บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้าง และสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ผ่านการชุบแข็ง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ การศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด ด้านความเค้นแรงดึงจุดคราก ความแข็งและโครงสร้างมหภาคจุลภาค บริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระทบร้อน โลหะงาน ปัจจัยในการศึกษาแบ่งตามชนิดและระดับ ดังนี้

1. ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 220 มม./นาที 250 มม./นาที 280 มม./นาที
2. กระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 120 แอมป์ 140 แอมป์ 160 แอมป์

5.1 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองแยกตามวัตถุประสงค์การวิจัยเป็น 3 ส่วน คือ

1. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด ของงานเชื่อม
2. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงจุดคราก ของงานเชื่อม
3. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติด้านความแข็งสูงสุด ของงานเชื่อม
4. ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อโครงสร้างมหภาคจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมบริเวณกระทบร้อนบริเวณโลหะงานของชิ้นงานเชื่อมที่มีความเค้นแรงดึงสูงที่สุดและชิ้นงานที่มีความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด

5.1.1 ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด

จากการทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุดงานเชื่อม ชิ้นงานที่มีค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแส 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ 746.16 N/mm^2 ชิ้นงานที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงต่ำสุดเมื่อทำการเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./ นาทีมีค่าเท่ากับ 217.09 N/mm^2 อิทธิพลหลัก พบว่า กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.2 ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงจุดคราก

จากการทดสอบความเค้นแรงดึงจุดครากสูงสุดงานเชื่อม ชิ้นงานที่มีค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงจุดครากสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ 652.14 N/mm^2 ชิ้นงานที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงจุดครากต่ำสุด กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280

มม./นาที มีค่าเท่ากับ 215.88 N/mm^2 อิทธิพลหลัก พบว่า กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความเค้นแรงดึงจุดครากสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณโลหะงาน

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งบริเวณโลหะงาน โดยการทดสอบความแข็งจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที เท่ากับ 598.63 HV และในขณะเดียวกันค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 220 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 533.01 HV พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิต่อความแข็งบริเวณโลหะงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิต่อความแข็งบริเวณโลหะงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อน

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อน โดยการทดสอบความแข็งจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที เท่ากับ 549.43 HV และในขณะเดียวกันค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 442.55 HV พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม

ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม โดยการทดสอบความแข็งจะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงที่สุด เมื่อทำการเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เท่ากับ 244.18 HV และในขณะเดียวกันค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ต่ำสุดได้แก่การเชื่อมที่ กระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 220 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 218.56 HVพบว่าอิทธิพลหลัก ความเร็วในการเชื่อม มีอิทธิต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.6 ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อโครงสร้างมหภาคและจุลภาคชิ้นงานเชื่อม ที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณเนื้องาน (Base Metal) และบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) สามารถอธิบายได้ว่า โลหะงานหลังจากการชุบ

แข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลายเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และ ซีเมนไตท์ บางส่วน ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์

5.1.7 ผลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อโครงสร้างมหภาคและจุลภาคชิ้นงานเชื่อม ที่มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด

เมื่อทำการวิเคราะห์ โครงสร้างบริเวณเนื้องาน (Base Metal) บริเวณเนื้องานทดสอบ (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) สามารถอธิบายได้ว่า โลหะงานหลังจากการชุบแข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย เป็นโครงสร้างโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์ จำนวนมาก ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์ จำนวนมาก และถ้าพิจารณาจากรูปที่ 4.18 รอยเชื่อมไม่หลอมละลายซึมลึกดังนั้นจึงทำให้ค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 อภิปรายผลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด

จากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ความเร็วในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของรอยเชื่อมที่มีค่าสูงสุดได้แก่การเชื่อมที่พารามิเตอร์ การเชื่อมกระแส 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที จะช่วยถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีผลต่อการยึดเกาะของบ่อหลอมละลายได้ดีกว่า ลดประกายโลหะกระเด็น (Spatter) ทำให้คุณสมบัติการอาร์ก สม่ำเสมอ ขณะทำการเชื่อมและบ่อหลอมละลายจะขยายออกไปถึงขอบของรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อม และทำให้เกิดการซึมลึก (Penetration) ค่อนข้างมาก ซึ่งการเชื่อม กระแส 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./ นาที ทำให้รอยเชื่อมที่ขอบเกิดการกัดแหว่ง (Under Cut) และการซึมลึกค่อนข้างน้อยจึงทำให้มีผลเสียต่อรอยเชื่อมและทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับการใช้กระแสไฟ160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มม./นาที เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคโลหะงานหลังจากการชุบแข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลายเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และ ซีเมนไตท์ บางส่วน ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์

5.2.2 อภิปรายผลต่อความแข็งที่สูงที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็ง พบว่าอิทธิพลหลัก กระแสในการเชื่อม มีอิทธิต่อความแข็งบริเวณโลหะงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนอิทธิพลร่วม กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมมีอิทธิต่อความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลค่าความแข็งสูงสุดและส่วนบริเวณกระทบความร้อนที่มีค่าสูงสุดได้แก่การเชื่อมที่พารามิเตอร์ การเชื่อมกระแสเชื่อม 120 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 280 มม./นาที เท่ากับ 598.63 HV ในระดับการเชื่อมมิกแบบนี้จะส่งผลให้เกิดความแข็งสูงสุดในการเชื่อมเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ผ่านการชุบแข็ง โดยมีอิทธิพลร่วมคือ กระแสในการเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม การอาร์กมีความเสถียรดีและเพิ่มอัตราการถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดีโดยที่ขนาดของรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์และมีผิวค่อนข้างเรียบดีมีการซึมลึกและช่วยให้การถ่ายโอนโลหะผ่านการอาร์กได้ดีโดยในส่วนของบริเวณรอยเชื่อมได้รับพลังงานความร้อนในการเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมอย่างเหมาะสม โลหะที่เกิดการหลอมละลายจึงใช้เวลาในการแข็งตัวอย่างช้าๆ จึงทำให้มีค่าความแข็งสูงสุด ในขณะเดียวกันกระแสเชื่อม 140 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 220 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 533.01 HV เนื่องจากกระแสเชื่อมปานกลางความเร็วการเดินเร็วการอาร์กมีความเสถียรไม่ดีและเพิ่มอัตราการถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ไม่ดีโดยที่ขนาดของรอยเชื่อมไม่มีความสมบูรณ์ จึงทำให้ค่าความแข็งต่ำสุด

5.2.3 อภิปรายผลโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานเชื่อม ที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด

จากการทดสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณเนื้องาน (Base Metal) และบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) สามารถอธิบายได้ว่า โลหะงานหลังจากการชุบแข็ง โครงสร้างเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลายเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และ ซีเมนไตท์ บางส่วน ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพียร์ไลท์ เนื่องจากความร้อนสูงจึงทำให้แนวเชื่อมสมบูรณ์และเกิดการหลอมละลายซึมลึก จึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างความเค้นแรงดึงสูงสุด ความแข็งสูงสุด โครงสร้างหลังชุบแข็งเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณที่เกิดการหลอมละลายเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์และ ซีเมนไตท์ บางส่วน ส่วนบริเวณอิทธิพลความร้อนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพียร์ไลท์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมศักดิ์ แก้วพลอย[4] ที่พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความแข็ง แต่เวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ซึ่งเมื่อระดับอุณหภูมิในการอบคืนตัวเพิ่มขึ้นค่าความแข็งจะมีค่าลดลง และเมื่อเวลาในการอบคืนตัวลดลงค่าความแข็งที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการเชื่อมเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ผ่านการชุบแข็ง ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก ผู้วิจัยพบปัญหาและมีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปพัฒนาการวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ความเสถียรภาพของการอาร์คและลักษณะรูปร่างของรอยเชื่อม อาจจะมีความผันแปรได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมของการเชื่อมที่แตกต่างกัน

2. ในการวิจัยครั้งนี้ทำให้เห็นประโยชน์ของการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยในการเชื่อม ที่ส่งต่อสมบัติทางกล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปในอนาคตสิ่งที่น่าศึกษาเพิ่มเติม คือ การศึกษาผลกระทบจากการเชื่อมโลหะต่างชนิด (Dissimilar) ที่มีใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อจะได้ใช้เป็นพื้นฐานความรู้กับผู้ที่มีความสนใจ