

การศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063

The Study of AA6063 Friction Stir Welding

รัชชัย อินแทียง¹, ปัญญา บัวหอมบุรา¹, รัตนา บริสุทธิกุล^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*อีเมล rattana@sut.ac.th

Tawatchai Intaing¹, Panya Buahombura¹, Rattana Borrisuttheikul^{1*}

¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,

Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

*E-mail: rattana@sut.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมในขณะเชื่อมเสียดทานแบบกวนโลหะผสมอลูมิเนียมเกรด 6063 ที่เปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม คือ อัตราการหมุนหัวเชื่อมในช่วง 450 ถึง 1120 รอบต่อนาที และความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมในช่วง 28 ถึง 112 มิลลิเมตรต่อนาที ต่อลักษณะของรอยเชื่อมที่ได้ จากการศึกษาพบว่าขนาดบ่อกวนบริเวณผิวชิ้นงานด้านบนที่สัมผัสกับหัวเชื่อม และบริเวณผิวด้านล่างที่สัมผัสกับแผ่นรองไม่เปลี่ยนแปลงตามพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อม ในขณะที่ขนาดของบ่อกวนบริเวณใต้บ่าหัวกวนลงมาประมาณ 1/3 ของความหนาชิ้นงานขนาดของบ่อกวนจะกว้างขึ้นเล็กน้อยเมื่อพลังงานลงสู่ชิ้นงานมากขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าเกรนของแอลฟาที่มีขนาดเล็กบริเวณใจกลางบ่อกวนและขนาดของเกรนแอลฟาที่พบไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญภายในบ่อกวนจนถึงระยะที่ใกล้กับขอบบ่อกวนซึ่งมีเกรนที่เสีรุกรุนแรงมากจนไม่สามารถวัดขนาดเกรนได้ และบริเวณที่ถัดจากการเสีรุกรุนจะพบเกรนแอลฟาที่มีขนาดใหญ่โดยขนาดเกรนบริเวณนี้ใหญ่กว่าขนาดเกรนเริ่มต้นก่อนการเชื่อม นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเกรนบริเวณต่างๆในบ่อกวนไม่ได้ขึ้นกับพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมเพียงอย่างเดียว ขณะที่ขนาดของเกรนแอลฟาภายนอกบ่อกวนขึ้นกับพลังงานความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเล็กน้อยเท่านั้น

คำหลัก: เชื่อมเสียดทานแบบกวนพลังงาน ขนาดเกรน ขนาดบ่อกวน

Abstracts

The effect of energy consume during friction stir welding (FSW) process into the welded 6063 aluminum alloy joint is investigated in this study. The energy consume is evaluated by converting from electrical power used during welding process in each FSW conditions. In order to investigate this effect, varying of FSW parameters by using rotating speed in range of 450 to 1120 rpm and travelling speed in range of 28 to 112 mm/min are conducted for observing the welded joints characteristics by FSW process. The macroscopic and microscopic examination of the FSWed joints are observed in

perpendicular cross-section of the welded plates. The results show that the size of stir zone in FSWed joints at top surface that contact to the tool shoulder and bottom surface that contact to the backing plat has no effect by energy consume into the FSWed joints. Although, at subsurface from top side about 1/3 of the plate thickness of the joints observe slightly wider the stir zone as increase energy consume into the FSWed joints. Microscopic investigations of the FSWed joints found the uniform small-recrystallized alpha grains at center of stir zone and the grain size is not significantly change until reach the extent of deformed grain region that located at the edge of stir zone. Next to the deformed grain region, the alpha grains are coarsen and larger than that of original grain size of the base material. As a result, the recrystallized grains size in stir zone is not only depend on the energy consume into the FSWed joints while it is slightly effect on alpha grain size at the region out of stir zone.

Keyword : friction stir welding, energy, grain size, stir zone

1. บทนำ

โลหะผสมอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่นำมาใช้งานอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นด้านโครงสร้าง ด้านส่วนประกอบของรถยนต์ ด้านอากาศยานและด้านการต่อเรือ[1,2] ในการนำชิ้นส่วนโลหะผสมอลูมิเนียมไปใช้งานด้านโครงสร้างจำเป็นต้องมีการเชื่อมยึดติดชิ้นส่วนโลหะผสมอลูมิเนียมเข้าด้วยกัน การเชื่อมโลหะด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่พัฒนาโดย TWI (The Welding Institute) ในปี ค.ศ.1991[3] เป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้รอยเชื่อมมีคุณภาพเหนือวิธีการ fusion welding โดยเฉพาะกับการเชื่อมโลหะเบาต่างๆ เช่น รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูง ไม่เกิดแสงและควัน ในขณะที่เชื่อม ไม่จำเป็นต้องใช้โลหะเติมในรอยเชื่อม ชิ้นงานบิดเบี้ยวน้อย ทำให้การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนกวนได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์เชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียม ในการศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนกวนโดยทั่วไปจะทำการศึกษาผลของตัวแปรหลักๆ เช่น ความเร็วรอบของการหมุน (rotating speed) และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ (traveling speed) ของหัวกวนต่อคุณภาพงานเชื่อม

รวมถึงมุมเอียงของหัวกวน (tilt angle) เช่น Karthikeyan et al. [4] ศึกษาผลของตัวแปร ความเร็วในการหมุนของหัวกวน (rotating speed) ความเร็วในการกดหัวกวนลงในเนื้อวัสดุ (plunge rate) ความลึกของการจุ่มหัวกวน (plunge depth) และเวลาในการจุ่มหัวกวน (dwell time) ต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม ผลการศึกษาพบว่าความเร็วในการกดหัวกวน (plunge rate) ลงสู่ชิ้นงานมีผลรุนแรงที่สุดต่อคุณภาพของรอยเชื่อม ตามด้วยความลึกของการจุ่มหัวกวน (plunge depth) เวลาในการจุ่ม (dwell time) และความเร็วในการหมุนของหัวกวน (rotating speed) อย่างไรก็ตามตัวแปรข้างต้นนั้นเป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักร ไม่ใช่ตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในเนื้อของวัสดุ ทำให้การศึกษการเชื่อมเสียดทานแบบกวนจึงยังขาดความลุ่มลึก แต่ตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาต่าง ๆ นั้นล้วนเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งหมด ดังนั้นถ้าทำการวัดพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนกวนน่าจะทำให้เข้าใจกระบวนการเชื่อมดีขึ้น ด้วยยังมีการศึกษาในวงแคบถึงผลกระทบของพลังงานที่ชิ้นงานเชื่อมได้รับการเปลี่ยนแปลงในงานเชื่อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมี

วัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของพลังงานที่ส่งสู่ชิ้นงานเชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนกวน ต่อขนาดของบ่อกวน และขนาดของเกรน ซึ่งผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการเลือกสภาวะในการเชื่อมที่ส่งผลให้รอยเชื่อมมีคุณภาพสูงขึ้น

2. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและหัวกวน

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบหมุนกวนคือโลหะผสมอลูมิเนียม ความหนา 6.4 มิลลิเมตร มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อม กว้าง 64 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร หนา 6.4 มิลลิเมตร หัวกวนมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า (shoulder) 24 มิลลิเมตร และตัวกวน (pin) เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความสูง 5.7 มิลลิเมตร ผลิตจากเหล็กกล้าชิ้นรูปร้อน H13 ความแข็งหลังการอบชุบ 59 HRC

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมผสม (wt%)

Grade	Al	Mg	Cr	Si	Mn	Cu	Ni
6063	98.0	0.416	0.0058	<1.00	0.0445	0.0311	0.0086

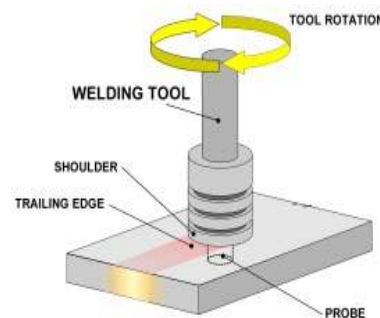


รูปที่ 1 ลักษณะของหัวกวนที่ใช้เชื่อม

2.2 การเชื่อม

การเชื่อมจะกระทำในลักษณะเชื่อมบนชิ้นงานแผ่นเดียว โดยความเร็วในการหมุนของหัวกวนจะใช้ระหว่าง 450 ถึง 1120 รอบต่อนาที และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกวน ระหว่าง 28 ถึง 112 มิลลิเมตรต่อนาที การเชื่อมได้ทำการประยุกต์ใช้เครื่อง milling machine เพื่อใช้ในการหมุนหัวกวนจุ่มลงไปในเนื้อโลหะผสมอลูมิเนียมและเคลื่อนที่ไปในแนวเชื่อม ในลักษณะที่

หัวกวนถูกจับยึดกับชุดหมุนของเครื่อง milling ที่อยู่ด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้ตามที่กำหนด จากนั้นทำการปรับแกน Z ของเครื่องเพื่อให้หัวกวนจุ่มลงไปในเนื้อชิ้นงานจนกระทั่งบ่าของหัวกวน shoulder สัมผัสกับผิวของชิ้นงาน จากนั้นทำการปรับให้แกน X ของเครื่องเคลื่อนที่ตามความเร็วที่กำหนดไว้ เมื่อถึงปลายชิ้นงานทำการหยุดแกน x และเคลื่อนแกน z ขึ้นเพื่อยกหัวกวนออกจากชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน [5]



รูปที่ 3 การจับยึดชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม

ในการจับชิ้นงานทดลองชิ้นงานจะถูกยึดกับปากกาจับชิ้นงานที่วางอยู่บนฐานของเครื่อง milling ในแนวราบที่สามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ได้ ชิ้นงานจะวางเหล็กแผ่น (backing plate) ไว้เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการทะลุและเป็นตัวระบายความร้อนออกจากชิ้นงานด้วยดังแสดงในรูปที่ 3

2.3 การวัดกระแสไฟฟ้า

ในขณะทำการเชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียมด้วยกระบวนการเสียดทานแบบหมุนกวนจะทำการวัดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าเครื่อง milling ด้วยแคลมป์มิเตอร์

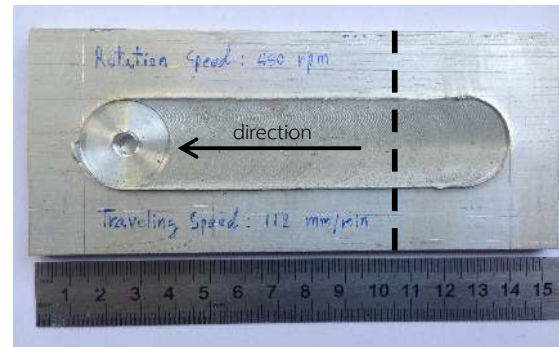
Clamp Meter UNI-T UT202 ดังแสดงในรูปที่ 4 ในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมจะแบ่งการวัดออกเป็นสองแบบคือ 1) วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเดินเครื่องเป่าด้วยความเร็วรอบในการหมุนและด้วยความเร็วในการเดินหัวเชื่อมที่กำหนดไว้ แต่จะไม่ใส่ชิ้นงานเข้าไปในการเชื่อมเสียตทานแบบหมุนกวน และ 2) วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมโดยใส่ชิ้นงานในกระบวนการเชื่อม



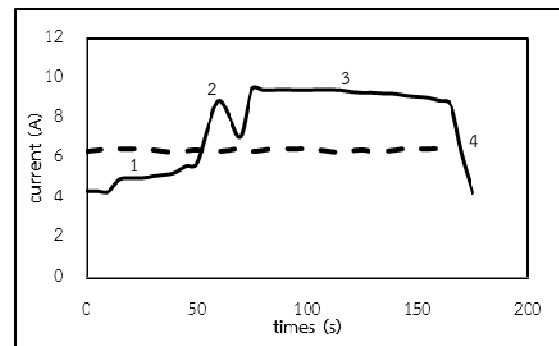
รูปที่ 4 การตรวจวัดกระแสในขณะทำการเชื่อม

2.3 การตรวจสอบโครงสร้าง

ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเสียตทานแบบหมุนกวน ทำการตัดชิ้นงานตามขวางรอยเชื่อมห่างจากปลายรอยเชื่อมเป็นระยะ 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 หลังจากนั้นขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 ถึง 4000 จากนั้นขัดด้วยผ้าสักหลาดที่โรยด้วยผงเพชร ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดบ่อกวน ใช้สารกัดชิ้นรอย tucker's ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ HCl 45ml, HNO₃ 15ml, HF 15ml, H₂O 25ml และ ในการตรวจสอบขนาดของเกรนในรอยเชื่อมใช้สารกัดชิ้นรอย weck's ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ H₂O 100ml, KMnO₄ 4g, NaOH 1g หลังจากนั้นทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ OLYMPUS BX51M



รูปที่ 5 บริเวณที่ทำการตรวจสอบโครงสร้าง



รูปที่ 6 ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม

3. วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง

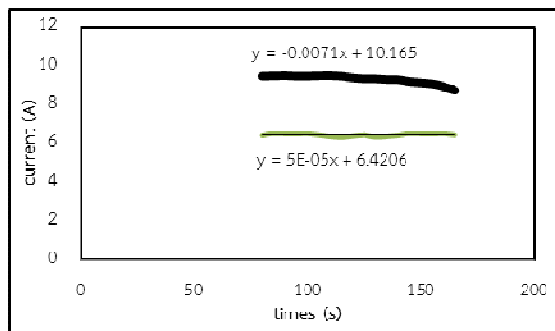
3.1 กระแสไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในการเชื่อม

ในการวัดกระแสไฟฟ้าระหว่างการเชื่อมเสียตทานแบบหมุนกวนของโลหะผสมอลูมิเนียมโดยใช้แคลมป์มิเตอร์ ได้ผลการวัดดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6 เส้นประแสดงกระแสไฟฟ้าระหว่างการเดินเครื่องเชื่อมเปล่า เส้นทึบแสดงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียม

จากรูปที่ 6 กราฟเส้นประมีลักษณะเป็นเส้นตรงค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากในขณะที่เดินเครื่องเชื่อมหัวกวนและแท่นเคลื่อนที่ชิ้นงานไม่ได้รับผลกระทบทางกลที่เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ขณะที่กราฟเส้นทึบในช่วงที่หนึ่งกระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยค่ากระแสไฟฟ้านี้ต่ำกว่าการเดินเครื่องเปล่า เนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้าไปกับความเร็วรอบในการหมุนของหัวกวนเพียงอย่างเดียว และเมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ของหัวกวนกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ช่วงที่สองกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุดซึ่งเป็นช่วงเวลา

เดียวกับที่กดหัวจนถึงจุดต่ำสุดและกระแสไฟฟ้าลดลง เมื่อหัวกดหมุนอยู่กับที่ ช่วงที่สามกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งเนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ และมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่หลังจากที่หัวกดเริ่มเคลื่อนที่ ไปได้ระยะหนึ่งจนสุดแนวเชื่อม ช่วงที่สี่เมื่อยกหัวกดขึ้น และปิดเครื่องกระแสไฟฟ้าจะลดลง

พิจารณารูปเส้นกราฟพบว่าหลังจากหัวกดเคลื่อนที่ได้ระยะหนึ่งพฤติกรรมพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงาน เชื่อมค่อนข้างเป็น quasi steady state ทำให้ผู้วิจัยเลือก ช่วงดังกล่าวมาหาค่าพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมตามแนว เชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 สมการเส้นตรงในช่วงที่ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่

อนึ่งจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไม่อาจถูกสร้างขึ้นหรือทำลายได้ พลังงานแค่เปลี่ยนจากรูปแบบ หนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเท่านั้น ในการทดลองนี้จะ เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่ไหลเข้าเครื่องเชื่อม เมื่อนำมาคำนวณเป็นพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานพลังงาน เหล่านั้นจะถูกนำไปใช้ในรูปต่างๆ ดังสมการ (1)

$$E_i = E_{\text{workpiece}} + E_{\text{lose}} + E_{\text{ground}} \quad (1)$$

พลังงานขาเข้า (E_i) มีค่าเท่ากับพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อม ($E_{\text{workpiece}}$) รวมกับพลังงานที่เครื่อง milling ใช้เป็นขั้นต่ำ (E_{ground}) พลังงานที่สูญเสียไป (E_{lose}) ซึ่งประกอบไปด้วย ความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นของเครื่องจักรหรือสูญเสีย ไปกับอุปกรณ์ของเครื่องจักรและอื่นๆ เพื่อประเมินหา พลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานผู้วิจัยจึงต้องประเมินค่าพลังงานขั้นต่ำที่เครื่อง milling ต้องการและพลังงานสูญเสียจากค่า กระแสไฟฟ้าเดินเครื่องเชื่อมเปล่า มาหักออกจากพลังงาน

ที่ได้จากกระแสไฟฟ้าในขณะที่เชื่อม ซึ่งผู้วิจัยได้สมมติให้

$E_{\text{lose}} + E_{\text{ground}}$ ในสองกรณีเท่ากันทำให้

$$\Delta E_i = E_{\text{workpiece}} \quad (2)$$

โดยสมการที่ (3) แสดงการคำนวณพลังงานจาก กระแสไฟฟ้า

$$E_{@1m} = \frac{V \int_0^{\Delta t} I dt}{t_{\text{total}}} \times t_{@1m} \quad (3)$$

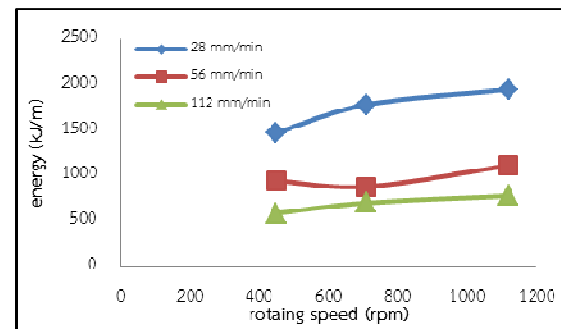
เมื่อ $E_{@1m}$ = พลังงานในระยะทาง 1 เมตร

$t_{@1m}$ = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 เมตร

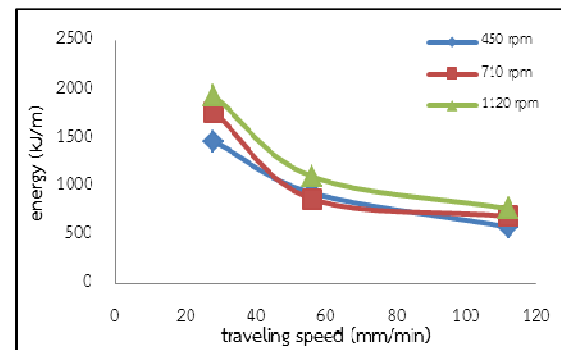
t_{total} = เวลาทั้งหมด

ΔI = กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการหมุน กับพลังงาน



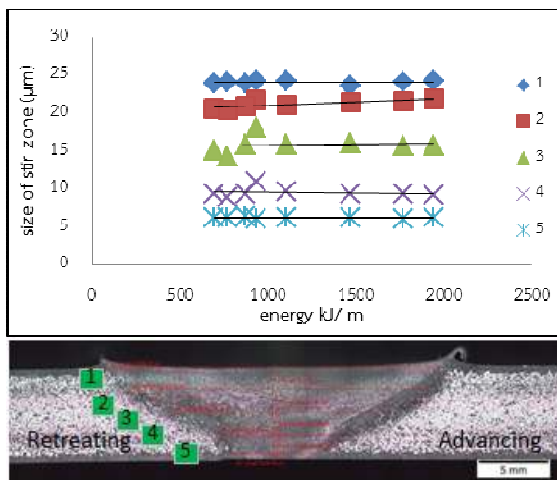
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการหมุน กับพลังงาน

จากผลการวัดกระแสไฟฟ้าเมื่อถูกแปลงเป็น พลังงานจะได้ความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 พบว่าเมื่อความเร็วรอบในการหมุนของหัวกดเพิ่มขึ้น

พลังงานลงสู่ชิ้นงานจะสูงขึ้นตาม แต่เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวทวนเพิ่มขึ้นพลังงานมีค่าลด

3.2 ขนาดของบ่อทวน

เมื่อนำพลังงานที่ได้จากสภาวะการเชื่อมที่แตกต่างกันมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับขนาดของบ่อทวน ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่าเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นขนาดของบ่อทวนไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นบริเวณผิวสัมผัสของชิ้นงานกับบ่าหัวทวนด้านบนสุด หรือบริเวณกลางชิ้นงานรวมถึงด้านล่างของบ่อทวน ยกเว้นบริเวณ

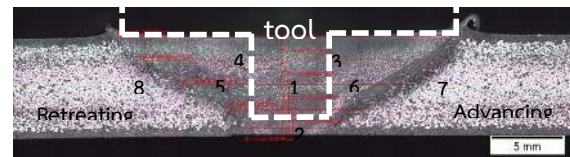


รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมกับขนาดบ่อทวน

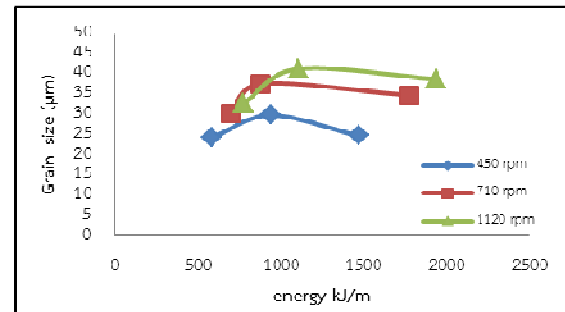
ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณใต้บ่าหัวทวนลงมาประมาณ 1/3 ของความหนาชิ้นงานขนาดของบ่อทวนจะกว้างขึ้นเล็กน้อยเมื่อพลังงานลงสู่ชิ้นงานมากขึ้น เนื่องจากพลังงานต่อความยาวของรอยเชื่อมที่สูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ไกลออกจากหัวทวนเพิ่มขึ้น เมื่อชิ้นงานอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเนื้อชิ้นงานจะแสดงพฤติกรรมอ่อนตัวและไหลตามความเค้นแรงเฉือนได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดการไหลของเนื้อชิ้นงานมากขึ้นขนาดของบ่อทวนจึงมีการเปลี่ยนแปลง ขณะที่บริเวณอื่นๆ ความกว้างของบ่อทวนขึ้นกับความเค้นแรงเฉือนที่ลากเนื้อวัสดุให้เกิดการไหลเป็นหลัก

3.3 ขนาดเกรน

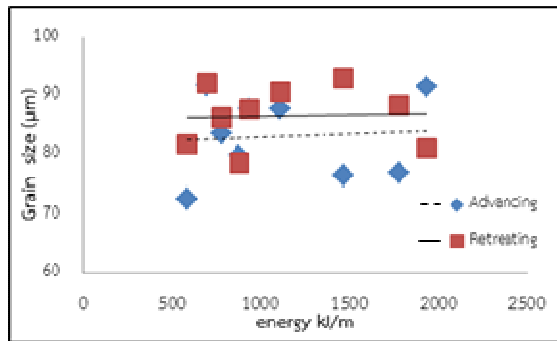
การตรวจวัดขนาดของเกรนแบ่งออกเป็น 8 จุด อยู่ในบริเวณบ่อทวน 6 จุด โดยจะวัดด้าน retreating 2 จุด ด้าน advancing 2 จุด ด้านล่าง 1 จุด และกลางชิ้นงาน 1 จุด ส่วนอีก 2 จุด อยู่รอบบ่อทวน ดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้บริเวณขอบบ่อทวนไม่สามารถวัดขนาดเกรนได้เนื่องจากเกรนเกิดการเสียรูปอย่างรุนแรงมีลักษณะยืดยาวตามความเค้นแรงเฉือนที่ได้รับ หลังจากวัดขนาดเกรนแล้วนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมกับขนาดเกรนได้ผล ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 11 บริเวณที่ทำการตรวจสอบขนาดของเกรน



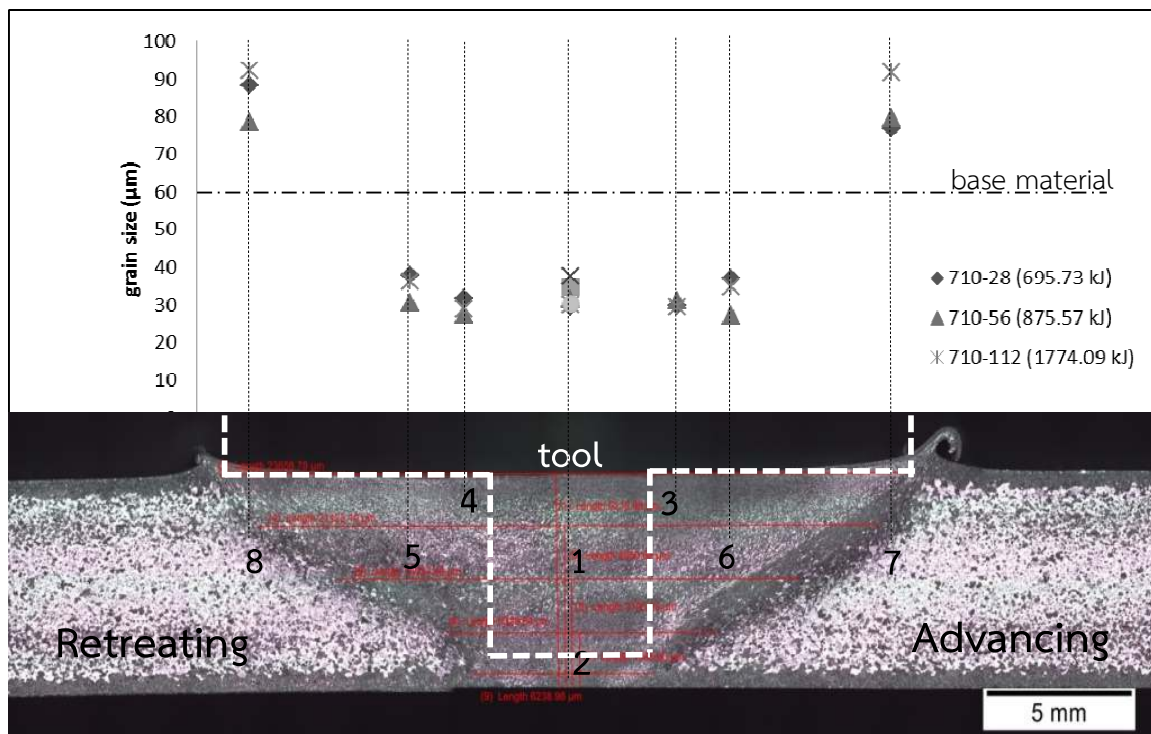
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานกับขนาดของเกรน จากรูปที่ 12 ณ พลังงานต่ำขนาดเกรนของชิ้นงานมีขนาดเล็กและขนาดเกรนใหญ่ขึ้นเมื่อพลังงานลงสู่ชิ้นงานเชื่อมเพิ่มขึ้น 900 ถึง 1100 กิโลจูลต่อเมตร จากนั้นเกรนจะมีขนาดลดลงเล็กน้อยเมื่อพลังงานลงสู่ชิ้นงานเชื่อมมากขึ้นลักษณะดังกล่าวนี้เป็นผลมาจาก เมื่อพลังงานที่ลงสู่ชิ้นงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้การตกผลึกใหม่เกิดขึ้นเร็วขึ้น แต่ขนาดเดียวกันบริเวณบ่อทวนชิ้นงานเกิดการเสียรูปถาวรทำให้เกรนที่ตกผลึกเกิดการยืดและตกผลึกซ้ำ ดังนั้น ณ พลังงานลงสู่ชิ้นงานเชื่อมค่าหนึ่งจึงทำให้เกิดขนาดเกรนใหญ่สุด



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานกับขนาดเกรน บริเวณนอกบ่อควน

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของเกรนบริเวณนอกบ่อควนกับพลังงานที่ส่งสู่ชิ้นงานโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 13 บริเวณนอกบ่อควนมีขนาดเกรนอยู่ในช่วง 72 ถึง 95 μm ซึ่งใหญ่กว่าขนาดของเกรนในบริเวณบ่อควนและขนาดของเกรนเดิม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับผลกระทบจากความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเพียงอย่างเดียว เกรนจึงเกิดการขยายตัว

และยังสังเกตว่าขนาดของเกรนในจุดตรวจสอบฝั่ง retreating มีขนาดที่ใหญ่กว่าเกรนในฝั่ง advancing นอกจากนี้ ขนาดของเกรนนอกบ่อควนนี้ขึ้นกับพลังงานความร้อนที่ส่งสู่ชิ้นงานเล็กน้อย เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของขนาดเกรนแต่ละบริเวณที่ทำการตรวจสอบ จึงนำขนาดเกรนมาสร้างความสัมพันธ์กับบริเวณจุดตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 14 จากกราฟพบว่าขนาดของเกรนในบ่อควนทุกจุดมีขนาดใกล้เคียงกันและเมื่อเปรียบเทียบขนาดเกรนในบ่อควนกับขนาดเกรนของวัสดุเริ่มต้นพบว่าเกรนบริเวณบ่อควนที่ได้รับทั้งพลังงานความร้อนและการกดตัวของหัวควนมีขนาดเล็กกว่าถึง 50 เปอร์เซ็นต์ บริเวณถัดจากบ่อควนออกไปทั้งสองข้างเกรนมีการขยายตัวที่ใหญ่ขึ้นกว่าขนาดของเกรนวัสดุเริ่มต้นถึง 41 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 14 ขนาดเกรนบริเวณต่างๆ ของรอยเชื่อม



4. สรุปผล

จากการศึกษาผลของพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมในการเชื่อมโลหะผสมอลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนวน ต่อขนาดของบ่อทวน และขนาดของเกรน ได้ผลการศึกษาดังนี้

1) ปริมาณพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อขนาดของบ่อทวนโดยรวม แต่ส่งผลต่อความกว้างบริเวณใต้บ่าหัวทวนลงมาประมาณ 1/3 ของความหนาขึ้นงานโดยที่ขนาดของบ่อทวนจะมีความกว้างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2) ขนาดของเกรนในบ่อทวนไม่ได้ขึ้นกับพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมเพียงอย่างเดียวทำให้ ณ พลังงานที่ลงสู่ขึ้นงานเชื่อมค่าหนึ่งทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ และขนาดของเกรนในบ่อทวนมีขนาดที่เล็กกว่าเกรนเริ่มต้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ขนาดเกรนนอกบ่อทวนขึ้นกับพลังงานที่ลงสู่รอยเชื่อมเพียงเล็กน้อย และมีขนาดใหญ่มากกว่าขนาดเกรนเริ่มต้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Reinhold, K. Angermann, in: W. Krenkel (Ed.), Verbundwerkstoffe, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009, pp. 27–38.
- [2] M. Wahba, Y. Kawahito, S. Katayama, J. Mater. Process. Technol. 211 (2011) 1166–1174.
- [3] W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham, M.G. Murch, P. Templesmith, C.J. Dawes, G.B. Patent Application No. 9125978.8 (December 1991).
- [4] Karthikeyan R, Balasubramanian V. Predictions of the optimized friction stir spotwelding process parameters for joining AA2024 aluminum alloy using RSM. IntJ Adv Manuf Technol 2010;51:173–83.

- [5] W.M. Thomas, et al., Friction stir welding, International Patent Application PCT/GB92/02203.