บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนวโลหะต่างชนิด ระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI1010 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) ที่มีผลต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณ Fusion Zone Heat Affected Zone (HAZ) และBase Metal โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการศึกษา คือ ความเร็วในการเชื่อมกำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 350, 365 และ 380 mm. /min และการเชื่อมซ้อนแนวกำหนดไว้ 3 วิธี คือ A (Method A : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L), B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) และ C (Method C : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

1. สรุปผลการทดลองต่อสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point)

2. สรุปผลการทดลองต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณ Fusion Zone, Heat Affected Zone (HAZ) และBase Metal

5.1.1 อิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมมีผลกระทบต่อสมบัติทางกล

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนวโลหะต่างชนิด จากการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่า ปัจจัยด้านความเร็วในการเชื่อมและการเชื่อมซ้อนแนว มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด และด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดครากอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01

การวิเคราะห์หาปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมซ้อนแนว ส่งผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2

ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในในการเชื่อมที่ 380 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 441.94 N/mm^2

การวิเคราะห์หาปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Point) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมซ้อนแนว ส่งผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในในการเชื่อมที่ 365 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 318.82 N/mm^2

5.1.2 อิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมมีผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน แบ่งตามระดับความเร็วนการในการเชื่อมและวิธีการเชื่อมซ้อนแนวของปัจจัยในการเชื่อม ตามค่าของการทดสอบคุณสมบัติด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด เมื่อทำการวิเคราะห์บริเวณของชิ้นงานทั้ง 3 ส่วนคือบริเวณรอยเชื่อม (Weld Metal) บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) และบริเวณชิ้นงาน (Base Metal) ทั้งด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้ชนิดและระดับของปัจจัยในการเชื่อม ที่ก่อให้เกิดความร้อน และอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน สามารถสรุปลักษณะของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.โครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) หรือบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion zone) พิจารณาโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เมื่อรอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องจะปรากฏโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนหยาบโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรท์พื้นสีขาวหรือสีจางมีทิศทางการเติบโตขอเกรนในทุกทิศทาง และผลึกของคาร์ไบด์สีดำกระจายอยู่บริเวณขอบเกรน และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากรอยเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ลักษณะของโครงสร้างประกอบด้วยพื้นสีขาวของเฟอร์ไรท์กระจายกับพื้นสีเทาเข้มเรียวยาวของเฟอร์ไรท์รูปเข็ม(acicular ferrite)

2. บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โครงสร้างมีลักษณะเกรนละเอียดซึ่งประกอบด้วยเฟอร์ไรท์พื้นสีขาวหรือสีจางและจะพบโครงสร้างเพิร์ลไลท์ มีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง และผลึกสีดำของคาร์ไบด์กระจายอยู่ในโครงสร้าง ส่วนบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม โครงสร้างประกอบด้วยออสเทนไนท์ แต่ขนาดของเกรนจะมีความแตกต่างกันตามบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน และอัตราการเย็นตัวโดยที่บริเวณใกล้กับกับเส้นแบ่งเขตการหลอมละลายจะมีเกรนละเอียด และจะมีขนาดโตขึ้นในบริเวณ

ถัดออกไปจนกระทั่งมีลักษณะกลมกลืนกับโครงสร้างในบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในที่สุด

3. บริเวณโลหะงาน ทั้งด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและด้านเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นบริเวณที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลในด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด คือ ความเร็วในการเชื่อมและวิธีการเชื่อมซ้อนแนวผลการวิเคราะห์ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดได้แก่ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในในการเชื่อมที่ 380 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 441.94 N/mm^2 ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดครากได้แก่ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในในการเชื่อมที่ 365 mm./min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 318.82 N/mm^2 จากการศึกษาพบว่าในการเชื่อมซ้อนแนวหลายแนวที่ความเร็วสูงสุดในขณะที่ทำการเชื่อมแต่ละแนวใช้ลวดเชื่อมต่างชนิดและจะปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จึงส่งผลให้โลหะงานได้รับความร้อนในปริมาณที่สูงและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ช้า จึงทำให้โครงสร้างบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนมีเวลาในการเปลี่ยนแปลงเกรนใหม่ (Refining grain) ได้มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษางานวิจัยของ T. W. NELSON, J. C. LIPPOLD AND M. J. MILLS(1999)[1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างจุลภาค ในบริเวณของการหลอมละลาย จากการเชื่อมโลหะต่างชนิด มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือเกิดกระบวนการแข็งตัวของโลหะ (Solidification) มาจากผลของความร้อนและเวลาในการเย็นตัว รวมทั้งอิทธิพลของธาตุผสมที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความสามารถทางด้านการเชื่อมและความสามารถในการหลอมละลายต่างกันด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อบริเวณข้างเคียง คือบริเวณกรทบร้อน(Heat Affected Zone) และ บัณฑิต อมรสิน(2549)[23] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยจากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลส AISI 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณขอบเขตการหลอมละลาย บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน บริเวณเนื้อโลหะงาน และสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อัตราการยืดตัว และความแข็ง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย ลวดเชื่อม ความเร็วและกระแสไฟ ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 3 ชนิด มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อัตราการยืดตัว ความแข็งบริเวณแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและด้านเหล็กกล้า สเตนเลส ความแข็งบริเวณกระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และด้านเหล็กกล้าสเตนเลส ความแข็งบริเวณโลหะงานของเหล็กกล้าสเตนเลส อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แต่ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณ

โลหะงาน ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่าบริเวณขอบเขตการหลอมละลาย บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนทั้งสองด้านมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเนื่องจากผลกระทบของความร้อน แต่ไม่มีผลกระทบต่อบริเวณเนื้อโลหะงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนวโลหะต่างชนิด ระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI1010 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม GMAW (Gas Metal Arc Welding) ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปพัฒนาการวิจัยต่อไป ดังนี้

5.3.1 ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งมันมีความแตกต่างกันอย่างมากนั้น จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้วนโลหะวิทยาการเชื่อมของโลหะทั้งสองชนิดเป็นอย่างมาก เพราะกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังจากได้รับอิทธิพลความร้อนมันเกิดขึ้นคนละทางกันอยู่แล้ว ฉะนั้นการจัดการจึงเป็นสิ่งที่ยากมาก

5.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้เป็นระบบอัตโนมัติ มีความทันสมัย และมีการใช้งานในอุตสาหกรรมภายในประเทศ

5.3.3 ในระหว่างทำการเชื่อมพบว่ามีเศษลวดเชื่อมกระเด็นติดที่ปลายหัวเชื่อม (Nozzle) บางครั้งอาจทำให้เกิดการเสียหายของแนวเชื่อม ควรมีการทำความสะอาดทุกครั้งหลังการเชื่อมและเกิดความคลาดเคลื่อนต่อผลการทดลอง เป็นผลทำให้สิ้นเปลืองวัสดุและงบประมาณ