข็งแรงดิ่งของอะลูมิเนียมแผ่นหล่อ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบจากสถานะการเชื่อมที่เหมาะสมเป็นสิ่งซึ่งแสดงความสมบูรณ์ของการรวมตัวของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองโดยไม่มีการเกิดจุดบกพร่องใด ๆ แรงกดอัดที่เกิดจากเครื่องมือเชื่อมทำให้เกิดเกรนบีบอัดขนาดเล็กและแถบการรวมตัวขนาดเล็กที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, รอยต่อชน, ความแข็งแรงดิ่ง, อะลูมิเนียมรีด, อะลูมิเนียมหล่อ

Abstract

This paper aims to apply friction stir welding for a butt welded joint between a 6063 aluminum alloy rolled plate and a Mg-Si alloy casted-plate using various parameters such as rotating speeds and travelling speeds. The summarized results are as follows, variation of the rotating and travelling speeds affected to improve the weld quality. Higher rotating speed and higher travelling speed produced the defects such as holes or uncompleted combination of metals in the weld metal that decreased directly the joint tensile strength. When the sound weld metal that implied the high tensile strength was produced, the failure of the tensile test specimen was located at the aluminum casted-plate. The average tensile strength of the sound joint was about 10-15% higher than that of the tensile

¹⁻⁵ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

strength of the aluminum casted-plate. Microstructure investigation of the optimum welding parameter specimen revealed that the combination of those aluminum alloy plates was completed without any defect in the weld metal. Compressed force occurring by the welding tool produced the small compacted grain in the weld metal and the small combined area band at the interface of the aluminum plate and the weld metal.

Keywords: friction stir welding, butt joint, tensile strength, aluminum rolled-plate, aluminum casted-plate,

1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะสำคัญในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นต่ำ หรือมีค่าประมาณหนึ่งในสามของความหนาแน่นของเหล็ก แต่ถ้าเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว พบว่าอะลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้า [1] ในการนำเอาอะลูมิเนียมมาใช้งานในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งแยกรูปแบบของการทำงานออกเป็น 2 ชนิด คือ อะลูมิเนียมหล่อและอะลูมิเนียมแผ่นรีด อะลูมิเนียมหล่อ คือ อะลูมิเนียมที่ได้จากการหล่อและนำไปใช้งานทันที หรือมีการแปรรูปเพียงเล็กน้อย นิยมนำมาใช้เป็นโครงสร้างรับแรงต่าง ๆ ขณะที่อะลูมิเนียมแผ่นรีด คือ การนำเอาแท่งอินกอทที่ได้จากการหลอมมาทำการรีดขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น แผ่นบาง แท่งเส้น หรือลวดต่าง ๆ จึงเห็นได้ว่าอะลูมิเนียมรีดมักมีการใช้งานที่กว้างขวางกว่า ในบางกรณีอะลูมิเนียมที่เกิดจากการขึ้นรูปแตกต่างกันทั้งสอง อาจมีการนำมาใช้งานร่วมกัน เช่น ในกรณีของโครงสร้างรถยนต์ยุคใหม่ที่พยายามนำเอาอะลูมิเนียมเข้าไปใช้งานเป็นโครงสร้างตัวถังรถยนต์ การนำเอาอะลูมิเนียมที่มีการขึ้นรูปต่างกัน มาต่อเชื่อมเข้าด้วยกันจำเป็นต้องใช้กระบวนการเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพในการยึดโลหะทั้งสองเข้าด้วยกัน กระบวนการเชื่อมต่อวัสดุที่มีความนิยมในงานอุตสาหกรรม เช่น การใช้รีเวท การใช้ นีอิตสกรู แต่กระบวนการเหล่านี้เป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ถาวร อาจเกิดการหลุด หลวม หรือ พังทลายได้ง่าย กระบวนการเชื่อมหลอมละลาย เป็นอีกกระบวนการที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่ออะลูมิเนียม ที่ผ่านมามีรายงานแสดงให้เห็นถึงความยากในการเชื่อม เนื่องจากอะลูมิเนียมมีฟิล์มออกไซด์บางที่มีจุดหลอมเหลวสูง และมีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้มีความยากในการทำให้อะลูมิเนียมเกิดการหลอมละลาย และยากต่อการควบคุมความร้อน

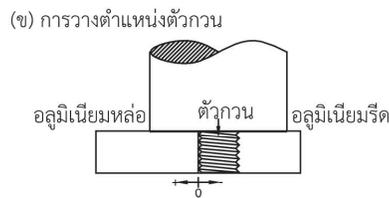
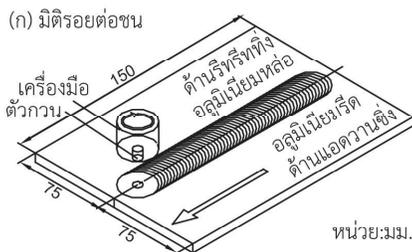
นอกจากนั้นหากพิจารณารอยต่อของวัสดุที่เกิดจากการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้การควบคุมความร้อนที่ลำบากยิ่งขึ้น

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน เป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็ง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย [2-3] จากผลของการเชื่อมอะลูมิเนียมส่วนใหญ่ ที่แสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่ออะลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพสูง [4] จึงคาดว่ากระบวนการนี้จะสามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปที่แตกต่างกันได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมาประยุกต์เชื่อมรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีด 6063 และแผ่นอะลูมิเนียมหล่อผสมแมกนีเซียม โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม เพื่อหาสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมในการประยุกต์ในอนาคตต่อไป

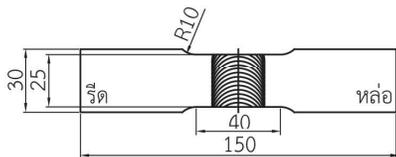
2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัสดุสองชนิด คือ อะลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด 6063 (Al-4.0% Mg-0.05%Mn-0.01%Cr-0.02%Cu โดยน้ำหนัก) ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า “แผ่นรีด” ขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. และหนา 6.3 มม. และแท่งอินกอท อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม (Al-5.5%Mg-0.06%Mn-0.02%Cu โดยน้ำหนัก) ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า “แผ่นหล่อ” ถูกนำมากัดขึ้นรูปเป็นแผ่นบางขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. และหนา 6.3 มม. แผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองถูกนำมาวางต่อเป็นรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) โดยกำหนดให้แผ่นรีดวางอยู่ที่ด้านแอดวานซ์ซิง (Advancing side) หรือด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนและทิศทางการเดินแนวเชื่อม

มีทิศทางเดียวกัน และให้แผ่นหล่อวางอยู่ที่ด้านรีทรีทิง (Retreating side) หรือด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวแกน และทิศทางการเดินแนวเชื่อมมีทิศทางสวนทางกัน รอยต่อ ถูกยึดแน่นในอุปกรณ์การจับยึดที่ยึดแน่นอีกครั้งบนเครื่อง กัดแนวตั้ง เครื่องมือเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลึง ขึ้นรูป ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่าเครื่องมือ (Shoulder diameter) 20 มม. ตัวแกนที่ใช้เชื่อมถูกขึ้นรูปเป็นเกลียว ขวามาตรฐาน M6 มีความยาว 6.1 มม. ทิศทางการหมุน ตามเข็มนาฬิกา ในขั้นตอนการเชื่อม ตัวแกนจะถูกสอด ให้ด้านข้างของตัวแกนสัมผัสกับแผ่นรีด โดยระยะที่ตัวแกน ถูกสอดเข้าไปนั้นมีค่าเท่ากับ 0.1 ถึง -0.3 มม. โดยกำหนด ให้ระยะ 0.0 มม. คือ ระยะที่ด้านข้างของตัวแกนสัมผัสกับ แนวของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ความเร็วรอบของ ตัวแกนเท่ากับ 500-2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ชิ้นงานเชื่อมถูกนำมาทำการทดสอบ แรงดึงโดยมีขนาดของชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 และ ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคต่อไป



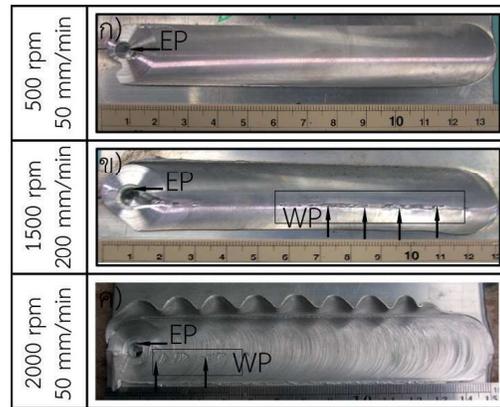
รูปที่ 1 รอยต่อชนอะลูมิเนียมรีดและหล่อ



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง (หน่วย: มม.)

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อม รอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อ เข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมนี้ทำให้เกิด ผลการทดลองต่าง ๆ โดยที่การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการ เชื่อมประกอบไปด้วยความเร็วรอบการหมุนของตัวแกน และ ความเร็วเดินแนวเชื่อมทำให้เกิดผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความ สมบูรณ์แตกต่างกัน คือ หากใช้ความเร็วรอบและความเร็ว เดินแนวเชื่อมที่มีค่าต่ำ เช่น ความเร็วรอบ 500 rpm และ 50 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ผิวหน้าแนวเชื่อม มีความสมบูรณ์ ตลอดแนวเชื่อมจะไม่ปรากฏจุดบกพร่อง รูพรุน หรือส่วนที่เป็นร่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะรอบ รอยต่อนั้นไม่สามารถประสานติดกันได้ อย่างไรก็ตาม ในแนวเชื่อมการเสียดทานแบบกวนที่สมบูรณ์ยังคงมี จุดบกพร่องเป็นรูกลมที่ด้านปลายของชิ้นงานดังแสดง ด้วยตัวอักษร EP รูกลมนี้เกิดจากการถอนตัวแกนออก จากแนวเชื่อมและไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยการเชื่อม เสียดทานแบบกวนแต่สามารถกำจัดออกได้ด้วยการเชื่อม อุดรูวิธีการอื่น ๆ เช่น การเชื่อมหลอมละลายเป็นต้น [5]



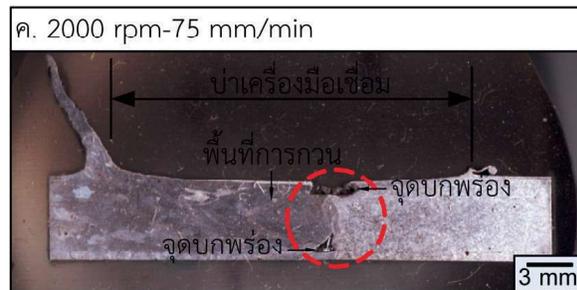
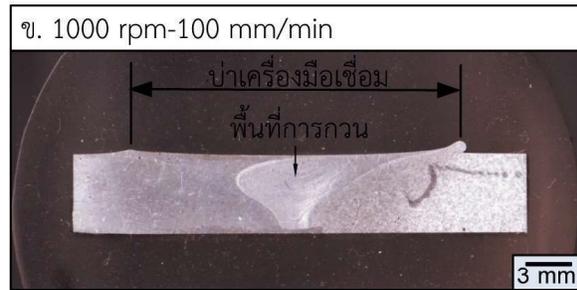
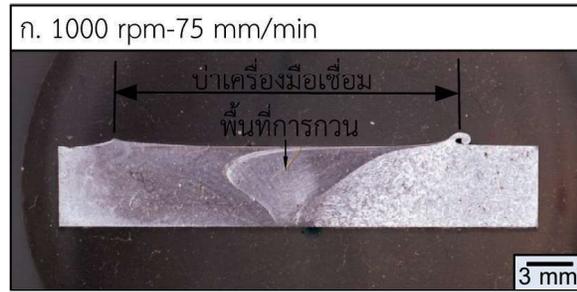
รูปที่ 3. ผิวหน้าแนวเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมบางตัว

ตารางที่ 1. ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วเดินแนว (mm/min)					
	50	75	100	125	150	200
500	○	○	○	○	○	○
1000	○	○	○	○	○	○
1500	○	○	○	○	○	×
2000	×	×	×	×	×	×

○=สมบูรณ์ X=ไม่สมบูรณ์

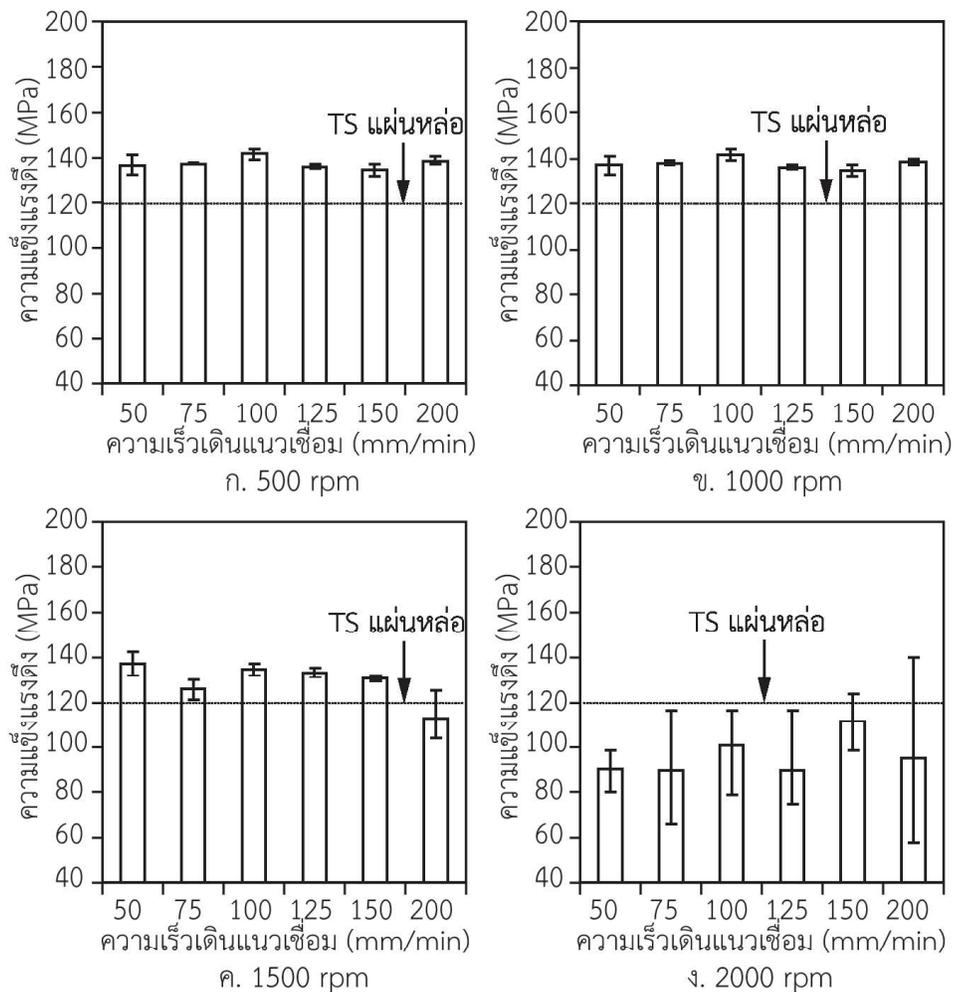
รูปแบบจุดบกพร่องที่พบ คือ พบจุดบกพร่องที่ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการเดินแนวเชื่อม บ่าเครื่องมือด้านหลังไม่สามารถเคลื่อน และอัดอะลูมิเนียมหลอมเหลวเป็นแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้ ดังแสดงด้วยอักษร WP ในรูปที่ 3 (ข) และ (ค) จุดบกพร่องลักษณะนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อนำไปทำการรับแรงหรือทดสอบแรงดึงแล้วจะทำให้เกิดค่าความต้านทานแรงดึงต่ำและทำให้เกิดการพังทลายได้ง่าย [6] ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ตรวจพบจุดบกพร่องลักษณะนี้ คือ ความเร็วรอบ 1500 rpm-200 mm/min และความเร็วรอบ 2000 rpm ทุกความเร็วรอบ เมื่อความเร็วของการเชื่อมมีค่าสูงขึ้น คือ 2000 rpm ทำให้เกิดจุดบกพร่องอีกชนิดหนึ่งขึ้นมา คือ จุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นครีบขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นที่ด้านรีทริทติ้ง หรือด้านบนฝั่งอะลูมิเนียมแผ่นหล่อ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ค) จุด บกพร่องนี้ อาจไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อโดยตรง แต่หากนำรอยต่อชนิดนี้ไปใช้งานอาจต้องเสียเวลาในการตกแต่งรอยต่อให้สวยงามได้



รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่สภาวะเชื่อมต่าง ๆ

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมบางตัวที่บ่งบอกให้ทราบว่า มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นในโลหะเชื่อม เนื่องจากการเลือกสภาวะการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 3 ที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าต่ำ ไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ ที่บริเวณโลหะเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) สำหรับความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 75-100 mm/min ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่ใช้ความเร็วรอบในการเชื่อมสูง คือ 2000 rpm พบว่าในโลหะเชื่อมนั้นเกิดจุดบกพร่องที่บริเวณด้านบนติดผิวหน้าดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) และ (ง) ซึ่งเป็นจุดบกพร่องรูปแบบเดียวกันดังแสดงบนผิวหน้าในรูปที่ 3 (ข) และ (ค) ขณะเดียวกันที่บริเวณมุมด้านล่าง

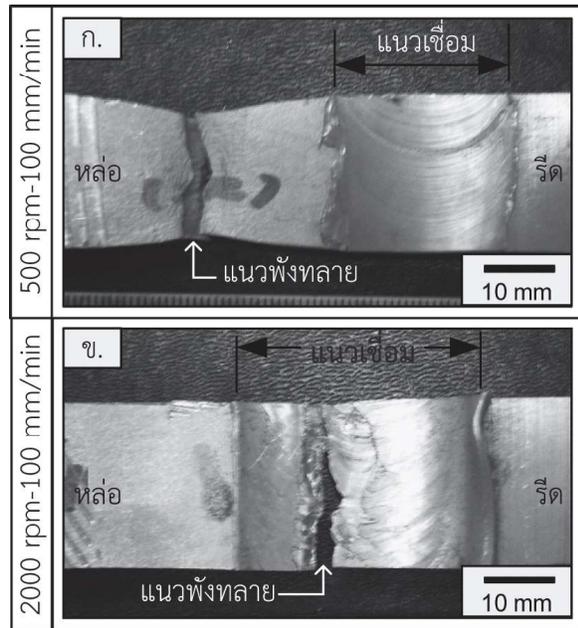
ด้านที่ติดกับแผ่นหล่อนั้นเกิดจุดบกพร่องเป็นช่องว่างขึ้นดังแสดงในพื้นที่วงกลมของรูปที่ 4 (ค) และ (ง) การเกิดลักษณะนี้คาดว่าความเอียงของตัวกวนที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อนี้ ไม่สัมพันธ์กับค่าความเร็วรอบที่กำหนด หากมีการปรับเปลี่ยน เพิ่มมุมเอียงคาดว่าจะทำให้เกิดการกำจัดจุดบกพร่องนี้ลงไปได้ [5] จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อสามารถสรุปผลการทดลองเบื้องต้นได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนี้สามารถทำการเชื่อมรอยต่อให้ประสานกันได้ โดยรอยต่อมีความสมบูรณ์ เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm (แทนด้วยเครื่องหมายวงกลม) ขณะที่ความเร็วรอบที่สูงไม่สามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้



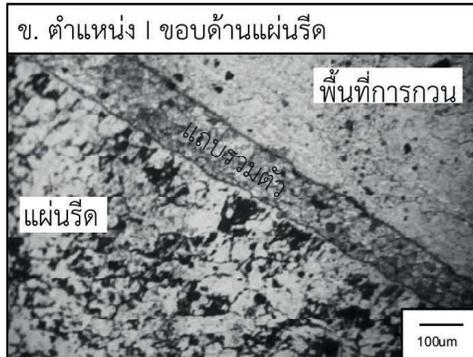
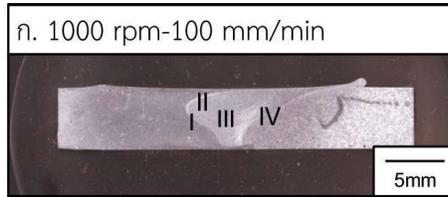
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม ความเร็วรอบ และความเร็วเดิน 50-200 mm/min

รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่ค่าความเร็วรอบ และความเร็วเดิน 50-200 mm/min ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่ได้จากการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm ที่ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min นั้น มีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าโลหะหลักที่ใช้เชื่อม ชิ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่บริเวณด้านแผ่นรีดที่ระยะห่างออกมาจากขอบแนวเชื่อมประมาณ 10 มม. ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และเนื่องจากว่า ชิ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่แผ่นหล่อทั้งหมด ดังนั้น ค่าต่ำสุดและสูงสุดของการทดลองแต่ละค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5 (ก)-(ค) สำหรับรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm ตามลำดับนั้น จึงมีความแตกต่างประมาณ 2-3 MPa เท่านั้น ขณะเดียวกัน หากพิจารณาชิ้นงานที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นั้น รอยต่อที่ทำการเชื่อมนั้นมีค่าความแข็งแรงต่ำเนื่องจากเกิดการเกิดจุดบกพร่องในรอยต่อดังได้กล่าวไว้ในรูปที่ 3 และ 4 ชิ้นทดสอบแรงดึงทุก ๆ ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นี้ ชิ้นงานเกิดการพังทลายบริเวณกึ่งกลางชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) และเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดและต่ำสุดของรอยต่อ มีความแตกต่างกันสูงดังแสดงให้เห็นด้วยค่าความผิดพลาดในรูปที่ 5 (ง) ค่าความแข็งแรงที่ได้ของชิ้นทดสอบ

ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นี้มีค่าที่ต่ำกว่าโลหะหลักที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 10-20% อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่า ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงกว่าโลหะหลักด้านหล่อ หรือรีดเท่ากับเท่าใด จนกว่าจะมีการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อม ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควรมีการศึกษาต่อไป ในที่นี้สามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อและแผ่นรีดเข้าด้วยกันได้และให้ความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลักที่ใช้เชื่อม



รูปที่ 6 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึง



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

รูปที่ 7 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min ที่แสดงโลหะเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดจุดบกพร่องใด ๆ ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง I ถึง IV ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดการประสานกันระหว่างโลหะทั้งสองชนิด บริเวณขอบของแผ่นรีดและพื้นที่การกวนดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) พบการเกิดการอัดตัวของอะลูมิเนียมมีขนาดเกรนเล็กลงเหมือนดังการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนในอะลูมิเนียมผสม [3-5] ทั่วไป บริเวณกึ่งกลางระหว่างแผ่นรีดและพื้นที่กวนเกิดการรวมตัวกันระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเกิดขึ้น และมีความแข็งสูงกว่าอะลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเพียงเล็กน้อย (ความแข็งแถบการรวมตัวประมาณ 85HV ความแข็งแผ่นหล่อ 80HV และความแข็งแผ่นรีด 77HV) แถบการรวมตัวนี้เริ่มเกิด

ที่ด้านล่างของรอยต่อ และขยายขนาดแถบมีความหนามากขึ้น เมื่อมีระยะใกล้ผิวด้านบนของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 7 (ค)

การเกิดลักษณะนี้มีสาเหตุจากที่ด้านบนของแนวเชื่อมนั้นมีความร้อน และแรงเฉือนที่เกิดจากปาเครื่องมือเชื่อมสูง ทำให้โลหะทั้งสองมีโอกาสในการรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น ที่บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมพบวงแหวนหัวหอม (Onion ring) ก่อตัวขึ้นภายในแนวเชื่อม มีลักษณะไม่กลมมน แต่มีรูปร่างคล้ายวงแหวนหัวหอมวางซ้อนบนกรวดดังแสดงในรูปที่ 7 (ง) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบแล้ว พบว่าแถบของวงแหวนหัวหอมซึ่งแสดงการรวมตัวกันเป็นอย่างดีของโลหะเชื่อมการเสียดทานแบบกวนนั้นก่อตัวขึ้น ดังแสดงด้วยเส้นลูกศรในรูปที่ 7 (จ) ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณารอยต่อด้านแผ่นหล่อ พบว่า

แถบการรวมตัวกันของโลหะทั้งสองไม่เกิดขึ้น อินเทอร์เฟซ (Interface) ของรอยต่อสามารถระบุได้ชัดเจนถึงพื้นที่การกวนและแผ่นหล่อ และเมื่อพิจารณาอินเทอร์เฟซของรอยต่อพบว่าโลหะทั้งสองถูกอัดและบีบเข้ากันอย่างรุนแรงมีขนาดเล็กกลงดังแสดงในรูปที่ 7 (ง)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวในการเชื่อมอะลูมิเนียมแผ่นหล่อและแผ่นรีด ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ความเร็วรอบสูงเกินไป เช่น 2000 rpm ทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีความสมบูรณ์

4.2 ความแข็งแรงของรอยต่อที่สมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเกิดขึ้นที่อะลูมิเนียมแผ่นหล่อ ค่าความแข็งแรงมีค่ามากกว่าอะลูมิเนียมแผ่นหล่อประมาณ 10-15%

4.3 โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวกันของอะลูมิเนียมทั้งสอง เป็นแนวยาวจากด้านล่างสู่บนด้านแผ่นรีด แต่ด้านแผ่นหล่ออินเทอร์เฟซประสานกันโดยการเกิดการอัดแน่นของโลหะทั้งสอง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASM International. 2000. **ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials.** USA: ASM International.
- [2] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C. Murch, M.G., Templesmith, P. and Dawes, C.J. 1991. **Friction Stir Welding.** UK: G.B. Patent Application 1991 No.9125978.8.
- [3] Thomas, W.M., Nicholas. 1997. "FSW. for the Transport. Indus." **Mater. & Des.** 18: 269-273.
- [4] Lee, W.B., Yeon, Y.M. and Jung, S.B. 2003. "The Improvement of Mechanical Properties of Friction-stir-welded A356 Al Alloy." **Mater. Sci. and Eng. A** 355: 154-159.
- [5] Mishra, R.S. and Ma, Z.Y. 2005. "Friction Stir Welding and Processing." **Materials Science and Engineering R.** 50: 1-78.
- [6] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. "อิทธิพลความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่ออะลูมิเนียม 6063-T1" **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา** 19, 3: 47-51.