บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803วัสดุที่ใช้ในการทดลองใช้เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 เชื่อมร่องรูปตัววี ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบแก๊สปกคลุม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)โดยทำการศึกษาเพื่อหาสมบัติทางกลดังนี้คือ การหาค่าความแข็ง การหาค่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ (Ferrit Content และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure)) การหาค่าของผลกระทบจากอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และปฏิกิริยาสัมพันธ์หรือค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองได้แบ่งการสรุปออกเป็น 3 ประเด็นได้แก่ 1. ค่าความแข็ง 2. การหาค่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ (Ferrit Content) 3. วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure))

5.1.1 ผลการทดลองโดยหาค่าความแข็ง (Hardness)

จากการทดลองผลที่ได้ในการทดลองโดยหาค่าความแข็ง จะทดสอบในหน่วย Vickers (HV) ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Welded)

5.1.2 ค่าความแข็ง(Hardness)บริเวณเนื้องาน (Base Metal)

จากการทดลองวัดค่าความแข็งบริเวณเนื้องานทดสอบ พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal) ที่ระดับ นัยสำคัญ.05 และพบว่า ความแข็งบริเวณเนื้องาน (Base Metal) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 327.006 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณเนื้องาน(Base Metal)เพิ่มมากขึ้น

5.1.3 ค่าความแข็ง (Hardness) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ)

จากการทดลองวัดค่าความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่าความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 312.775 HV

คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) เพิ่มมากขึ้น

5.1.4 ค่าความแข็ง(Hardness)บริเวณแนวเชื่อม (Welded)

จากการทดลองวัดค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมพบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า ความแข็งบริเวณบริเวณแนวเชื่อม (Weld) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 325.45 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณแนวเชื่อม (Weld) เพิ่มมากขึ้น

5.1.5 ผลการทดลองโดยหาปริมาณเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์

จากการทดลองผลที่ได้ในการทดลองโดยหาค่าเฟอร์ไรท์ ซึ่งบริเวณที่จะวัดหาค่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และบริเวณแนวเชื่อม (Welded)

5.1.6 เปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal)

จากการทดลองวัดเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน (Base Metal) พบว่า ปัจจัยร่วม(Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเนื้องาน(Base Metal) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ บริเวณเนื้องาน (Base Metal) มีเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 49.38 เปอร์เซ็น คือ อุณหภูมิที่ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณเนื้องาน(Base Metal)ลดลง

5.1.7 เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ)

จากการทดลองวัดเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) พบว่า ปัจจัยร่วม(Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)ที่ระดับนัยสำคัญ0.05และพบว่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) มีเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 47.361เปอร์เซ็น คือ อุณหภูมิที่ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ลดลง

5.1.8 เปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณบริเวณบริเวณแนวเชื่อม (Welded)

จากการทดลองวัดเปอร์เซ็น เฟอร์ไรท์บริเวณบริเวณบริเวณแนวเชื่อม (Weld)พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม(Weld) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่าเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อม(Weld) มีเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 35.257 เปอร์เซ็นคือ อุณหภูมิที่ 750^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์ที่ชิ้นงานทดลองบริเวณแนวเชื่อม(Weld) ลดลง

5.2 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด UNS S31803 หลังการเชื่อมแบบแก๊สปกคลุม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)ชิ้นงานทดลอง ที่ไม่ผ่านการบ่มแข็ง ตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด ชิ้นงานทดลอง 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone((HAZ) และแนวเชื่อม (Weld) ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟอร์ไรท์(Ferrite) และ ออสเทนไนท์ (Austenite) บริเวณสีขาวซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นคือเฟอร์ไรท์และบริเวณที่เห็นเป็นหมู่เกาะแถบยาวสีดำตามทิศทางการรีด คือ ออสเทนไนท์ โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้องาน (Base Metal)ซึ่งพบปริมาณ ออสเทนไนท์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับเฟอร์ไรท์ ลักษณะของโครงสร้างออสเทนไนท์มีลักษณะเป็นเกร็ดก้อนยาว คล้ายตัวหนอนวางตัวตามแนวยาวแนวรีด ซึ่งพบว่ามีปริมาณออสเทนไนท์มากกว่าบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และบริเวณแนวเชื่อม(Weld) พบว่า มีลักษณะโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เป็นบริเวณกว้างมีจำนวนมากว่าออสเทนไนท์อย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนบริเวณ แนวเชื่อม(Weld) โครงสร้างออสเทนไนท์ มีจำนวนมากกว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีลักษะโครงสร้างของออสเทนไนท์จับตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ตามแนวตั้งขวางตามรีด ต่างจากบริเวณเนื้องาน(Base Metal) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) จากการประเมินความสมดุลเฟสพบว่าเมื่อชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็ง โดยการอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 1,050^{O}C แล้วทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันได้แก่ อุณหภูมิ 650, 750, 850^{O}C และเวลา 1,4,8 ชั่วโมง เห็นได้ว่ามีปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ลดลงตามลำดับของอุณหภูมิที่ทำการบ่มแข็งและลดลงอย่างมากเมื่อทำการบ่มแข็งด้วยอุณหภูมิ 850^{O}C ในเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งบริเวณที่เฟสเฟอร์ไรท์ลดลงอย่างมากคือบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีปริมาณเฟอร์ไรท์อยู่เพียง21.545 เปอร์เซ็น ส่วนที่เหลือคือเฟสเออสเทนไนท์

5.3 อภิปรายผล

5.3.1 อภิปรายผลเปอร์เซ็นเฟอร์ไรท์

จากการทดลองการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 ด้วยกระบวนการเชื่อม จะพบว่าโครงสร้างทางจุลภาคที่ บริเวณแนวเชื่อมมีเฟสของโครงสร้างจุลภาคออสเทนไนท์เกิดได้มากขึ้นและขยายขนาดใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกันและเพิ่มมากขึ้นในทุกบริเวณที่ทำการทดสอบคือ เขตอิทธิพลความร้อน และเนื้องานทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบในแง่ของเวลาการบ่มแข็ง ได้แก่เวลาการบ่มแข็งที่ 1,4 และ 8 ชั่วโมง ณ.อุณหภูมิการบ่มแข็งที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อบ่มแข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณเฟอร์ไรท์บริเวณแนวเชื่อมจะลดลง เมื่อพิจารณาที่เวลาการบ่มแข็ง 4 ชั่วโมง พบว่ามีแนวโน้มที่แตกต่างจากเวลาการบ่มแข็งอื่นๆ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิในการบ่มแข็งเพิ่มขึ้น บริเวณแนวเชื่อม และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนมีปริมาณเฟอร์ไรท์จะลดลงเรื่อยๆ และลดลงต่ำมากเมื่อถึงอุณหภูมิ 850^{O}C จนมีปริมาณใกล้เคียงกับเฟส ออสเทนไนท์ ส่วนที่เวลาการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเฟสเฟอร์ไรท์ในทุกๆบริเวณมีแนวโน้มลดลงแต่เมื่อถึงอุณหภูมิ 850^{O}C กลับมีปริมาณลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณแนวเชื่อม เขตอิทธิพลความร้อน และบริเวณเนื้องานทดสอบมีปริมาณเฟอร์ไรท์ลดลงอย่างมากในทุกบริเวณ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกรียงไกร เวโนทยาน ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของกระแสไฟเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคในเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด S31803 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก พบว่า อัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมต่ำจะทำให้ออสเทนไนท์เกิดได้มากขึ้นและขยายขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ทำให้พบ ออสเทนไนท์เป็นจำนวนมากในบริเวณเนื้อรอยเชื่อม (Weld metal) แต่กลับลดลงเหลือเพียงเล็กน้อยในเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

5.3.2 อภิปรายผลค่าความแข็ง(Hardness)บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

ค่าความแข็งบริเวณเนื้องานทดสอบ พบว่า ปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ที่ระดับ นัยสำคัญ .05 และพบว่า ความแข็งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 312.775 HV คือ อุณหภูมิที่850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง 8 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Nowacki and A. Łukojć ได้ศึกษาอิทธิพลของการตกตะกอนของออสเทนไนท์เฟสที่สองใน(HAZ) ของการเชื่อมรอยเชื่อมต่อชนในเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ด้านความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อน ผลการวิเคราะห์พบว่า ออสเทนไนท์เฟสที่สองเกิดจากเฟสเฟอร์ไรท์ ซึ่งเป็นผลกระทบจาก Welding Thermal cycle ซึ่งมีอิทธิพลต่อด้านความแข็งแรงของรอยต่อ และความต้านทานการกัดกร่อน

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรดUNSS31803 ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปพัฒนาการวิจัยต่อไป ดังนี้

5.4.1 การกัดกรดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเฟอร์ไรท์ ควรทำในตู้ดูดควันเพื่อป้องกันการสูดดมสารเคมีที่ระเหยออกจากบีกเกอร์ และต้องรีบกัดกรดให้เสร็จก่อนการระเหยของกรดจะหมดเพราะต้องผสมกรดใหม่อีกครั้ง

5.4.2 การบ่มแข็งอาจมีข้อผิดพลาดของเตาอบ ดังนั้นควรควบคุมและเฝ้าเตาตลอดเวลาเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานทดสอบ