วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2565

ศึกษาความสามารถของการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์ของรอยต่อฉากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

Study of Weldability of MIG Welding Tandem FCAW on Fillet Joint of High Strength Steel

ณัฐ แก้วสกุล[1*] เรืองศักดิ์ ภูธรธราช[2] อัญญารัตน์ สอนสนาม[3] ภาวินี อ่างบุญตา[4] สุภารัตน์ บุตรไชย[5]
สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Nut Kaewsakul[1*] Ruangsuk Putontaraj[2] Anyarat Sonsanam[3] Parvinee Angboonta[4] and Suparat Bootchai[5]
[1]Division of Industrial Education, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi
[*]Corresponding author Email: nut_k@rmutt.ac.th
(Received: August 24, 2022; Revised: November 25, 2022; Accepted: November 28, 2022)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยเรื่องศึกษาความสามารถของการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์รอยต่อฉากของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการเติมของเนื้อโลหะเชื่อม และความสามารถในการเชื่อมของกระบวนการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์รอยต่อฉากของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำเพื่อประยุกต์กับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลหนัก อุตสาหกรรมการประกอบโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ วิธีการทดลองเตรียมชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ขนาด 100 x 380 x 10 มิลลิเมตร เลือกใช้ลวดเชื่อมมิก (ER 100S-G) และลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ (E111T1-GC H4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็วในการเชื่อม 34 เซนติเมตรต่อนาที ระยะยื่นลวดเชื่อม 15 มิลลิเมตร โดยกำหนดสภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อมของลวดนำน้อยกว่าลวดตาม, ลวดนำมากกว่าลวดตาม และลวดนำเท่ากับลวดตาม ผลการทดลองพบว่ากระบวนการเชื่อมมิก(MIG) เดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์ ในสภาวะการเชื่อมที่ลวดนำมีกระแสเชื่อม 270 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟเชื่อมของลวดตามคือ 250 แอมแปร์ ให้อัตราการเติมน้ำโลหะมากที่สุดคือ 9.569 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเติมของแนวเชื่อม พบว่าสภาพวะการเชื่อมดังกล่าวให้อัตราการเติมสูงกว่าสภาวะการเชื่อมด้วยลวดนำมีค่ากระแสไฟเชื่อมน้อยกว่าลวดตามถึง 108.82 เปอร์เซ็นต์ และให้อัตราการเติมลวดมากกว่าสภาวะการเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อมลวดนำ และลวดตามเท่ากัน ถึง 148 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อมมากที่สุดเท่ากับ 61.53 ตารางมิลลิเมตร ชิ้นงานเกิดการหลอมลึกระหว่างโลหะเชื่อมกับเนื้อโลหะสมบูรณ์ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาพบว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) จะมีโครงสร้างเป็นเบนไนต์ (Bainite) ซึ่งบริเวณนี้จะมีความแข็งแรง ส่วนบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) จะมีโครงสร้างเป็นเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ตกผลึกเป็นเกรนเล็ก ๆ บนบริเวณขอบเกรนที่มีเนื้อพื้นเป็นเฟอร์ไรท์ และในบริเวณเนื้อแนวเชื่อม (WM) จะมีโครงสร้างเป็นลักษณะเกรนละเอียดทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งมาก ความสามารถในการเชื่อมทำให้เกิดการหลอมละลายลึกตามแกน X และแกน Y เท่ากับ 0.36 และ 1.70 มิลลิเมตรตามลำดับ ขนาดขาของแนวเชื่อม (Leg length of weld) มีขนาดเท่ากับความหนาของชิ้นงานทดสอบ

คำสำคัญ: อัตราการเติมน้ำโลหะ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ การหลอมลึก โครงสร้างทางโลหะวิทยา

Abstract

This research study aims to find the welding deposition rate of Gas Metal Arc Welding (GMAW) tandem Flux Core Arc Welding (FCAW) of Quenched and Tempered High Strength Steel. To study the effected of welding condition as the welding current of lead solid wire electrode and tandem with flux core wire electrode for heavy equipment industry as steel construction fabrication. By determined the first weld condition with low welding current of lead electrode and high welding current tandem electrode, the second condition weld with high welding current of lead electrode and low welding current tandem electrode and the last condition weld with equal welding current of lead and tandem electrode respectively. To compare the welding deposition rate, relate with the welding current of lead and tandem electrode and inspection of weld quality as weld profile, penetration, width of weld and compare the mechanical test with microstructure. The experimental procedure preparation of base metal is quench and tempered high strength steel has the dimension of width 100 mm long 380 mm and thickness 10 mm. Use the solid wire electrode ER100S-G diameter 1.2 mm and flux core wire E111T1-GC H4 diameter 1.2 mm. Welding speed 34 cm/min, electrode extension 15 mm and inter distance between leading electrode with tandem is 10 mm. The result shows the highest of weld deposition occur from the high welding current of leading electrode as 270 Ampere and tandem electrode welding current as 250 Ampere and produce the high deposition rate as 9.569 Kg/hr. The welding deposition rate of the condition high welding current leading electrode (GMAW) and low welding current tandem electrode (FCAW) can produce the high deposition rate more than welding condition as low welding current of leading electrode and high welding current electrode as 108.22 %, and high deposition rate more than welding condition equal welding current of leading and tandem electrode as 148% respectively. The weld quality of welding condition with high welding current leading electrode and low welding current tandem electrode provided the complete fusion of fillet weld and complete penetration. The weld microstructure of the base metal show as bainite structure and the heat affected zone consist of the matrix of ferrite grain and the small pearlite phase on the grainboundary, the weld metal zone has the fine grain structure.

Keyword: Welding Deposition Rate, High Strength Steel, Penetration, welding Microstructure

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการเชื่อมต่อประกอบโลหะในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการต่อประกอบโครงสร้างเหล็ก เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นในการต่อประกอบประหยัดเวลา ขึ้นรูปได้ง่าย จึงทำให้หลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จักรกลหนัก อุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมการต่อเรือเดินสมุทร อุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบโครงสร้างเหล็กอาคารสูง, สะพาน โรงงาน อุตสาหกรรมการต่อประกอบรถเครื่อง

จักกลหนัก ได้แก่ รถเครน รถแทรคเตอร์ รถสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ รวมถึงอุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนหรือภาชนะบรรจุแรงดันสูง (Pressure Vessel Fabrication) อุตสาหกรรมการเชื่อมต่อประกอบระบบท่อส่งน้ำมัน ระบบท่อส่งก๊าซ การเชื่อมประกอบโรงแยกก๊าซ การเชื่อมประกอบทุ่นลอยหรือฐานเจาะน้ำมัน (Off Shore Platform) การเชื่อมประกอบถังสำรองเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูง (Pressure Vessel) จากความต้องการที่หลากหลายของอุตสาหกรรมการผลิตประกอบโลหะ จึงทำให้กระบวนการที่นำมาใช้ในการต่อประกอบโลหะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลวิธีการเชื่อมโลหะที่มีอยู่อย่างมากมาย หลากหลายวิธีได้ถูกนำมาทำการการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับความสามารถในการเชื่อมโลหะประเภทต่าง ๆ ตัวแปรของกระบวนการเชื่อมที่มีผลต่อชิ้นงานเชื่อมทั้งด้านคุณลักษณะทางโลหะวิทยาของงานเชื่อม คุณสมบัติทางกล ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน รวมไปถึงด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตโดยวิธีการเชื่อมด้วยเช่นกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้อง สามารถตอบสนองได้ตรงตามความต้องการภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลหนัก และชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และความต้องการอย่างต่อเนื่องในอนาคต จากการคาดการณ์ของสมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย (Thai Auto parts Manufacturers Association) ในการตั้งเป้าหมายเพื่อเป็นประเทศผู้ผลิตส่งออกรายใหญ่อันดับ 8 ของโลกมีกำลังในการผลิตมากกว่า 1 ล้านคันต่อปี [1] เป็นการนำรายได้เข้าสู่ประเทศอย่างมากมาย ทำให้เกิดการจ้างงาน เพื่อสร้างงาน สามารถยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มคนในห่วงโซ่ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล่านี้ให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และมีทักษะในการปฏิบัติงานที่มีศักยภาพสูงขึ้นตามลำดับ

ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และอะไหล่ชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับงานเครื่องจักรกลหนัก ประกอบด้วยกระบวนการผลิตต่าง ๆ มากมาย กระบวนการผลิตโดยการเชื่อมถือว่าเป็นกระบวนการผลิตขั้นต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการต่อประกอบชิ้นส่วนหลัก เช่น โครงสร้างหลัก ตัวถัง ชิ้นส่วนรับ โครงสร้างบรรทุกโหลด โครงสร้างระบบส่งกำลัง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ ประกอบไปด้วยตัวแปรมากมายเข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยการเชื่อม อย่างเช่น ตัวแปรแรกที่มีความสำคัญและถือเป็นตัวแปรต้นในงานเชื่อมได้แก่ กระบวนการเชื่อม (Welding Processes) กระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุดวิธีการหนึ่งในกลุ่มของอุตสาหกรรมการผลิตอะไหล่ และชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ได้แก่กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะด้วยก๊าซคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) หรือกระบวนการเชื่อมมิก (Metal Inert Gas: MIG) และกระบวนการเชื่อมที่มีวิธีการใกล้เคียงกันมาก ๆได้แก่ การเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas: MAG) การเชื่อมซีโอทู (CO_2) รวมถึงการเชื่อมด้วยลวดแกนฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding: FCAW) เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการเชื่อมทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นกระบวนการที่สามารถเชื่อมต่อประกอบโลหะได้อย่างสมบูรณ์ สามารถให้ความแข็งแรงตอบสนองลักษณะของการใช้งานอีกทั้งเป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้ผลผลิตสูง (High productivity) เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อหรือปรับปรุงให้เป็นการเชื่อมในระบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) หรือระบบอัตโนมัติ (Robotic Welding) กระบวนการผลิตโดยการเชื่อมด้วยโลหะก๊าซคลุมได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางเพื่อเพิ่มผลผลิต (Productivity) ให้สูงขึ้นดังเช่นรายงานของ P.J. Modenesi and R.I.Reis [2] อัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อมเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการอาร์คที่เสถียร และผลิตภาพ (Productivity) รวมทั้งรูปร่างของแนวเชื่อม จากการศึกษาทดลองพบว่าอัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อม กระแสไฟเชื่อม และอาร์คโวลต์เตจ บริเวณบ่อหลอมละลาย พบความผิดปกติของอัตราการหลอมที่ปลายลวดเชื่อมที่มีการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบพ่นเป็นหยด และพ่นเป็นละออง การรายงานของ K.K. Cho, et al. [3] นำระบบการเชื่อมแบบอัตโนมัติมาใช้สำหรับอุตสาหกรรมการต่อเรือเพื่อทดแทนการต่อประกอบเรือแบบทั่ว ๆ ไปโดยอาศัยพื้นฐานจากประสบการณ์ พบว่าการนำระบบการเชื่อมแบบอัตโนมัติมาวางแผนในการเชื่อมเรือในลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมโดยใช้ข้อมูลการเชื่อมได้แก่ ตำแหน่งท่าเชื่อม วิธีการเชื่อม เครื่องมืออุปกรณ์การเชื่อม และวัสดุงานเชื่อม การพัฒนาระบบการเชื่อมอัตโนมัติ

สามารถดำเนินการเชื่อมให้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อนำมาใช้เชื่อมประกอบต่อเรือจริง L.Carrino et al. [4] จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เช่น อาร์คโวลต์เตจ, ความเร็วในการเชื่อม และความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม โดยใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบหาตัวแปรที่ดีที่สุดที่มีผลต่ออัตราการเติมที่เหมาะสม พบว่าอาร์คโวลต์เตจ, ความเร็วในการเชื่อม, ความเร็วในการป้อนลวด และตัวแปรรูปทรงแนวเชื่อมเช่น พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมมีอิทธิพลต่อกระแสไฟเชื่อม หรือการศึกษาของ K.H. Li et al. [5] เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการเติมของลวดเชื่อมคู่ในการเชื่อมเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เนื่องจากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณผลกระทบเนื่องจากความร้อน (HAZ) ค่อนข้างมากเมื่อเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม และอาร์คโวลต์สูง ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการเติมเพิ่มขึ้น การเชื่อมที่ให้พลังงานความร้อนสูงย่อมส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของชิ้นงานเชื่อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมเติมแบบคู่ทำให้ได้อัตราการเติมเท่ากันกับการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมและอาร์คโวลต์เตจสูง ๆ แต่จะให้ขนาดพื้นที่ของผลบริเวณผลกระทบจากความร้อน (HAZ)แคบกว่า เนื่องจากใช้กระแสเชื่อมน้อยกว่าทำให้ได้พลังงานในการหลอมละลายต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการเชื่อมอาร์คโลหะก๊าซคลุมแบบเดิมที่มีพลังงานความร้อนมากกว่าและทำให้เกิดการเย็นตัวเร็วจึงเกิดความแข็งเพิ่มขึ้นบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมจากการศึกษาของ S. Goecke et al. [6] การเพิ่มอัตราการเติมแนวเชื่อมของการเชื่อมแบบมิก/แม็กเดินตาม เนื่องจากเป็นวิธีการเชื่อมที่ประหยัดสามารถใช้เครื่องเชื่อมมิกที่มีอยู่ในลายการผลิตมาปรับปรุงให้เป็นการป้อนลวดแบบสองเส้นคู่เชื่อมตามหลังกันผลที่ได้พบว่าสามารถเดินแนวเชื่อมได้เร็วขึ้น ให้อัตราการเติมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมด้วยลวดเดี่ยว เมื่อความเร็วในการป้อนลวดเท่ากันหรือช้าลง จะเห็นได้ว่าการให้ความสำคัญและศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลการผลิตด้วยการเพิ่มอัตราเติมของงานเชื่อม อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์เป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้อัตราการเติมสูงแต่ยังไม่มีผลการรายงานเกี่ยวกับใช้กระบวนการเชื่อมดังกล่าวร่วมกับกระบวนการเชื่อมอื่นๆ

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาช่วงกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่ออัตราการเติมการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์ ศึกษาผลกระทบของสภาวะการเชื่อมต่อรูปลักษณะของแนวเชื่อมต่อฉาก และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้กระบวนการเชื่อมมิกเดินตามด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์สำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมผลิตเครื่องจักรกลหนัก อุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบโครงสร้างเหล็ก อุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบถังแรงดันสูงเป็นต้น

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 กำหนดสภาวะในการเชื่อม

กำหนดช่วงกระแส อาร์คโวลต์เตจ ความเร็วในการเชื่อม ก๊าซคลุมสำหรับการเชื่อมต่อฉาก (Fillet Joint) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงแผ่นหนา 10 มม. ด้วยกระบวนการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมด้วยฟลักซ์คอร์เชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมยานยนต์ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 10 มม. ประกอบในลักษณะรอยต่อฉาก (Fillet Weld) เชื่อมในตำแหน่งท่าราบใช้กระบวนการเชื่อมมิก (MIG) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม 1.2 มม. เดินแนวแรก และเชื่อมตามด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยฟลักซ์คอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม 1.2 มม. ใช้ก๊าซอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อม โดยกำหนดสภาวะในการเชื่อมตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 กำหนดค่าตัวแปรสภาวะการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

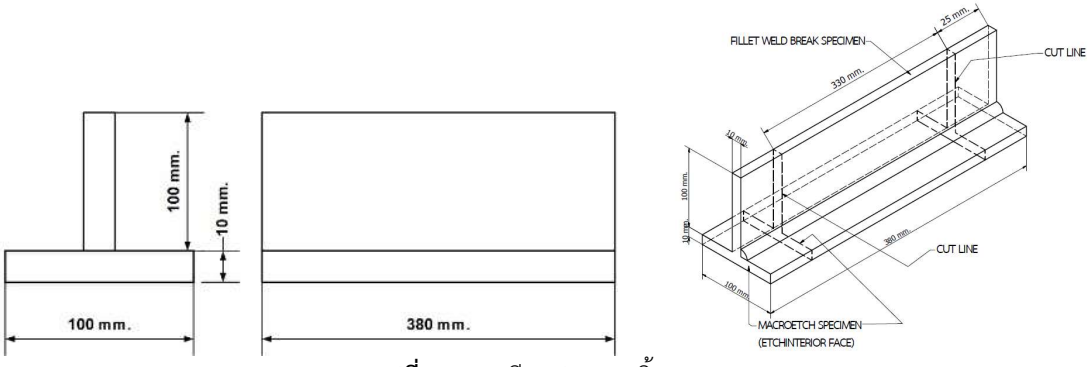
แก๊สที่ใช้ในการทดลองงานวิจัย	การปรับตั้งค่าคงที่เครื่องช่วยเชื่อม	การแบ่งกลุ่มชิ้นงานเชื่อมตามสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ		กระแสไฟเชื่อมมิก (หัวนำ)	กระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (หัวชื่อมตาม)
อาร์กอน	- ความเร็วในการเดินแนว 34เซนติเมตร/นาที - ระยะยื่นของลวดเชื่อม 15 มิลลิเมตร	กลุ่มที่ 1	NO.1	170	190
			NO.2	210	230
			NO.3	250	270
		กลุ่มที่ 2	NO.4	190	170
			NO.5	230	210
			NO.6	270	250
		กลุ่มที่ 3	NO.7	170	170
			NO.8	190	190
			NO.9	210	210
			NO.10	230	230
			NO.11	250	250

หมายเหตุ จากตารางที่ 1 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลองงานวิจัย โดยแบ่งชิ้นงานทดสอบเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่ 1 กำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) หัวเชื่อมนำ มีค่าน้อยกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) หัวเชื่อมตาม
- กลุ่มที่ 2 กำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) หัวเชื่อมนำ มีค่ามากกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) หัวเชื่อมตาม
- กลุ่มที่ 3 กำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) หัวเชื่อมนำ มีค่าเท่ากับกระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) หัวเชื่อมตาม

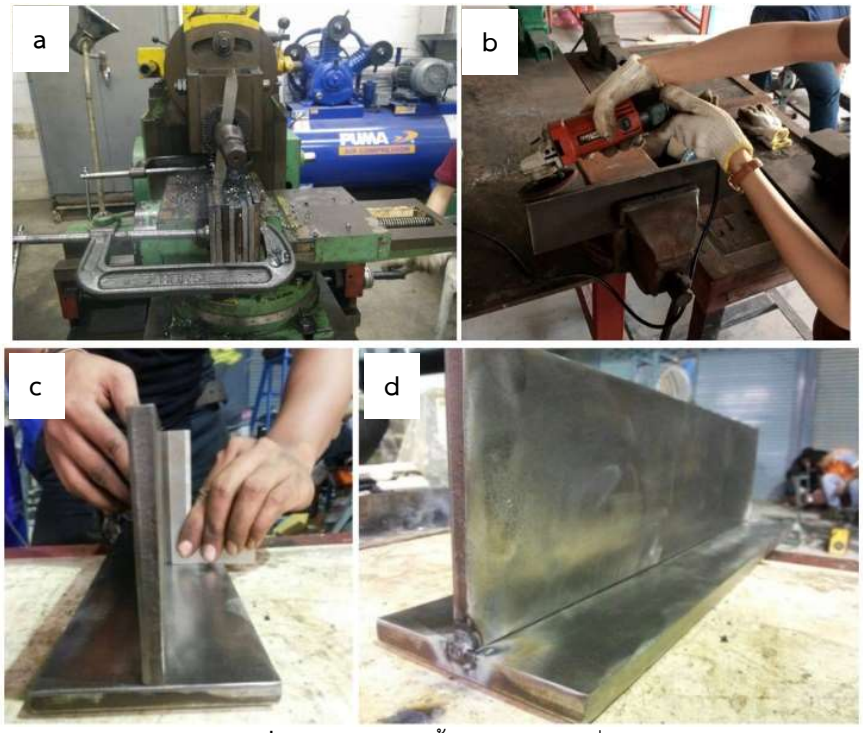
2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ในการทดลองจะมีการออกแบบชิ้นงาน สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบในครั้งนี้ใช้มาตรฐานเกี่ยวกับการเชื่อมของอเมริกาซึ่งเป็นที่นิยม (American Welding Society: AWS D 1.1 – 2020) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมประกอบชิ้นงานทดสอบ

การตัดเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบโดยการไสขึ้นรูปให้มีขนาด 100 x 380 มิลลิเมตร เจียรแต่งผิวชิ้นงานขจัดคราบสนิม นำชิ้นงานมาวางต่อฉาก (Fillet Joint) เพื่อเตรียมสำหรับการเชื่อมต่อฉากท่าราบ เมื่อเชื่อมเสร็จตัดปลายชิ้นงานด้านเริ่มต้นเชื่อมและด้านสิ้นสุดการเชื่อมออกด้านละ 1 นิ้วสำหรับการเตรียมทดสอบการแตกหักของงานเชื่อม แสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การประกอบชิ้นงานก่อนการเชื่อม

รูปที่ 2 (a) เป็นการไสเตรียมขนาดชิ้นงานทดสอบ (b) แสดงการเจียรทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานก่อนการเชื่อม (c) แสดงการเตรียมประกอบชิ้นงานในรอยต่อฉาก(Fillet weld) ด้วยการจับฉากชิ้นงาน (d) เป็นการเชื่อมยึดชิ้นงานต่อฉาก

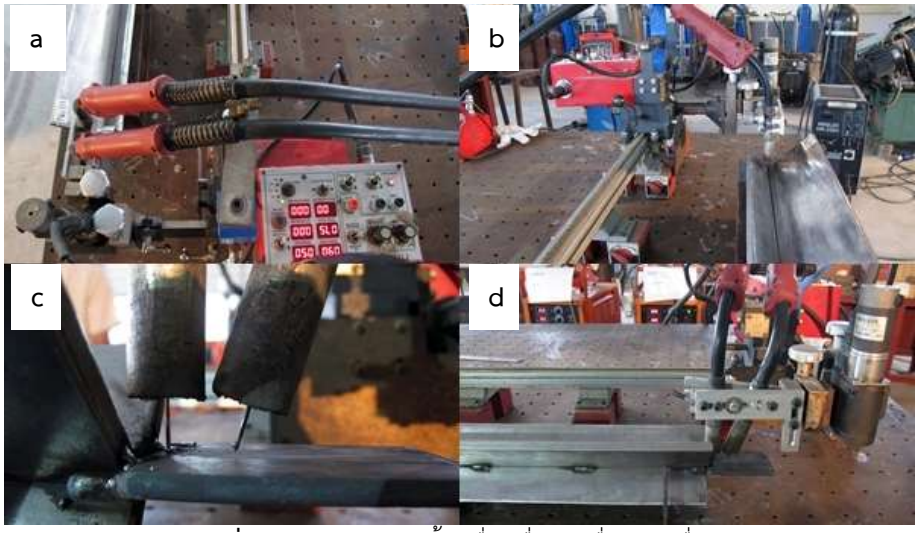
2.3 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ(High-strength low-alloy steel : HSLA Bis80) หรือเรียกว่า บิสเพลท 80 (Bisplate 80) คือ เหล็กที่มีความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ มีความแข็งแรง ค่าแรงดึงสูงเป็น 3 เท่าของเหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวลักษณะการใช้งานคือ อุปกรณ์ขนส่ง โครงสร้างของตึกสูง อุปกรณ์เหมือง สะพาน บุ้งกี๋และโครงสร้างรถขุดมีความหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำมาตัดเป็นชิ้นงานเชื่อมขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 380 มิลลิเมตร และมีสมบัติทางกลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกลเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ (HSLA Bis80)

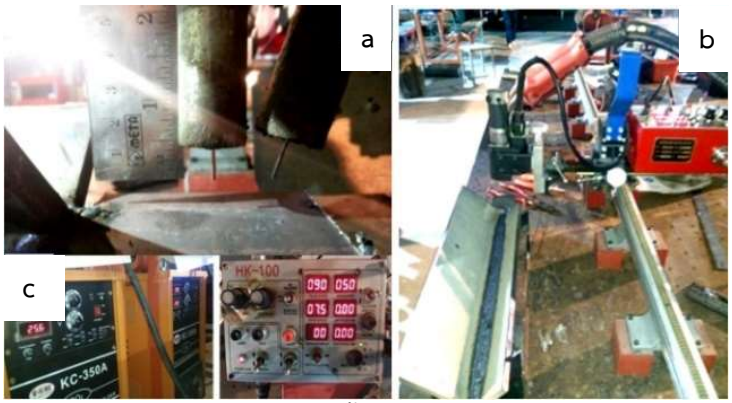
PROPERTIES	SPECIFICATION	TYPICAL
0.2% Proof Stress	690 MPa (Min)	750 Mpa
Tensile Strength	790 – 930 Mpa	830 Mpa
Elongation in 50mm G.L.	18% (Min)	26%
Charpy Impact (Longitudinal) – 20°C (10mm X 10mm)	40J (Min)	160J
Hardness	-	255HB

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องเชื่อมมิกยี่ห้อวีวันรุ่น KC-350A และเครื่องช่วยเชื่อมมิกยี่ห้อ HUAWEI รุ่น HK-100 Auto welding machine สามารถเชื่อมโดยการป้อนลวดเชื่อมเพื่อให้เกิดการอาร์กกับชิ้นงานอัตโนมัติทำให้เกิดการหลอมละลายอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีแก๊สอาร์กอนทำหน้าที่คอยปกคลุมป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่อง เช่น รูพรุน โพรงอากาศในแนวเชื่อมได้ การเชื่อมจะใช้เครื่องช่วยเชื่อมเพื่อรักษาสภาวะการเชื่อมให้คงที่ทั้งกระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ระยะห่างระหว่างหัวเชื่อมโดยมีการประกอบติดตั้งดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การประกอบติดตั้งเครื่องเชื่อม เครื่องช่วยเชื่อม

รูปที่ 3 (a) แสดงการประกอบหัวเชื่อมตัวนำและหัวเชื่อมเดินตาม (b) แสดงการปรับตัวหัวเชื่อมกับชิ้นงาน (c) แสดงการปรับตั้งระยะอาร์กของหัวเชื่อมตัวนำและหัวเชื่อมตัวตาม (d) แสดงการเตรียมเริ่มต้นอาร์กชิ้นงาน การปรับตั้งค่าสภาวะการเชื่อม เช่นกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ระยะอาร์ก อัตราการป้อนแก๊สคลุมเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติสามารถควบคุมสภาวะการเชื่อมได้คงที่ดังแสดงในรูปที่ 4

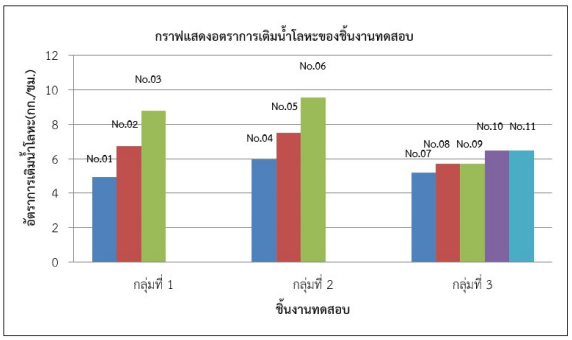


รูปที่ 4 การปรับตั้งค่าสภาวะการเชื่อม

รูปที่ 4 (a) แสดงการปรับระยะยื่นของลวดเชื่อมตัวนำและตัวตาม (b) แสดงการเชื่อมและการการเดินแนวเชื่อมชิ้นงาน (c) แสดงการปรับตั้งค่าสภาวะการเชื่อม

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองหาอัตราการเติมของชิ้นงานเชื่อมอัตราการเติมน้ำโลหะของกระบวนการเชื่อมมิกเดินตามด้วยการเชื่อมฟลักซ์คอร์รอยต่อฉากของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำ พบว่าชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 2 ที่มีสภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อมมิกมากกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ โดยชิ้นงานหมายเลข 06 กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) 270 แอมแปร์ กระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) 250 แอมแปร์ ให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นหลังจากการเชื่อมมากที่สุดคือ 0.185 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 2.998 ของน้ำหนักชิ้นงานก่อนเชื่อม และมีอัตราการเติมน้ำโลหะมากที่สุดคือ 9.569 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และพบว่าชิ้นงานทดสอบกลุ่มที่ 1 ที่มีสภาวะการเชื่อมกระแสไฟเชื่อมมิกน้อยกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ ชิ้นงานหมายเลข 01 กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) 170 แอมแปร์ กระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) 190 แอมแปร์ ให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นหลังจากการเชื่อมน้อยที่สุดคือ 0.095 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.548 ของน้ำหนักชิ้นงานก่อนเชื่อม และมีอัตราการเติมน้ำโลหะน้อยที่สุดคือ 4.914 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



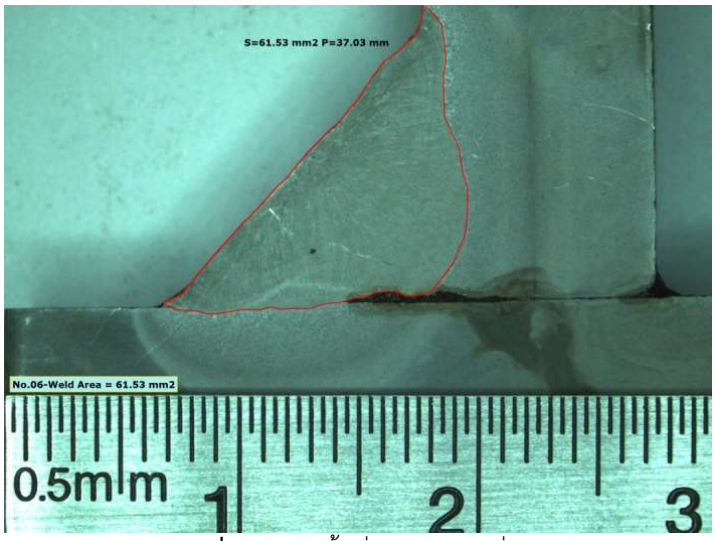
รูปที่ 5 อัตราการเติมลวดที่สภาวะการเชื่อมต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเติมน้ำโลหะลงในบ่อหลอมละลายเป็นแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตามลำดับ โดยชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานที่ 06 ในกลุ่มที่ 2 ซึ่งกำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) เท่ากับ 270 แอมแปร์มีค่ากระแสไฟเชื่อมสูงกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) เท่ากับ 250 แอมแปร์ให้อัตราการเติมน้ำโลหะสูงที่สุด รองลงมาคือชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานที่ 03 ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งกำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) เท่ากับ 250 แอมแปร์

มีค่ากระแสไฟเชื่อมต่ำกว่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) เท่ากับ 270 แอมแปร์ ดังแสดงผลการหาอัตราการเติมน้ำโลหะจึงพบว่ากระแสไฟเชื่อมที่สูงขึ้นจะทำให้ได้อัตราการเติมน้ำโลหะที่สูงขึ้นตามไปด้วย ไม่ว่าจะกำหนดให้กระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) มีค่ากระแสไฟเชื่อมสูงกว่า ต่ำกว่า หรือเท่ากันกับกระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) และพบว่ากระแสไฟเชื่อมมิก (MIG) ที่กำหนดค่ากระแสไฟเชื่อมให้สูงกว่าค่ากระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) จะทำให้ได้อัตราการเติมน้ำโลหะที่มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นอัตราการเติมของน้ำโลหะในแนวเชื่อมกลุ่มที่ 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.1 เมื่อเทียบกับการอัตราการเติมในกลุ่มที่ 1 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.64 เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากระแสไฟเชื่อมของลวดตัวนำสูงสามารถสร้างแห่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงเป็นการให้ความร้อนนำสูงจึงสามารถหลอมละลายลวดตัวตามได้มากขึ้นทำให้เกิดอัตราการเติมที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่สภาวะการเชื่อมกลุ่มที่ 1 ให้อัตราการเติมรองลงมาเนื่องจากค่ากระแสไฟเชื่อมที่หัวเชื่อมตัวนำต่ำ แต่ได้อัตราการหลอมละลายที่เพิ่มขึ้นจากหัวเชื่อมตัวตามที่มีกระแสไฟเชื่อมสูงในส่วนของสภาวะการเชื่อมกลุ่มที่ 3 เป็นสภาวะการเชื่อมที่ให้อัตราการเติมลวดน้อยที่สุดเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการอาร์กของลวดตัวนำ และตัวตามเท่ากัน

รูปที่ 6 แนวโน้มการเติมน้ำโลหะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟเชื่อมสูงขึ้น

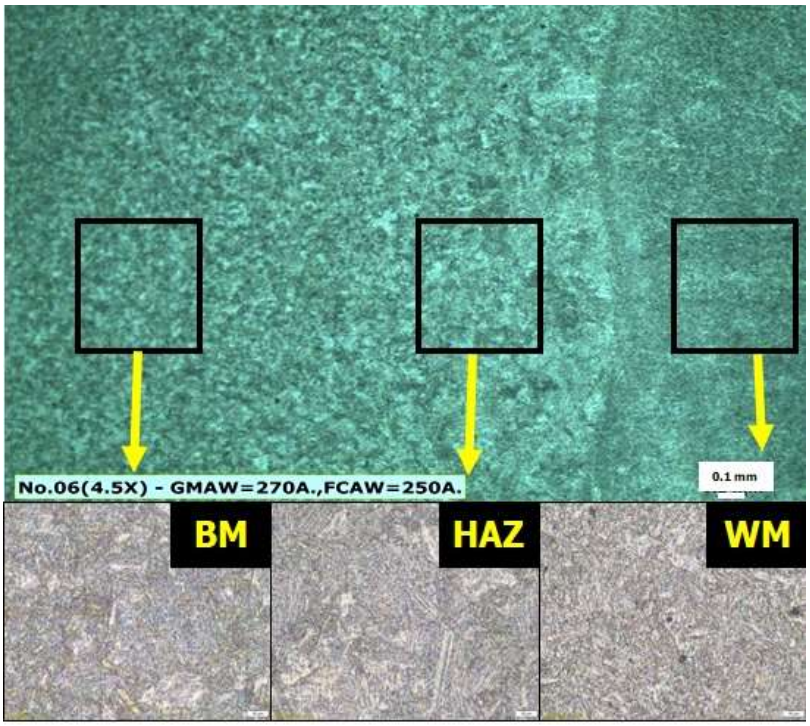
ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ของรูปลักษณ์ชิ้นงานทดสอบพบว่าชิ้นงานที่ 06 ที่มีสภาวะการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมมิกลวดตัวนำ 270 แอมแปร์ และกระแสเชื่อมฟลักซ์คอร์ของลวดตัวตาม 250 แอมแปร์ มีพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อมมากที่สุดคือ 61.53 ตารางมิลลิเมตร สอดคล้องกับค่าอัตราการเติมน้ำโลหะในแนวเชื่อม เมื่ออัตราการเติมน้ำโลหะมากพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 การหาพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อม



รูปที่ 7 การหาพื้นที่หน้าตัดแนวเชื่อม

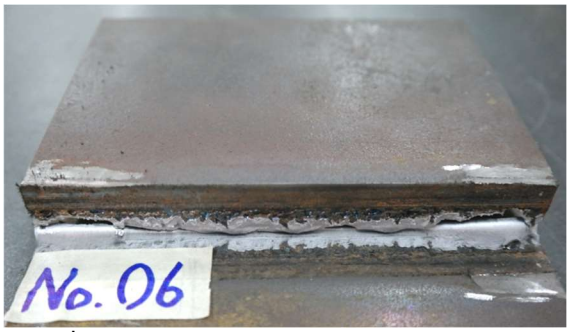
ชิ้นงานที่ 06 ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีอัตราการเติมน้ำโลหะมากที่สุดมีการหลอมละลายรวมตัวของโลหะเชื่อมกับเนื้อโลหะสมบูรณ์ ผิวหน้าแนวเชื่อมราบเรียบ ปราศจากรูพรุน และโพรงอากาศ ในขณะที่ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่ำเกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์บริเวณรากของแนวเชื่อม การหลอมละลายไม่สมบูรณ์บริเวณขาแนวเชื่อม เกิดแนวซ้อนเกย (Overlap) เนื่องจากการหลอมของลวดเชื่อมทำให้เกิดน้ำโลหะปริมาณมากแต่พลังงานความร้อนไม่เพียงพอต่อการหลอมเนื้อชิ้นงานเชื่อมทำให้น้ำโลหะส่วนเกินไหลทับแนวเชื่อม

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานกระแสไฟเชื่อมมิก 270 แอมแปร์และกระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ 250 แอมแปร์ พบว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) จะมีโครงสร้างพื้น (Matrix) เป็นเบนไนท์ (Bainite) เนื่องจากเป็นเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง และอบคืนตัวจึงทำให้บริเวณเนื้อชิ้นงานมีความแข็งค่อนข้างสูง ส่วนบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) มีโครงสร้างเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ขนาดเล็กๆ ตกผลึกที่ขอบเกรนกับโครงสร้างเบนไนท์ (Bainite) เนื่องจากความร้อนจากการเชื่อมที่แพร่กระจายสู่เนื้อโลหะบริเวณโดยรอบแนวเชื่อมทำให้บริเวณดังกล่าวมีความแข็งลดลง ในส่วนที่อยู่บริเวณใกล้แนวเชื่อมเนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อมมากทำให้บริเวณดังกล่าวมีขนาดเกรนโตกว่าบริเวณอื่น ๆ ทำให้ทนต่อแรงดึงได้น้อยแต่ให้ความเหนียวเพิ่มขึ้น และในบริเวณเนื้อแนวเชื่อม (WM) มีลักษณะโครงสร้างเกรนละเอียดทำให้แนวเชื่อมมีความแข็ง [7] ดังรูปที่ 8 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาของงานเชื่อม



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานทดสอบ

ผลการทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบการแตกหัก (Fracture Test) ชิ้นงานกระแสไฟเชื่อมมิก 270 แอมแปร์ และกระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์ 250 แอมแปร์ พบว่ามีการหลอมรวมตัวของแนวเชื่อมกับเนื้อโลหะชิ้นงานสมบูรณ์ รอยแตกหักเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางตลอดแนวเชื่อมแสดงให้เห็นถึงการหลอมละลายอย่างสมบูรณ์ของขาแนวเชื่อมกับผิวชิ้นงานเชื่อม เนื่องจากสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมทำให้ความร้อนจากกระแสไฟในการเชื่อมหลอมละลายชิ้นงานเชื่อมและลวดเชื่อมได้สมบูรณ์สร้างความแข็งแรงให้แก่เนื้อแนวเชื่อมบริเวณขาของแนวเชื่อมสามารถรับแรงจากการทดสอบโดยไม่เกิดการพังทลายบริเวณขาของแนวเชื่อม สามารถยอมรับผลการทดสอบผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของ AWS D1.1-2020 [8]



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการพังทลาย (Fracture Test)

ผลการทดลองสภาวะการเชื่อม จะเห็นได้ว่าสภาวะการเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมมิกหัวนำที่ 270 แอมแปร์ กระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์หัวตาม 250 แอมแปร์ จะให้อัตราการเติมน้ำโลหะในแนวเชื่อมมากที่สุดเมื่อกระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อลดกระแสเชื่อมลงจะทำให้การเติมน้ำโลหะในแนวเชื่อมลดลงด้วยเช่นกัน ในขณะเดียวกันการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมของหัวเชื่อมนำที่มากกว่ากระแสเชื่อมของหัวเชื่อมตามสามารถหลอมละลายลวดเชื่อมให้กลายเป็นน้ำโลหะได้มากกว่าการเชื่อมที่ใช้กระแสเชื่อมของหัวเชื่อมนำน้อยกว่ากระแสเชื่อมของหัวเชื่อมตาม เนื่องจากการเชื่อมด้วยกระแสสูงสามารถหลอมละลายลวดเชื่อมได้เพิ่มขึ้นอีกทั้งเป็นการเพิ่มความร้อนเข้าในแนวเชื่อมให้สูงขึ้นทำให้เพิ่มการหลอมละลายของลวดตัวตามได้มากขึ้นตามไปด้วย

ผลการตรวจสอบรูปลักษณ์ของแนวเชื่อม ปรากฏว่าการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสมโดยกระไฟเชื่อมมิกหัวนำ 270 แอมแปร์ กระแสไฟเชื่อมฟลักซ์คอร์หัวเชื่อมตามที่ 250 แอมแปร์ สามารถหลอมละลายชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ทั้งการหลอมลึก การหลอมบริเวณขาแนวเชื่อมกับชิ้นงานอีกทั้งให้ลักษณะผิวหน้าของแนวเชื่อมเรียบเนียน สม่ำเสมอลักษณะผิวหน้าชิ้นงานจะแบนราบทำมุม 45 องศากับชิ้นงานเชื่อม

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและทดสอบสมบัติทางกล จากผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าความร้อนจากกระแสในการเชื่อมเมื่อกระแสไฟในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ชิ้นงานหลอมละลายได้เพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคมากขึ้นกล่าวคือมีการขยายตัวของเกรนบริเวณผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมเป็นบริเวณกว้างทำให้บริเวณดังกล่าวลดความแข็งแรงลงทันที ในขณะที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่มีกระแสเชื่อมต่ำ ๆจะพบว่าการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ทั้งรากของแนวเชื่อม และบริเวณขอบของแนวเชื่อมจะเกิดความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นสม่ำเสมอ

ผลการทดสอบสมบัติทางกล พบว่าการเชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม สามารถสร้างรูปลักษณ์ของแนวเชื่อมได้เป็นอย่างดี เกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวทั้งแนวเชื่อมและชิ้นงานทำให้สามารถรับแรงจากการทดสอบได้ดีโดยไม่เกิดการแตกหักพังทลายในพื้นที่ขอบขาของแนวเชื่อม

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ ผู้ให้ทุนศึกษา คือสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม นางสาวเจนจิรา นาครักษ์ และนางสาวสุณิสา สุวรรณเกิด ผู้จัดเตรียมชิ้นงานทดสอบ ทดสอบและบันทึกผล สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องทดสอบ และบุคลากรทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Master Plan for Automotive Industry 2012–2016. Thailand Automotive Institute. Ministry of Industry 2012. [Online]. Available: http://www.thaiauto.or.th/2012/backoffice/file_upload/research/ (In Thai)

[2] P.J. Modenesi and R.I. Reis, “A Model for Melting Rate Phenomena in GMA Welding, Journal of Materials Processing Technology,” vol. 189, pp. 199–205, 2007.

[3] K.K. Cho, J.G. Sun and J.S. Oh, “An Automated Welding Operation Planning System for Block Assembly in Shipbuilding, Int. J. Production Economics,” vol. 60–61, pp. 203–209, 1999.

[4] L. Carrino, U. Natale, L. Nele, M. L. Sabatini and L. Sorrentino, “A Neuro–Fuzzy Approach for Increasing Productivity in Gas Metal Arc Welding Processes,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. 32, pp. 459–467, 2007.

[5] K.H. Li, Y.M. Zhang, P. Xu, and F.Q. Yang, “High–Strength Steel Welding with Consumable Double–Electrode Gas Metal Arc Welding, Welding Journal,” vol. 87, pp. 57–64, 2008.

[6] G. Sven, “Tandem MIG/MAG Welding,” *Svetsaren,* vol. 2, no. 3, pp. 24–28, 2001.

[7] N. Keawsakul, R. Phuthrontaraj, C. Hongtong, “Influence of Heat Treatment Processes on High Strength Steel (Q&T Steel) 690 MPa by Gas Metal Arc Welding,” *The 6th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference,* 2021. (In Thai)

[8] AWS D1.1 Structural Welding Steel, 24th Edition, 2020.