

Research Article

ผลของการกระจายความร้อนต่อรูปร่างแนวเชื่อมในวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนาต่างกันด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม

Effect of heat dissipation on weld profile in carbon steel at different thickness by Gas Metal Arc Welding (GMAW)

สิทธิพงษ์ แสงอินทร์^{1*}

Sittipong Sang-in^{1*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800

*E-mail: sittipong.a@cit.kmutnb.ac.th

Received: 16/03/2017; Accepted: 28/09/2017

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการกระจายความร้อนต่อรูปร่างของแนวเชื่อมในชิ้นงานที่มีความหนาต่างกัน โดยพิจารณาจากความกว้าง อัตราการหลอมลึก ความนูนแนวเชื่อม และพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการกระจายความร้อน ทำการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนมาตรฐาน ASTM A36 ที่มีความหนา 3-9 มิลลิเมตร ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) เพื่อดูปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบอัตราเร็วป้อนลวดและความเร็วในการเชื่อมที่ 42.33-59.26 กับ 4.23-6.35 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของแนวเชื่อมมีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน และการกระจายความร้อนในพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่มีความหนาต่างกัน โดยความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานในอัตราที่สูงส่งผลให้อัตราการหลอมลึกแนวเชื่อมสูง ความนูนแนวเชื่อมต่ำ และแนวเชื่อมมีความกว้าง ในขณะที่ความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานในอัตราที่ต่ำส่งผลให้อัตราการหลอมลึกแนวเชื่อมต่ำ และมีความนูนแนวเชื่อมสูง นอกจากนี้ชิ้นงานที่บางกว่าส่งผลให้มีความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการกระจายความร้อนมากกว่าชิ้นงานที่หนากว่า

คำสำคัญ: การกระจายความร้อน, รูปร่างของแนวเชื่อม, ความหนาชิ้นงานต่างกัน

Abstract

Study on the effect of heat dissipation on weld profile in workpiece at different thickness considering of width, deep welding rate, swell of welded line, and affected area of heat dissipation. ASTM-A36 carbon steel workpieces at 3-9 mm were joined via Gas Metal Arc Welding (GMAW) to examine heat input in the workpieces by comparing wire feed speed and travel speed at 42.33-59.26 and 4.23-6.35 mm/sec, respectively. The results showed that there were differences in weld profile due to heat input and heat dissipation in cross-sectional areas of the various thickness workpieces. High welding heat rate gave high deep welding rate, low swell of welded line, and wide welded line whereas low welding heat rate provided low deep welding rate, and high swell of welded line. Besides, thinner workpiece conferred wider affected area of heat dissipation than the thicker one.

Keywords: heat dissipation, weld profile, workpiece of different thickness

บทนำ

การเชื่อมโลหะงานที่มีความหนาต่างกัันนั้น เป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ปฏิบัติการเชื่อมต้องคำนึงถึงเป็นสำคัญ เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิด มีค่าการนำความร้อนและการกระจายตัวของความร้อนที่ต่างกัน ในการเชื่อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยที่จะต้องเชื่อมชิ้นงานที่มีรูปร่างสลับซับซ้อน และมีความหนาที่ต่างกัน การเชื่อมต่อชิ้นงานที่มีขนาดความหนาต่างกัันจะส่งผลต่อพฤติกรรมทางความร้อนที่กระทำลงบนชิ้นงาน ทำให้ได้ขนาดและรูปร่างของแนวเชื่อมแตกต่างกันออกไป ภายใต้พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการเชื่อมพารามิเตอร์เดียวกัน

Limmaneevichitr (2005) กล่าวว่า การนำความร้อนของโลหะและโลหะผสม โดยทั่วไปจะมีค่าความสามารถในการนำความร้อนได้ดีแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำโลหะต่างชนิดกันที่มีความแตกต่างกันในส่วนของคุณสมบัติความสามารถในการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนมาทำการเชื่อมเข้าด้วยกัน ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปจากบ่อหลอมละลายไปยังชิ้นงานได้รวดเร็วแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของโลหะที่เชื่อม และจะมีผลต่อค่าพลังงานความร้อนที่ให้ไปในบ่อหลอมละลายในการเชื่อม ในขณะที่ Kou (2003) พบว่าองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเชื่อม อันเป็นผลสืบเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนมีความสำคัญต่อแนวเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนของแนวเชื่อม (heat affected zone: HAZ) โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ พลังงานความร้อน (energy input) ความหนา (thickness) และคุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties) ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Kou, 2003)

พลังงานความร้อนเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องกล่าวถึงเป็นลำดับแรก โดยปกติแล้วช่างเชื่อมที่ดีจะทราบว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมขนาดลวดเชื่อม และการควบคุมการอาร์กจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับปริมาณความร้อนซึ่งเกิดขึ้น ในขณะที่ทำการอาร์ก ค่าพลังงานความร้อนในการเชื่อมจะบอกถึงปริมาณความร้อนหรือปริมาณพลังงาน ซึ่งใช้ในการเชื่อมงาน โดยหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$H = \frac{60xExI}{S} \quad (1)$$

เมื่อ H = Energy Input (Joules/mm.)

E = Voltage (Volt)

I = Current (Amp)

S = Speed (mm./min)

ค่าพลังงานความร้อนที่หาได้จากการคำนวณ จะเป็นข้อมูลในการตัดสินใจแก้ปัญหาเกี่ยวกับงาน โดยพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงความร้อนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม ทั้งนี้ก็เพื่อนำค่าที่หาได้มาพิจารณาว่าเหมาะสมกับงานเชื่อมหรือไม่ หรือเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของกระบวนการต่าง ๆ ว่ามีความร้อนเกิดขึ้นมากเพียงใด ผลของความร้อนจะบอกให้ทราบถึงสถานการณ์ของการรับความร้อนและการเย็นตัวของแนวเชื่อม

การเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนและองค์ประกอบอื่น ๆ จะมีผลต่อขนาดและลักษณะของแนวเชื่อม เช่นเดียวกับอัตราการรับความร้อนและการเย็นตัว การที่พลังงานความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราความร้อนและการเย็นตัวทุกบริเวณของชิ้นงานช้าลง ดังนั้นบริเวณต่าง ๆ ที่ได้รับความร้อนในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้แนวเชื่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นและช่วง HAZ ก็จะกว้างขึ้น

ในกรณีที่กำหนดให้ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากัน จะพบว่างานเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาจะมี HAZ ที่แคบกว่าชิ้นงานที่บาง และการเชื่อมชิ้นงานที่หนากว่าจะมีอัตราการเย็นตัวเร็วกว่างานเชื่อมชิ้นงานที่บาง ทั้งนี้เพราะว่าการเชื่อมชิ้นงานที่หนากว่าจะมีมวลมากกว่า ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าการเชื่อมชิ้นงานที่บาง

เมื่องานเชื่อมได้รับความร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนอื่นที่เย็นกว่า การถ่ายเทความร้อนนี้จะมีผลเกี่ยวเนื่องกับสมบัติทางกายภาพของโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสภาพการแพร่ความร้อน (thermal diffusivity) ซึ่งแทนด้วยค่า k โลหะที่มีค่า k สูง เช่น ทองแดงและอลูมิเนียม ส่วนเหล็กนิกเกิลมีค่า k ต่ำ การที่โลหะใด ๆ มีค่า k สูง หมายความว่าโลหะนั้นสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องใช้พลังงานความร้อนมากเมื่อทำการเชื่อม เพราะความร้อนสูญเสียไปมาก การที่โลหะมีค่า k สูง แสดงว่าโลหะนั้นเป็นตัวนำความร้อนที่ดีนั่นเอง

ถ้ากำหนดค่าพลังงานความร้อนให้เท่ากันสำหรับการเชื่อมโลหะ ซึ่งมีค่า k สูงและโลหะที่มีค่า k ต่ำ จะปรากฏผลคือ โลหะที่มีค่า k สูง จะมี HAZ แคบกว่าและอัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่า โลหะที่มีค่า k ต่ำ จะมี HAZ กว้างกว่าและอัตราการเย็นตัวช้ากว่า

จากเหตุผลข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะศึกษาอิทธิพลของการกระจายความร้อนในแนวเชื่อมบนชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาต่างกัน เพื่อจะได้ทราบถึงพฤติกรรมของการกระจายตัวของความร้อนต่อขนาดและรูปร่างของแนวเชื่อมที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้พารามิเตอร์ในการเชื่อมให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อชิ้นงาน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ออกแบบการทดลอง โดยการจัดเตรียมเครื่องมือ วัสดุและ อุปกรณ์ ตลอดจนการตรวจวัดขนาด รูปร่างและพื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อม ศึกษาปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานในบริเวณแนวเชื่อมที่มีผลต่อโครงสร้างมหภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนาต่างกัน วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 โดยมี ส่วนผสมทางเคมี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน (ASTM A36/A36M-14 Standard Specification for Carbon Structural Steel) (American Society of Mechanical Engineers, 2007)

Fe	C	P	S	Mn	Cu
99%	0.26%	0.04%	0.05%	0.75%	0.2%

ลวดเชื่อม ที่ใช้ในการทดลองเป็นลวดเชื่อม มาตรฐาน ANSI / AWS A5.18 ER70S - G ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมทางเคมีซึ่งเป็นค่าที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตลวดเชื่อม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม (Kobe Steel, LTD., 2007)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Al	%Ti+Zr
0.04	0.73	1.64	0.010	0.010	0.23	0.01	0.22

เครื่องเชื่อมใช้เป็นเครื่องเชื่อมที่ควบคุมตัวแปรด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ และซอฟต์แวร์ของเครื่องเชื่อม เครื่องหมายการค้า Lincoln รุ่น POWER WAVE F355i (Lincoln Electric, 2005) โดยสามารถเลือกพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถเลือกโหมดในการเชื่อม ชนิดของวัสดุ ชนิดของการถ่ายโอนน้ำ โลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1



เครื่องเชื่อม Lincoln รุ่น POWER WAVE F355i



แขนกลทำการเชื่อมชิ้นงาน

รูปที่ 1. เครื่องเชื่อมและแขนกลทำการเชื่อมชิ้นงาน

ตารางที่ 3. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

อัตราเร็วป้อนลวด	ความเร็วในการเชื่อม	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมแปร์)	ปริมาณความร้อน ที่เข้าสู่ชิ้นงาน (กิโลจูลต่อมิลลิเมตร)
มิลลิเมตรต่อวินาที	มิลลิเมตรต่อวินาที			
42.33	4.23	23	118.5	0.643
42.33	6.35	23.7	102	0.381
46.56	4.23	23.2	128.2	0.703
46.56	6.35	22.7	134	0.479
50.80	4.23	24.1	136.7	0.778
50.80	6.35	23.9	130.6	0.492
55.03	4.23	23.5	152.5	0.847
55.03	6.35	24	144.5	0.546
59.26	4.23	24.2	154.1	0.881
59.26	6.35	24.3	152.8	0.585

เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ขนาดความยาว 156 ความกว้าง 120 และความหนา 9 มิลลิเมตร ตามขนาดกำหนด ดังรูปที่ 2



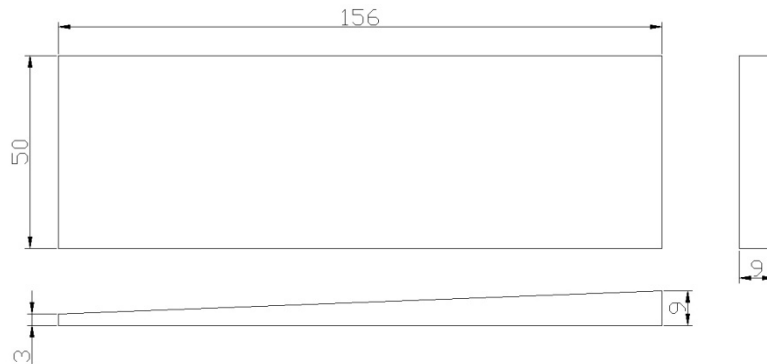
รูปที่ 2. ภาพชิ้นทดสอบ

จากนั้นนำชิ้นงานที่ตัดได้ขนาดแล้วเข้าเครื่องไส (รูปที่ 3) เพื่อเตรียมชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาต่างกัน โดยด้านหนึ่งลดขนาดให้หนา 3 มิลลิเมตร อีกด้านหนึ่งหนา 9 มิลลิเมตร และตัดเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อทำการเชื่อมให้ได้ขนาด กว้าง 50 ยาว 156 และ หนา 9 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4

นำชิ้นงานไปทำการเชื่อมตามพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ ด้วยระบบแขนกล ได้แนวเชื่อมดังรูปที่ 5 เพื่อให้กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในการเชื่อมไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะอาร์กที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแขนกลจะสามารถคงระยะอาร์ก ความเร็วในการเชื่อม และอัตราเร็วป้อนลวดได้อย่างเที่ยงตรงและสม่ำเสมอ



รูปที่ 3. การไสชิ้นงานให้ได้ตามขนาดกำหนด



รูปที่ 4. ชิ้นงานทดสอบการเชื่อมที่มีความหนาต่างกัน

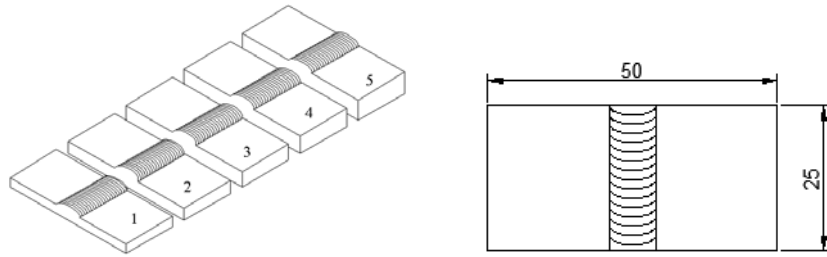


รูปที่ 5. ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปตัดด้วยเครื่องเลื่อยกลซึ่งมีน้ำหล่อเย็นตลอดเวลาเพื่อให้ความร้อนในการตัดน้อยที่สุด โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นจำนวน 5 ชิ้นต่อชิ้นงานเชื่อม ให้ได้ขนาดยาว 50 และกว้าง 25 มิลลิเมตรต่อชิ้น ดังรูปที่ 6 แล้วนำชิ้นงานไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำแบบกลมบนเครื่องขัด ดังรูปที่ 7 โดยเรียงเบอร์กระดาษทรายจากเบอร์ 180, 320, 400, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ ในกระบวนการขัดมีระบบน้ำช่วยระบายเศษโลหะตลอดเวลาตามหลักการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา จากนั้นนำไปขัดด้วยผ้าสักหลาดที่เรียกว่า Polishing

ล้างชิ้นงานตรวจสอบให้สะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรก และกัดกรดโดยจะกัดผิวของชิ้นงานตรวจสอบด้วยส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ตามมาตรฐาน ASM handbook 2004 (Benscoter & Bramfitt, 2004) ประกอบด้วย

- กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 5 มิลลิลิตร
- เอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 95 มิลลิลิตร



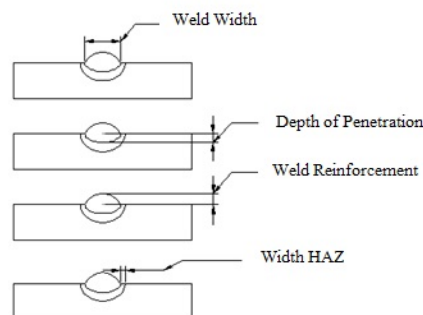
รูปที่ 6. ขนาดชิ้นทดสอบ



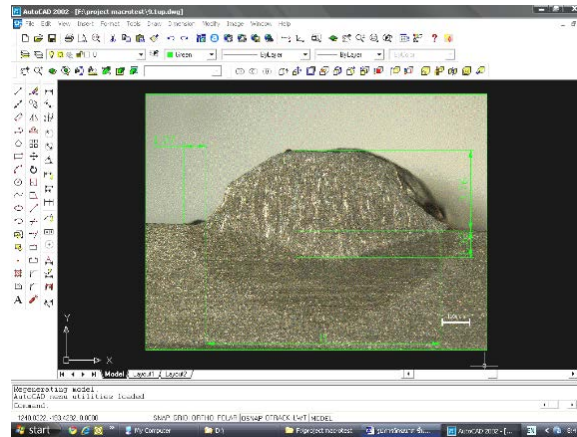
รูปที่ 7. เครื่องขัดเตรียมผิวงาน

การวัดพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อม

นำชิ้นงานที่ได้ผ่านการกัดกรด ที่สามารถเห็น โครงสร้างมหภาค (แนวเชื่อม) มากำหนดตำแหน่งที่ต้องการ วัดบนแนวแนวเชื่อมดังรูปที่ 8 มีตำแหน่งการวัดคือ ความกว้างของแนวเชื่อม ความนูนของแนวเชื่อม ความหลอม ลึกของแนวเชื่อม ความกว้าง HAZ ของแนวเชื่อม ด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วทำการบันทึกภาพพร้อมกับวัด พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมด้วยโปรแกรม AutoCAD ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8. ตำแหน่งในการวัดขนาดแนวเชื่อม

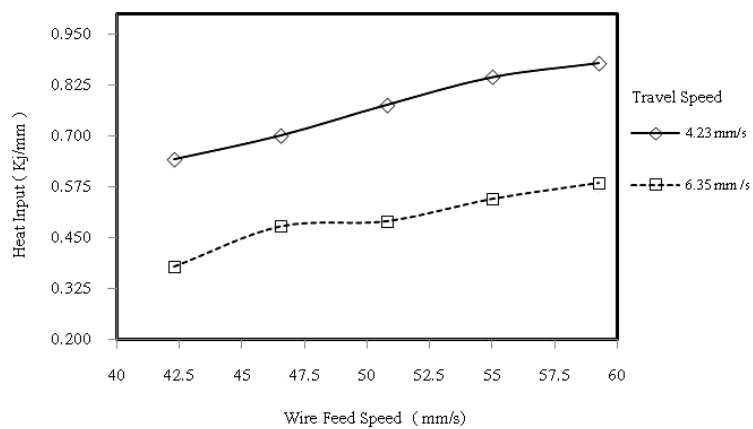


รูปที่ 9. การวัดขนาดแนวเชื่อมด้วยโปรแกรม

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน

ที่ความเร็วในการเชื่อม 4.23 และ 6.35 มิลลิเมตรต่อวินาที ความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วป้อนลวดในทุกค่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากเครื่องเชื่อมจะจ่ายกระแสและแรงดันในการเชื่อมให้เพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้ทันต่อการหลอมละลายลวดเชื่อมที่มีอัตราเร็วป้อนลวดที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10. ผลของอัตราเร็วป้อนลวด (wire feed speed) กับค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน (heat input) ที่ความเร็วในการเชื่อม (travel speed) 4.23 และ 6.35 มิลลิเมตรต่อวินาที

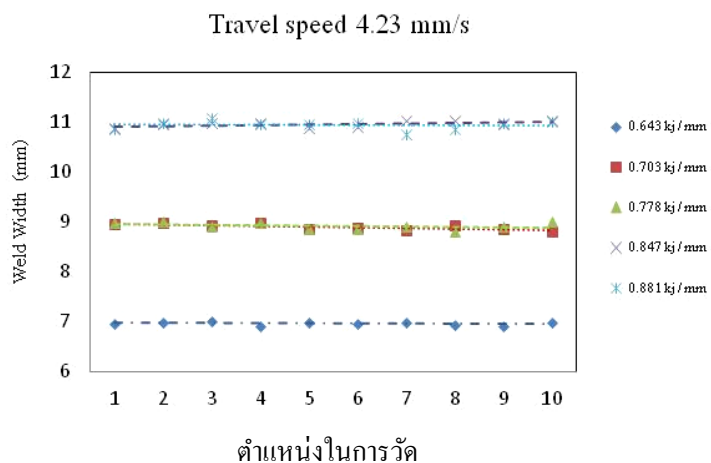
ปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานต่อรูปร่างแนวเชื่อม

การเพิ่มหรือลดอัตราเร็วป้อนลวดและความเร็วในการเชื่อม ส่งผลให้รูปร่างของแนวเชื่อมมีความสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงาน กระแสและแรงดันในการเชื่อมจะมีค่าเปลี่ยนไปจากการปรับอัตราเร็วป้อนลวดและความเร็วในการเชื่อม เป็นผลให้แนวเชื่อมมีลักษณะรูปร่างที่ต่างกันออกไปตามพลังงานความร้อนจากอัตราเร็วป้อนลวดที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงาน ซึ่งมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อมดังต่อไปนี้

ผลของปริมาณความร้อนต่อความกว้างของแนวเชื่อม

พลังงานความร้อนจากอัตราเร็วในการป้อนลวดที่เข้าสู่ชิ้นงานในปริมาณที่ต่างกันเป็นผลทำให้ได้ปริมาณเนื้อเชื่อมมีความต่างกันตามการเลือกใช้อัตราเร็วป้อนลวด การใช้อัตราเร็วป้อนลวดที่มีความเร็วต่ำ ส่งผลทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะต่ำและความกว้างของแนวเชื่อมมีความกว้างน้อย เนื่องจากบริเวณแนวเชื่อมมีอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วมีการสะสมความร้อนน้อย เมื่อเพิ่มพลังงานความร้อนจากการเพิ่มความอัตราเร็วป้อนลวดให้มีความสูงขึ้น อัตราการเติมเนื้อ โลหะจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ความกว้างของแนวเชื่อมก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

จากรูปที่ 11 ความเร็วในการเชื่อม 4.23 มิลลิเมตรต่อวินาที ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงานมีความต่างกันจากอัตราเร็วป้อนลวดที่เลือกใช้ อัตราเร็วป้อนลวดทำให้พลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานในปริมาณที่น้อย ความกว้างของแนวเชื่อมที่ได้จึงมีขนาดที่แคบกว่า เมื่อเทียบกับการใช้อัตราเร็วป้อนลวดที่สูงขึ้น ทำให้พลังงานปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูง การสะสมความร้อนในชิ้นงานมีสูง การเย็นตัวบริเวณแนวเชื่อมเย็นตัวได้ช้า ความกว้างของแนวเชื่อมจึงมีขนาดความกว้างมากกว่าในกรณีที่ใช้อัตราเร็วป้อนลวดต่ำ ซึ่งที่ความเร็วในการเชื่อม 6.35 มิลลิเมตรต่อวินาทีให้ผลเช่นเดียวกันในทุกอัตราเร็วป้อนลวด

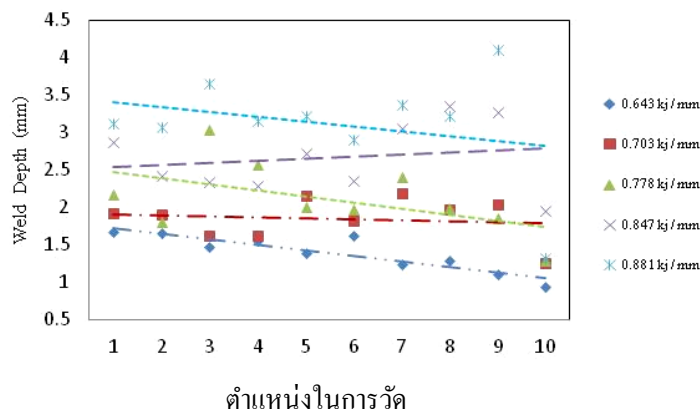


รูปที่ 11. ความกว้างของแนวเชื่อมที่ความเร็ว 4.23 มิลลิเมตรต่อวินาที
(จากจุดในการวัด จุดที่ 1 ความหนา 3 มิลลิเมตร ไปจนถึงจุดที่ 10 ความหนา 9 มิลลิเมตร)

ผลของปริมาณความร้อนต่อการหลอมลึกของแนวเชื่อม

จากรูปที่ 12 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน อัตราเร็วป้อนลวดที่มีความเร็วต่ำให้อัตราการหลอมลึกของชิ้นงานอยู่ในอัตราที่ต่ำ เพราะปริมาณความร้อนมีค่าน้อยไม่เพียงพอที่จะหลอมละลายโลหะชิ้นงาน การยื่นตัวแนวเชื่อมจึงมีการยื่นตัวที่รวดเร็ว มีการสะสมความร้อนต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราเร็วป้อนลวด ปริมาณความร้อนสูงขึ้น เป็นผลให้มีความร้อนที่จะหลอมละลายได้คึกมากขึ้น อัตราการหลอมลึกของชิ้นงานจึงมีค่าสูงตามการเพิ่มอัตราเร็วป้อนลวด อัตราการหลอมลึกของแนวเชื่อมสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน และพื้นที่กระจายความร้อน ความหนาของชิ้นงานที่บางกว่า อัตราการหลอมลึกของแนวเชื่อมจะสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bai et al. (2017) ที่พบว่า เมื่อค่ากระแสสูงสุดเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงดันอาร์กเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากระยะยื่นของลวดเชื่อมเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการหลอมลึกของบ่อหลอมละลายที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความลึกของแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ibrahim et al. (2012) ที่พบว่าเมื่อเชื่อมด้วยความเร็วคงที่ แต่เพิ่มกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ส่งผลให้อัตราการหลอมละลายเพิ่มสูงขึ้น การกระจายความร้อนในชิ้นงานต่ำ พื้นที่หน้าตัดการกระจายความร้อนมีน้อย พลังงานความร้อนจึงสะสมในชิ้นงานได้สูง เมื่อชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น การกระจายความร้อนในชิ้นงานมีการกระทำที่สูงกว่าชิ้นงานบาง อัตราการหลอมลึกของแนวเชื่อมจึงต่ำลง

Travel speed 4.23 mm/s

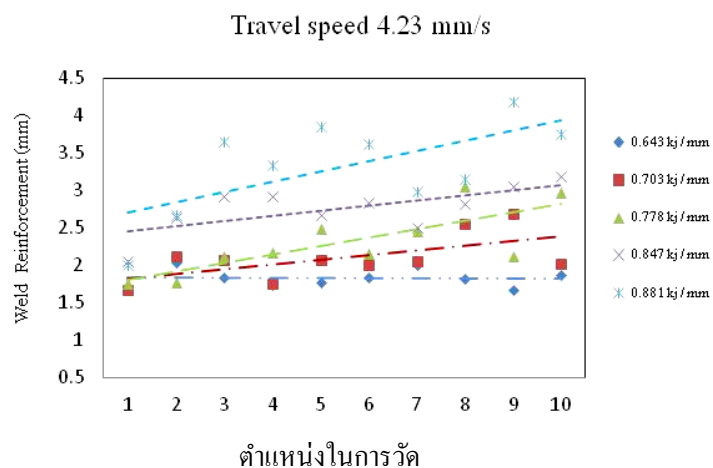


รูปที่ 12. ระดับอัตราการหลอมลึกแนวเชื่อมที่ความเร็ว 4.23 มิลลิเมตรต่อวินาที

ผลของปริมาณความร้อนต่อความนูนของแนวเชื่อม

จากรูปที่ 13 แสดงความนูนของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นในบริเวณแนวเชื่อมเป็นผลมาจากอัตราเร็วป้อนลวดและความหนาของชิ้นงาน ในบริเวณที่มีอัตราการหลอมลึกของแนวเชื่อมที่มีค่ามาก ความนูนของแนวเชื่อมจะมีค่าน้อย พบได้ในบริเวณที่มีความหนาชิ้นงานต่ำ ความนูนแนวเชื่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น เพราะมีพื้นที่ในการกระจายความร้อนในชิ้นงานได้มากขึ้น การสะสมความร้อนในชิ้นงานต่ำ อัตราการหลอมลึกของชิ้นงานจึงมี

ค่าต่ำ ความหนาของแนวเชื่อมจึงมีค่าเพิ่มขึ้น การใช้ความเร็วในการเชื่อมที่สูง ส่งผลให้พลังงานปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่เพียงพอที่จะหลอมละลายเข้าไปในโลหะชิ้นงาน การหลอมละลายจึงต่ำ การหลอมลึกต่ำ ความหนาของแนวของเชื่อมจึงมีค่ามาก โดยในการศึกษาที่ผ่านมาของ Ganjigatti et al. (2007) ได้วิเคราะห์ผลของกลุ่มตัวแปรในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมโดยใช้แก๊สเฉื่อยในการปกคลุมที่ส่งผลต่อขนาดและรูปร่างของแนวเชื่อม พบว่า ความหนาของแนวเชื่อม เป็นผลมาจากปัจจัยหลัก อันได้แก่ ความเร็วในการเชื่อม แรงดันอาร์ก และมุมในการเชื่อม โดยความหนาของแนวเชื่อมจะลดลงเมื่อตัวแปรดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น ผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันอาร์กลดลงในขณะที่เพิ่มความเร็วในการเชื่อม มุมในการเชื่อมมีผลต่อการหลอมลึกเมื่อหัวเชื่อมเข้าไปลึกลงจาก และการหลอมลึกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแรงดันอาร์กเพิ่มสูงขึ้นแต่ใช้ความเร็วในการเชื่อมลดลง

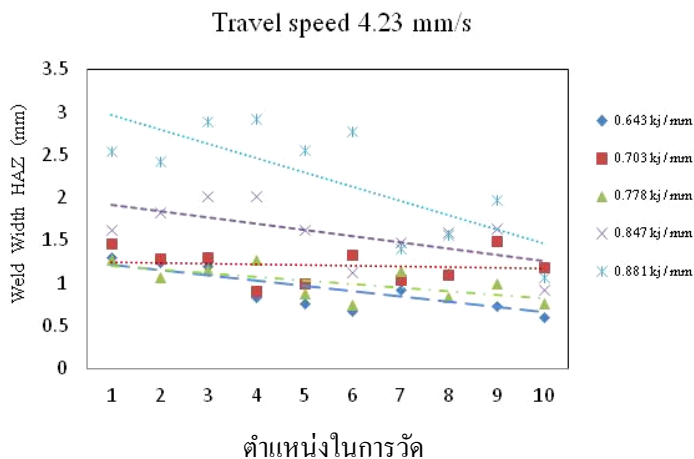


รูปที่ 13. ผลความหนาของแนวเชื่อม

ผลของปริมาณความร้อนต่อความกว้างของ HAZ บนแนวเชื่อม

จากรูปที่ 14 แสดงความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลความร้อน (HAZ) ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงาน การใช้อัตราเร็วป้อนลวดต่ำบริเวณที่ได้รับอิทธิพลความร้อนมีลักษณะแคบ เพราะปริมาณการกระจายความร้อนในชิ้นงานสูง ความร้อนไม่เพียงพอที่จะหลอมละลาย ความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลความร้อนมีขนาดเพิ่มขึ้น พบได้ในการใช้อัตราเร็วป้อนลวดสูง ส่งผลให้ปริมาณความร้อนสูง การสะสมความร้อนในชิ้นงานจึงสูง ความหนาของชิ้นงานและความเร็วมีความสัมพันธ์กัน โดยในช่วงของชิ้นงานมีความหนาต่ำ การกระจายความร้อนในชิ้นงานกระทำได้ดีช้า ความร้อนสะสมในชิ้นงานมาก ขนาดความกว้างบริเวณที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจึงมีค่าสูง เมื่อชิ้นงานมีความหนาที่เพิ่มขึ้น หรือใช้ความเร็วในการเชื่อมที่สูงขึ้น การสะสมความร้อนใน

ชิ้นงานมีค่าลดลง การกระจายความร้อนในชิ้นงานสูง ทำให้ขนาดความกว้างของบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนมีค่าลดลง



รูปที่ 14. ความกว้างของ HAZ บนแนวเชื่อม

สรุปผลการทดลอง

ปริมาณของพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานในอัตราที่ต่างกันส่งผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม ตามพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน การใช้ความเร็วต่ำส่งผลให้พลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานมีค่าสูงมากกว่าการใช้ความเร็วในการเชื่อมสูง การใช้ความเร็วในการเชื่อมต่ำทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะที่สูง ส่งผลให้รูปร่างแนวเชื่อมกว้าง อัตราการหลอมลึกลงมากกว่าการใช้ความเร็วในการเชื่อมสูง จึงกล่าวได้ว่า

1. ระดับความกว้างของแนวเชื่อม ขึ้นอยู่กับอัตราการเติมเนื้อโลหะ จากอัตราเร็วป้อนลวดที่ใช้ และความเร็วในการเชื่อม ที่เป็นตัวกำหนดพลังงานความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน อัตราเร็วป้อนลวดสูง จะให้อัตราการเติมเนื้อโลหะสูง ความกว้างแนวเชื่อมจึงมีค่าสูง เมื่อใช้อัตราเร็วป้อนลวดต่ำ อัตราการเติมเนื้อโลหะจะมีค่าลดลง
2. อัตราการหลอมลึกของแนวเชื่อมที่ค่าสูง พบในบริเวณที่มีการกระจายความร้อนต่ำ พลังงานความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูง พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการหลอมลึกลงจากการยื่นตัวที่รวดเร็วของแนวเชื่อม หรือพลังงานความร้อนที่ได้รับจากอัตราเร็วป้อนลวดมีค่าต่ำ
3. ความนูนของแนวเชื่อมที่มีค่าสูง เป็นผลมาจากการกระจายความร้อนที่รวดเร็ว ความร้อนไม่เพียงพอจะหลอมละลายชิ้นงาน เมื่อพลังงานความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานในอัตราที่สูง หรือการกระจายความร้อนในชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัดต่ำ ความนูนของแนวเชื่อมจะมีค่าน้อย

เอกสารอ้างอิง

- American Society of Mechanical Engineers. (2007). *ASME BPVC Section II, Part A (Beginning to SA-450) Materials*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- Bai, P., Wang, Z., Hu, S., Ma, S. & Liang, Y. (2017). Sensing of the weld penetration at the beginning of pulsed gas metal arc welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 28: 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.002>
- Benscoter, A. O. & Bramfitt, B. L. (2004). Metallography and microstructures of low-carbon and coated steels. In G. F. V. Voort (Ed.), *Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM Handbook pp. 588-607. Ohio: ASM International.
- Ganjigatti, J. P., Pratihari, D. K. & Choudhury, A. R. (2007). Global versus cluster-wise regression analyses for prediction of bead geometry in MIG welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 189(1-3): 352-366. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.02.006>
- Ibrahim, I. A., Mohamat, S. A., Amir, A. & Ghalib, A. (2012). The effect of gas metal arc welding (GMAW) processes on different welding parameters. *Procedia Engineering*, 41: 1502-1506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.342>
- Kobe Steel, LTD. (2007). *KOBELCO Welding Handbook: Welding Consumables and Processes*. Tokyo: Kobe Steel, LTD.
- Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy* (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Limmaneevichitr, C. (2005). *Welding Metallurgy* (1st ed.). Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Lincoln Electric. (2005). *Power Wave F355i Operator's Manual*. Ohio: Lincoln Global Inc.