

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083-6061

Study of Factors Affecting the Friction Stir Welding of Dissimilar Aluminum Alloys 5083-6061

วรพจน์ ศิริรักษ์^{1*} จรวยพร แสนทวีสุข^{1*} และ จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์¹ ¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี E-mail: worapot.si.57@ubu.ac.th*, charuayporn.s@ubu.ac.th*

Worapot sirirak^{1*} Charuayporn Santhaweesuk^{1*} and Jariyaporn Onwong¹ ¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon ratchathani University E-mail: worapot.si.57@ubu.ac.th*, charuayporn.s@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเร็วรอบเครื่องมือกวน ความเร็วเดินเชื่อม กับอุณหภูมิในแนวเชื่อมต่อ ้ความสามารถในการเชื่อมต่อชนของอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083-6061 ด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน จาก ้ ผลการทดลอง เมื่อค่าอุณหภูมิในแนวเชื่อมซึ่งคำนวณจากสมการทางความร้อนถูกกำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 473 ℃ จะ ้สามารถกำหนดค่าตัวแปรการเชื่อมในการทดลองจริงได้ 2 เงื่อนไข คือ ระดับต่ำ (ความเร็วรอบเครื่องมือกวน 800 รอบ ้ต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 20 มิลลิเมตรต่อนาที) และระดับสูง (ความเร็วรอบเครื่องมือกวน 1600 รอบต่อนาที ความเร็ว เดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที) พบว่า รูปร่างแนวเชื่อมแบบอ่างพบในเงื่อนไขการเชื่อมทั้ง 2 ระดับ แต่แนวเชื่อมของ เงื่อนไขการเชื่อมในระดับสูงจะเกิดร่องจุดบกพร่องบริเวณพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมและเกิดโพรงตำหนิขนาดใหญ่ด้านแอดแวน ซิง ในขณะที่แนวเชื่อมของเงื่อนไขการเชื่อมในระดับต่ำมีความสมบูรณ์ปราศจากตำหนิ และความแข็งพื้นที่กวนเฉลี่ย 68.3 HV เมื่อแนวเชื่อมของเงื่อนไขการเชื่อมในระดับต่ำถูกเสริมแรงด้วยอนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์ 25 เปอร์เซ็นต์โดย ้ปริมาตร พบว่า อนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์กระทบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวเชื่อม และขัดขวางการไหลของ เนื้อวัสดุและส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม เกิดโพรงในพื้นที่กวนบริเวณส่วนล่างแนวเชื่อมด้านแอดแวนซิง ถึงแม้ว่า ้จะช่วยให้ความแข็งพื้นที่กวนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 84.8 HV ก็ตาม ดังนั้น ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน การทำนายช่วง ้อุณหภูมิในแนวเชื่อมอาจไม่ใช่ปัจจัยเพียงอย่างเดียวในการกำหนดสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม และนอกจากนั้นยังพบว่า ้วัสดุเนื้อพื้นปราศจากอนุภาคเสริมแรงกับวัสดุเนื้อพื้นถูกเสริมแรงด้วยอนุภาคมีสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมแตกต่างกัน การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อม และวิธีการใส่อนุภาคผงเสริมแรงให้กระจายตัวสม่ำเสมอ ้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับรอยเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงมีความจำเป็นในการศึกษาต่อไป

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบกวน อนุภาคเสริมแรง อลูมิเนียมผสม

Abstract

The aim of this research was to study the effects of the rotational speed, traverse speed and temperature on the butt welded joint of dissimilar aluminum alloy 5083-6061 by friction stir welding process. From the experimental results, the calculated welding temperature using thermal equation was set at a constant value of 473°C, then two levels of welding conditions were specified; low welding condition level (rotational speed 800 rpm, traverse speed 20 mm./min) and high welding condition level (rotational speed 1600 rpm, traverse speed 80 mm./min). The nuggets with basin shape were found in both conditions. The groove defects were observed on the surface of butt welded joint and large porosities also were found in the advancing size of the high welding condition specimens. Whereas, the defect was not observed in any location of the weld line of the low welding condition specimens and the average hardness of stir zone was 68.3 HV. After the SiC reinforced



particles were added into welded joint of low welding condition specimen by 25 vol%, SiC particles affected the temperature distribution of the weld line and hindered the flow of based materials during stirring. Even though, the reinforced particles promoted higher hardness of stir zone 84.8 HV but those also caused porosities at the bottom of stir zone in advancing size. Therefore, the predicted welding temperature was not the only concern factor of the friction stir process in order to achieve the optimal welding condition. Furthermore, the optimal welding conditions for welding the matrix materials with the reinforced particles and without the reinforced particles were different. The design of experiment to determine the optimal condition and the filling method to obtain the uniform distribution of reinforced particles should be performed in further study in order to achieve the highest welded joint strength.

Keywords: Friction Stir Welding, Reinforced Particle, Aluminum Alloy

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นเทคนิคการเชื่อมใน สภาวะของแข็งที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถแก้ปัญหาการ เชื่อมวัสดุต่างชนิดจากการเชื่อมในสภาวะแบบหลอมละลาย ได้ดี ลดปัญหาด้านความแตกต่างด้านองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางความร้อน ของวัสดุ 2 ชนิดที่ นำมาเชื่อม [1] โดยการทำให้เกิดการอ่อนตัวเสียรูปแบบ พลาสติกแล้วไหลตัวผสมกันในแนวเชื่อมทำให้เกิดพันธะยึด ติดระหว่างเนื้อวัสดุด้านรีทรีทติงและด้านแอดแวนซิงขึ้น สำหรับอลูมิเนียมผสมในกลุ่ม 5000 และกลุ่ม 6000 ถูก นำมาใช้เป็นส่วนโครงสร้างอากาศยาน และยานยนต์ ้ค่อนข้างมาก [2] ซึ่งอลูมิเนียมผสมเกรด 5083 และเกรด 6061 เป็นหนึ่งในวัสดุต่างชนิดที่ถูกนำมาเชื่อมต่อกันเพื่อการ ผลิตแผ่นเชื่อมพ่วงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็น ชิ้นส่วนตัวถังของยานพาหนะ ดังนั้นจึงต้องการแนวเชื่อมที่มี ความแข็งแรงสูงเพื่อไม่ให้เกิดการแตกระหว่างการขึ้นรูป และโครงสร้างที่ปราศจากตำหนิจึงนำมาสู่การเลือกการผลิต แผ่นเชื่อมพ่วงด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนซึ่ง สามารถเชื่อมติดกันได้ดีสำหรับการเชื่อมวัสดุอลูมิเนียมผสม ต่างชนิดแล้วไม่เกิดปัญหาตำหนิภายในโครงสร้าง การแตก ของแนวเชื่อม และการบิดงอของชิ้นงานเชื่อมเหมือนการ เชื่อมแบบหลอมละลาย อย่างไรก็ตามยังพบว่าประสิทธิภาพ ทางกลของแนวเชื่อมยังต่ำกว่าโลหะเนื้อพื้น เนื่องจาก อิทธิพลของอุณหภูมิการเชื่อมและการไหลตัวของเนื้อวัสดุ ส่งผลต่อการผสมเป็นเนื้อเดียวกันและการเกิดตำหนิภายใน [3] จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา การแปรเปลี่ยนของ อุณหภูมิการเชื่อม การไหลตัวเนื้อวัสดุผสมกัน และการเกิด ตำหนิหรือจุดบกพร่องเกิดจากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ความเร็วรอบเครื่องมือกวน(*w*) และความเร็วเดินเชื่อม (*v*) มี ผลให้ประสิทธิภาพทางกลของแนวเชื่อมเปลี่ยนแปลงตามไป ด้วย อุณหภูมิการเชื่อมที่เกิดขึ้นสูงสุดสามารถทำนายได้จาก สมการความสัมพันธ์ของดัชนีทางความร้อน ω^2 / v [4] ดัง สมการทางความร้อนที่ 1

$$\frac{T}{T_m} = K(\frac{\omega^2}{\nu \times 10^4})^{\alpha} \tag{1}$$

โดยที่ *T* คือ อุณหภูมิที่เกิดในการเชื่อม *α* เป็นเลขยกกำลังมี ค่าระหว่าง 0.04-0.06, *K* คือค่าคงที่มีค่าระหว่าง 0.65-0.75 *T_m* คืออุณหภูมิหลอมละลาย [5]

โดย A.S. Sedmak และคณะ(2016) พบว่า การ กำหนดค่าคงที่ α และค่า K ช่วงระดับกึ่งกลาง มีอุณหภูมิ สูงสุดที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดจากการ ทดลองเชื่อมจริง โดยความแตกต่างของพารามิเตอร์การ เชื่อม @และ v มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด และจุดบกพร่องของรอยเชื่อม และการใช้สมการความร้อน ทำให้ทราบอุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมติด และการ เลือกใช้พารามิเตอร์การเชื่อม *w* และ *v* เป็นปัจจัยหลักที่ ควบคุมอุณหภูมิสูงสุดในการเชื่อม ที่ส่งผลกระทบต่อการไหล ตัวของเนื้อวัสดุและการเชื่อมติดที่ทำให้ได้คุณสมบัติทางกล ของแนวเชื่อมดีและโครงสร้างรอยเชื่อมปราศจาก จุดบกพร่อง [6,7] จากสมการทางความร้อนดังกล่าวสามารถ เลือกใช้ค่า *w* และ *v* ได้หลายค่าเมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิใน การเชื่อมเท่ากัน ดังนั้น การศึกษาผลของการเลือกใช้ค่า v, และอุณหภูมิที่ระดับต่างกันต่อความสามารถในการ เชื่อมต่อชนของอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083 และเกรด 6061 จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้

2. วิธีการทดลอง

อลูมิเนียมผสมเกรด 5083-H112 และอลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T651 ขนาดความหนา 6 มิลลิเมตร กว้าง 85 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดัง แสดงในตารางที่ 1 ถูกนำมาเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยใช้

้เครื่องมือกวน 800 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 20 มิลลิเมตรต่อนาที และระดับสูงที่ความเร็วรอบเครื่องมือกวน 1600 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 80 มิลลิเมตรต่อ นาที จากนั้นทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยใช้เครื่องกัด CNC ยี่ห้อ DECKEL MAHO รุ่น FP3-50 ชิ้นงานอลูมิเนียม ผสมเกรด 5083 อยู่ด้านรีทรีทติง (Retreating side ; RS) และอลูมิเนียมผสมเกรด 6061 อยู่ด้านแอดแวนซิง (Advancing side ;AS) หลังจากดำเนินการเชื่อมแล้ว ชิ้นงานจะถูกนำไปตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้าง จุลภาค ภายหลังการตรวจวิเคราะห์โครงสร้าง เงื่อนไขที่ทำ ให้แนวเชื่อมสมบูรณ์จะถูกนำมาใช้ในการเชื่อมที่เสริมแรง ด้วยอนุภาค SiC ขนาดเฉลี่ย 21.8 ไมโครเมตร อัตราส่วน อนภาคเสริมแรง 25% โดยปริมาตร โดยเติมผงลงในร่องของ รอยต่ออลูมิเนียมผสมทั้ง 2 เกรด ขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร ลึก 3.65 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบของร่องสำหรับใส่อนุภาคเสริมแรงในการเชื่อม

ชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ถูกขัดพื้นผิวในภาคตัดขวางด้วยกระดาษทรายและผงขัดอลูมิ น่า กัดกรดด้วยส่วนผสมกรด NHO₃-HCl-HF-น้ำ ใน อัตราส่วน 5:3:2:190 มิลลิลิตร ตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ด้วยกล้อง Dino Pro AM-4113TL และโครงสร้างจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง OLYMPUS BX 60M ตรวจวัดความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ด้วยน้ำหนักกด 100 กรัม เวลากดแช่ 15 วินาที ระยะห่าง 1 มิลลิเมตร จำนวน 45 จุด บริเวณกลางแนวเชื่อมในพื้นที่รับผลกระทบจากความ ร้อน (Heat Affect Zone : HAZ) พื้นที่รับผลกระทบจาก ความร้อนทางกล(Thermo mechanical Affect Zone : TMAZ) และพื้นที่กวน (Stir Zone : SZ)

3. ผลการทดลอง

การทดลองเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083 และเกรด 6061 พบว่า พารามิเตอร์ระดับสูงสามารถเชื่อมติด ได้ แต่เกิดตำหนิแบบร่องบนผิวหน้าแนวเชื่อม รูปร่างแนว เชื่อมเป็นแบบอ่างและเกิดจุดบกพร่องเป็นโพรงบริเวณ



เครื่องมือกวนทำจากทำจากเหล็กกล้า AISI H13 รูปทรง กรวยเกลี่ยวขวา ระยะพิตซ์ 1.2 มิลลิเมตร บ่ากวนมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร หัวกวนมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางโคนกรวย 8 มิลลิเมตร ส่วนปลายมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร เชื่อมต่อแบบต่อชนและพารามิเตอร์ ้ในการเชื่อมประกอบด้วย พารามิเตอร์คงที่ มุมเอียงเครื่องมือ กวน 3 องศา ระยะกดลึกเสียดทาน 0.7 มิลลิเมตร เวลากด แช่เสียดทาน 30 วินาที ส่วนพารามิเตอร์แปรผันเป็น ้ความเร็วรอบเครื่องมือกวน ความเร็วเดินเชื่อม การกำหนด ขอบเขตของพารามิเตอร์ถูกกำหนดจากรายงานวิจัยที่ผ่านมา ตามรายงานของ S. Kasman (2013) และ K. Boulahem และคณะ (2015) [8.9] รวมถึงการพิจารณาจาก ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สามารถรับภาระในการเชื่อมได้ โดยกำหนดช่วงขอบเขตความเร็วรอบเครื่องมือกวนระหว่าง 800-1600 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 20-100 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์จากทฤษฎี ทางความร้อนตามสมการ 1 โดยกำหนดให้ค่า α =0.05 และ *K* = 0.7 จะสามารถคำนวณอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการเชื่อมได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีอลูมิเนียมผสมเกรด 5083 และเกรด 6061

อลูมิเนียม	ธาตุ							
ผสม	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Cr	Cu
5083-	5083- H112	4.710	0.057	0.299	0.751	0.055	0.071	0.034
H112								
6061-	0.599	0.967	0.094	0.297	0.036	0.015	0.200	0.222
T651								

ความเร็วรอบ	ความเร็วเดินเชื่อม (มิลลิเมตรต่อนาที)					
เครื่องมือกวน	20	40	60	80	100	
(รอบต่อนาที)	ค่าอุณหภูมิจากการคำนวณ (°C)					
800	473	457	448	441	436	
1000	484	467	458	451	446	
1200	493	476	466	460	454	
1400	500	483	473	467	461	
1600	507	490	480	473	468	

4	-	9 4	•
ตารางท่	2	็ออมหภาโการเจ	(อนจากการคานวณ)
	~		

จากรายงานของ R.S. Mishra และ Z. Ma (2005) [5] พบว่าช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0.6-0.8 ของอุณหภูมิการหลอม ละลายเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำให้วัสดุอ่อน ตัวได้ดี โดยอุณหภูมิสำหรับอลูมิเนียมผสมจะอยู่ระหว่าง 382-510 ℃ เมื่อค่าอุณหภูมิในการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 2 ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ที่ 473 ℃ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ ในช่วงวัสดุอ่อนตัวได้ดี จะสามารถกำหนดตัวแปรในการ ทดลองเชื่อมจริงได้ 2 เงื่อนไข คือ ระดับต่ำที่ความเร็วรอบ

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

การเสียรูปเนื่องจากการกวน และพื้นที่รับผลกระทบจาก ความร้อน เกรนมีขนาดใหญ่กว่าโลหะเนื้อพื้นดังรูปที่ 3 ้ความแข็งแนวเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 68.3 HV นอกจากนี้เมื่อสัดส่วนของ ความเร็วรอบเครื่องมือ กวนและความเร็วเดินเชื่อม(*๗*/ *v*) เพิ่มมากขึ้น พบว่าโพรง ภายในโครงสร้างแนวเชื่อมด้าน AS มีขนาดเล็กลงตาม อุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเร็วเดินเชื่อมที่ช้าลงทำให้การไหล ของเนื้อวัสดุเข้าไปเติมได้มากขึ้นดังตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม ตามรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแนวเชื่อมที่ได้ยังเกิดปัญหา ้ด้านความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ต่ำกว่าโลหะเนื้อพื้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ [8,10] การเสริมแรงด้วยอนุภาคบริเวณแนวเชื่อม เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว [11] และเมื่อนำ พารามิเตอร์การเชื่อมระดับต่ำมาเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่าง ชนิดเกรด 5083 กับเกรด 6061 แบบเสริมแรงด้วยอนุภาค SiC ในแนวเชื่อม พบว่าชิ้นงานสามารถเชื่อมติดกันได้แต่เมื่อ ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพบรอยแตกและ ตำหนิเป็นโพรงเกิดขึ้นในแนวเชื่อมดังรูปที่ 4 ซึ่งเกิดจาก ผลกระทบของ SiC ที่ขัดขวางการไหลของเนื้อวัสดุจากด้าน RS เข้าไปเติมด้าน AS ไม่เพียงพอ อีกทั้งความร้อนที่เกิดขึ้น ระหว่างการเชื่อมยังถูกอนุภาค SiC ดูดซับความร้อนจากเนื้อ พื้นจึงทำให้การเสียรูปแบบพลาสติกของเนื้อพื้นในพื้นที่กวน ลดลงเช่นเดียวกับรายงานของ S.K. Ghosh และ P. Saha (2011) และ M. Sharifitabar และคณะ (2011) [12,13] จึง ทำให้แนวเชื่อมที่ได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังพบการเกาะ กลุ่มของอนุภาคเสริมแรงเป็นบริเวณกว้างในแนวเชื่อม ส่วน โครงสร้างจุลภาคในพื้นที่กวน พบว่าโลหะเนื้อพื้นส่วนใหญ่ เป็นเนื้อเดียวกันแต่มีการเกาะกลุ่มของอนุภาคเสริมแรงมาก ้ด้าน RS อีกทั้งการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในบริเวณ ้ส่วนกลางพื้นที่กวนและอนุภาคผงเสริมแรงมีกระจายแทรก ตัวน้อยมากด้าน AS

ตารางที่ 3	ตำหนิภายใ	นแนวเชื่อม
------------	-----------	------------

สัดส่วน <i>๗∕ v</i>	อุณหภูมิ (°C)	ตำหนิภายในโครงสร้าง
12	454	RS AS <u>5 mm</u>
14	461	RS AS 5mm
16	468	R5 AS <u>5 mm</u>
26	480	RS AS 5mm

ส่วนล่างของแนวเชื่อมทั้งด้าน RS และด้าน AS จากการไหล ตัวเติมเนื้อวัสดุไม่เพียงพอ ส่วนพารามิเตอร์ระดับต่ำ สามารถเชื่อมติดได้ดีและปราศจากร่องบนพื้นผิวหน้าแนว เชื่อม รูปร่างแนวเชื่อมเป็นแบบอ่างเช่นกันแต่ปราศจาก ตำหนิ และมีขนาดเฉลี่ยของ พื้นที่กวน 4.75 มิลลิเมตร พื้นที่ รับผลกระทบจากความร้อนทางกล 0.8 มิลลิเมตร และพื้นที่ กระทบร้อน 1.44 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดที่เล็กกว่าแนวเชื่อม เมื่อใช้พารามิเตอร์ระดับสูง ที่มีขนาดเฉลี่ยของพื้นที่กวน 4.87 มิลลิเมตร พื้นที่รับผลกระทบจากความร้อนทางกล 1.38 มิลลิเมตร และพื้นที่กระทบร้อน 1.52 มิลลิเมตร ดังรูป ที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาค (ก-ข) ความเร็วรอบ เครื่องมือกวน 800 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 20 มิลลิเมตรต่อ นาที (ค-ง) ความเร็วรอบเครื่องมือกวน 1600 รอบต่อนาที เดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ดังนั้นจากผลความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม เมื่อใช้ เงื่อนไขในการเชื่อมต่างกันแต่มีอุณหภูมิในแนวเชื่อมจากการ คำนวณเท่ากัน ผลของอุณหภูมิในแนวเชื่อมอาจไม่ใช่ปัจจัย เดียวที่ทำให้แนวเชื่อมสามารถเชื่อมติดได้ดี หากแต่มี องค์ประกอบของพารามิเตอร์ความเร็วรอบเครื่องมือกวน หรือความเร็วเดินเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ตามรายงานวิจัย กล่าวถึง ความเร็วเดินเชื่อมมีผลต่อการเชื่อมติดของแนว เชื่อมรองลงมาเป็นความเร็วรอบเครื่องมือกวน [8] เมื่อ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจากพารามิเตอร์การเชื่อมระดับ ต่ำ พบว่าเนื้อวัสดุในพื้นที่กวนส่วนใหญ่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่มี เนื้อวัสดุบางส่วนที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างชัดเจน พื้นที่ รับผลกระทบจากความร้อนทางกล เกรนมีการยืดออกจาก



การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

เหมาะสมสำหรับการทำให้เนื้อวัสดุไหลตัวผสมกัน จึงทำให้ เกิดจุดบกพร่องและการเกาะกลุ่มของอนุภาคเสริมแรง SiC สำหรับการเชื่อมแบบเสริมแรงด้วยอนุภาค SiC ในแนวเชื่อม หรืออาจกล่าวได้ว่าวัสดุเนื้อพื้นที่ปราศจากอนุภาคเสริมแรง กับวัสดุเนื้อพื้นที่ถูกเสริมแรงด้วยอนุภาคมีสภาวะที่เหมาะสม ในการเชื่อมแตกต่างกัน



รูปที่ 6 ความแข็งแนวเชื่อมแบบเสริมแรงด้วยอนุภาค SiC กับแบบไม่ เสริมแรงด้วยอนุภาค

4. สรุป

แนวเชื่อมของอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083 กับ เกรด 6061 สามารถสรุปได้ดังนี้

 พารามิเตอร์ระดับต่ำ สามารถเชื่อมติดได้ดี ปราศจากตำหนิภายในแนวเชื่อม แต่พารามิเตอร์ระดับสูง แนวเชื่อมที่ได้ไม่สมบูรณ์ ถึงแม้จะมีค่าอุณหภูมิในแนวเชื่อม จากการคำนวณเท่ากัน

 อุณหภูมิไม่ใช่ปัจจัยหลักเพียงอย่างเดียวที่ทำให้ แนวเชื่อมสมบูรณ์ แต่ยังมีพารามิเตอร์ความเร็วรอบเครื่องมือ กวนและความเร็วเดินเชื่อมที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความ สมบูรณ์ของแนวเชื่อม

 เมื่อนำพารามิเตอร์ระดับต่ำมาเชื่อมด้วยการ เสริมแรงอนุภาค SiC ในแนวเชื่อม แนวเชื่อมที่ได้ไม่สมบูรณ์ เกิดโพรงและรอยแตกภายในแนวเชื่อม ซึ่งพารามิเตอร์ระดับ ต่ำจึงยังไม่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมด้วยการเสริมแรง อนุภาค SiC ในแนวเชื่อม

ดังนั้นพารามิเตอร์ความเร็วรอบเครื่องมือกวนและ ความเร็วเดินเชื่อมเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความสมบูรณ์ ของแนวเชื่อมในการเชื่อมอลูมิเนียมผสมต่างชนิดเกรด 5083





รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม (ก). พื้นที่รับผลกระทบจากความ ร้อนทางกลด้าน RS (ข). พื้นที่กวน (ค). พื้นที่รับผลกระทบจากความ ร้อนทางกลด้าน AS (ง). พื้นที่รับผลกระทบจากความร้อน



รูปที่ 4 ผิวหน้าแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคอลูมิเนียมผสมต่างชนิด เกรด 5083 กับเกรด 6061 แบบเสริมแรงด้วยอนุภาค SiC ในแนว เชื่อม



รูปที่ 5 การกระจายตัวของอนุภาค SiC ในพื้นที่กวน ก. การเกาะกลุ่มของอนุภาค SiC ในด้าน RS ข. การกระจายตัวของ อนุภาค SiC ในด้าน AS

อย่างไรก็ตามผลของอนุภาคเสริมแรงช่วยให้แนวเชื่อม มีความแข็งเพิ่มสูงขึ้นจากการแทรกตัวของอนุภาคเสริมแรง ในเนื้อพื้นดังรูปที่ 5 พื้นที่รับผลกระทบจากความร้อนทางกล และพื้นที่รับผลกระทบจากความร้อนเมื่อเทียบกับแนวเชื่อม ที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยอนุภาค SiC ดังรูปที่ 6 แนวเชื่อมมีความ แข็งเฉลี่ย 84.8 HV ดังนั้นเงื่อนไขการเชื่อมระดับต่ำ ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ωและ ν ยังไม่มีความ



กับเกรด 6061 ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคในแนวเชื่อม การ ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อม การตรวจวัดอุณหภูมิการเชื่อมที่เกิดขึ้นจริงและวิธีการใส่ อนุภาคผงเสริมแรงให้กระจายตัวสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้แนว เชื่อมที่มีคุณภาพ จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และสาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุสำหรับการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- J. Guo, "Solid State Welding Processes in Manufacturing," in *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, Springer-Verlag London, p. 576-583, 2015.
- J. Cui and H.J. Roven, "Recycling of automotive aluminum," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 20, no. 11, p. 2057–2063, 2010.
- [3] M.J. Peel, A. Steuwer and P.J. Withers, " Dissimilar friction stir welds in AA5083-AA6082.
 Part II: Process parameter effects on microstructure," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 37, no. 7, p. 2195–2206., 2006.
- [4] V. RajKumar, M. VenkateshKannan, P. Sadeesh, N. Arivazhagan and K.D. Ramkumar, " Studies on Effect of Tool Design and Welding Parameters on the Friction Stir Welding of Dissimilar Aluminium Alloys AA 5052 – AA 6061," *Procedia Engineering*, vol. 75, p. 93–97, 2014.
- [5] R. Mishra and Z. Ma, "Friction stir welding and processing," *Materials Science and Engineering*, vol. 50, p. 1–78, 2005.
- [6] A. Sedmak, R. Kumar, S. Chattopadhyaya, S. Hloch, S. Tadic, A. Djurdjevic, I. Cekovec and E.

Donceva, "Heat input effect of friction stir welding on aluminum alloy AA 6061-T6 welded joint," *Thermal Science*, vol. 20, no. 2, p. 637-641, 2016.

- [7] H. Li, S. Yang, S. Zhang, B. Zhang, Z. Jiang, H. Feng, P. Han and J. Li, "Microstructure evolution and mechanical properties of friction stir welding super-austenitic stainless steel S32654," *Materials and Design*, vol. 118, p. 207–217, 2017.
- [8] S. Kasman, "Multi-response optimization using the Taguchi-based grey relational analysis: a case study for dissimilar friction stir butt welding of AA6082-T6/AA5754-H111," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 68, p. 795– 804, 2013.
- [9] K. Boulahem, S. Ben Salem, and J. Bessrour, " Surface Roughness Model and Parametric Welding Optimization in Friction Stir Welded AA2017 Using Taguchi Method and Response Surface Methodology," Design and Modeling of Mechanical Systems - II, p. 83-93, 2015.
- [10] S. Ravikumar, V. SeshagiriRao and R. Pranesh, "Effect of Welding Parameters on Macro and Microstructure Friction Stir Welded Dissimilar Butt Joints between AA7075-T651 and AA6061-T661 Alloys," *Procedia Materials Science*, vol. 5, p. 1726 – 1735, 2014.
- [11] วรพจน์ ศิริรักษ์, จรวยพร แสนทวีสุข, จริยาภารณ์ อุ่น วงษ์ และ รุ่งวสันต์. ไกรกลาง, "การเชื่อมเสียดทานแบบ กวนของอลูมิเนียมอัลลอย:การทบทวนและมุมมองสู่ อนาคต," วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, vol. 23, no. 3, p. 64-82, 2016.
- [12] S.K. Ghosh and P. Saha, "Crack and wear behavior of SiC particulate reinforced aluminium based metal matrix composite fabricated by direct metal laser sintering process," *Materials and Design*, vol. 32, p. 139–145, 2011.



การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 12-15 กรกฎาคม 2560 เชียงใหม่

 [13] M. Sharifitabar, A. Sarani, S. Khorshahian and M. Shafiee Afarani, "Fabrication of 5052Al/Al₂O₃ nanoceramic particle reinforced composite via friction stir processing route," Materials & Design, vol. 32, no. 8-9, p. 4164-4172, 2011.