

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ ผู้วิจัยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกลในการเชื่อมโลหะ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) ปัจจัยในการศึกษาแบ่งตามชนิดและระดับ ดังนี้

1. กระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 150 แอมป์ 170 แอมป์ 200 แอมป์
2. ฟลักซ์ 3 ชนิดคือ Titanium Oxide (TiO_2) Aluminium Oxide(Al_2O_3) และ Silica Oxide (SiO_2)
3. ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 185 มม./นาที่ 200 มม./นาที่ 215 มม./นาที่

5.1 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองแยกตามวัตถุประสงค์การวิจัยเป็น 3 ส่วน คือ

1. ผลของฟลักซ์ส่งผลต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง
2. ผลของปัจจัยงานเชื่อมที่ส่งผลต่อการหลอมลึก (Dilution) ของแนวเชื่อม
3. ผลของปัจจัยการเชื่อมที่ส่งผลต่อโครงสร้าง ของชิ้นงานเชื่อมที่มีความแข็งสูงที่สุดและความแข็งต่ำที่สุด

5.1.1 ผลของฟลักซ์ที่ส่งผลต่อความแข็งของแนวเชื่อม

จากการทดสอบความแข็งและนำผลมาวิเคราะห์ ANOVA ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อม เมื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยค่าความแข็ง ที่ระดับความเร็วการเชื่อม 100 มม./นาที่ พบว่า ชิ้นงานที่ทาฟลักซ์ ด้วย Silica Oxide (SiO_2) จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด ที่กระแสไฟ 200 แอมแปร์ โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 532.113 HV และ Titanium Oxide (TiO_2) จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งที่ต่ำสุด ที่กระแสไฟ 200 แอมแปร์ โดยค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 484.972 HV และชิ้นงานที่ไม่ทาฟลักซ์ จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 512.402 HV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชชัย อินนุมาตร[13] ได้ศึกษาอิทธิพลของอินทรีย์ฟลักซ์ ต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกล ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม กลุ่มออสเทนนิติก ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม แบบก๊าซทังสเตนอาร์ค พบว่า ชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการเชื่อม โดยใช้ฟลักซ์ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม และไม่พบข้อบกพร่องใดๆในแนวเชื่อม จากการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติค่าความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อม ด้วยฟลักซ์ มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับค่าความแข็งของชิ้นงานที่ไม่ได้ทาฟลักซ์ก่อนเชื่อม เนื่องจากการหลอมละลายบริเวณแนวเชื่อมที่ใช้ฟลักซ์นั้นจะหลอมละลายเป็นโครงสร้าง เดียวกับชิ้นงานหลักโดยไม่มีโลหะเติมหรือสิ่งเจือปนจึงกล่าวได้ว่าบริเวณแนวเชื่อมที่ได้นั้นเป็นเนื้อเดียวกับชิ้นงานที่นำมาเชื่อม

และสารเคมีที่ประกอบไปด้วย Titanium Oxide (TiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3) ในอัตราส่วนไม่เกิน 50% จะไม่ส่งผลเสียต่อค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ

5.1.2 ผลของปัจจัยการเชื่อมที่ส่งผลต่อการหลอมลึก (Dilution) และรูปร่างของแนวเชื่อม

ผลจากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกล ในการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) พิจารณาการทาฟลักซ์ต่อการหลอมลึก พบว่า ฟลักซ์ส่งผลต่อการหลอมลึก (Dilution) และรูปร่างของแนวเชื่อม เมื่อนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างมหัพภาพ พบว่า การเชื่อมโดยการทาฟลักซ์ก่อนการเชื่อมจะได้แนวเชื่อมที่มีการหลอมลึกมากกว่าการเชื่อมโดยไม่ทาฟลักซ์ จึงกล่าวได้ว่าการทา Titanium Oxide (TiO_2) ให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมดีกว่า Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3) การทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) ก่อนการเชื่อม ที่กระแส 215 แอมแปร์ ให้การหลอมลึกสูงสุดที่ 28.739 เปอร์เซ็นต์ และ ฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ที่กระแส 215 แอมแปร์ ให้การหลอมลึกต่ำสุดที่ 3.926 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ฟลักซ์จึงส่งผลต่อการหลอมลึก ที่เพิ่มขึ้น และลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมที่มีการหลอมละลายสมบูรณ์ เนื่องจากฟลักซ์ในกลุ่มเซรามิกมีคุณสมบัติไม่นำพาความร้อน จึงทำให้การหลอมลึกเพิ่มสูงขึ้นและการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ส่งผลให้ระดับการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีความกว้างและ ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ในการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) พบว่า การทา Titanium Oxide (TiO_2) ก่อนการเชื่อม ที่กระแส 215 แอมแปร์ จะส่งผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม สูงสุดที่ 34.464 เปอร์เซ็นต์ และกระแส 185 แอมแปร์ ส่งผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ต่ำสุดที่ 1.163 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การทา ฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) ก่อนการเชื่อม จึงส่งผลต่อความกว้างของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้น และลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมที่หลอมละลายสมบูรณ์ เนื่องจากฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) มีคุณสมบัติไม่นำพาความร้อนจึงเกิด การสะสมของความร้อน ทำให้การแนวเชื่อมกว้างเพิ่มมากขึ้น

5.1.3 ผลของปัจจัยการเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งของชิ้นงานเชื่อมที่มีความแข็งสูงที่สุดและความแข็งต่ำที่สุด

จากการศึกษาโครงสร้างมหัพภาค การเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) โดยการใช้ฟลักซ์ทา

ก่อนการเชื่อม พบว่า การทาฟลักซ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งของแนวเชื่อม กล่าวคือ ชิ้นงานที่ทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ที่กระแสไฟ 200 แอมแปร์ จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด เท่ากับ 532.113 HV และ ชิ้นงานที่ทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) ที่กระแสไฟ 200 แอมแปร์ จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งที่ต่ำสุด เท่ากับ 484.972 HV เนื่องจากการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อม มีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ส่งผลให้ระดับการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น ให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม มากขึ้น และทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีความกว้างและค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2)

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การทาฟลักซ์ชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมก็จะช่วยเพิ่มการหลอมลึก และเพิ่มความแข็งเนื่องจากฟลักซ์ในกลุ่มเซรามิกมีคุณสมบัติทำให้ส่วนผสมที่ถูกเติมลงไปมีจุดหลอมเหลวต่ำลง ไม่นำพาความร้อนจึงทำให้การหลอมลึกเพิ่มสูงขึ้นและการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเติมธาตุซิลิคอน (Silicon : Si) ในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอน เกิดเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีความแข็งมากทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น เพิ่มค่าแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ของเหล็กให้สูงขึ้น เหล็กกล้าที่มีซิลิคอนสูงจะมีเกรนหยาบ ส่วนธาตุไทเทเนียมเป็นโลหะที่แข็งแรงมาก ทำให้เกิดคาร์ไบด์ได้ดี เป็นธาตุผสมที่สำคัญในเหล็กกล้าสเตนเลส เพื่อป้องกันการผุกร่อนตามขอบเกรน นอกจากนั้น การเติมธาตุไทเทเนียมก็จะช่วยทำให้เหล็กมีเกรนละเอียด และธาตุอลูมิเนียมเป็นธาตุที่นิยมใช้เป็นตัวไล่แก๊สออกซิเจน และไนโตรเจน (Deoxidizer และ Denitrizer) มากที่สุดซึ่งผสมอยู่เล็กน้อยในเหล็ก จะมีผลทำให้เนื้อละเอียดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Heiple and Roper (1981, 1982) and Heiple (1983) [3] กล่าวว่าทิศทางการไหลของน้ำโลหะใน บ่อหลอมละลาย จะมีผลต่อลักษณะรูปร่างสัญญาณทางโลหะวิทยาในงานเชื่อม สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ความตึงผิวเป็น ปัจจัยในการผลักดันทิศทางการไหลของเหลวในบ่อหลอมละลายบริเวณแนวเชื่อม ในการเชื่อม TIG ที่ใช้ฟลักซ์ MnO_2 , TiO_2 , MoO_3 , และ SiO_2 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิความตึงผิว ที่บ่อหลอมละลาย สูงกว่าบริเวณกระทบร้อน (HAZ) โดยจะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิความตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้แนวเชื่อมมีลักษณะการหลอมละลายลึกที่มากขึ้น แต่ไม่ทั้งหมด ฟลักซ์บางตัวยังสามารถเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิความตึงผิวของโลหะหลอมเหลวในงานเชื่อม มีค่าเป็นบวก ปรากฏการณ์ลักษณะนี้จะทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังขอบของแนวเชื่อม ส่งผลทำให้ลักษณะของแนวเชื่อมกว้างและตื้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชชัย อินนุมาตร[13] ได้ศึกษาอิทธิพลของอนินทรีย์ฟลักซ์ ต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกล ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม แบบก๊าซทังสเตนอาร์ค พบว่า การ

ทาฟลักซ์ที่มีส่วนผสมของ Titanium Oxide(TiO_2) 100%ก่อนการเชื่อมจะให้ประสิทธิภาพการหลอมลึกสูงสุด สามารถเพิ่มระยะ การหลอมลึกจากไม่ทาฟลักซ์ ได้ประมาณ 59.40 % เนื่องจากการประกอบ TiO_2 ทำให้การกระจาย ความหนาแน่นของพลังงานและความหนาแน่นของกระแสไฟเชื่อมเพิ่มขึ้นและยังส่งผลทำให้แนวเชื่อมมี ระยะการหลอมลึกที่เพิ่มขึ้น ต่างจากการทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) ที่ให้ประสิทธิภาพในการหลอมลึกต่ำสุด โดยมีระยะการหลอมลึก - 40.30% เพราะการผสมสารเคมีที่เป็นอนุมินิยมออกไซด์ ที่มี ปริมาณมากเกินไป จะส่งผลต่อระยะการหลอมลึก

5.2.2 ผลจากศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกล ในการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) พิจารณาการทาฟลักซ์ต่อการหลอมลึก พบว่า ฟลักซ์ส่งผลต่อการหลอมลึก (Dilution) และรูปร่างของแนวเชื่อม เมื่อนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างมหัพภาพ พบว่าการเชื่อมโดยการทาฟลักซ์ก่อนการเชื่อมจะได้แนวเชื่อมที่มีการหลอมลึกมากกว่าการเชื่อมโดยไม่ทาฟลักซ์ จึงกล่าวได้ว่าการทา Titanium Oxide (TiO_2) ให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมดีกว่า Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide(Al_2O_3) การทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) ก่อนการเชื่อม ที่กระแส 215 แอมแปร์ให้การหลอมลึกสูงสุดที่ 28.739 เปอร์เซ็นต์ และ ฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ที่กระแส 215 แอมแปร์ให้การหลอมลึกต่ำสุดที่ 3.926 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ฟลักซ์จึงส่งผลต่อการหลอมลึก ที่เพิ่มขึ้น และลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมที่มีการหลอมละลายสมบูรณ์เนื่องจากฟลักซ์ในกลุ่มเซรามิกมีคุณสมบัติไม่นำพาความร้อนจึง ทำให้การหลอมลึกเพิ่มสูงขึ้นและการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ส่งผลให้ระดับการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีความกว้างและ ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Paskell [19] ได้ศึกษาการเชื่อมสแตนเลสชนิดออสเทนิติก จะพบว่าระดับการหลอมลึกนั้นจะมีหลายแบบแตกต่างกัน เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีในแต่ละครั้งของการผลิตแตกต่างกันเล็กน้อย ธาตุบางตัวมีบทบาทสำคัญต่อการหลอมลึกและความกว้างของแนวเชื่อมเช่น กำมะถัน (Sulfur) โดยเมื่อมีปริมาณกำมะถันมากขึ้น จะทำให้ระดับการหลอมลึกมากขึ้นตามไปด้วยและความกว้างของแนวเชื่อมจะลดลง แต่ในทางปฏิบัติต้องควบคุมปริมาณกำมะถันให้มีอยู่ในเนื้อเหล็กไว้ให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันปัญหาจากการเชื่อม เช่น การแตกร้าวในขณะที่โลหะแข็งตัว เป็นต้น ดังนั้นฟลักซ์ที่ใช้ทาลงบนชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดยมี จุดประสงค์เพื่อเพิ่มระดับการหลอมลึกของแนวเชื่อม จึงช่วยลดความแปรผันของการหลอมต่ำ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมต่างๆที่จำเป็นต้องอาศัยการเชื่อม

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลอมเหล็กและสมบัติทางกลในการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C กระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) ผู้วิจัยพบปัญหาและมีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปพัฒนาการวิจัยต่อไป ดังนี้

5.3.1 การใช้ฟลักซ์แต่ละชนิดผู้วิจัยจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติฟลักซ์แต่ละชนิดว่าค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร และจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านโลหะวิทยาการเชื่อมของโลหะที่จะทำการเชื่อมด้วย

5.3.2 ลักษณะรูปร่างของรอยเชื่อม อาจจะมีการผันแปรตามกระแสและฟลักซ์ที่ใช้ได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของการเชื่อมที่แตกต่างกัน และสภาพการใช้งานที่แตกต่างกัน ตลอดจนชิ้นและความหนาของ การทาทฟลักซ์

5.3.3 ในการวิจัยครั้งนี้ทำให้เห็นประโยชน์ของการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยในการเชื่อม คือฟลักซ์และกระแสเชื่อมที่ส่งต่อสมบัติทางกล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปในอนาคตสิ่งที่น่าสนใจเพิ่มเติม คือ การศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ที่มีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) แตกต่างกันจากการเชื่อมโลหะต่างชนิด (Dissimilar) ที่มีใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อจะได้ใช้เป็นพื้นฐานความรู้กับผู้ที่มีความสนใจและงานอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลที่มีการเชื่อมเหล็กที่มีความหนาหลายๆ