

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบในบทที่ 4 สามารถนำผลที่เกิดขึ้นมาสรุปตามวัตถุประสงค์และแสดงข้อเสนอแนะตามการทดสอบ ประกอบด้วย การเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด ER308 และ ER308LSi ผลกระทบของส่วนผสมทางเคมีและปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้แก๊สผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบลักษณะการเชื่อมและโครงสร้างรอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่างกัน ซึ่งผลสรุปในแต่ละส่วนสามารถแสดงได้ดังนี้

5.1 ลักษณะการเชื่อมจากการปรับสัดส่วนแก๊สผสม

5.1.1 ลักษณะการเชื่อมของลวดเชื่อม ER308 และ ER308LSi

5.1.1.1 ค่าความร้อนเข้าที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเมื่อปรับสถานะแก๊สปกคลุมต่างๆ โดยอาศัยสภาวะเชื่อมที่เกี่ยวข้องกับกระแสและแรงดันเชื่อมที่เกิดขึ้นจริงจากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม NR-2010 พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสม อย่างไรก็ตามในการทดสอบครั้งนี้พบว่าการใช้แก๊สผสม $98\%Ar - 2\%O_2$ ให้ค่าความร้อนเข้าสูงที่สุด

5.1.1.2 ปริมาณการเกิดสะเก็ดไฟเชื่อมตามชนิดของแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อม พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณสะเก็ดไฟเชื่อมที่เกิดขึ้นมีผลอย่างยิ่งต่อการเกาะติดบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน ทำให้มีปัญหาในการกำจัดออก

5.1.1.3 ขนาดรูปร่างรอยเชื่อมตามชนิดของแก๊สผสม พบว่าารอยเชื่อมมีขนาดกว้างสุดเมื่อใช้แก๊สปกคลุมชนิด $95\%Ar - 5\%O_2$ ส่วนารอยเชื่อมจะมีขนาดเล็กลงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการซึมลึกของรอยเชื่อมมีค่าสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการซึมลึกเกิดสูงสุดเมื่อใช้แก๊สผสม $50\%Ar - 50\%CO_2$

5.2 ผลกระทบต่อส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม

5.2.1 ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม

จากการทดสอบโดยการปรับอัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆที่ใช้กับรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi พบความเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันดังนี้

5.2.1.1 เมื่อปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมทั้งสองชนิดให้เพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนที่หลงเหลือในรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยรอยเชื่อมที่มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุดถูกตรวจพบในสภาวะที่ใช้แก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในรอยเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่ารอยเชื่อม ER308 มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าในรอยเชื่อม ER308LSi

5.2.1.2 การเพิ่มสัดส่วนขึ้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ใช้ในการปกคลุมรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi มีแนวโน้มส่งผลต่อการลดลงของปริมาณธาตุซิลิกอน แมงกานีส และ โครเมียมในทั้งสองรอยเชื่อม

5.2.1.3 ทุกผลการทดสอบค่าเคมีของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi เมื่ออยู่ในสภาวะแก๊สผสมที่แตกต่างกัน พบว่าค่าเคมีของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดมีค่าหลุดออกนอกข้อกำหนดมาตรฐานค่าเคมีของแกนลวด

5.3 ความต้านทานการกัดกร่อนของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi

5.3.1 รอยเชื่อม ER308

5.3.1.1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม ER308 ที่สภาวะแก๊สปกคลุม 98%Ar – 2%O₂ ซึ่งเป็นสภาวะมาตรฐานที่ใช้สำหรับปกคลุมรอยเชื่อมให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกัดกร่อนดีที่สุด โดยมีสภาวะแก๊สปกคลุม 90%Ar – 10%CO₂ ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกัดกร่อนที่สูงกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมเพิ่มขึ้น พบว่ามีแนวโน้มต้านทานการกัดกร่อนลดลง โดยแก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกัดกร่อนต่ำสุด

5.3.1.2 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้า ให้อัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมที่สภาวะ 90%Ar – 10%CO₂ มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่วนสภาวะ 95%Ar – 5%O₂ มีค่าที่สูง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากสภาวะทดสอบทั้งหมดพบว่าไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก

5.3.2 รอยเชื่อม ER308LSi

5.3.2.1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A ให้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม ER308LSi ที่สภาวะแก๊สปกคลุม 98%Ar – 2%O₂ ซึ่งเป็นสภาวะมาตรฐานที่ใช้สำหรับปกคลุมรอยเชื่อมให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกัดกร่อนดีที่สุด โดยมีสภาวะแก๊สปกคลุม 90%Ar – 10%CO₂ ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อใช้แก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ พบว่าให้ค่าความต้านทานการกัดกร่อนต่ำสุด

5.3.2.2 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้า ให้อัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมที่สภาวะ 50%Ar – 50%CO₂ มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่วนสภาวะ 80%Ar – 20%CO₂ มีค่าที่สูง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากสภาวะทดสอบทั้งหมดพบว่าไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก

5.3.3 เปรียบเทียบรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi

ผลเปรียบเทียบระหว่างรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi สามารถสรุปตามการทดสอบการกัดกร่อนในแต่ละวิธีได้ดังนี้

5.3.3.1 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A

1. ผลของความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi เมื่อทำการปรับสัดส่วนชนิดของแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมแตกต่างกัน พบว่าอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมที่ใช้แก๊สผสม 98%Ar – 2%O₂ ซึ่งเป็นสภาวะมาตรฐานและแก๊สผสม 90%Ar – 10%CO₂ มีปริมาณการกัดกร่อนค่อนข้างต่ำกว่าสภาวะอื่นๆ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการปรับสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น พบว่าความสามารถต่อความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดกลับลดลง

2. เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมระหว่างรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi พบว่ารอยเชื่อม ER308LSi มีค่าความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมดีกว่ารอยเชื่อม ER308 ในทุกๆสภาวะของแก๊สปกคลุมที่ใช้

3. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่าความเสียหายจากการกัดกร่อนส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในบริเวณขอบรอยเชื่อมที่เป็นบริเวณสัมผัสระหว่างรอยเชื่อมกับชิ้นงาน

5.3.3.2 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้า

ผลของอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ในแต่ละสภาวะการทดสอบไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ผลของอัตราการกัดกร่อนที่ได้จากบางสภาวะการทดสอบของรอยเชื่อม ER308 มีค่าที่ต่ำ แต่กลับให้ค่าที่สูงในการทดสอบของรอยเชื่อม ER308LSi อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว พบว่าอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมทั้งสองชนิดไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด

5.4 ผลกระทบต่อปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อม

จากการเปรียบเทียบปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมเมื่อใช้แก๊สผสมชนิดต่างๆปกคลุมรอยเชื่อม สามารถทำการสรุปได้ดังนี้

1. อัตราเทียบเท่าของโครเมียมกับนิเกิลในรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi มีค่ามากที่สุด ในสภาวะที่ใช้แก๊สปกคลุมชนิด 90%Ar – 10%CO₂ ส่วนสภาวะแก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบอัตราเทียบเท่าระหว่างรอยเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่ารอยเชื่อม ER308LSi มีค่าสูงกว่ารอยเชื่อม ER308 ในทุกสภาวะแก๊สปกคลุม

2. จากการกำหนดจุดอัตราเทียบเท่าของโครเมียมกับนิเกิลโดยใช้ไดอะแกรม WRC-1992 พบว่าทุกจุดที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ในทุกสภาวะแก๊สปกคลุมต่างตกอยู่ในช่วงบริเวณพื้นที่ FA ซึ่งหมายถึง บริเวณที่มีเฟอร์ไรต์ชนิดที่เรียกว่า Acicular และ Skeletal ที่เกิดจากการแข็งตัวของเฟอร์ไรต์ปฐมภูมิ

3. ปริมาณเฟอร์ไรต์ที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อม มาคำนวณโดยใช้สมการเทียบเท่าของโครเมียมกับนิเกิลในรอยเชื่อมทั้งชนิด ER308 และ ER308LSi พบว่าที่สภาวะแก๊สปกคลุม 90%Ar – 10%CO₂ มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบผลที่เกิดขึ้นกับแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ ส่วนสภาวะแก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ ให้ปริมาณเฟอร์ไรต์จากการคำนวณต่ำที่สุด

4. เมื่อเปรียบเทียบในทุกสภาวะแก๊สปกคลุมรอยเชื่อม พบว่าปริมาณเฟอร์ไรต์ที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม ER308LSi มีค่าสูงกว่าปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อม ER308

5.5 โครงสร้างของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi

จากผลการทดสอบโครงสร้างรอยเชื่อมทั้งวิธีการกัดกรดผิวแบบปกติและการตรวจสอบโครงสร้างด้วยการย้อมสีโครงสร้าง พบว่าในโครงสร้างของรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ในทุกสภาวะของการปรับสัดส่วนแก๊สผสม ต่างมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยออสเทนไนต์ เกล็ดดำเฟอร์ไรต์ และเฟสซิกม่า อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายตัวของเฟสซิกม่าในรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi เมื่อมีปริมาณสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น มีลักษณะการกระจายตัวที่มากกว่าแก๊สปกคลุมมาตรฐาน

5.6 ความแข็งของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi

จากการทดสอบสามารถสรุปผลที่เกี่ยวข้องกับความแข็งของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยความแข็งรอยเชื่อมที่ใช้สภาวะแก๊สปกคลุม 98%Ar – 2%O₂ ทั้งรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi มีค่าสูงกว่าค่าความแข็งที่ได้รับจากการใช้แก๊ส 95%Ar – 5%O₂ ปกคลุมเล็กน้อย
2. ค่าเฉลี่ยความแข็งรอยเชื่อมที่ใช้สภาวะแก๊สปกคลุม 50%Ar – 50%CO₂ ทั้งรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมที่ใช้สภาวะแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามค่าความแข็งที่ได้จากรอยเชื่อมทั้งสองชนิดต่างมีค่าน้อยกว่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบ
3. เมื่อทำการเปรียบเทียบความแข็งรอยเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่าแนวโน้มความแข็งรอยเชื่อมของลวด ER308 มีค่าสูงกว่าความแข็งที่ได้จากรอยเชื่อม ER308LSi

5.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง

เนื่องจากการดำเนินการทดสอบได้อาศัยข้อมูลสภาวะการเชื่อมที่เกี่ยวข้องกับแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด ER308 และ ER308LSi ในกระบวนการเชื่อม GMAW-Pulse ที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนท่อไอเสียของอุตสาหกรรมยานยนต์ ทำให้ได้ทราบลักษณะแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจากการใช้แก๊สผสมที่แตกต่างกัน รวมถึงความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดที่ใช้แก๊สผสมปกคลุมไม่เหมือนกัน

อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ นอกจากจะคำนึงถึงสมบัติของรอยเชื่อมที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมแล้ว ลักษณะที่ได้จากรอยเชื่อมก็มีส่วนสำคัญเช่นเดียวกัน ลักษณะดังกล่าวประกอบด้วย รูปร่างรอยเชื่อมที่เหมาะสม ความสวยงามของรอยเชื่อม ต้นทุนที่เพิ่มเข้ามาจากขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการเชื่อม เป็นต้น การทดลองนี้จึงถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำข้อมูล

เกี่ยวข้องกับการใช้แก๊สผสมที่แตกต่างกันไปใช้งานกับรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดต่างๆ เพื่อการอ้างอิงและการทดสอบด้านอื่นๆต่อไป

5.8 ข้อเสนอแนะในการทดลอง

ในการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบการกัดกร่อนถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ เช่นเดียวกับการเชื่อมโดยใช้แก๊สผสมชนิดต่างๆ เนื่องจากการเตรียมสภาพชิ้นงานที่ดีช่วยให้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าสภาพผิวชิ้นงานที่ไม่มีการเตรียมที่ดี เช่น การที่ผิวชิ้นงานมีรอยขีดข่วน การขีดเขียนที่ผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบ การไม่ทำความสะอาดผิวชิ้นงานเพื่อกำจัดออกไซด์ก่อนการทดสอบ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ย่อมมีผลต่อผลการทดสอบทั้งสิ้น

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิการทดสอบย่อมมีความสำคัญเช่นเดียวกัน ก่อนการทดสอบจริงต้องมีการตรวจสอบระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ว่าอยู่ในระดับที่กำหนดตามมาตรฐานการทดสอบหรือมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด การทดสอบที่เกิดจากระดับอุณหภูมิแตกต่างกันมากย่อมหมายถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบที่อาจคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างจากการทดสอบย่อมส่งผลต่อผลการทดสอบที่เกิดขึ้น เนื่องจากจำนวนการเก็บตัวอย่างที่น้อยเกินไปย่อมให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการเก็บตัวอย่างจำนวนมาก