

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304

Friction Stir Welding of AA6063 Aluminum and AISI304 Stainless Steel Joint

ณัฐ แก้วสกุล¹ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์²

Nut Kaewsakul Kittipong Kimapong

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 0-2549-4746 โทรสาร 0-2549-4746

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 0-2549-3491 โทรสาร 0-2549-3442

E-mail: kittipong.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ผลการทดลองการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่างๆ คือ ความเร็วรอบของตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทำให้เกิดลักษณะของอินเทอร์เฟซรูปแบบต่างๆ และส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของรอยต่อชน การเพิ่มความเร็วยรอบตัวกวนและความเร็วในการเดินแนวลดความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนเนื่องจากทำให้รอยต่อเกิดจุดบกพร่องที่บริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อชน ค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสามารถทำให้เกิดรอยต่อชนที่สมบูรณ์ คือ รอยต่อชนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 102 mm/min ที่ค่าความแข็งแรงดึง 71 MPa.

Abstract

This paper presents the experimental results of the Friction Stir Welding (FSW) of AA6063 aluminum alloy and AISI304 stainless steel butt joint by varying the welding parameters such as the rotating speed and the welding speed. The main results are as follows; The variation of welding parameters produced various characteristic interfaces and had conspicuous influences on the joint properties. Increasing the rotating speed and the welding speed decreased the joint

tensile strength because it produced the defect on the joint interface. The optimum welding parameter that could produce the sound joint was a rotating speed of 750 rpm and the welding speed of 102 mm/min with the tensile strength of 71 MPa.

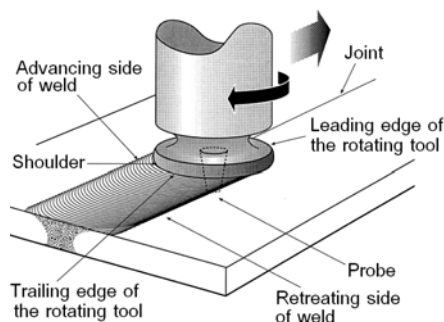
1. บทนำ

รอยต่อวัสดุต่างชนิด (Dissimilar Materials Joint) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากรอยต่อของวัสดุต่างชนิดทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น [1] นอกจากนั้นหากพิจารณาปัญหาเรื่องพลังงานและเชื้อเพลิง เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ได้นำเอาอลูมิเนียมและแมกนีเซียม มาใช้งานแทนที่ชิ้นส่วนเหล็กในโครงสร้างของรถยนต์เพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างของรถยนต์ สามารถส่งผลโดยตรงต่อการใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ [2]

อย่างไรก็ตาม การเชื่อมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกันเป็นวิธีที่ยังคงมีปัญหา เนื่องจากวัสดุต่างชนิดมีสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางกลที่แตกต่างกัน เมื่อทำการเชื่อมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกัน มักเกิดปัญหาต่างๆ ขึ้น เช่น ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ต่างกันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และก่อสารประกอบกึ่งโลหะ (Intermetallic Compound: IMC) ที่แข็งแรงและเปราะซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ลดความแข็งแรงของรอยต่อ ความแตกต่างของโมดูลัสอีลาสติก ก่อให้เกิดความ

เข้มข้นของความเค้นหรือความไม่ต่อเนื่องของความเค้น (Stress dis-continuities) ที่บริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้น ความแตกต่างการนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดเมื่อทำการเชื่อมทำให้เกิดการกระจายความร้อนของวัสดุที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากความร้อน ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงลดลง [3] ดังนั้นการใช้กระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมในการต่อวัสดุต่างชนิดจึงมีความสำคัญในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding : FSW) เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมเพื่อเชื่อมวัสดุที่มีปัญหาในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) เช่น อลูมิเนียมผสม [4] กรรมวิธี FSW นี้ได้มีการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ และเรือเดินสมุทร [5] และปัจจุบันเป็นกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความสนใจในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาสมบัติต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ลักษณะกระบวนการเชื่อมโดยสังเขปแสดงไว้ในรูปที่ 1 ตัวกวน (Probe or Stirrer) ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อม (Rotating Tool) สอดเข้าไปในรอยต่อของวัสดุจนกระทั่งบ่า (Shoulder) ของเครื่องมือเชื่อมสัมผัสกับผิวของรอย ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างเครื่องมือเชื่อมกับวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าของเครื่องมือเชื่อม เมื่อเครื่องมือเชื่อมเคลื่อนที่วัสดุในสภาวะคล้ายของไหลจะเคลื่อนที่เข้ามารวมตัวกันและบ่าเครื่องมือด้านหลัง (Trailing Edge of the Rotating Tool) จะกดอัด และผสมวัสดุ ทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นแนวเชื่อม



รูปที่ 1 กระบวนการ FSW [5]

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนได้ประยุกต์ใช้ในการเชื่อมอลูมิเนียมและเหล็ก เช่น Kimapong and Watanabe [6] เชื่อมต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม A5083 และเหล็กกล้า SS400 ที่แสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่อสูงสุดประมาณร้อยละ 86 ของค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมผสม นอกจากนี้ Kimapong and Watanabe [7-8] ได้ทำการเชื่อมต่อเกาะระหว่างอลูมิเนียมผสม A5083 และเหล็กกล้า SS400 ที่แสดงผลการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของรอยต่อเมื่อปริมาณสารประกอบลดลง และแสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณร้อยละ 80 ของอลูมิเนียมผสม Chen and Kovacevic [9] ทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมผสม Al6061 และเหล็กกล้า AISI1018 ที่แสดงโครงสร้างรอยต่อประกอบด้วยสารประกอบกึ่งโลหะ Fe_4Al_{13} และ Fe_2Al_5 แต่ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับความแข็งแรงไม่ได้แสดงไว้ Uzun *et al.* [10] รายงานความสำเร็จจากการประยุกต์ FSW ในการเชื่อมอลูมิเนียม 6013-T4 เข้ากับเหล็กกล้าไร้สนิม X5CrNi18-10 และแสดงรายละเอียดของโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คล้ายการเชื่อมอลูมิเนียมผสม ค่าสมบัติความล้า (Fatigue Property) มีค่าต่ำกว่าอลูมิเนียมผสมที่ใช้ในการเชื่อม 30%

จากรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมได้รับการสนใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมกลุ่ม 6000 และเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งเป็นวัสดุที่มีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นในโครงสร้างรถยนต์ [11] หรือ ถังน้ำมัน [12] เป็นต้น ยังมีการรายงานและศึกษาค้นคว้ากันน้อย ด้วยเหตุนี้หากมีการทำการศึกษาวิจัยการเชื่อมต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 คาดว่าจะเป็นการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานเพื่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่อไป

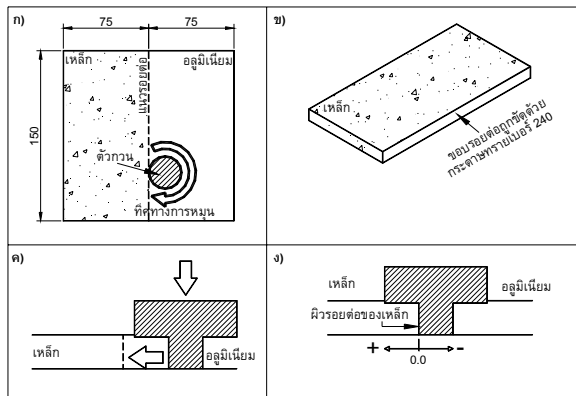
2. วิธีการทดลอง

วัสดุในการทดลอง คือ แผ่นรีดอลูมิเนียม 6063 และแผ่นรีดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่มีส่วนผสมทางเคมีและค่าความแข็งแรงสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 1 ความหนา 3 มม. มีขนาดความกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. แผ่นทั้งสองถูกประกอบเป็น

รอยต่อชนดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) โดยให้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมวางไว้ในตำแหน่งแอดวานซ์ซิง (Advancing side) และแผ่นอลูมิเนียมวางไว้ในที่ด้านรีทรีทิง (Retreating side) ก่อนการประกอบรอยต่อด้านของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ถูกขัดให้มีผิวเรียบและตั้งฉากด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 และทำความสะอาดด้วยอะซิโตน

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง

ธาตุ	อลูมิเนียม (%wt)	เหล็ก (%wt)
Fe	-	สมดุล
Al	สมดุล	-
Mg	0.40	-
C	-	0.04
S	-	0.02
Cr	0.01	17.11
Si	-	0.45
Mo	-	0.08
Mn	0.05	1.31
Ni	-	7.22

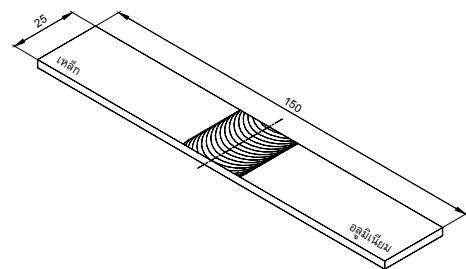


รูปที่ 2 (ก) ตำแหน่งการวางแผ่นวัสดุของรอยต่อชน (ข)

ตำแหน่งการขัดกระดาษทราย และ (ค) การสอดตัวกวนเข้าไปในรอยต่อ (ง) ระยะสอดตัวกวน 0.0 มม.



รูปที่ 3 การจัดวางและการเชื่อมรอยต่อชน



รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)

ตัวกวนทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKH-57 ที่มีรูปร่างตัวกวนทรงกระบอกผิวเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. และบ่าของเครื่องมือเชื่อมมีขนาดเท่ากับ 25 มม. การสอดตัวกวนเข้าหารอยต่อ มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเชื่อมอลูมิเนียม A5083 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 [6] คือ เริ่มสอดตัวกวนเข้าไปที่ด้านของอลูมิเนียมในแนวแกน Z ของเครื่องกัดแนวตั้งจนกระทั่งได้ความลึกตามกำหนด จากนั้นจึงเลื่อนด้านข้างของตัวกวนเข้าสู่แนวต่อชนดังแสดงในรูปที่ 2 (ค) และรูปที่ 3 ที่แสดงลักษณะของชิ้นงานและการเชื่อม ความเร็วรอบของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 580-830 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 22-114 มม./นาที ระยะการสอดตัวกวนด้านข้างของตัวกวนเข้าสู่ผิวรอยต่อชนมีค่าเท่ากับ +0.1 มม. โดยระยะสอด 0.0 มม. หมายถึงผิวด้านข้างของตัวกวนสัมผัสกับผิวรอยต่อของเหล็กดังแสดงในรูปที่ 2 (ง) ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงดึง โดยชิ้นงานถูกเตรียมให้มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 4 โดยกำหนดให้แนวเชื่อมอยู่กึ่งกลางของชิ้น

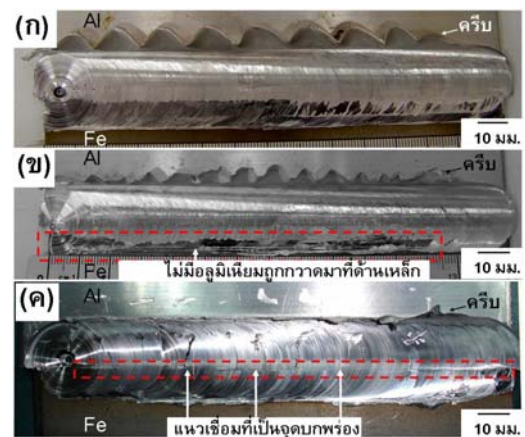
ทดสอบ นอกจากนั้นชิ้นงานในตำแหน่งกึ่งกลางถูกเตรียมเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนต่อไป

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

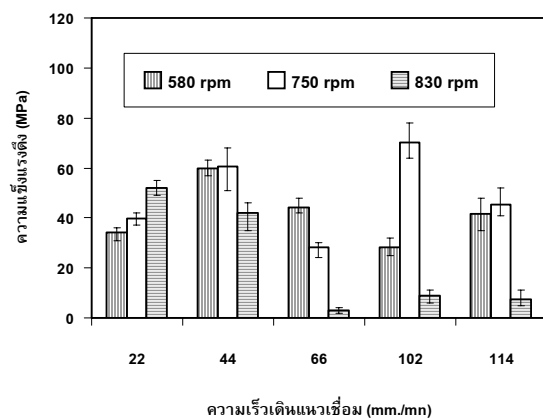
รอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ถูกเชื่อมด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 2 และระยะสอดผิวด้านข้างของตัวกวนเข้าสู่ด้านของเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.1 มม. จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าหลังจากชิ้นงานเชื่อมเสร็จพบลักษณะของผิวหน้าแนวเชื่อมสามารถแบ่งออกเป็นรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 คือ ผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์แทนด้วยอักษร ก ในตารางที่ 2 และรูปที่ 5 (ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมติดแต่อลูมิเนียมไม่ถูกกวาดมาที่ด้านเหล็กแทนด้วยอักษร ข ในตารางที่ 2 และรูปที่ 5 (ข) และผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีจุดบกพร่องบนแนวเชื่อมแทนด้วยอักษร ค ในตารางที่ 2 และพื้นที่เส้นประในรูปที่ 5 (ค) ผิวหน้าแนวเชื่อมในรูปที่ 5 ด้านบนของแนวเชื่อม คือ ด้านของอลูมิเนียม ขณะที่ด้านล่างของแนวเชื่อม คือ ด้านของเหล็ก พบว่าที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ต่ำผิวหน้าแนวเชื่อมไม่เกิดจุดบกพร่อง แต่เกิดครีบกที่มีขนาดใหญ่เกิดขึ้นที่ด้านของอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) ที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมปานกลาง ปริมาณและขนาดของครีบลดลง ผิวหน้าแนวเชื่อมด้านเหล็กไม่มีอลูมิเนียมถูกกวาดมาเนื่องจาก การดันตัวของบ่าเครื่องมือ การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่สูงเกินไปดังแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 5 (ข) ที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สูงขึ้น ครีบเกิดขึ้นที่ด้านอลูมิเนียมที่จุด เริ่ม ต้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามที่กึ่งกลางของแนวเชื่อมพบจุดบกพร่องตลอดแนวยาวของแนวเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 5 (ค)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และรูปแบบของผิวหน้าแนวเชื่อม

	580 rpm	750 rpm	830 rpm
22 mm./min	ก	ก	ข
44 mm./min	ก	ข	ข
66 mm./min	ก	ข	ข
102 mm./min	ข	ข	ค
114 mm./min	ข	ค	ค



รูปที่ 5 ผิวแนวเชื่อม: (ก) ผิวหน้าสมบูรณ์แบบ ก (ข) ผิวหน้าที่เชื่อมติดเชื่อมติดและอลูมิเนียมไม่ถูกกวาดไปที่เหล็กแบบ ข และ (ค) ผิวหน้าที่เกิดจุดบกพร่องแบบ ค

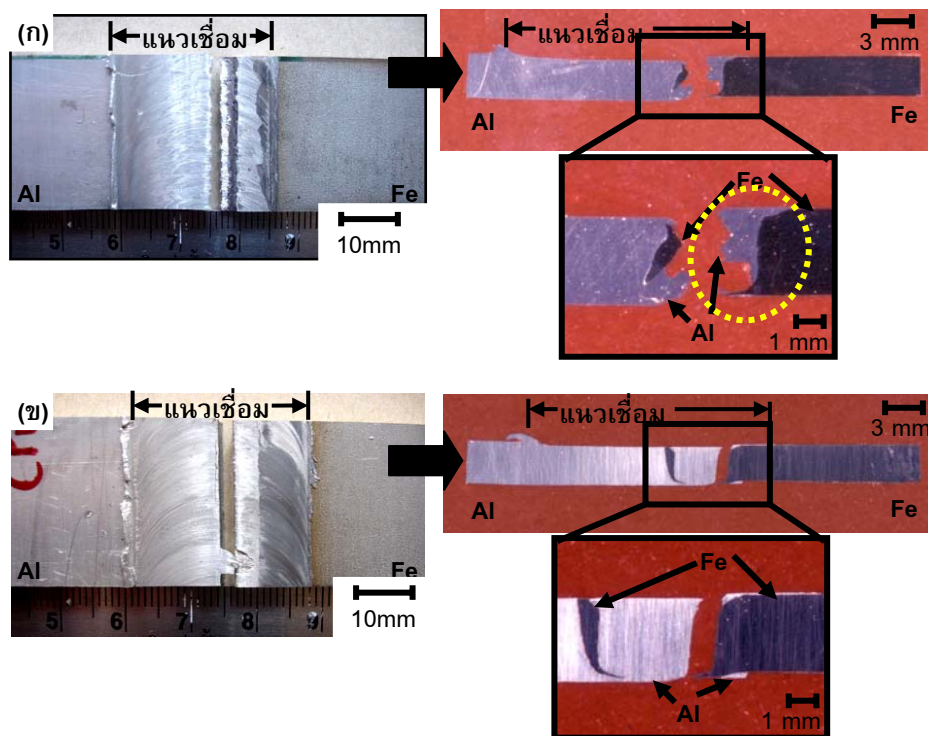


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความเร็วรอบของตัวกวน และความเร็วเดินแนวเชื่อม

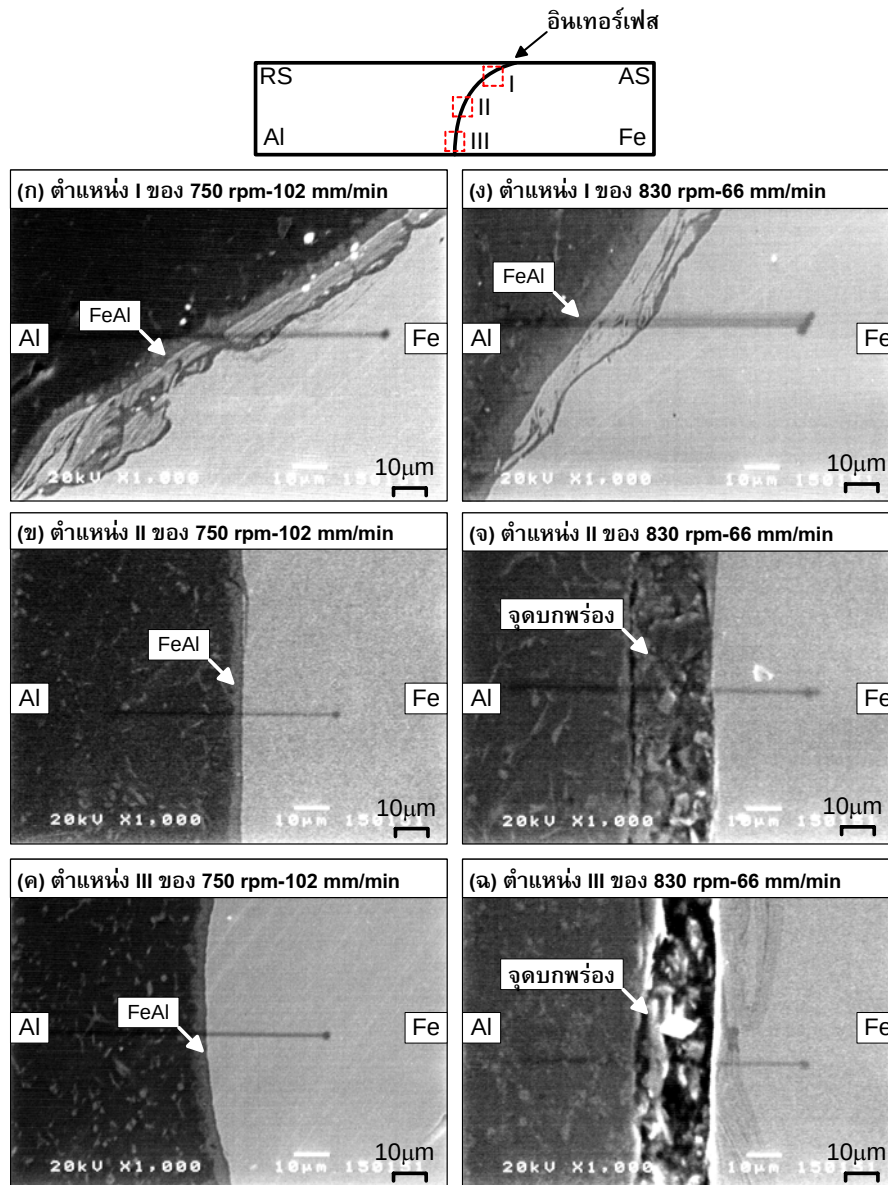
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความเร็วรอบของตัวกวน และความเร็วเดินแนวเชื่อม พบว่า ความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อม มีความสัมพันธ์กับลักษณะ ความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม ชิ้นงานที่เกิดเชื่อมคดอย่าง สมบูรณ์หรือเกือบสมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงค่าความแข็งแรงที่ประมาณ 3 ถึง 71 MPa ขณะที่ชิ้นงาน ที่ตรวจพบลักษณะจุดบกพร่องที่บริเวณรอยต่อชนดังแสดงใน รูปที่ 5 (ค) แสดงค่าความแข็งแรงที่ต่ำมาก มีค่าประมาณ ไม่เกิน 10 MPa เท่านั้น

ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบมี ค่าประมาณ 71 MPa ซึ่งมีค่าประมาณ 85% ของค่าความ แข็งแรงของอลูมิเนียม 6063 ที่ใช้เป็นวัสดุทดลอง เปรียบเทียบ บริเวณที่เกิดการร้าวของชิ้นทดสอบแรงดึงที่แสดงค่าความ แข็งแรงสูงสุด และต่ำสุดของการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7 ที่ ชิ้นทดสอบแรงดึงพบว่า การร้าวของชิ้นงานเกิดขึ้นที่บริเวณ กึ่งกลางของผิวหน้าแนวเชื่อมทั้ง 2 สภาวะ

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการตรวจสอบภาคตัดตั้งฉากกับ ทิศทางการเดินแนวเชื่อม พบว่าตำแหน่งการร้าวมีความ แตกต่างกัน คือ ชิ้นงานที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด การร้าวเกิด ขึ้นที่บริเวณด้านในของแนวเชื่อม คือ อลูมิเนียม ดังแสดง ด้วยพื้นที่เส้นประในรูปที่ 7 (ก) รอยร้าวที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ที่มีผิวหน้าแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) และสามารถทำให้ เกิดความมั่นใจในระดับหนึ่งว่า หากทำการเชื่อมแล้ว ได้ ผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ไม่เกิดจุดบก พร่อง เช่น รู ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ค) จะทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีความ แข็งแรงและลักษณะในตำแหน่งที่ไม่ใช่อินเทอร์เฟซของแนว เชื่อม ขณะที่ชิ้นงานที่แสดงค่าความแข็งแรงต่ำสุดนั้นการร้าว เกิดขึ้นที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อ เนื่องจากในสภาวะการ เชื่อมนี้เกิดจุดบก พร่องที่บริเวณผิวหน้ารอยเชื่อมดังแสดงใน รูปที่ 5 (ค) เป็นแนวยาว และเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้อลูมิเนียม และเหล็กเกิดการก่อตัวบริเวณอินเทอร์เฟซ เกิดการแยกตัว ออกไป



รูปที่ 7 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบ: (ก) ชิ้นงานที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และ (ข) ชิ้นงานที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด



รูปที่ 8 โครงสร้างที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อที่แสดงถึงความแข็งแรงสูงสุด (750rpm-102mm/min) และต่ำสุด (830rpm-66mm/min)

รูปที่ 8 แสดงอินเทอร์เฟซของรอยต่อที่แสดงถึงความแข็งแรงสูงสุด (ความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 102 mm/min) และต่ำสุด (ความเร็วรอบ 830 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 66 mm/min) โดยทำการตรวจสอบที่ด้านบน กึ่งกลาง และด้านล่างของภาคตัดที่ตำแหน่ง I II และ III ตามลำดับ พบว่าที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด ที่ทุกๆ ตำแหน่งการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 8 (ก) ถึง (ค) เกิดการก่อตัวของเฟสใหม่ขึ้นที่มีความหนาประมาณ 5 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลังงาน (Energy

Dispersive Spectrometry: EDS) และทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนอะตอมระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก พบว่าส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับสารประกอบกึ่งโลหะชนิด FeAl (45.28Fe-47.98Al-6.74O, %โดยอะตอม) ในแผนภาพสมดุลเฟสระหว่างเหล็กและอลูมิเนียม [13] ซึ่งสารประกอบชนิดนี้มีสมบัติเหนียว แข็งแรง และต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนได้ดี [14] จึงคาดว่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้อินเทอร์เฟซของรอยต่อนี้ มีค่าความแข็งแรงสูงและไม่เกิดการฉีกขาดตามแนวอินเทอร์เฟซ อย่างไรก็ตามชนิดของสารประกอบกึ่งโลหะที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องทำการ

ตรวจสอบต่อไปโดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำ เช่น การวัดการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy: TEM) ต่อไป

รูปที่ 8 (ง) ถึง (จ) แสดงอินเทอร์เฟซของรอยต่อที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด พบที่บริเวณด้านบนของรอยต่อเกิดการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะชนิด FeAl (46.05Fe-51.33Al-2.61O, %โดยอะตอม) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าความหนาที่มากกว่า และปริมาณของอะลูมิเนียมในสารประกอบกึ่งโลหะมีค่าที่มากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการตรวจสอบอินเทอร์เฟซที่กึ่งกลางและด้านล่างของรอยต่อพบว่า เกิดความไม่สมบูรณ์ที่เป็นสิ่งยืนยันให้ทราบว่าอินเทอร์เฟซบริเวณนี้ไม่เกิดการเชื่อมยึดกันของวัสดุทั้งสอง ความไม่สมบูรณ์ที่ตรวจพบนี้ คาดว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดการฉีกขาดของชิ้นทดสอบขณะรับแรงดึง และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สามารถรับแรงได้ในปริมาณที่ต่ำกว่า

4. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนสามารถเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ได้ตามวัตถุประสงค์ และผลการทดลองการศึกษาอิทธิพลตัวแปรเชื่อมโดยสรุป คือ รอยต่อที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดสามารถเชื่อมได้ด้วยค่าความเร็วรอบที่ทำให้เกิดรอยต่อที่สมบูรณ์ ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เหมาะสมและทำให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 71 MPa คือ ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 102 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะสอดของตัวกวนเข้าสู่รอยต่อเหล็กเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบที่สูงและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เร็วเกินไปทำให้เกิดจุดบกพร่องที่ผิวหน้าและภายในแนวเชื่อมและเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการพังทลายของชิ้นงานเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีสำหรับการ

สนับสนุนทุนวิจัย และคุณรัตนะโชติ สุขโชติ คุณชาติพิชิต สอนสืบ เจ้าหน้าที่กลุ่มการพัฒนาระบบการผลิตวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับความช่วยเหลือในจัดเตรียมการทดลอง และขึ้นทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sun, Z., Karppi, R. 1996. "The Application of Electron Beam Welding for the Joining of Dissimilar Metals: An Overview." J. of Materials Processing Technology, 59: 257-267.
- [2] Branes, T.A., Pashyby, I.R. 2007. "Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase." Welding. J. of Materials Processing Technology, 99: 62-71.
- [3] Brandon, D., Kaplan, W.D. 1997. "Joining Processes, An introduction." John Wiley&Sons, New York, 364p.
- [4] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Templesmith, P., Dawes, C.J. 1991. "Friction Stir Welding." G.B. Patent Application No.9125978.8.
- [5] Thomas, W.M., Nicholas, E.D. 1997. "Friction Stir Welding for the Transportation Industries." Materials and Design, 18: 269-273.
- [6] Kimapong, K., Watanabe, T. 2004. "Friction Stir Welding of Aluminum Alloy to Steel. Welding Journal, 84-10: 277s-282s.
- [7] Kimapong, K., Watanabe, T. 2005. "Lap Joint of A5083 Aluminum Alloy and SS400 Steel by Friction Stir Welding." Materials Transaction, 46-4: 835-841.
- [8] Kimapong, K., Watanabe, T. 2005. "Effect of Welding Process Parameters on Mechanical Property of FSW Lap Joint between Aluminum and Steel." Materials Transaction, 46-10: 2211-2217.

- [9] Chen, C.M., Kovacevic, R. 2004. "Joining of Al6061 Alloy to AISI1018 Steel by Combined Effects of Fusion and Solid State Welding." International Journal of Machine Tool & Manufacturing, 44: 1205-1214.
- [10] Uzun, H., Donne, C.D., Argagnotto, A., Ghidini, T., Gambaro, C. 2005. "Friction stir welding of dissimilar Al 6013-T4 To X5CrNi18-10 stainless steel." Materials & Design 26: 41-46.
- [11] <http://www.freepatentsonline.com/7025838.html>, August 2006.
- [12] <http://www.columbus.co.za>, August 2006.
- [13] Kattner, U.R., Massalski, T.B. 1990. "Binary Alloy Phase Diagram" ASM International, Material Park, OH, P. 147.
- [14] Kobayashi, S., Yakou, T. 2002. "Control of Intermetallic Compound Layers at Interface between Steel and Aluminum by Diffusion-treatment, Materials Science and Engineering A 338: 44-53.