บทที่ 5
สรุปแผนการดำเนินงาน

5.1 สรุปแผนการดำเนินงาน

แผนงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงสมบัติรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนโดได้แบ่งออกเป็นการศึกษาโครงการย่อย 3 ได้ผลสรุปดังนี้

5.1.1 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 1: อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม เกรด6063

การศึกษาอิทธิพลรูปแบบการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติของรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด AA6063 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6063 ที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อม โดยทำการประยุกต์การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอลูมิ-เนียมผสมแผ่นรีดเกรด AA6063 หนา 6.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นโลหะที่สามารถผลิตได้ในประเทศและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมต่อกลสมบัติของรอยต่อชน เช่น ความเร็วรอบของตัวกวน ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ระยะตำแหน่งตัวกวน ความเอียง และรูปร่างของตัวกวน ทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อที่สภาวะต่างๆ ทำการอบคืนไฟชิ้นงานเชื่อมรูปแบบต่างๆ คือ การอบธรรมชาติ การอบคืนไฟแบบ T4 การอบคืนไฟแบบ T5 และการอบคืนไฟแบบ T6 โดยมีผลการทดลองโดยสรุปดังนี้

ก. สภาวะการเชื่อมที่ทำให้โลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการอบอ่อน คือ ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่แสดงค่าความแรงดึงสูงสุด 185 MPa และการยืดตัว 1.6%

ข. การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงของรอยต่อด้วยกลไกการทำให้เกรนมีความละเอียดและกลมมน

ค. รูปแบบการอบคืนไฟส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063

ง. ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะเชื่อมผ่านการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ

จ. เมื่อนำโลหะเชื่อมพักไว้ 1 สัปดาห์เพื่อทำให้เกิดการบ่มแข็งธรรมชาติแล้วนำไปทำการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบชุบทันทีเท่ากับ 25 และ 45% สำหรับการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ

ฉ. โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนเมื่อทำการอบคืนไฟด้วยวิธีการ T4 และ T6 ตามลำดับ

5.1.2 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 2: อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 สภาพหล่อและรีด

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อประยุกต์ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมอลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อ ในการเชื่อมรอยต่อชนของแผ่นหนา 6.3 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงตัวแปรการทดลองอื่นๆ คือ ความเร็วเดินแนวเชื่อม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และให้สมบัติที่ดีที่สุดของการเชื่อม และตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของรอยต่อ สรุปผลได้ดังนี้

ก. อิทธิพลของความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min
- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อ
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 137 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min
- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมหล่อ
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ทำให้เม็ดเกรนเล็กและละเอียดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก
- โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวไม่สมบูรณ์ของอลูมิเนียมในโครงสร้างจุลภาคแสดงชั้นการแบ่งแยกระหว่างอลูมิเนียมทั้งสองอย่างชัดเจน

ข. อิทธิพลของความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min
- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อ
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 142 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมหล่อ
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ทำให้เม็ดเกรนเล็กและละเอียดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก
- โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวสมบูรณ์ของอลูมิเนียมในโครงสร้างจุลภาคแสดงชั้นการแบ่งแยกระหว่างอลูมิเนียม

ค. อิทธิพลของความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min
- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อ
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 141 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 1500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min
- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมหล่อ
- ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สูงเกินไปทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมและทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อลดลง
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ทำให้เม็ดเกรนเล็กและละเอียดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก
- โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวสมบูรณ์ของอลูมิเนียมในโครงสร้างจุลภาคและตรวจสอบพบชั้นการแบ่งแยกระหว่างอลูมิเนียมทั้งสองได้ลำบาก

ง. อิทธิพลของความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min
- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm ไม่สามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อที่สมบูรณ์ได้
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 112 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min
- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แนวเชื่อม
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ไม่สมบูรณ์ การก่อตัวของเม็ดเกรนที่เล็กและละเอียดและพบชั้นการอัดตัวของอลูมิเนียม

5.1.3 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 3: โครงสร้างและความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนตัวกวนรูปร่างต่างๆ

ในการสรุปผลการทดลองในบทนี้จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้คือ สรุปในส่วนของค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยเชื่อมและตัวกวนที่มีรูป

ก. ค่าความแข็งแรงที่เกิดจากการทดสอบแรงดึงสามารถสรุปผลของความแข็งแรงที่ได้จากการดึงดังนี้

- ตัวกวนรูปทรงกระบอกมีค่าความแข็งแรงจากการทดสอบแรงดึงสูงสุดคือ 114.00 MPa ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินที่ 125 มม./นาที
- ตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวมีค่าความแข็งแรงจากการทดสอบแรงดึงสูงสุดคือ 107.33 MPa ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินของแนวเชื่อมที่ 125 มม./นาที
- ตัวกวนรูปทรงกรวยมีค่าความแข็งแรงจากการทดสอบแรงดึงสูงสุดคือ 123.33 MPa ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินของแนวเชื่อมที่ 125 มม./นาที
- ตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวมีค่าความแข็งแรงจากการทดสอบแรงดึงสูงสุดคือ 126.33 MPa ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินของแนวเชื่อมที่ 125 มม./นาที

ข. ค่าความแข็งแรงสูงสุดดังกล่าวใน 5.1.1 ข้างต้นเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้าง มหภาคพบว่าโครงสร้างที่ปรากฏเนื้อของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 แทรกตัวเข้าไปในอลูมิเนียมAA 6063 ลักษณะการแทรกตัวของเนื้อเหล็กที่แทรกตัวเข้าสู่เนื้ออลูมิเนียม จะสังเกตุเห็นการแทรกตัวของเนื้อเหล็กเข้าสู่อลูมิเนียมได้ชัดเจน และมีปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับความเร็วเดินแนวเชื่อมอื่น ๆ ส่งผลให้เมื่อนำชิ้นงาน ไปทดสอบค่าแรงดึงทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ในขณะที่โครงสร้างของรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดลักษณะของโครงสร้างการอินเทอร์เฟสของเนื้อวัสดุพบว่าเนื้อวัสดุทั้งสองชนิดการแทรกตัวของเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 มีการแทรกตัวเข้าไปในเนื้ออลูมิเนียม AA 6063 ปริมาณที่น้อยมากจนแทบที่จะไม่สามารถมองเห็นได้ จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด

ค. พบสารประกอบกึ่งโลหะ FeAl บริเวณอินเทอร์เฟสของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม จากการตรวจสอบด้วยกระบวนการวิเคราะห์การกระจายตัวของอิเล็กตรอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะโครงการย่อยที่ 1

- การศึกษากลไกการตกผลึกของเฟสเสริมแรงที่มีผลต่อสมบัติของรอยเชื่อมเสียดทานอลูมิเนียม 6063
- การศึกษาของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อสมบัติของรอยเชื่อมเสียดทานอลูมิเนียม 6063
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความแค้นตกค้างในรอยเชื่อมเสียดทานอลูมิเนียม 6063
- การศึกษาอัตราการกัดกร่อนในสภาวะใช้งานของรอยต่อ
- การพัฒนาเครื่องมือในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเพื่อเติมต่อไปในอนาคต

5.2.2 ข้อเสนอแนะโครงการย่อยที่ 2

- การศึกษากลไกการรวมตัวของวัสดุต่างชนิด
- การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติขิงแนวเชื่อม
- การศึกษาความแค้นตกค้างในรอยต่อ
- การพยากรณ์ค่าความเค้นและอุหภูมิที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ
- การศึกษาอัตราการกัดกร่อนในสภาวะใช้งานของรอยต่อ
- การพัฒนาเครื่องมือในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเพื่อเติมต่อไปในอนาคต

5.2.3 ข้อเสนอแนะโครงการย่อยที่ 3

- การศึกษาในส่วนของการทนต่อสภาวะการกัดกร่อนของรอยต่อชนต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่แตกต่างกัน
- การออกแบบที่จับยึดชิ้นงานในการเชื่อมให้มีความแข็งแรง และสามารถจับยึดชิ้นงานในมีความแน่นหนามากขึ้น
- การศึกษาในส่วนของรูปทรงของตัวกวนที่มีความหลากหลายมากกว่าการทดลองในครั้งนี้ เช่น ตัวกวนรูปทรงกลม ตัวกวนรูปทรงสี่เหลี่ยม เป็นต้น
- ในการเตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อมความมีความเรียบผิวที่เนียนละเอียดมากที่สุดเพื่อการวางแนบสนิทกันก่อนการเชื่อมเพื่อการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด