บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- การเชื่อมในร่องยูบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu เมื่อไม่มีการเชื่อมรองพื้น จากผลการทดลองพบว่า เกิดการแพร่ของทองแดงตามขอบเกรนของบริเวณกระทบร้อนเข้าสู่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งการแพร่ในรูปแบบดังกล่าวเป็นลักษณะการแพร่แบบท่อ ซึ่งเสี่ยงต่อการแตกร้าวที่อุณหภูมิสูงในบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน และเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์ จึงควรมีการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ด้านเหล็กกล้าคาร์บอน อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่พบรอยแตกร้าวในเหล็กกล้าคาร์บอนที่เกิดจากการแพร่ของทองแดง เนื่องจากปริมาณการแพร่ของทองแดงตามขอบเกรนเหล็กกล้าคาร์บอนไม่เพียงพอที่จะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวได้

- การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน เมื่อมีการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ด้านเหล็กกล้าคาร์บอน โดยมีการอุ่นชิ้นงานทองแดงที่อุณหภูมิ 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400 °C จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานทองแดง ส่งผลให้พื้นที่การหลอมละลายแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 และโลหะฐานทองแดงเพิ่มขึ้น และความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานทองแดงถือว่าเป็นการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นให้แก่บริเวณทั้งสอง ดังนั้นเมื่อทำการเชื่อมจึงส่งผลให้ทั้งสองบริเวณเกิดการหลอมละลายได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังคงพบการแพร่ของทองแดงเข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอนเช่นเดียวกัน แม้ว่าจะมีการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล โดยเป็นการแพร่ตามขอบเกรนที่เชื่อมโยงกันระหว่างโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน แนวเชื่อมรองพื้น และแนวเชื่อมทองแดง อีกทั้งโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอนยังเข้าไปผสมในแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ส่งผลให้ทองแดงละลายในแนวเชื่อมรองพื้นได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการแยกตัวของทองแดงตามขอบเกรน และแพร่เข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอนได้ง่ายขึ้น และเมื่อทำการตรวจสอบปริมาณทองแดงในเหล็กกล้า

คาร์บอน พบว่า กรณีที่มีการเชื่อมรองพื้น ตรวจพบปริมาทองแดงต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมรองพื้น ดังนั้นการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนสามารถลดการแพร่ทองแดงสู่เหล็กกล้าคาร์บอนได้

- นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานทองแดง ส่งผลให้เกิดการแพร่ของทองแดงเข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอนมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานเป็นการเพิ่มพื้นที่การหลอมละลายบริเวณโลหะฐานทองแดงบริสุทธิ์ ทำให้เป็นการเพิ่มปริมาณทองแดงในบ่อหลอมละลาย และเกิดการแพร่ของทองแดงเข้าสู่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอนมากขึ้น อีกทั้งยังพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงาน ส่งผลให้ความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลลดลง อันเป็นการลดขนาดแนวเชื่อมรองพื้นที่เป็นส่วนป้องกันการแพร่ของทองแดงเข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอน ส่งผลให้ทองแดงสามารถแพร่เข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอนได้มากขึ้น โดยชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิที่ 400 °C พบว่า แนวเชื่อมรองพื้นหลอมละลายเข้าสู่บ่อหลอมละลายทองแดงในปริมาณมาก ส่งผลให้ทองแดงสามารถหลอมละลายรวมกับนิกเกิลได้มาก จึงส่งผลให้ทองแดงแพร่เข้าสู่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอนน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 300 °C และ 200 °C

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

- ควรลดความร้อนเข้าในการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 เพื่อลดการผสมของโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้ความสามารถในการละลายทองแดงเข้าสู่แนวเชื่อมรองพื้นดีขึ้น และป้องกันการแพร่ของทองแดงเข้าสู่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอนได้มากขึ้น
- ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนกับทองแดง เมื่อมีการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอุ่นชิ้นงานทองแดงคือ 200 °C เนื่องจากแนวเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ และทองแดงแพร่เข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอนในปริมาณน้อย อันใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 400 °C ซึ่งพบปริมาณทองแดงน้อยกว่า โดยเป็นการลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเชื่อม

2. สำหรับงานวิจัยในอนาคต

- ควรมีการบ่งชี้ประเภทของสารประกอบโลหะที่มีการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) ด้วยเทคนิค Selected Area Diffraction Pattern, (SADP)