

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas; TIG) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ปัจจัยในการศึกษาแบ่งตามชนิดและระดับ ดังนี้

1.1 กระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 150 แอมแปร์ 180 แอมแปร์ และ 210 แอมแปร์

2.2 ฟลักซ์ 3 ชนิดคือ Titanium dioxide (TiO_2) Aluminium oxide (Al_2O_3)

และ Silica oxide (SiO_2)

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

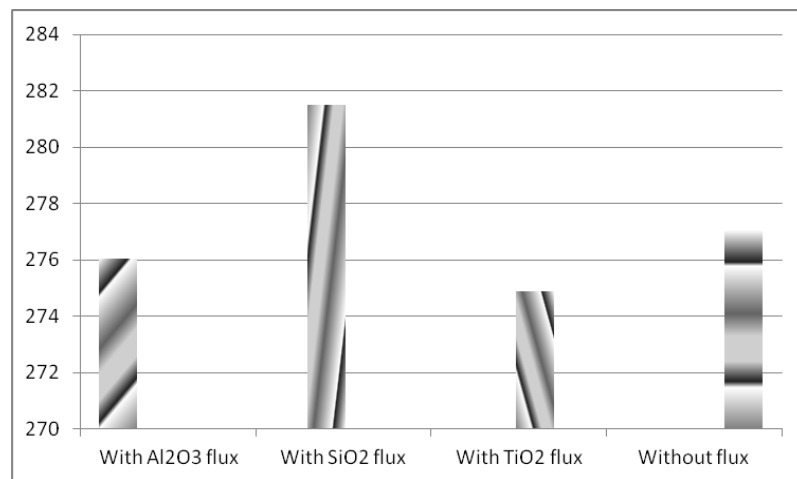
1. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง
2. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม

5.1.1 การสรุปผลการทดลอง ผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง

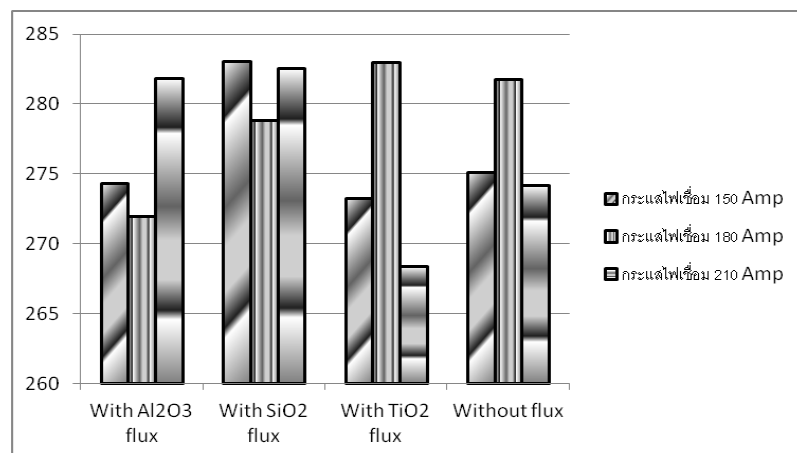
จากการศึกษาการวิเคราะห์หัตถิพลหลัก (Main Effect) พบว่าปัจจัยด้านฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) จากการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความแข็งของสูงที่สุดเท่ากับ 283.089 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพค่าความแข็งต่ำสุดคือฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 268.402 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 210 แอมแปร์

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนฟลักซ์ที่ทำจากผงไทเทเนียมไดออกไซด์และ อลูมิเนียมออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม

ส่วนการเพิ่มหรือลดลงของกระแสไฟเชื่อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของแนวเชื่อมดังนี้ กระแสไฟสูงขึ้นค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ และฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์และถ้ากระแสไฟต่ำลงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์และฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม เพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงผลในรูปของตารางข้อมูล โดยได้แสดงไว้ใน รูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบระดับความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากเหล็กกล้าไร้สนิม จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ทาก่อนทำการเชื่อม



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบระดับความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากเหล็กกล้าไร้สนิม จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ทาก่อนทำการเชื่อม ที่ระดับกระแสไฟเชื่อมต่างกัน

5.1.2 การสรุปผลการทดลอง ผลกระทบของฟลักซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมหภาค ด้านอัตราการซึมลึก (Dilution) ของแนวเชื่อม

จากการศึกษาการวิเคราะห์หัตถิพลหลัก (Main Effect) ปัจจัยด้านฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม จากการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงสุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์ ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมต่ำสุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ใช้ทาก่อนการเชื่อม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม (Depth/Width ratio) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม ส่วนการเพิ่มระดับกระแสไฟเชื่อมทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมลดลง เมื่อใช้ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์และฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่สำหรับฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์จะส่งผลต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมลดลงเมื่อใช้กระแสไฟต่ำลง เพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงผลในรูปของตารางข้อมูลโดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลเปรียบเทียบระยะซึมลึกเฉลี่ยจากแนวเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์

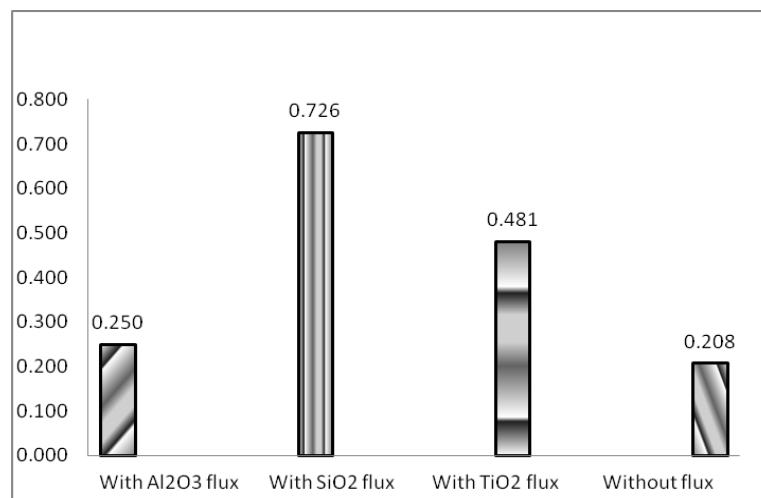
ชนิดฟลักซ์ที่ใช้	ระยะซึมลึก (มม.)	เพิ่มจากเมื่อไม่ใช้ฟลักซ์ (%)
1. ไม่ใช้ฟลักซ์	1.701	0
2. ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์	2.06	21.11
3. ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์	4.289	52.15
4. ฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์	3.847	26.16

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบระยะความกว้างเฉลี่ยจากแนวเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์

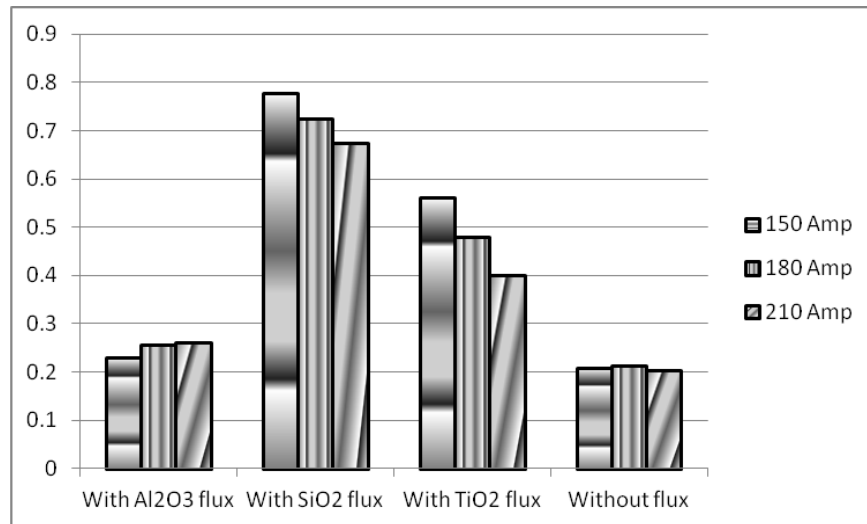
ชนิดฟลักซ์ที่ใช้	ความกว้าง (มม.)	เพิ่มจากเมื่อไม่ใช้ฟลักซ์ (%)
1. ไม่ใช้ฟลักซ์	8.219	0
2. ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์	8.20	-0.23
3. ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์	5.964	-27.44
4. ฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์	8.171	-0.58

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลเปรียบเทียบอัตราการซึมลึกเฉลี่ยจากแนวเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์

ชนิดฟลักซ์ที่ใช้	D/W Ratio	เพิ่มจากเมื่อไม่ใช้ฟลักซ์ (%)
1. ไม่ใช้ฟลักซ์	0.208	0
2. ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์	0.250	20.19
3. ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์	0.726	49.04
4. ฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์	0.481	31.25

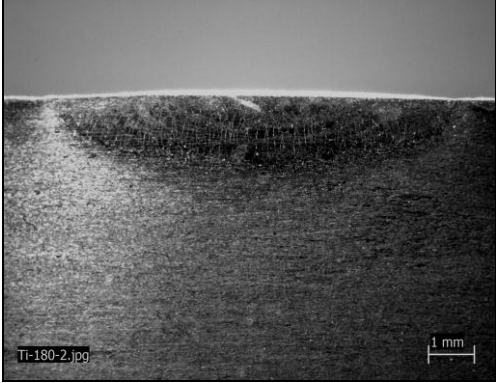
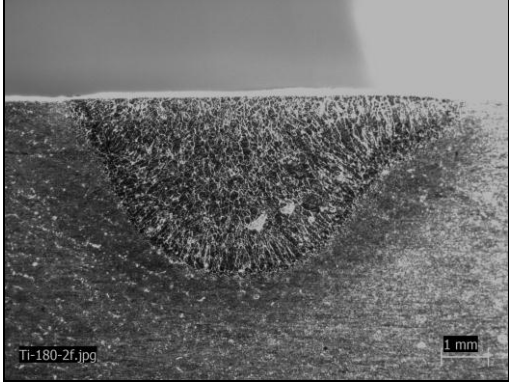


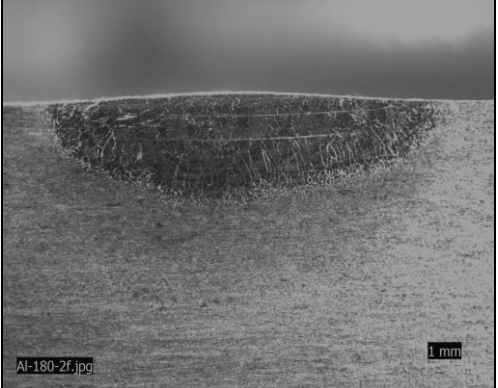
รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ท่าก่อนทำการเชื่อม



รูปที่ 5.4 ข้อมูลเปรียบเทียบอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมเฉลี่ยที่กระแสไฟเชื่อมต่างกัน

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบลักษณะการซึมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม อัตราส่วนการซึมลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อม (Depth/Width ratio)

ไม่ทาฟลักซ์ (Without flux)  ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.219$ mm. ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 1.701$ mm. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง $W/D = 0.207$	ทาฟลักซ์ (With TiO₂ flux)  ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.171$ mm. ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 3.847$ mm. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง $W/D = 0.471$
ทาฟลักซ์ (With SiO₂ flux)	ทาฟลักซ์ (With Al₂O₃ flux)

 ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 5.964 \text{ mm}$. ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 4.289 \text{ mm}$. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง $W/D = 0.719$	 ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.20 \text{ mm}$. ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 2.06 \text{ mm}$. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง $W/D = 0.251$
--	---

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 อภิปรายผล ต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง

จากการทดลอง พบว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความแข็งของสูงสุดเท่ากับ 283.089 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำให้ประสิทธิภาพค่าความแข็งต่ำสุดคือฟลักซ์ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 268.402 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 210 แอมแปร์ เนื่องจากว่า ฟลักซ์ในกลุ่มเซรามิกมีคุณสมบัติทำให้ส่วนผสมที่ถูกเติมลงไปมีจุดหลอมเหลวต่ำลง ไม่นำพาความร้อนจึงทำให้การหลอมลึกเพิ่มสูงขึ้น และการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเติมธาตุซิลิคอน (Silicon : Si) ในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอน เกิดเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีความแข็งมากทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น เพิ่มค่าแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ของเหล็กให้สูงขึ้น เหล็กกล้าที่มีซิลิคอนสูงจะมีเกรนหยาบ ส่วนธาตุไทเทเนียมเป็นโลหะที่แข็งแรงมาก ทำให้เกิดคาร์ไบด์ได้ดี เป็นธาตุผสมที่สำคัญที่ใช้ในการทาฟลักซ์ขึ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะช่วยเพิ่มการหลอมลึก และเพิ่มความแข็งของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เพื่อป้องกันการผุกร่อนตามขอบเกรน นอกจากนั้น การเติมธาตุไทเทเนียมก็จะช่วยทำให้เหล็กมีเกรนละเอียด และธาตุลูมิเนียมเป็นธาตุที่นิยมใช้เป็นตัวไล่แก๊สออกซิเจน และไนโตรเจน (Deoxidizer และ Denitrizer) มากที่สุด ซึ่งผสมอยู่เล็กน้อยในเหล็ก จะมีผลทำให้เนื้อละเอียดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Heiple and Roper [4] กล่าวว่าทิศทางการไหลของน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายจะมีผลต่อลักษณะรูปร่างสัญญาณทางโลหะวิทยางานเชื่อม สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ความตึงผิวเป็นปัจจัยในการ

ผลิตภัณฑ์ทางการไหลของเหลวในบ่อหลอมละลายบริเวณแนวเชื่อม ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 2205 ด้วยการเชื่อมทิกที่ใช้ฟลักซ์ SiO_2 , MoO_3 และ Cr_2O_3 จะเพิ่มการหลอมลึกของแนวเชื่อม ขณะที่ฟลักซ์ TiO_2 และ MnO_2 จะส่งผลต่อการหลอมลึกค่อนข้างกว้างและตื้นของแนวเชื่อม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชชัย อินนุมาตร [13] ได้ศึกษาอิทธิพลของอนินทรีย์ฟลักซ์ ต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกล ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม แบบก๊าซทั้งสแตนอาร์ค พบว่า การทาฟลักซ์ที่มีส่วนผสมของ Titanium Dioxide (TiO_2) 100% ก่อนการเชื่อมจะให้ประสิทธิภาพการหลอมลึกสูงสุด สามารถเพิ่มระยะ การหลอมลึกจากไม่ทาฟลักซ์ ได้ประมาณ 59.40 % เนื่องจากสารประกอบ TiO_2 ทำให้การกระจาย ความหนาแน่นของพลังงานและความหนาแน่นของกระแสไฟเชื่อมเพิ่มขึ้นและยังส่งผลทำให้แนวเชื่อมมี ระยะการหลอมลึกที่เพิ่มขึ้น ต่างจากการทาฟลักซ์ Aluminium Oxide (Al_2O_3) ที่ให้ประสิทธิภาพในการหลอมลึกต่ำสุด โดยมีระยะการหลอมลึก -40.30% เพราะการผสมสารเคมีที่เป็นออกซิไดซิงที่มี ปริมาณมากเกินไป จะส่งผลต่อระยะการหลอมลึก

5.2.2 อภิปรายผล ต่อการเปลี่ยนโครงสร้างมหภาค

จากการทดลอง พบว่าการทาฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงสุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำจากผงออกซิเดียมออกไซด์ (Al_2O_3) ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมต่ำสุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ ดังนั้น ฟลักซ์จึงส่งผลต่อการหลอมลึก ที่เพิ่มขึ้น และลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมที่มีการหลอมละลายสมบูรณ์ เนื่องจากฟลักซ์ในกลุ่มเซรามิกมีคุณสมบัติไม่นำพาความร้อน จึงทำให้การหลอมลึกเพิ่มสูงขึ้นและการทาฟลักซ์ ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น ส่งผลให้ระดับการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีความกว้างและ ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Heiple and Roper [4] กล่าวว่าทิศทางการไหลของน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายจะมีผลต่อลักษณะรูปร่างสัญญาณทางโลหะวิทยางานเชื่อม สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ความตึงผิวของโลหะ เป็นปัจจัยในการผลิตภัณฑ์ทางการไหลของเหลวในบ่อหลอมละลายบริเวณแนวเชื่อม ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 2205 ด้วยการเชื่อมทิกที่ใช้ฟลักซ์ SiO_2 , MoO_3 และ Cr_2O_3 จะเพิ่มการหลอมลึกของแนวเชื่อม ขณะที่ฟลักซ์ TiO_2 และ MnO_2 จะส่งผลต่อการหลอมลึกค่อนข้างกว้างและตื้นของแนวเชื่อม

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas; TIG) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ทำให้ทราบประโยชน์

1. ต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมโดยตรง เช่น อุตสาหกรรมการผลิตต่อเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้การผลิตด้วยการม้วนขึ้นรูป และอุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่น ๆ
2. การเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ทาก่อนการเชื่อม เป็นการช่วยลดการสูญเสียสมบัติด้านการต้านทานการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกัดกร่อนชนิด Intergranular corrosion ที่มีสาเหตุมาจากการได้รับความร้อนจากการเชื่อมมากเกินไป
3. ช่วยลดการใช้พลังงานเนื่องจากมีจำนวนแนวเชื่อมน้อยลงและไม่ต้องใช้โลหะเติม

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas; TIG) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ที่เงื่อนไขต่าง ๆ กันจากการวิจัยครั้งนี้พบปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างการผลิตทดลอง และได้เขียนไว้เป็นข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไปว่า แต่ละเงื่อนไขของการเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง ฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อมมีลำดับความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอย่างไร
2. ในการตรวจสอบค่าความแข็งและตรวจดูโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเพื่อหาค่าเฉลี่ย ต้องมีความละเอียดและแม่นยำในการวัดและตรวจสอบ
3. การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ทำให้มองเห็นประโยชน์ในด้านการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางกล อย่างไรก็ดี ขอบเขตจำกัด แต่ทุกกรณี อยู่ภายใต้หลักวิชาการที่นำมาใช้อ้างอิง เป็นข้อเท็จจริงที่สามารถพิสูจน์ได้