

การเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนแก๊สคลุมแบบไม่ใช้โลหะเติมรอยต่อท่อผนังบางระหว่าง
เหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L

Fillerless Gas Tungsten Arc Welding of Thin Wall Tube Joint between
AISI304 and AISI316L Stainless Steel

ระพี กาญจนะ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

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

Rapee Kanchana and Kittipong Kimapong*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนแก๊สคลุมแบบไม่ใช้โลหะเติมในการเชื่อมรอยต่อท่อผนังบางระหว่างวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L รอยต่อที่ได้ถูกเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 90-165 A และทำการศึกษสมบัติของรอยต่อประกอบด้วยความแข็งแรงดึงและลักษณะทางโลหะวิทยา ผลการทดลองพบว่า กระแสเชื่อมที่มีความเหมาะสมทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงสุด 486 MPa และการยืดตัว 18% มีค่าเท่ากับ 135 A การเพิ่มความกว้างและการหลอมลึกของโลหะเชื่อมที่เกิดจากการเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้ได้รอยต่อที่มีความสมบูรณ์และแสดงค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่สูงขึ้น การเพิ่มความเว้าของผิวหน้าแนวเชื่อมและการเพิ่มความนูนของแนวรากส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อลดลงเนื่องจากการลดลงของพื้นที่รับแรงของชิ้นทดสอบ ผลการทดสอบแรงดึงพบว่า การพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเกิดขึ้นในพื้นที่โลหะเชื่อมใกล้กับผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมกับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างเดนไดรท์ในตำแหน่งด้านผิวสัมผัสเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L นั้นมีความหยาบมากกว่าด้านผิวสัมผัสเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนแก๊สคลุม; รอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิม; ความแข็งแรงดึง; โครงสร้างจุลภาค

Abstract

This research aimed to investigate apply a gas tungsten arc welding with non-filler metal for producing a dissimilar material tube joint between AISI304 and AISI316 stainless steel using a welding current range Z90-165A). Tube joints were produced various welding current conditions. Their properties, tensile strength and metallurgical characteristics, were then investigated. The results showed that an optimized welding current that produced maximum tensile strength of 486 MPa and elongation of 18% was 135 A. A width and a penetration of the weld metal that were increased because of an increase of the welding current affected to produce a sound joint and showed higher tensile strength. Increasing welding current that affected to increase a weld bead concave and a root convex of the joint resulted to decrease the joint tensile strength because of a decrease in cross section area for supporting a test load of the joint. A fracture of the tensile test specimen that showed maximum tensile strength was located at the weld metal that was nearly an interface between the weld metal and AISI316L base metal. This result was caused by a dendrite structure characteristic in the AISI316L base metal interface side was coarser than that of the AISI304 base metal interface side.

Keywords: Gas tungsten arc welding; Dissimilar material joint; Tensile strength; Microstructure

1. บทนำ

ความต้องการในการผลิตชิ้นส่วนที่มีความสามารถในการทำงานได้หลายหน้าที่ส่งผลทำให้รอยต่อวัสดุต่างชนิด (Dissimilar materials joint) มีความสำคัญและมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในงานวิศวกรรม [1] ดังพบได้ในการใช้วัสดุต่างชนิดสำหรับการผลิตอุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายความร้อน (Heat exchanger) ในโรงไฟฟ้าต้นกำลังหรืออุตสาหกรรมนิวเคลียร์ [2] หนึ่งในเหตุผลสำคัญที่มีการใช้งานรอยต่อของวัสดุต่างชนิดเพิ่มขึ้น คือรอยต่อนี้สามารถแสดงจุดเด่นของวัสดุแต่ละชนิดที่ทำให้เกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ [3-4] อย่างไรก็ตามความแตกต่างของสมบัติวัสดุมักทำให้การเชื่อมหลอมละลาย (Fusion welding) เกิดปัญหาขณะทำการเชื่อม และก่อให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of fusion) การเกิดการแตกร้าว (Cracking) หรือ เฟสสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความเปราะที่มีความเปราะ (Brittle intermetallic compound phase) ขึ้นในโลหะเชื่อม [5]

ในการเชื่อมหลอมละลาย ค่าการถ่ายเทความร้อนและมวล (Heat and mass transfer) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม เช่น กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้าเชื่อม หรือความเร็วในการเชื่อมมักส่งผลโดยตรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโลหะเชื่อม (Weld geometry) ซึ่งประกอบด้วย การหลอมลึก (Penetration) ความกว้างของพื้นที่การหลอมละลาย (Width of fusion zone) และพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) [6-7] รูปร่างของโลหะเชื่อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถส่งผลทำให้ค่าสมบัติของรอยต่อ

เชื่อม เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็ง หรือโครงสร้าง โลหิตวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โลหะเชื่อมและสมบัติทางกลของโลหะเชื่อม เช่น การเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ (Submerge arc welding: SAW) [8] การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) [9] การเชื่อมเลเซอร์ (Laser welding: LW) [10-12] เป็นต้น ค่าความร้อนขาเข้า (Heat input) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มกระแสเชื่อมและการลดความเร็วในการเดินแนวเชื่อม หรือการเพิ่มพลังงานเลเซอร์สามารถทำให้ความกว้างของโลหะเชื่อมและการหลอมลึกของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้นได้ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ [8] และเหล็กกล้า SUS201 [11] นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ความกว้างขาเชื่อม (Weld leg width) และรัศมีของขาเชื่อม (Weld leg radius) ในการเชื่อมต่อมุมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง Weldox 700 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นได้ [9] พลังงานความร้อนที่เพิ่มเข้าสู่โลหะฐานนั้นสามารถทำให้สมบัติทางกลของรอยต่อโลหะเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงด้า (Fatigue strength) และความเค้นตกค้าง (Residual stress) ในรอยต่อเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง Weldox 700 [9] หรือการเปลี่ยนแปลงความแข็งในโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI420 ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER310 [10] หรือค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อเหล็กกล้า UNS S32750 [12] เป็นต้น

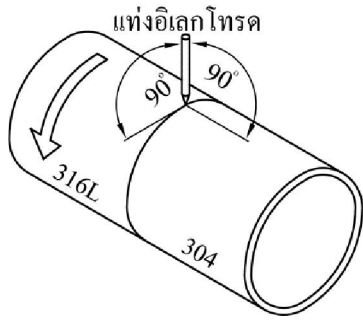
งานวิจัยข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะเชื่อมในรอยต่อโลหะที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของโลหะเชื่อมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนขาเข้า ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสะเดนแก๊สคลุมแบบไม่เติมโลหะเติมที่มีผลต่อรูปร่างของโลหะเชื่อมและสมบัติทางกลของรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L การเชื่อมอาร์กทั้งสะเดนแบบไม่เติมโลหะเติมนี้เป็นวิธีการเชื่อมซ่อมที่มีการใช้งานแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม การส่งถ่ายของเหลวต่าง ๆ รอยต่องานเชื่อมที่ได้ถูกทำการศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างโลหะเชื่อม และสมบัติทางกลของรอยต่อ เช่น ความแข็งแรงดึงและความแข็ง ผลการทดลองที่ได้สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดได้ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

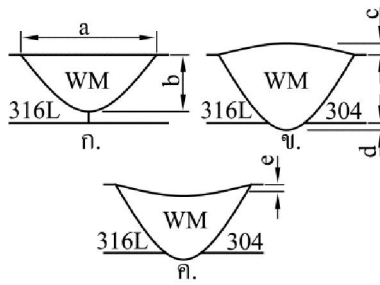
วัสดุในการทดลอง คือ ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมผนังบางไร้ตะเข็บ AISI304 และท่อเหล็กกล้าไร้สนิมผนังบางไร้ตะเข็บ AISI316L โดยมีส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลดังตารางที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 60.3 mm ความหนาของผนังท่อ 2.8 mm ชิ้นงานที่ได้ถูกนำมาทำการเชื่อมอาร์กทั้งสะเดนแก๊สคลุมแบบไม่ใช้โลหะเติม (Non-filler metal) โดยใช้แท่งอิเล็กโทรดทั้งสะเดน EWTb-2 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.40 mm กระแสเชื่อม 90-165 A อัตราการไหลของแก๊สคลุมอาร์กอน 99.99% เท่ากับ 12.5 l/min ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมตามลูกศรในรูปที่ 1 มีค่าเท่ากับ 200 mm/min ในขั้นตอนการเชื่อม รอยต่อถูกยึดแน่นบนปากกาจับชิ้นงานที่สามารถหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อมที่กำหนด แท่งทั้งสะเดนและหัวเชื่อมถูกยึดแน่นในแนวตั้งและทำมุม 90° กับแนวระนาบของแกนท่อดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีและความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุทดลอง

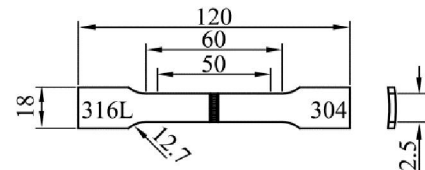
วัสดุทดลอง	ปริมาณ (wt%)								ความแข็งแรงดึง (MPa)
	Fe	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	
AISI304	Bal.	0.03	18.00	8.10	1.90	0.60	0.04	0.03	576
AISI316L	Bal.	0.02	17.50	10.00	1.80	0.70	0.01	0.03	607



รูปที่ 1 รูปร่างของรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดขนาดรอยเชื่อม



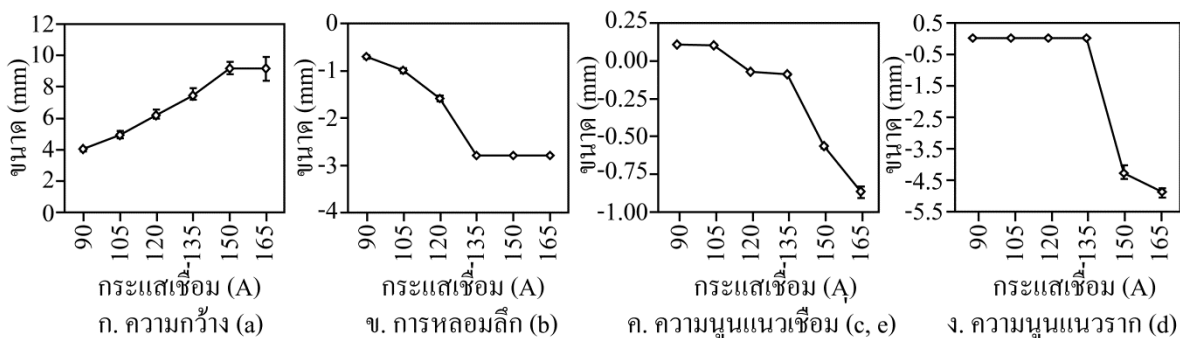
รูปที่ 3 ชั้นทดสอบความแข็งแรงดึง (หน่วย: mm)

เมื่อทำการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด รอยต่องานเชื่อมถูกตัดด้วยใบตัดความเร็วรอบสูงที่มีการหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโลหะของรอยต่องานเชื่อม เพื่อเตรียมขั้นตอนทดสอบสมบัติของรอยต่องานเชื่อมประกอบด้วยตรวจสอบรูปร่างโลหะเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา การทดสอบความแข็งแรงดึง และการทดสอบความแข็ง ขั้นตอนของการตรวจสอบรูปร่างโลหะเชื่อมและโครงสร้างโลหะวิทยาถูกตัดขวางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม ระบายที่ผ่านการตัดถูกนำไปขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-1500 ในน้ำไหลเพื่อปรับขนาดของแนวเชื่อม ขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร บนผ้าสักกะหลาดเพื่อลดรอยขัดหยาบ และกัดผิวหน้าพื้นผิวขัดมันด้วยสารละลายที่กำหนดเพื่อแสดงรายละเอียดเกรนและเฟสในพื้นที่ยุติงานเชื่อม ขั้นตอนที่ได้ถูกนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเพื่อหาความสมบูรณ์ และรูปร่างโลหะเชื่อม (Weld geometry) ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยความกว้างของโลหะเชื่อม (Weld width: a) ระยะหลอมลึก (Penetration depth: b) ความนูนของแนวเชื่อม (Weld convex: c) ความนูนของแนวราก (Root convex: d) และความเว้าของแนวเชื่อม (Weld concave: e) ตำแหน่งในการวัดค่า a b c และ e ในรูปที่ 2 ก. ถึง ค. กำหนดให้ตำแหน่ง 0.0 mm อยู่ที่ผิวบนด้านบนของของชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา ขณะที่การวัดค่า d ในรูปที่ 2 ข. กำหนดให้ตำแหน่ง 0.0 mm อยู่ที่ผิวบนด้านล่างของของชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา หลังจากทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคขั้นตอนทดสอบถูกนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light optical microscope: LOM) เพื่อตรวจสอบรายละเอียดของเกรนและเฟสในพื้นที่ยุติงานเชื่อมโลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L โลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 พื้นที่กระทบ

ร่อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L พื้นที่กระทบร่อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ โลหะเชื่อม ความแข็งแรงดึงของรอยต่อท่อเหล็กกล้าไร้สนิมถูกขึ้นรูปด้วยกระบวนการตัดด้วยเส้นลวด (Wire cut EDM) เพื่อให้ได้ชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงถูกนำไปทำการทดสอบด้วยอัตราการเกิดความเครียด 1 mm/min เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และการยืดตัว การพังทลายหรือลักษณะของชิ้นงานการทดสอบความแข็งแรงดึงถูกทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่าเพื่อระบุตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบ

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

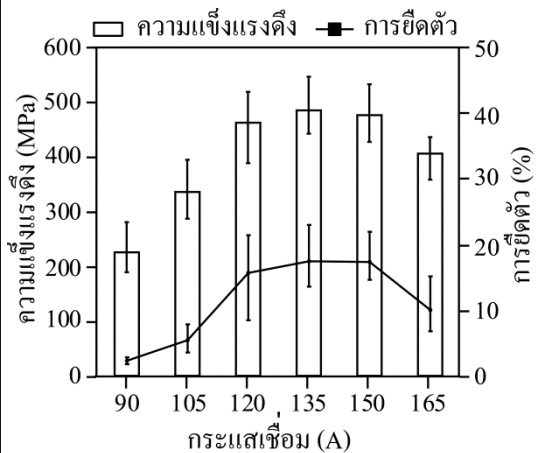
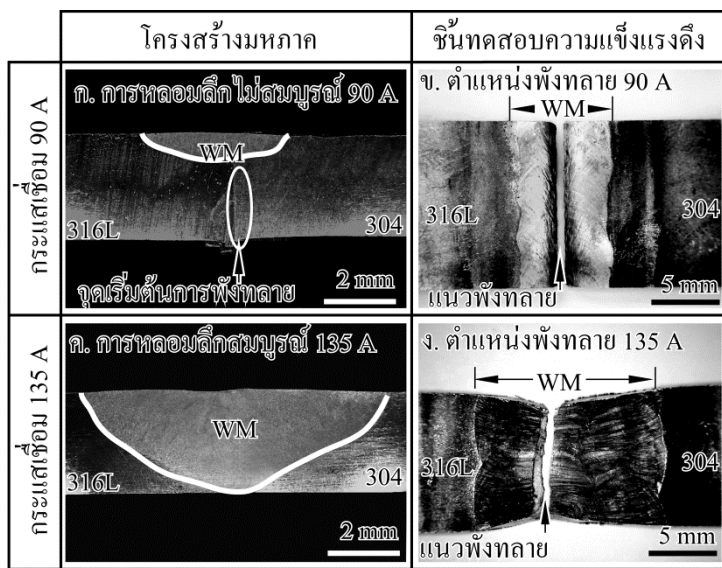
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมและขนาดของรูปร่างของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยความกว้างแนวเชื่อม ระยะการหลอมลึก ความนูนและความเว้าของแนวเชื่อม และความนูนของแนวราก ผลการตรวจสอบพบว่ากระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้างของแนวเชื่อม ระยะการหลอมลึก และความนูนของแนวรากมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มกระแสเชื่อมนี้ส่งผลทำให้ความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง การเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมนี้ส่งผลทำให้ความร้อนเข้าที่มีสำคัญในการเพิ่มความร้อนในการหลอมละลาย และส่งผลทำให้การกระจายความร้อนในรอยต่อสูงขึ้น นอกจากนั้นสามารถส่งผลทำให้พื้นที่กระทบร่อนของรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มพื้นที่กระทบร่อนนี้สามารถทำให้เกิดการลดความแข็งแรงและความแข็งแรงของรอยต่อ [13] ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และทำให้เกิดการลดความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistance) เนื่องจากการเกิดเฟสโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าไร้สนิมแยกตัวออกมาจากเฟสสารประกอบเชิงซ้อนเหล็กโครเมียมคาร์ไบด์ และการเกิดเซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ของเฟสที่แตกต่างกันในรอยต่องานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมได้ [14]



รูปที่ 4 ขนาดโลหะเชื่อม

เมื่อกระแสเชื่อมต่ำ 90-120 A พบว่าการหลอมลึกของโลหะเชื่อมมีค่าต่ำและไม่สามารถทำให้เกิดการหลอมตลอดความหนาของรอยต่อ ระยะการหลอมลึกเมื่อวัดจากผิวด้านบนของรอยต่อมีค่าต่ำกว่าค่าความหนาของรอยต่อ หรือ 2.8 mm ส่วนที่ไม่เกิดการหลอมดังรูปที่ 5 ก. จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงและขยายตัวจนกระทั่งชิ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่กึ่งกลางของรอยต่องานเชื่อมดังรูปที่ 5 ข.

และทำให้ได้ความแข็งแรงดึงและการยึดตัวของรอยต่อมีค่าดังรูปที่ 6 เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นประมาณ 135-165 A ทำให้ความร้อนขาเข้า (Heat input) ที่เกิดขึ้นมีค่าพอเพียงที่สามารถทำการหลอมละลายโลหะบริเวณรอยต่อได้สมบูรณ์ดังรูปที่ 5 ค. โลหะเชื่อมก่อตัวขึ้นตลอดความหนาของรอยต่อ และทำให้พื้นที่ในการรับแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น การเกิดการหลอมเหล็กสมบูรณ์ทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้นได้ดังรูปที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อที่แสดงความแข็งแรงต่ำดังรูปที่ 5 ข. และรอยต่อที่แสดงความแข็งแรงสูงดังรูปที่ 5 ง. พบว่าในรอยต่อที่แสดงความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายเกิดขึ้นในพื้นที่โลหะเชื่อมเช่นเดียวกันแต่เกิดการเลื่อนออกจากแนวกึ่งกลางรอยต่อไปที่ด้านโลหะฐาน AISI316L



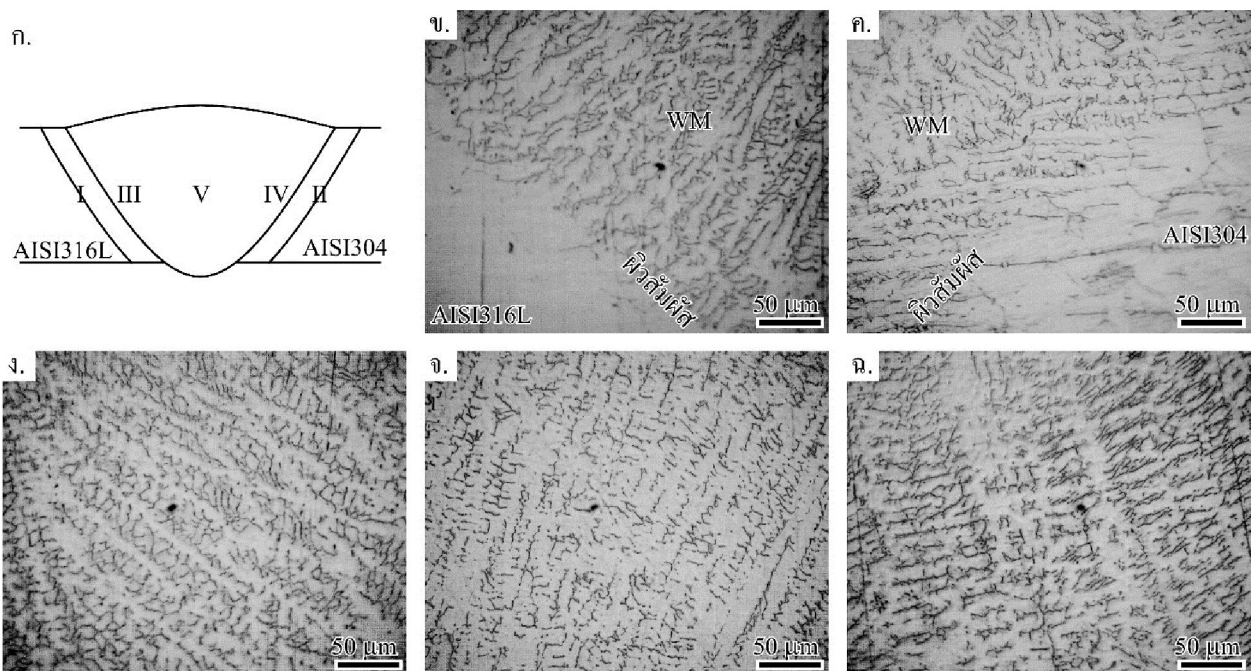
รูปที่ 5 โครงสร้างมหภาคและการพังทลายของขั้นตอนทดสอบความแข็งแรงดึง

รูปที่ 6 ความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อที่กระแสเชื่อมต่างๆ

การหลอมเหล็กไม่สมบูรณ์ส่งผลทำให้เกิดผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความนูนและไม่ก่อให้เกิดแนวร้าวที่มีความนูนของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแส 95-105 A ดังรูปที่ 4 ง. อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นประมาณ 120-135 A พบว่าแนวเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงจากแนวเชื่อมที่มีความนูนเป็นแนวเชื่อมที่เว้าลงสู่พื้นผิวของรอยต่อ ความเว้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนที่สูงทำให้น้ำหนักของโลหะหลอมเหลวกดโลหะเชื่อมสู่พื้นผิวด้านล่าง นอกจากนั้นน้ำหนักของโลหะหลอมเหลวได้กดโลหะเชื่อมทะลุผ่านผิวด้านล่างของรอยต่อทำให้ค่าความนูนของแนวร้าวมีค่าสูงขึ้น เมื่อกระแสเชื่อมสูง เช่น 165 A ถูกนำมาใช้ในการเชื่อม การเพิ่มความเว้าของผิวหน้าแนวเชื่อมและความนูนของแนวร้าวส่งผลทำให้พื้นที่รับแรงของขั้นตอนทดสอบความแข็งแรงดึงลดต่ำลง และเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงดึงหรือความต้านทานแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแส 165 A มีค่าลดต่ำลงดังรูปที่ 6 ความแตกต่างของแถบความผิดพลาด (Error bar) ในทุกกระแสเชื่อมเกิดขึ้นเนื่องจากขั้นตอนทดสอบความแข็งแรงดึงนั้นถูกสุ่มเลือก 3 ตำแหน่งตลอดความยาวแนวเชื่อมในทุกกระแสเชื่อม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงดึงและการยึดตัวของรอยต่อตลอด

ความยาวของแนวเชื่อมที่ถูกนำมาทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันไป ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้งานแนวเชื่อมต้องมีการพิจารณาเพิ่มเติม

รูปที่ 7 ก. แสดงตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 135 A ซึ่งเป็นรอยต่อที่แสดงความแข็งแรงดึงสูงสุดในการทดลองนี้ ประกอบด้วยตำแหน่งที่ I พื้นที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ตำแหน่งที่ II พื้นที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ตำแหน่งที่ III โลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ตำแหน่งที่ IV โลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และตำแหน่งที่ V กึ่งกลางโลหะเชื่อม เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระแทกร้อนของรอยต่อทั้งสองด้านดังรูปที่ 7 ข. และ ค. พบว่าเกรนเหล็กกล้าไร้สนิมหลายเหลี่ยม (Polygon grain) มีความไม่สม่ำเสมอถูกปรับให้มีขนาดที่ค่อนข้างกลมมนและมีขนาดเล็กลงเมื่อพื้นที่การตรวจสอบเข้าสู่พื้นที่กระแทกร้อนและมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเข้าใกล้ผิวสัมผัสของรอยต่อ การตรวจสอบที่ตำแหน่งผิวสัมผัสของรอยต่อของโลหะเชื่อมทั้งสองด้าน พบว่าพื้นที่ไม่สามารถผสมกัน (Unmixed zone) ซึ่งมักเกิดขึ้นในการเชื่อมเหล็กกล้าต่างชนิดกันไม่ก่อตัวขึ้นในรอยต่อนี้ [2-4]



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 135 A: ก. ตำแหน่งการตรวจสอบ ข. พื้นที่กระแทกร้อนด้าน AISI316L ค. พื้นที่กระแทกร้อนด้าน AISI304 ง. โลหะเชื่อมด้าน AISI316L จ. โลหะเชื่อมด้าน AISI304 ฉ. กึ่งกลางโลหะเชื่อม

เมื่อตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคผ่านผิวสัมผัสระหว่างโลหะฐานและโลหะเชื่อมเข้าสู่พื้นที่โลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ดังรูปที่ 7 ง. และ 7 จ. พบโครงสร้างเดนไดรต์เกิดการก่อตัวขึ้นในพื้นที่โลหะเชื่อมมีทิศทางเอียงทำมุมมากกว่า 45 องศาขึ้นสู่ผิวด้านบนและ

กึ่งกลางของแนวเชื่อม เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปร่างของโครงสร้างเดนไดรต์โดยพิจารณาระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ (Secondary dendrite arm spacing: SDAS) ของโลหะเชื่อมทั้งสอง พบว่าค่า SDAS ของโลหะเชื่อมด้านติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีค่ามากกว่าโลหะเชื่อมด้านติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ขนาด SDAS ที่มีขนาดเล็กกว่าของโลหะเชื่อมด้านติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 แสดงให้เห็นว่าโลหะนี้มีความแข็งแรงสูงกว่าดังความสัมพันธ์ของฮอลล์เพทช์ (Hall-Petch relation) [15] และสามารถพบได้ในผลการทดลองการเปรียบเทียบค่า SDAS ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ตัวแปรการเชื่อมที่แตกต่างกัน [16] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งโลหะเชื่อมใกล้กับผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L โครงสร้างเดนไดรต์ที่มีขนาด SDAS เล็กที่สุดสามารถพบได้เมื่อทำการตรวจสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของโลหะเชื่อมดังรูปที่ 7 ข. นอกจากนี้พบการตกผลึกของจุดของอนุภาคซีเมนต์ขนาดเล็กกระจายตัวในพื้นที่แขนเดนไดรต์ดังลูกศรชี้แสดงในรูปที่ 7 ข. อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในรายละเอียด การตรวจสอบอนุภาคดังกล่าวด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีความแม่นยำควรมีการดำเนินการต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

รอยต่อต่อผนังบางไร้ตะเข็บระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ถูกนำมาทำการเชื่อมอาร์กทั้งสะเด็นแก๊สคลุมแบบไมใช้โลหะเติมด้วยกระแสเชื่อมที่มีการความแตกต่าง และทำการศึกษาสมบัติของรอยต่อ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

4.1 กระแสเชื่อมเหมาะสมที่ทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงสุด 486 MPa และการยืดตัว 18% เท่ากับ 135 A

4.2 การเพิ่มความกว้างและการหลอมลึกของโลหะเชื่อมที่เกิดจากการเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้ได้รอยต่อที่มีความสมบูรณ์และแสดงค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่สูงขึ้น

4.3 การเพิ่มความเร็วของผิวหน้าแนวเชื่อมและการเพิ่มความหนาของแนวรากส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อลดลงเนื่องจากการลดลงของพื้นที่รับแรงของชิ้นทดสอบ

4.4 การพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเกิดขึ้นในพื้นที่โลหะเชื่อมใกล้กับผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมกับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เนื่องจากโครงสร้างเดนไดรต์ในตำแหน่งด้านผิวสัมผัสเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L นั้นมีความหยาบมากกว่าด้านผิวสัมผัสเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.V.S. Murthy, A. Gopala Krishna and G.M. Reddy, “Microstructure and mechanical properties of similar and dissimilar metal gas tungsten constricted arc welds: Maraging steel to 13-8 Mo stainless steel,” *Defence Technology*, Vol. 15, 2019, pp. 111-121.
- [2] H. Xu, M.J. Xu, C. Yu, H. Lu, X. Wei, J.M. Chen, et al., “Effect of the microstructure in unmixed zone on corrosion behavior of 439 tube/308L tube-sheet welding joint,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 240, 2017, pp. 162-167.
- [3] K. Kimapong and S. Triwanapong, “Selection of Welding Consumables for Welding Dissimilar AISI301/AISI1015 Steels Butt Joint,” *Engineering Journal of Research and Development*, Vol. 30, 2018, pp. 119-127. (In Thai)
- [4] S. Triwanapong and K. Kimapong, “Effect of Welding Consumables on Dissimilar AISI304/ AISI1015 Steels Butt Joint Properties,” *Key Engineering Materials*, Vol. 777, 2018, pp. 344-349.
- [5] S. Chantasri, S. Vaodee and K. Kimapong, “Relative Study of Friction Stir Welding Parameter and Shear Strength of Lap Joint between AA6063 Aluminum Alloy and AISI430 Ferritic Stainless Steel,” *Princess of Naradhiwas University Journal*, Vol. 9, 2017, pp. 121-129. (In Thai)
- [6] W.A. Ayoola, W.J. Suder and S.W. Williams, “Parameters controlling weld bead profile in conduction laser welding,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 249, 2017, pp. 522-530.
- [7] L.G. Tong, J.C. Gu, L. Wang and S.W. Yin, “Influences of deposited metal material parameters on weld pool geometry during shield metal arc welding,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 90, 2015, pp. 968-978.
- [8] R.P. Singh, R.K.Garg and D.K. Shukla, “Mathematical modeling of effect of polarity on weld bead geometry in submerged arc welding,” *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 21, 2016, pp. 14-22.
- [9] E. Harati, L. Karlsson, L.-E. Svensson and K. Dalaei, “The relative effects of residual stresses and weld toe geometry on fatigue life of weldments,” *International Journal of Fatigue*, Vol. 77, 2015, pp. 160-165.
- [10] K. Hao, C. Zhang, X. Zeng and M. Gao, “Effect of heat input on weld microstructure and toughness of laser-arc hybrid welding of martensitic stainless steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 245, 2017, pp. 7-14.
- [11] S. Liu, G. Mi, F. Yan, C. Wang and P. Jiang, “Correlation of high power laser welding parameters with real weld geometry and microstructure,” *Optics & Laser Technology*, Vol. 94, 2017, pp. 59-67.

- [12] S. Saravanan, N. Sivagurumanikandan and K. Raghukandan, "Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of Nd: YAG laser welded super duplex stainless steel-numerical and experimental approach," *Optik*, Vol. 185, 2019, pp. 447-455.
- [13] S. Cui, Y. Shi, K. Sun and S. Gu, "Microstructure evolution and mechanical properties of keyhole deep penetration TIG welds of S32101 duplex stainless steel," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 709, 2018, pp. 214-222.
- [14] B.O. Okonkwo, H. Ming, Z. Zhang, J. Wang, E. Rahimi, S. Hosseinpour, et al., "Microscale investigation of the correlation between microstructure and galvanic corrosion of low alloy steel A508 and its welded 309/308L stainless steel overlayer," *Corrosion Science*, Vol. 154, 2019, pp. 49-60.
- [15] R. Abbaschian, L. Abbaschian and R.E. Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*, 4th edition, Cengage Learning, Singapore, 2010.
- [16] V. Wattanajitsiri, S. Triwanapong and K. Kimapong, "Microstructure and Cracking in Gas Metal Arc Weld Metal of Dissimilar SS400/SUS304 Steels T-Joint," *Engineering Journal of Research and Development*, Vol. 29, 2018, pp. 27-36. (In Thai)