

การศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ

Investigation of the Effects of Welding Path Patterns on the Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy in GMAW Using a Robotic Welding Arm

วิทยา ศิริคุณ¹ วิชเนต เพชรสุวรรณ^{1*} ซูไฮดี สนิ¹ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2} และ รอมฎอน บุระพา^{1,2}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Witthaya Sririkun¹ Wikanet Phetsuwan^{1*} Suhaidee Sani¹ Surasit Rawangwong^{1,2} and Romadorn Burapa^{1,2}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand

²Materials Processing Technology Research Unit, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Boyang, Muang, Songkhla 90000, Thailand

*Corresponding author Email: wikanet.p@rmutsv.ac.th

(Received: June 11, 2025; Revise: June 28, 2025; Accepted: June 29, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ภายใต้กระบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยใช้แขนกลหุ่นยนต์เชื่อม KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ควบคู่กับแหล่งจ่ายกำลังเชื่อม ภายใต้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย วัสดุทดสอบเป็นแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ขนาด 100 × 200 × 4 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์การเชื่อมคงที่ ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของก๊าซเฉื่อย 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที โดยพิจารณาผลของรูปแบบการเดินแนวเชื่อม 3 ลักษณะ คือ แบบเส้นตรง (ไม่มีการส่าย) แบบส่ายซิกแซก และแบบส่ายเป็นวงกลม ผลการทดสอบเชิงกลโดยวิธีความแข็งแบบวิกเกอร์ และการทดสอบแรงดึง แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเดินแนวเชื่อมแบบส่ายวงกลมส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่ 70.38 HV และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 154.74 MPa รองลงมาคือแบบส่ายซิกแซกที่ให้ค่าความแข็งเฉลี่ย 64.10 HV และแรงดึง 141.39 MPa ขณะที่แบบไม่ส่ายให้ค่าต่ำสุดคือ 66.94 HV และ 135.44 MPa ตามลำดับ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของการเดินแนวเชื่อมมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมทางกลของแนวเชื่อมในโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์การควบคุมกระบวนการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงานเชื่อมให้มีคุณภาพสูงมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: โลหะผสมอะลูมิเนียม 6061 การเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ รูปแบบการเดินแนวเชื่อม และการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย

Abstract

This research aims to investigate the effects of welding path patterns on the mechanical properties of aluminum alloy 6061 under an automated welding process. The study utilizes a robotic welding arm integrated with welding power source, operating under the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process, also known as Metal Inert Gas (MIG) welding. The test specimens are aluminum alloy 6061 plates with dimensions of 100 × 200 × 4 mm. Constant welding parameters are maintained, including a welding current of 180 A, shielding gas flow rate of 12 L/min, wire feed speed of 6 m/min, and travel speed of 0.5 m/min. Three distinct welding path patterns are examined: linear (without weaving), zigzag weaving, and circular weaving. Mechanical properties are evaluated using the Vickers Hardness Test and Tensile Test. The results indicate that the circular weaving pattern yields the highest average weld hardness of 70.38 HV and the highest tensile strength of 154.74 MPa. The zigzag weaving pattern follows with a hardness of 64.10 HV and tensile strength of 141.39 MPa, while the linear pattern produces the lowest values at 66.94 HV and 135.44 MPa, respectively. These findings demonstrate that the welding path pattern significantly influences the mechanical behavior of the weld in aluminum alloy 6061. The research findings can be used as a guideline for developing control strategies in robotic welding processes within the industrial sector to enhance the efficiency and quality of welded components.

Keywords: Aluminum Alloy 6061, Robotic Welding, Welding Path Pattern, and Gas Metal Arc Welding (GMAW)

1. บทนำ

อะลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีความโดดเด่น ได้แก่ ความแข็งแรงเชิงกลที่สูง ความทนทานต่อการกัดกร่อน การนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี และน้ำหนักที่เบากว่าโลหะชนิดอื่น ๆ [1–2] คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้วัสดุประเภทนี้ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา อาทิเช่น อุตสาหกรรมการบิน อากาศยาน การก่อสร้าง และการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า [3] การเพิ่มธาตุผสม เช่น ซิลิกอน สังกะสี และแมกนีเซียมในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางกลและคุณสมบัติการหลอมละลายได้ [4] ในขณะที่อะลูมิเนียมยังคงเป็นโลหะที่ได้รับการยอมรับในอันดับที่สองรองจากเหล็ก ในแง่ของการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มโลหะผสมอะลูมิเนียมประเภท 5xxx 6xxx และ 7xxx ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานสูงและมีน้ำหนักเบา โดยเฉพาะในกรณีของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายไม่เพียงแต่ในชิ้นส่วนอากาศยานและอากาศยาน แต่ยังรวมไปถึงโครงสร้างทางทะเล โครงสร้างภายในอาคาร และการผลิตเฟอร์นิเจอร์ [5–6]

ในอุตสาหกรรมการบิน กระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ โดยเฉพาะกระบวนการเชื่อม ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนสำคัญ เช่น โครงสร้างหลัก ตัวถัง และชิ้นส่วนรับน้ำหนัก โดยการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ได้รับการพัฒนาอย่างมากในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดเวลาในการผลิต [7] โดยเฉพาะกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยก๊าซเฉื่อย (Gas Metal Arc Welding; GMAW) หรือ MIG (Metal Inert Gas Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการเชื่อมโลหะด้วยการใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กที่ป้องกันภายนอก ทำให้การเชื่อมมีประสิทธิภาพสูง [8]

กระบวนการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) ใช้ลวดเชื่อมที่ป้อนเข้ามาอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความร้อนจากการอาร์กระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงาน ทำให้โลหะหลอมละลายและเชื่อมติดกันเป็นแนวเชื่อม โดยการปกคลุมอาร์ก ด้วยก๊าซเฉื่อย

เช่น อาร์กอนหรือฮีเลียม จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการออกซิเดชันของโลหะในระหว่างการเชื่อม [9] การใช้หุ่นยนต์ในการเชื่อมร่วมกับกระบวนการ GMAW ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมกระบวนการเชื่อม เช่น การควบคุมความเร็วในการเดินเชื่อม แรงดันอาร์ก และกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้สามารถลดข้อผิดพลาดจากปัจจัยมนุษย์ เช่น ความเหนื่อยล้า และทำให้คุณภาพของการเชื่อมมีความสม่ำเสมอ [10] ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อม เช่น รูปแบบการเดินเชื่อม กระแสไฟฟ้า ความเร็วในการเดินเชื่อม และการควบคุมอุณหภูมิอาร์ก มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความแข็งแรงและคุณสมบัติของแนวเชื่อม การควบคุมปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้ได้แนวเชื่อมที่มีคุณสมบัติที่ดีและทนทาน [11] โดยลดการเกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การบิดงอหรือการแตกหักของแนวเชื่อม

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ในกระบวนการ GMAW ด้วยแขนกลเชื่อมอัตโนมัติ ยี่ห้อ KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ร่วมกับเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 320i ในกระบวนการเชื่อมอาร์กแบบใช้ก๊าซเฉื่อย (GMAW) แบบ MIG โดยใช้วัสดุเป็นแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 แผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

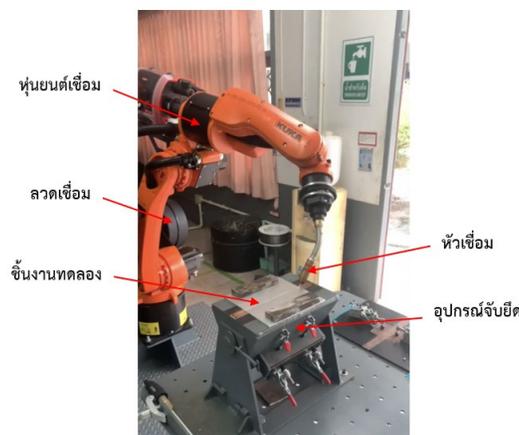
งานวิจัยนี้ได้ใช้อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ขนาดแผ่น 200 × 100 × 4 mm มีส่วนประกอบหลัก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 (% โดยมวล) [5]

โลหะ	Si	Fe	Ti	Cu	Mg	Zn	Mn
Al 6061	0.8	0.7	0.15	0.4	1.2	0.25	0.15

2.1.2 หุ่นยนต์เชื่อมและเครื่องเชื่อม

งานวิจัยนี้ได้ใช้หุ่นยนต์เชื่อม (Welding robot) KUKA รุ่น KR 8 R1440-2 arc HW ดังรูปที่ 1 และเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 320 i และใช้ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมมิก เกรด ER 4043 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 หุ่นยนต์เชื่อม

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.2.1 กำหนดปัจจัยการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยในการทดลองเชื่อม คือ กระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที ทั้งนี้ การเลือกค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวอ้างอิงจากค่าที่เหมาะสมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [12] และสอดคล้องกับคำแนะนำจากผู้ผลิตลวดเชื่อมและเครื่องเชื่อมสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ด้วยกระบวนการ GMAW โดยค่าดังกล่าวสามารถให้สภาพอาร์กที่เสถียร การหลอมละลายของลวดสม่ำเสมอ และลดโอกาสเกิดความบกพร่องของแนวเชื่อม เช่น รูพรุนหรือการแตกร้าว โดยมีการเดินเชื่อม 3 แบบ คือ ไม่มีการส่าย (No weaving) การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral) ดังตารางที่ 2

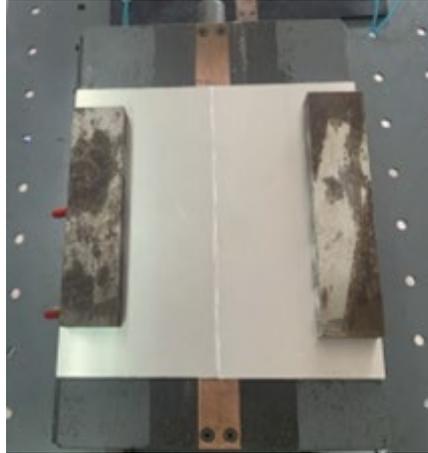
ตารางที่ 2 ปัจจัยในการทดลองเดินเชื่อม

การทดลอง	การเดินเชื่อม	ปัจจัยในการทดลอง			
		กระแส (A)	ความเร็วป้อนลวด (m/min)	ความเร็วเดินเชื่อม (m/min)	การไหลของก๊าซ Argon 100 % (L/min)
1	ไม่มีการส่าย (No Weaving)	180	6	0.5	12
2	การส่ายแบบซิกแซก (Triangle)	180	6	0.5	12
3	การส่ายแบบวงกลม (Spiral)	180	6	0.5	12

2.2.2 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

ในการเชื่อมทดลองมีขั้นตอนเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเป็นระบบ ดังนี้

- 1) นำแผ่นอะลูมิเนียมมาติดตั้งผิวสำหรับเชื่อมต่อชน
- 2) จัดยึดชิ้นงานทดลองในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 จัวยึดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061

- 3) ติดตั้งลวดเชื่อมอะลูมิเนียมผสมสำหรับเชื่อมมิก ER 4043 เข้ากับหุ่นยนต์เชื่อม
- 4) ปรับค่ากระแสและความเร็วป้อนลวดเชื่อมของเครื่องเชื่อม โดยใช้กระแส 180 แอมแปร์ และความเร็วป้อนลวดเชื่อม 6 เมตรต่อนาที
- 5) เขียนโปรแกรมกำหนดรูปแบบการเดินเชื่อมและกำหนดความเร็วในการเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที
- 6) ทำการทดลองเชื่อม โดยการเปิดถังแก๊ส Argon อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลิตรต่อนาที ปรับการบังคับหุ่นยนต์ด้วยรีโมทเป็นโหมด Auto จากนั้นเริ่มการเชื่อมอัตโนมัติโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ โดยแต่ละรูปแบบการเดินเชื่อมมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อประเมินความแปรปรวนของข้อมูล ชิ้นงานทดลองทั้งหมด 9 ชิ้น
- 7) นำชิ้นงานที่ทดลองเชื่อมเสร็จมาพักให้เย็นลงในอุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นงานจากการทดลองเชื่อมด้วยหุ่นยนต์เชื่อม

2.2.3 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

1) ทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เริ่มจากการตัดและหล่อชิ้นงานด้วยเรซิน ตามด้วยการขัดผิวด้วยกระดาษทรายละเอียดพร้อมน้ำหล่อเย็น จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องวิกเกอร์เพื่อวัดค่าความแข็ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นงานหล่อเรซินเตรียมทดสอบความแข็งแรง

2) การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test)

จากชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้วนำมาตัดตามแนวขวางกับรอยเชื่อม ดังรูปที่ 5 ให้ได้ขนาดตามอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E8 เพื่อนำไปทำการทดสอบแรงดึง



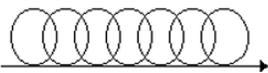
รูปที่ 5 ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะของแนวเชื่อม

ผลจากการทดลองปัจจัยการเดินเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยกำหนดกระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที โดยมีการเดินเชื่อม 3 แบบ คือ ไม่มีการส่าย (No weaving) การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral) ได้ลักษณะของแนวเชื่อม ดังตารางที่ 3

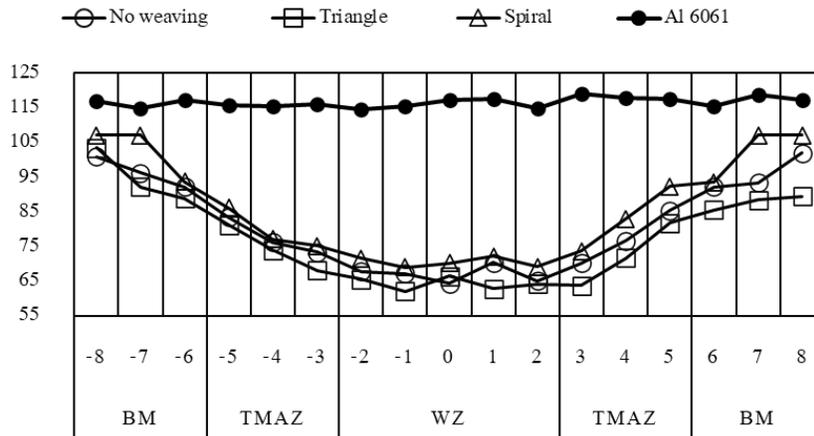
ตารางที่ 3 ลักษณะแนวเชื่อม

การทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง การเดินเชื่อม	ภาพประกอบ
1	ไม่มีการส่าย (No weaving) 	
2	การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) 	
3	การส่ายแบบวงกลม (Spiral) 	

จากตารางที่ 3 รอยเชื่อมของการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบการทดลอง แนวเชื่อมมีลักษณะสมบูรณ์และรอยเชื่อมทั้งสองผสานเป็นเนื้อที่ติดกัน โดยผ่านการตรวจสอบด้วยสายตา

3.2 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

การทดสอบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม โดยการนำค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบ มาเปรียบเทียบกับวัสดุเดิม เพื่อดูค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) บริเวณที่ได้ผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal; BM) เมื่อนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบในรูปแบบกราฟได้ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6



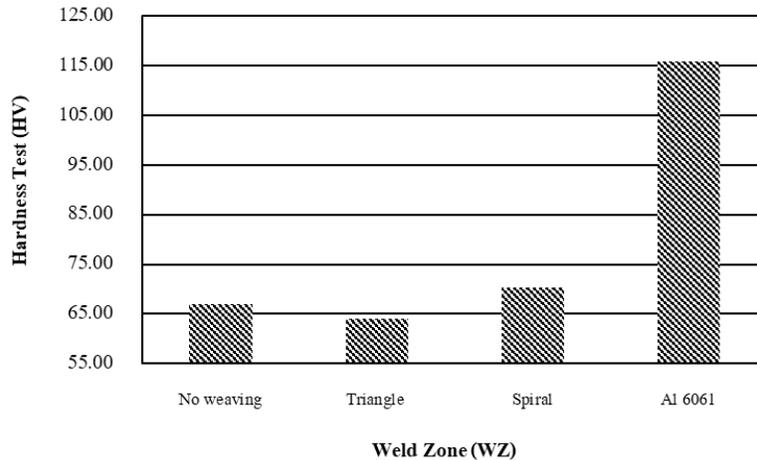
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็ง

3.2.1 วิเคราะห์ค่าความแข็งรอยเชื่อมจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

จากผลการทดสอบ พบว่าชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบ ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) สูงสุดตามลำดับ ดังนี้

- 1) การเดินเชื่อมสายแบบวงกลม (Spiral) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 70.38 HV
- 2) การเดินเชื่อมแบบไม่มีการสาย (No weaving) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 66.94 HV
- 3) การเดินเชื่อมสายแบบซิกแซก (Triangle) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) เฉลี่ย 64.10 HV

เมื่อนำค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) ของชิ้นงานทดสอบจากการเดินเชื่อมทั้ง 3 แบบ คือ ไม่มีการสาย (No weaving) การสายแบบซิกแซก (Triangle) และการสายแบบวงกลม (Spiral) มาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของวัสดุเดิม เฉลี่ย 115.9 HV จะเห็นได้ว่าชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมในทุกสภาวะการทดลอง มีค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมต่ำกว่าค่าความแข็งของวัสดุเดิม ดังรูปที่ 7 เพราะความร้อนจากการเชื่อมส่งผลต่อความแข็งของอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในพื้นที่ที่ได้รับความร้อนโดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) ที่ได้รับความร้อนมากที่สุดทำให้มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ [11] ว่าบริเวณแนวเชื่อมของชิ้นงาน (Weld Zone; WZ) หลังผ่านกระบวนการเชื่อม มีค่าความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากความร้อนสูงทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเกรน (Grain Growth) โดยเกรนที่ใหญ่ขึ้นจะมีความแข็งลดลง



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง

3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง

ผลจากการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยกำหนดกระแส 180 แอมแปร์ การไหลของก๊าซ 12 ลิตรต่อนาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตรต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตรต่อนาที และการทดลองเดินเชื่อมที่ 3 รูปแบบ คือ ไม่มีการส่าย, การส่ายแบบซิกแซก และการส่ายแบบวงกลม โดยให้รอยเชื่อมอยู่ตำแหน่งกลางของชิ้นงานทดสอบ ความยาวทั้งหมด 150 มิลลิเมตร ความหนาชิ้นงาน 4 มิลลิเมตร ระยะ Gauge Length (G) ของชิ้นงานทดสอบ 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน E8 เพื่อทดสอบหาค่าแรงดึงที่ดีที่สุด และศึกษาแนวโน้มของค่าแรงดึงว่าจะไปในทิศทางใด ตามมาตรฐานของ ASTM E8 ดังตารางที่ 5 ตารางที่ 4 และรูปที่ 8

ตาราง 4 ผลการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

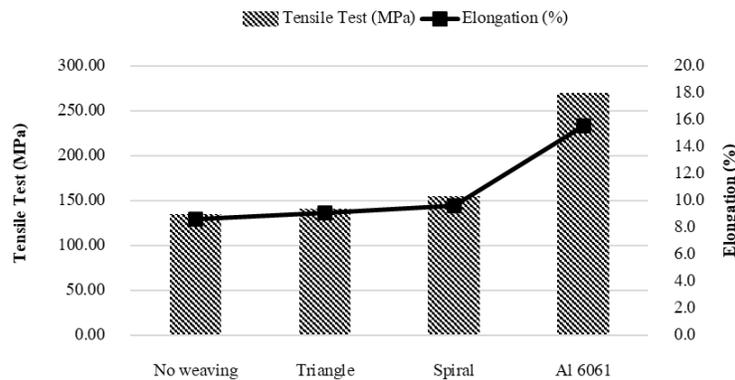
การทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง การเดินเชื่อม	ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึง		
		ความต้านทานแรงดึง (MPa)	ความเค้นคราก (MPa)	ร้อยละการยึดตัวของวัสดุ (%)
1	ไม่มีการส่าย 	135.44	119.97	8.7
2	การส่ายแบบซิกแซก 	141.39	126.04	9.1
3	การส่ายแบบวงกลม 	154.74	147.6	9.7

3.3.1 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึงรอยเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061

ค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานจากการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม จากการทดลองเดินเชื่อมที่ 3 รูปแบบ โดยสามารถจัดอันดับปริมาณแข็งแรงดึงของชิ้นงานและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุสูงสุดตามลำดับ

ดังนี้

- 1) การเดินเชื่อมสายแบบวงกลม (Spiral) ค่าความแข็งแรงดึง 154.74 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 9.7% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ)
- 2) การเดินเชื่อมสายแบบซิกแซก (Triangle) ค่าความแข็งแรงดึง 141.39 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 9.1% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ)
- 3) การเดินเชื่อมแบบไม่มีการส่าย (No weaving) ค่าความแข็งแรงดึง 135.44 MPa ร้อยละการยืดตัวของวัสดุอยู่ที่ 8.7% โดยเกิดการแตกหักที่บริเวณที่ได้ผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) จะอยู่ห่างจากกึ่งกลางเนื้อเชื่อมประมาณ 8–13 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 ความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของวัสดุ

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Max Stress ตามรูปแบบการเดินแนวเชื่อม

รูปแบบการเดินแนวเชื่อม	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ความแปรปรวน (Variance)
ไม่มีการส่าย (No Weaving)	135.44	6.31 MPa	39.81 MPa ²
การส่ายแบบซิกแซก (Triangle)	141.39	3.67 MPa	13.46 MPa ²
การส่ายแบบวงกลม (Spiral)	154.74	10.78 MPa	116.27 MPa ²

จากตารางที่ 5 การทดสอบแรงดึงชิ้นงานที่ใช้รูปแบบการเดินแนวเชื่อมต่างกัน พบว่าแบบส่ายวงกลม (Spiral) ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด (154.74 MPa) และมีความแปรปรวนมากที่สุด ขณะที่แบบ ไม่มีการส่าย (No Weaving) ให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (135.44 MPa) แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเดินแนวเชื่อมส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

ตารางที่ 6 การทดสอบ t-test เปรียบเทียบค่า Max Stress ระหว่างรูปแบบการเดินแนวเชื่อม

คู่เปรียบเทียบ	t-value	degrees of freedom (df)	p-value
Spiral vs No Weaving	2.68	3.22	0.07
Spiral vs Triangle	2.03	2.46	0.14
Triangle vs No Weaving	1.41	3.21	0.25

จากการทดสอบ t-test เปรียบเทียบค่า Max Stress ระหว่างแต่ละคู่ของรูปแบบการเดินแนวเชื่อม พบว่า ทุกคู่มีค่า p-value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของค่า Max Stress ระหว่างรูปแบบการเดินแนวเชื่อมทั้ง 3 รูปแบบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. สรุป

ในการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6061 ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม โดยใช้กระแส 180 โวลต์ อัตราการไหลของก๊าซ 12 ลิตร/นาที ความเร็วป้อนลวด 6 เมตร/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 0.5 เมตร/นาที ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการเดินแนวเชื่อม 3 แบบ ได้แก่ การไม่ส่าย (No weaving), การส่ายแบบซิกแซก (Triangle) และการส่ายแบบวงกลม (Spiral)

4.1 ลักษณะของแนวเชื่อม

การเดินแนวเชื่อมทั้ง 3 แบบสามารถเชื่อมวัสดุให้ติดกันได้ทั้งหมด แต่พบว่าแนวเชื่อมที่ได้จากการเดินเชื่อมแบบวงกลม (Spiral) มีลักษณะสม่ำเสมอและมีความสมบูรณ์มากที่สุด แนวเชื่อมมีความกว้างที่คงที่ตลอดแนวเชื่อม ต่างจากแบบไม่มีการส่ายและแบบซิกแซกที่แนวเชื่อมมีความกว้างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการสะสมความร้อนระหว่างกระบวนการเชื่อม

4.2 การทดสอบความแข็งของแนวเชื่อม

ค่าความแข็งในบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone; WZ) มีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากความร้อนที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม ทำให้บริเวณแนวเชื่อมที่ได้รับความร้อนสูงสุดมีความแข็งลดลง

4.3 การทดสอบแรงดึง

การเดินเชื่อมแบบวงกลม (Spiral) ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ 154.74 MPa รองลงมาคือแบบซิกแซก (Triangle) ที่ 141.39 MPa และแบบไม่มีการส่าย (No weaving) อยู่ที่ 135.44 MPa แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเดินแนวเชื่อมมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของชิ้นงานที่เชื่อม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย และสถานที่ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Rodjanakid, C. Mekkaew, C. Sangsawang, S. Sukprasertchai, and T. Chowwannonthapunya, "A Case Study of Thermodynamics and Electrochemical Corrosion Behavior of Al 6061-T6," *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, vol. 14, no. 40, pp. 26–37, 2024.

- [2] A. Kamruan, S. Siwadamrongpong, U. Thanasubtawee, and P. Muangjunburee, “Influence of Friction Stir Welding Parameters on Tensile Strength of Semi-Solid Cast 2024 Aluminum Alloy Butt Joints,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 2, pp. 85–94, 2021.
- [3] L. Suphachai and B. Phonrat, “A Study on The Bending Stress Capability and Energy Absorption of Solid Rectangular Materials Produced from Natural Materials,” *Journal of RMUTK*, vol. 14, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [4] Y. Zhao, W. Zhang, C. Yang, D. Zhang, and Z. Wang, “Effect of Si on Fe-Rich Intermetallic Formation and Mechanical Properties of Heat-Treated Al-Cu-Mn-Fe Alloys,” *Journal of Materials Research*, vol. 33, no. 11, pp. 898–911, 2018.
- [5] A. Teeparaksapan, C. Jatuporn, and A. Wanaset, “Forecasting The Aluminum Price in The London Metal Exchange Using Box-Jenkins Method,” *Journal of Multidisciplinary Academic Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2023.
- [6] T. Chaisalon, “Determining The Optimal Parameters in Carbon Steel Welding Process Using Robotic Arm,” *Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [7] “Automotive Industry in Thailand, Robot & Automation Yearly Report 2023,” *TGI RAIU*, [Online]. Available: <https://tgiraiu.org/public/uploadfile/news/1724666064.pdf>. [Accessed: Jan. 11, 2025].
- [8] H. Liu and Y. Hu, “Welding,” in *Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys*, vol. 3, pp. 39–65, 2022.
- [9] A. A. Ojetoye, S. A. Akangbe, and O. M. Olorunda, “Friction Welding Processes: A Review,” *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 2579–0625, 2024.
- [10] R. Singh, “4 – Welding Automation,” in *Applied Welding Engineering (3rd ed.): Processes, Codes, and Standards*, pp. 187–201, 2020.
- [11] R. Kosturek, J. Torzewski, M. Wachowski, and L. Sniezek, “Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties and Microstructure of Friction Stir Welded AA7075-T651 Aluminum Alloy Butt Joints,” *Materials*, vol. 15, no. 17, 5950, 2022.
- [12] P. K. Palani and N. Murugan, “Selection of Parameters of Pulsed Current Gas Metal Arc Welding,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 172, no. 1, pp. 1–10, 2006.