

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากวิธีดำเนินการทดสอบในบทที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบถูกแสดงในบทนี้ ซึ่งประกอบด้วยผลการเชื่อมและรูปร่างแนวเชื่อมในสภาวะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ ส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อม ผลการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อม โครงสร้างระดับจุลภาคและมหภาคของรอยเชื่อม ค่าความแข็งแรงรอยเชื่อม ซึ่งผลการทดสอบที่กล่าวมาสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1 ผลการเชื่อมและรูปร่างแนวเชื่อมในสภาวะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ

การดำเนินการทดสอบเชื่อมลวด ER308 และ ER308LSi โดยใช้แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆกัน สามารถวัดผลที่เกิดขึ้นจากการทดสอบกับลวดทั้งสองชนิดได้ดังนี้

4.1.1 ผลของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ผลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER308 และ ER308LSi แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากการเชื่อม

ชนิดแก๊สปกคลุม	สภาวะเชื่อมที่กำหนด	สภาวะเชื่อมที่เกิดขึ้นจริง		จำนวนการลัดวงจร (ครั้งต่อวินาที)	
		ER308	ER308LSi	ER308	ER308LSi
(1) 98%Ar - 2%O ₂	150A - 22V	180A - 22.0V	166A - 22.0V	0	0
(2) 95%Ar - 5%O ₂	150A - 22V	179A - 22.0V	162A - 22.1V	0	0
(3) 90%Ar - 10%CO ₂	150A - 22V	164A - 22.0V	160A - 22.2V	0	0
(4) 80%Ar - 20%CO ₂	150A - 22V	160A - 22.1V	164A - 22.2V	0	1
(5) 70%Ar - 30%CO ₂	150A - 22V	159A - 22.3V	155A - 22.5V	17	17
(6) 60%Ar - 40%CO ₂	150A - 22V	160A - 22.4V	159A - 22.5V	28	23
(7) 50%Ar - 50%CO ₂	150A - 22V	161A - 22.5V	160A - 22.6V	44	38

หมายเหตุ สภาวะแก๊สปกคลุม 98%Ar - 2%O₂ ถูกกำหนดให้เป็นสภาวะมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนจาก 2%O₂ โดยปริมาตรเป็น 5%O₂ โดยปริมาตร ลักษณะการเชื่อมไม่แตกต่างกัน แต่ในกรณีของการเพิ่มสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมอาร์กอนตั้งแต่ 20%CO₂ โดยปริมาตรขึ้นไป ส่งผลให้ลักษณะการเชื่อมเริ่มมีการลัดวงจรมากขึ้น ซึ่งหมายถึงจำนวนการเกิดสะเก็ดไฟเชื่อมมากขึ้น สะเก็ดไฟเชื่อมมักจะเกาะตามผิวชิ้นงานส่งผลให้ต้องเพิ่มกระบวนการทำงานหลังจากนี้ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มกระบวนการทำความสะอาดผิวชิ้นงาน นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการเกิดการลัดวงจรของลวด ER308 มีค่าสูงกว่า ER308LSi การอภิปรายผลการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมต่อผลการเชื่อมทดสอบเป็นดังนี้

4.1.1.1 จากการได้ดำเนินการเชื่อมทดสอบบนชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด AISI 304 โดยใช้ลวดเชื่อม 2 ชนิด คือ ER308 และ ER308LSi โดยมีตัวแปรจากการปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนในแก๊สผสมอาร์กอนที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อม เพื่อที่จะแสดงความสามารถในการเชื่อมของลวดเชื่อมทั้ง 2 ชนิด เมื่อใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่างจากแก๊สปกคลุมมาตรฐานคือ 98%Ar – 2%O₂ จึงได้อาศัยเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า NR-2010 เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการเชื่อมทดสอบ จากการทดสอบพบว่าสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณไม่เกิน 20%CO₂ โดยปริมาตร ในแก๊สผสมอาร์กอนที่ใช้กับลวดเชื่อมทั้ง 2 ชนิด ให้ผลการเชื่อมไม่ต่างจากแก๊สปกคลุมมาตรฐาน เนื่องจากไม่เกิดการลัดวงจรในหน่วยเวลาที่บันทึกได้ในระหว่างการเชื่อมจากเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า

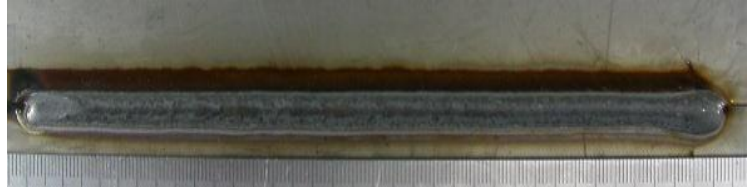
4.1.1.2 กรณีที่เพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมมากกว่า 20%CO₂ โดยปริมาตร พบว่าแนวโน้มการลัดวงจรเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อปริมาณการเกิดสะเก็ดไฟเชื่อม จากการทดสอบยังพบว่าหากมีการลัดวงจรมากจะมีสะเก็ดไฟเชื่อมมาก และเป็นที่ทราบกันว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อลักษณะการถ่ายโอนของน้ำโลหะแบบเม็ดกลมโตและไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น โอกาสที่จะเกิดความไม่ต่อเนื่องจากการถ่ายโอนก็จะเพิ่มขึ้น ปริมาณสะเก็ดไฟเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงส่งผลต่อผิวหน้าชิ้นงานในบริเวณที่อยู่รอบๆรอยเชื่อม เนื่องจากสะเก็ดไฟเชื่อมจะไปเกาะตัวบริเวณนั้น ทำให้มีผลต่อการทำความสะอาดผิวและการกำจัดสะเก็ดไฟเชื่อม

4.1.1.3 สำหรับการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนเป็น 5% โดยปริมาตร ในแก๊สผสมอาร์กอน ผลการเชื่อมทดสอบลวดทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างจากแก๊สผสมมาตรฐาน หากพิจารณาจำนวนการลัดวงจรที่เกิดขึ้นพบว่าลวดเชื่อมชนิด ER308LSi ให้ปริมาณการลัดวงจรน้อยกว่าลวดเชื่อมชนิด ER308 ลักษณะกราฟที่วัดได้จากการทดสอบถูกแสดงในภาคผนวก ก

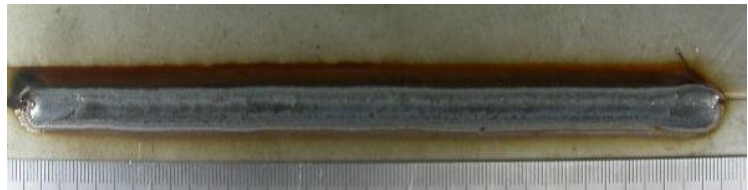
4.1.2 รอยเชื่อมที่ปรากฏตามสถานะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ

รอยเชื่อม ER308 ให้ผลการทดสอบตามที่แสดงในรูปที่ 4.1

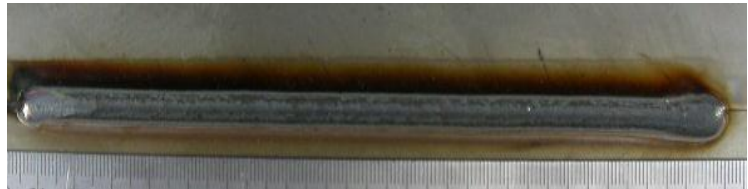
98%Ar – 2%O₂ (STD)



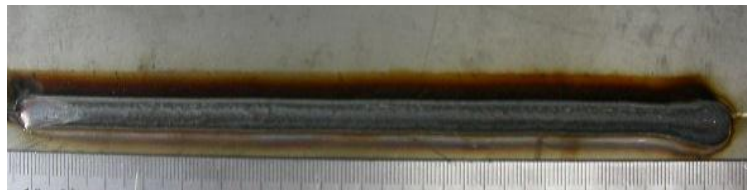
95%Ar – 5%O₂



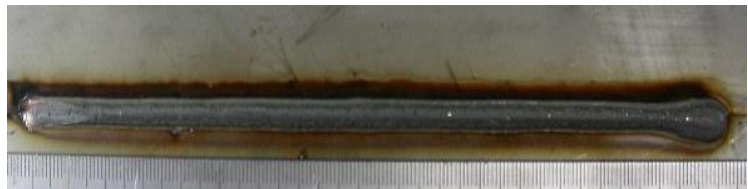
90%Ar – 10%CO₂



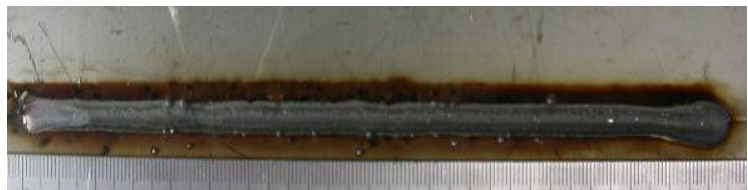
80%Ar – 20%CO₂



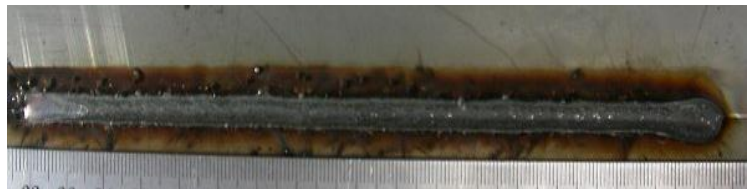
70%Ar – 30%CO₂



60%Ar – 40%CO₂



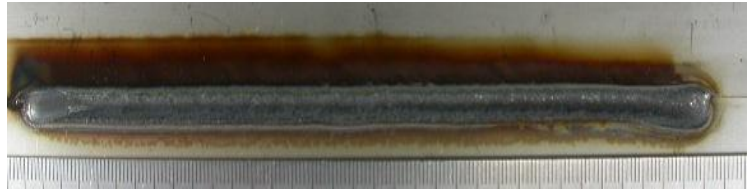
50%Ar – 50%CO₂



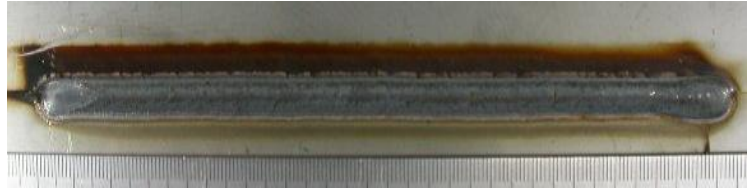
รูปที่ 4.1 รอยเชื่อมลวด ER308 ในสถานะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ

รอยเชื่อม ER308LSi ให้ผลการทดสอบตามที่แสดงในรูปที่ 4.2

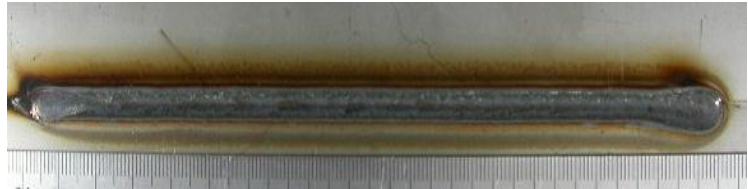
98%Ar – 2%O₂ (STD)



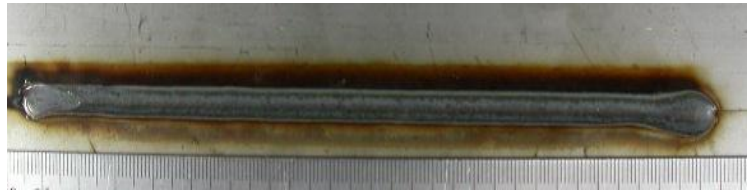
95%Ar – 5%O₂



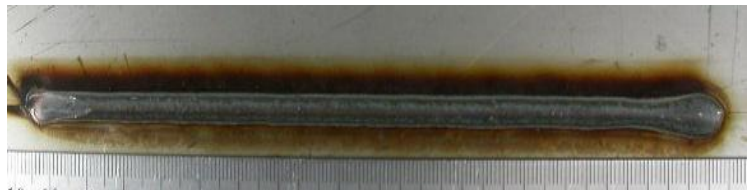
90%Ar – 10%CO₂



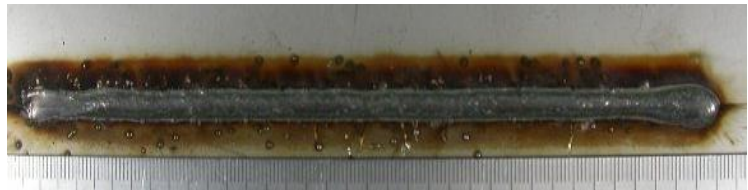
80%Ar – 20%CO₂



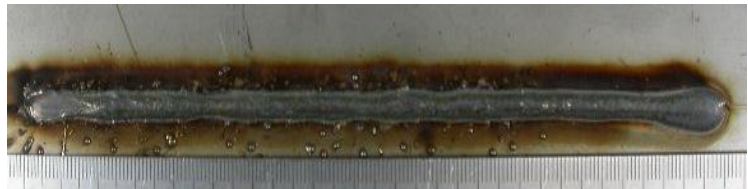
70%Ar – 30%CO₂



60%Ar – 40%CO₂



50%Ar – 50%CO₂

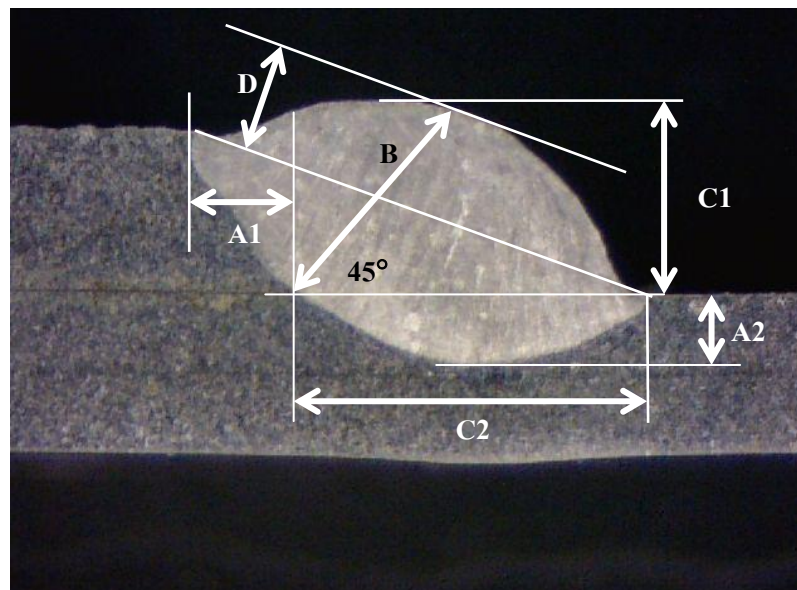


รูปที่ 4.2 รอยเชื่อมลวด ER308LSi ในสภาวะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นรูปร่างรอยเชื่อมที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแก๊สผสมโดยผลที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าการเพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นส่งผลต่อจำนวนการเกิดสะเก็ดไฟเชื่อมที่มากขึ้น ซึ่งทั้งรอยเชื่อมลวด ER308 และ ER308LSi ต่างแสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่าขนาดความกว้างของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดต่างเล็กลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น สำหรับการเพิ่มสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนมากขึ้นไม่ได้ทำให้ขนาดความกว้างแนวเชื่อมลดลงแต่อย่างใด

4.1.3 ขนาดและรูปร่างรอยเชื่อม

การกำหนดและการวัดขนาดรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยลวด ER308 และ ER308LSi ถูกแสดงในรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เพื่อทำการยืนยันผลการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นกับการใช้แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ โดยอาศัยการวัดขนาดรอยเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.4 ขนาดเฉลี่ยรอยเชื่อมของลวดทั้งสองประเภทในสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ ถูกแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 โดยอาศัยการวัดขนาดจากโครงสร้างมหภาคที่แสดงในภาคผนวก จ สำหรับแนวโน้มนการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างรอยเชื่อมแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.3 การวัดขนาดรอยเชื่อม

เมื่อ

- A1 คือ ระยะการซึมลึกบริเวณชิ้นงานแผ่นบน (มิลลิเมตร)
- A2 คือ ระยะการซึมลึกบริเวณชิ้นงานแผ่นล่าง (มิลลิเมตร)

- B คือ ระยะคอ (Throat) แนวเชื่อม (มิลลิเมตร)
- C1 คือ ขนาดขารอยเชื่อมของชิ้นงานแผ่นบน (มิลลิเมตร)
- C2 คือ ขนาดขารอยเชื่อมของชิ้นงานแผ่นล่าง (มิลลิเมตร)
- D คือ ความสูงส่วนเกินรอยเชื่อม (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยขนาดรูปร่างรอยเชื่อม ER308 ในสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ

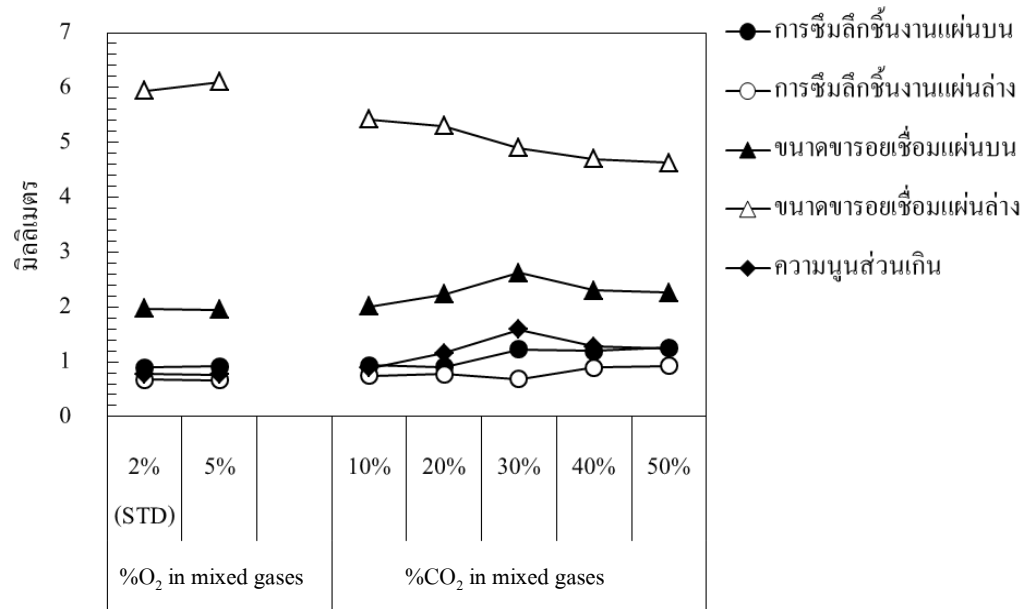
แก๊สปกคลุม	ขนาดรอยเชื่อม (มิลลิเมตร)					
	A1	A2	B	C1	C2	D
(1) 98%Ar – 2%O ₂	0.90	0.68	2.70	1.97	5.94	0.78
(2) 95%Ar – 5%O ₂	0.92	0.67	2.63	1.95	6.10	0.77
(3) 90%Ar – 10%CO ₂	0.94	0.75	2.79	2.01	5.42	0.89
(4) 80%Ar – 20%CO ₂	0.91	0.78	3.08	2.23	5.30	1.16
(5) 70%Ar – 30%CO ₂	1.23	0.69	3.46	2.62	4.90	1.59
(6) 60%Ar – 40%CO ₂	1.20	0.90	3.08	2.30	4.70	1.28
(7) 50%Ar – 50%CO ₂	1.26	0.93	3.05	2.26	4.63	1.24

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยขนาดรูปร่างรอยเชื่อม ER308LSi ในสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ

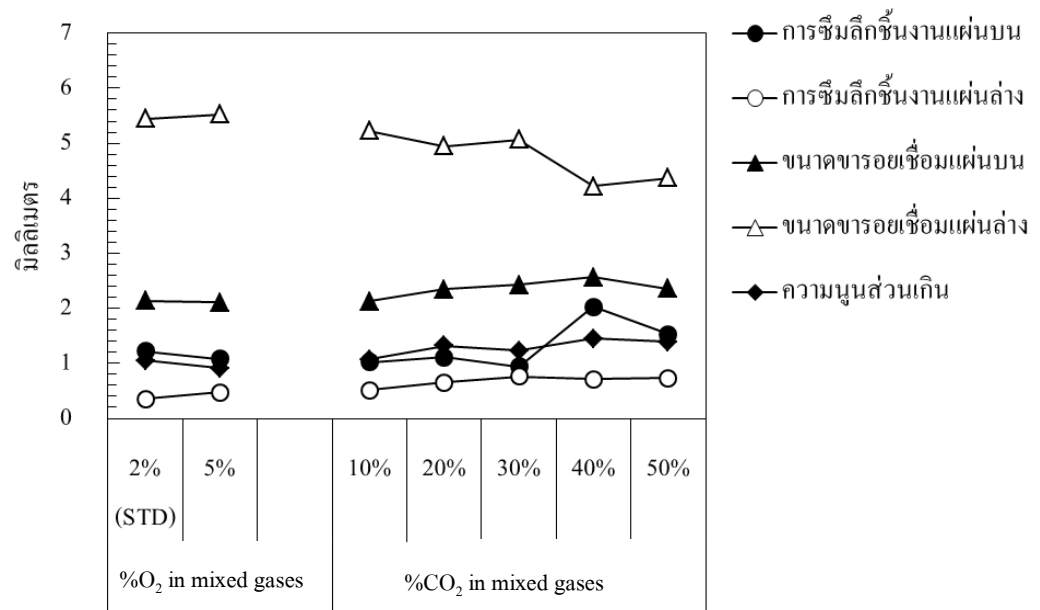
แก๊สปกคลุม	ขนาดรอยเชื่อม (มิลลิเมตร)					
	A1	A2	B	C1	C2	D
(1) 98%Ar – 2%O ₂	1.22	0.35	2.89	2.14	5.45	1.05
(2) 95%Ar – 5%O ₂	1.08	0.47	2.86	2.11	5.53	0.91
(3) 90%Ar – 10%CO ₂	1.02	0.51	2.90	2.13	5.23	1.07
(4) 80%Ar – 20%CO ₂	1.11	0.65	3.15	2.35	4.95	1.32
(5) 70%Ar – 30%CO ₂	0.94	0.76	3.22	2.43	5.07	1.23
(6) 60%Ar – 40%CO ₂	2.03	0.71	3.00	2.57	4.22	1.45
(7) 50%Ar – 50%CO ₂	1.53	0.73	3.06	2.36	4.37	1.39

หมายเหตุ จากการเก็บข้อมูล 3 ตัวอย่างในแต่ละสภาวะแก๊สปกคลุม

ตารางที่ 4.2 และ 4.3 เป็นผลการวัดขนาดรูปร่างรอยเชื่อม จะเห็นว่าการซึมลึกเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อใช้แก๊สผสม Ar + CO₂ ในสัดส่วนที่สูง ส่วนแก๊สผสม Ar + O₂ และ Ar + CO₂ ในสัดส่วนที่ต่ำจะให้รอยเชื่อมที่มีลักษณะที่กว้างและแบน นอกจากนี้การเพิ่มสัดส่วนของ CO₂ มากขึ้นส่งผลให้รอยเชื่อมมีความนูนมากขึ้น



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดรอยเชื่อม ER308 ในสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงขนาดรอยเชื่อม ER308LSi ในสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าแนวโน้มขนาดขารอยเชื่อมของชิ้นงานแผ่นล่างของทั้งสองรอยเชื่อมมีการลดลงอย่างชัดเจนเมื่อมีการปรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนการซึมลึกและความนูนส่วนเกินรอยเชื่อมมีการเกาะกลุ่มเพิ่มขึ้นในระดับที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

การอภิปรายผลการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะรอยเชื่อมจากผลจากการทดสอบในข้อ 4.1.3 เป็นการแสดงลักษณะรูปร่างรอยเชื่อมที่ปรากฏจากการปรับสัดส่วนของแก๊สผสมของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยอาศัยภาพตัดขวางแนวเชื่อมในภาคผนวก จ เพื่อวัดขนาดขารอยเชื่อม ระยะคอรอยเชื่อม และความนูนส่วนเกินรอยเชื่อม ลักษณะรอยเชื่อมของลวดทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ

1. เมื่อเพิ่มสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสม มีผลทำให้ขนาดขารอยเชื่อมในชิ้นงานแผ่นล่างเล็กน้อย ในทางตรงข้ามขนาดขารอยเชื่อมของชิ้นงานที่ปกคลุมด้วยการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนแก๊สออกซิเจนกลับมีขนาดกว้างขึ้น
2. ขารอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ลวด ER308LSi มีขนาดไม่แตกต่างจากการใช้ลวด ER308 แม้ว่าจะมีปริมาณซิลิกอนในลวดเชื่อมซึ่งให้สมบัติด้านการไหลตัวดีตามที่แสดงในตารางที่ 2.6 มากกว่าก็ตาม
3. ความนูนส่วนเกินของรอยเชื่อมมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งความนูนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของรอยเชื่อม เนื่องจากมีเพียงบริเวณ Theoretical throat ของรอยเชื่อมเท่านั้นที่จะเป็นส่วนที่รับความแข็งแรง
4. การเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมนอกจากจะทำให้ขนาดของรอยเชื่อมเล็กน้อย และมีความนูนส่วนเกินของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นแล้ว ลักษณะตะเข็บรอยเชื่อมกับชิ้นงานยังไม่มี ความสม่ำเสมอ เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดการลัดวงจรในขณะที่เชื่อมเป็นจำนวนมากซึ่งสอดคล้องกับผลที่วัดได้จากเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า NR-2010
5. การซึมลึกของรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นตามการปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่เพิ่มขึ้น

4.2 ผลการทดสอบส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม

ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi เมื่อแบ่งตามสภาวะแก๊สปกคลุมที่ต่างกัน ผลการวิเคราะห์ถูกแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม ER308 (% โดยน้ำหนัก)

แก๊สปกคลุม	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
98%Ar – 2%O ₂	0.04	0.52	1.35	0.029	0.002	0.18	9.18
95%Ar – 5%O ₂	0.05	0.50	1.32	0.026	0.002	0.18	9.19
90%Ar – 10%CO ₂	0.04	0.50	1.45	0.026	0.001	0.17	9.31
80%Ar – 20%CO ₂	0.05	0.48	1.37	0.026	0.001	0.16	9.21
70%Ar – 30%CO ₂	0.07	0.47	1.31	0.026	0.001	0.17	9.27
60%Ar – 40%CO ₂	0.07	0.48	1.34	0.026	0.001	0.17	9.25
50%Ar – 50%CO ₂	0.08	0.46	1.31	0.026	0.001	0.18	9.38
AWS A5.9 ER308	≤0.08	0.30 – 0.65	1.0 – 2.5	≤0.03	≤0.03	≤0.75	9.0 – 11.0

แก๊สปกคลุม	Cr	Mo	V	Al	Nb	N	O
98%Ar – 2%O ₂	19.39	0.13	0.09	0.003	0.012	0.052	0.040
95%Ar – 5%O ₂	19.31	0.14	0.09	0.003	0.013	0.049	0.046
90%Ar – 10%CO ₂	19.48	0.11	0.09	0.003	0.008	0.044	0.032
80%Ar – 20%CO ₂	19.36	0.12	0.09	0.004	0.012	0.038	0.043
70%Ar – 30%CO ₂	19.42	0.13	0.09	0.003	0.012	0.042	0.064
60%Ar – 40%CO ₂	19.41	0.13	0.09	0.003	0.012	0.044	0.081
50%Ar – 50%CO ₂	19.36	0.14	0.09	0.004	0.012	0.042	0.084
AWS A5.9 ER308	19.5 – 22.0	≤0.75	–	–	–	–	–

ตารางที่ 4.5 ส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม ER308LSi (% โดยน้ำหนัก)

แก๊สปกคลุม	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
98%Ar – 2%O ₂	0.03	0.61	1.60	0.029	0.002	0.18	9.88
95%Ar – 5%O ₂	0.03	0.42	1.35	0.027	0.001	0.21	9.54
90%Ar – 10%CO ₂	0.03	0.68	1.71	0.025	0.002	0.15	9.88
80%Ar – 20%CO ₂	0.04	0.62	1.64	0.025	0.002	0.18	9.64
70%Ar – 30%CO ₂	0.05	0.59	1.59	0.028	0.001	0.19	9.75
60%Ar – 40%CO ₂	0.05	0.57	1.56	0.027	0.001	0.08	9.49
50%Ar – 50%CO ₂	0.05	0.56	1.45	0.027	0.001	0.08	9.88
AWS A5.9 ER308LSi	≤0.03	0.65 – 1.00	1.0 – 2.5	≤0.03	≤0.03	≤0.75	9.0 – 11.0

แก๊สปกคลุม	Cr	Mo	V	Al	Nb	N	O
98%Ar – 2%O ₂	19.45	0.10	0.09	0.003	0.004	0.039	0.067
95%Ar – 5%O ₂	19.20	0.10	0.09	0.003	0.007	0.042	0.054
90%Ar – 10%CO ₂	19.64	0.09	0.10	0.004	0.004	0.039	0.044
80%Ar – 20%CO ₂	19.39	0.10	0.09	0.004	0.004	0.034	0.050
70%Ar – 30%CO ₂	19.34	0.10	0.09	0.003	0.004	0.030	0.077
60%Ar – 40%CO ₂	19.30	0.07	0.08	0.003	0.004	0.030	0.101
50%Ar – 50%CO ₂	19.42	0.07	0.09	0.003	0.004	0.035	0.069
AWS A5.9 ER308LSi	19.5 – 22.0	≤0.75	–	–	–	–	–

หมายเหตุ - C และ S วิเคราะห์โดย C/S Analyzer
 - N และ O วิเคราะห์โดย N/O Analyzer
 - ธาตุผสมที่เหลือวิเคราะห์โดย Inductively Couple Plasma (ICP)

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สผสมในกระบวนการเชื่อมทดสอบของลวด ER308 และ ER308LSi ส่งผลให้ค่าเคมีในรอยเชื่อมทั้งสองชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นดังนี้

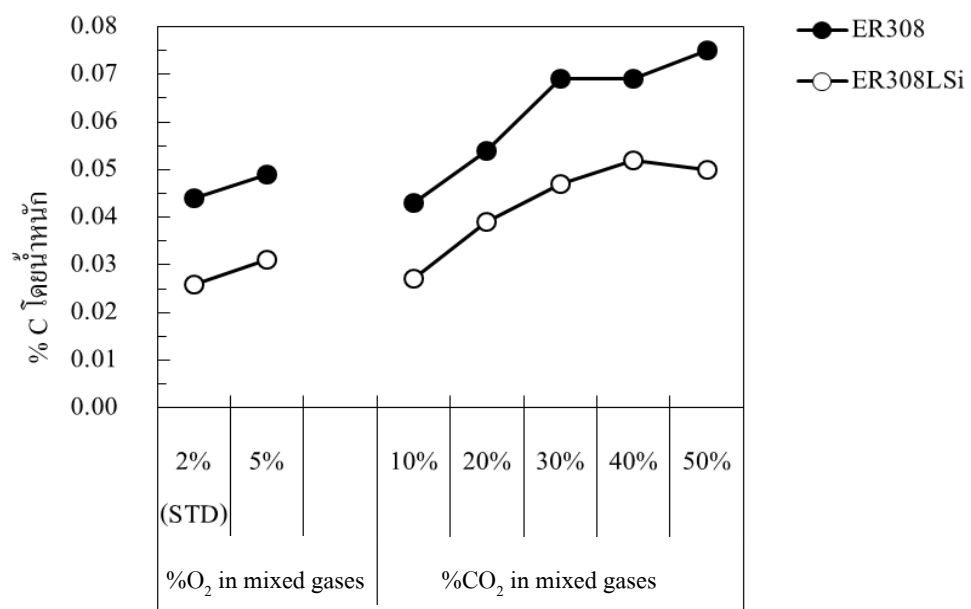
1. รอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ในสภาวะที่มีการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมมากขึ้น มีแนวโน้มทำให้ธาตุคาร์บอนตกค้างในรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ธาตุซิลิกอน, แมงกานีส และโครเมียมมีแนวโน้มลดลง

2. ค่าเคมีรอยเชื่อมทั้งสองชนิดที่ได้รับจากการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในแก๊สผสม ทั้งซิลิกอนและแมงกานีสต่างก็มีปริมาณลดลงเช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าเคมีรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ในแต่ละสภาวะการทดสอบ มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐาน

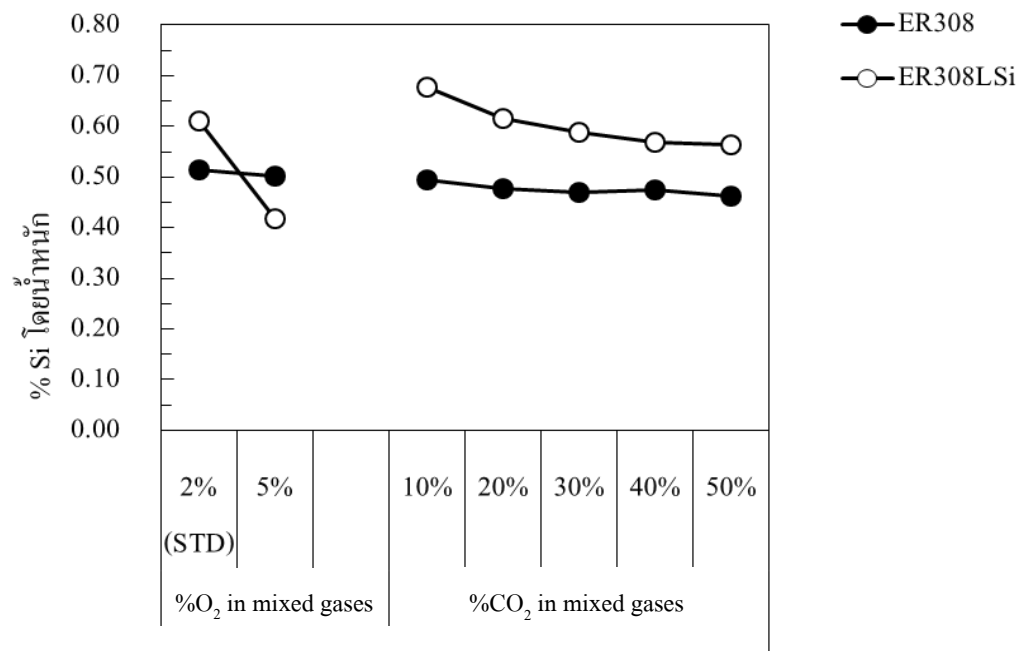
3. สำหรับส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม ER308LSi เมื่อปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 20%CO₂ โดยปริมาตรขึ้นไป ส่งผลให้ธาตุคาร์บอนตกค้างในรอยเชื่อมมีปริมาณมากกว่ามาตรฐาน AWS A5.9 ส่วนธาตุซิลิกอน และโครเมียมมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

4.2.1 การอภิปรายผลการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมต่อส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม

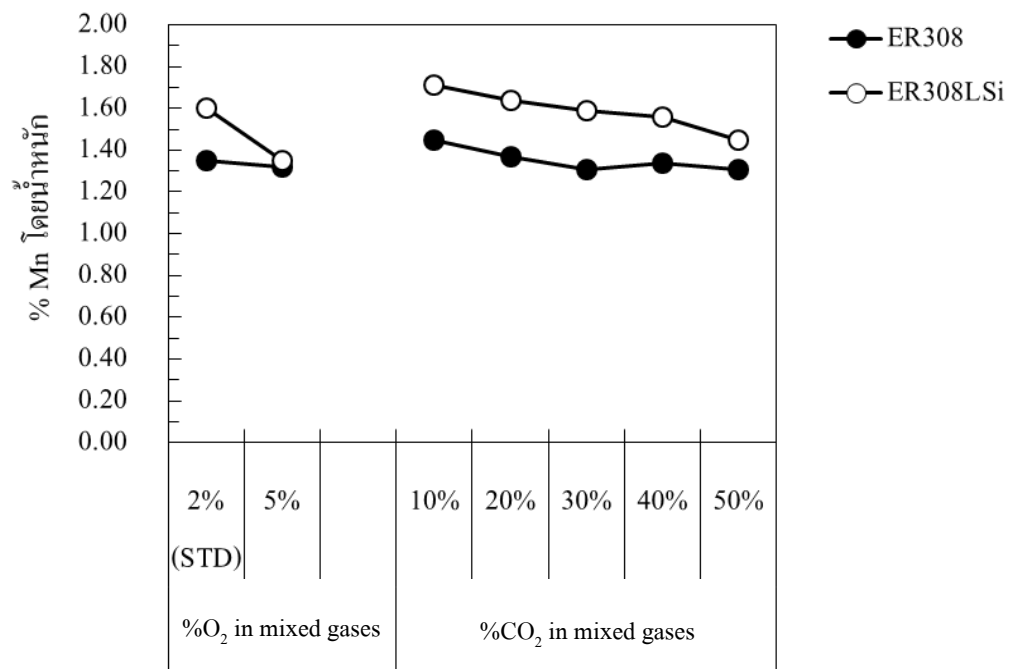
ผลการปรับเปลี่ยนแก๊สผสมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุตกค้างในรอยเชื่อม ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อมกับแก๊สปกคลุมตามรูปที่ 4.6 – 4.9



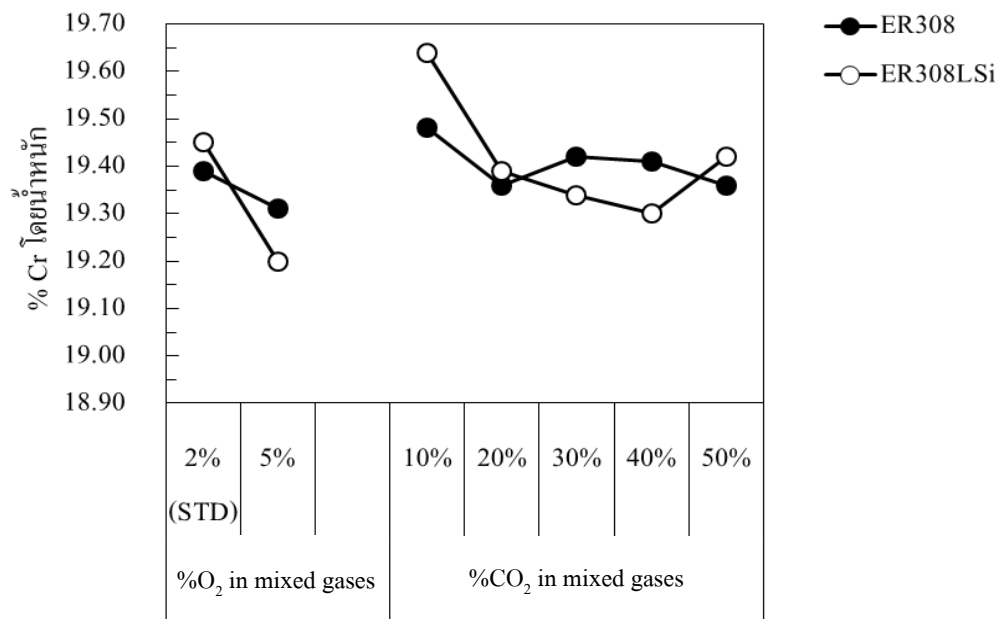
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในรอยเชื่อมกับการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุม



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกอนในรอยเชื่อมกับการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุม



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสในรอยเชื่อมกับการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุม



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในรอยเชื่อมกับการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุม

จากรูปที่ 4.6 – 4.9 แสดงให้เห็นว่า การปรับเปลี่ยนชนิดแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมจากแก๊สผสมมาตรฐาน 98%Ar – 2%O₂ เป็นแก๊สผสมชนิดต่างๆ มีผลต่อส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อม โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการปรับในอัตราแตกต่างกัน จากอัตราส่วน 10%CO₂ โดยปริมาตร จนมีการปรับในอัตราส่วนที่เท่ากับแก๊สอาร์กอนที่ 50%CO₂ โดยปริมาตร เมื่อทำการเปรียบเทียบผลจากการปรับสัดส่วนแก๊สผสมกับส่วนผสมทางเคมีของแกนลวดก่อนทำการทดสอบ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

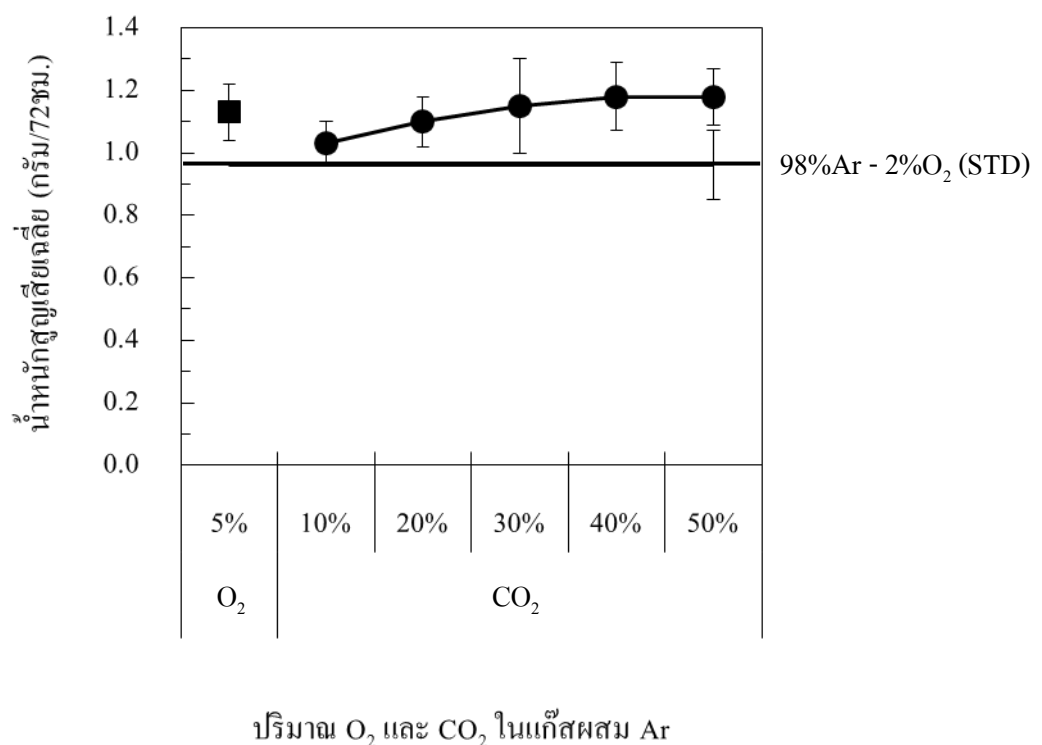
1. สัดส่วนธาตุผสมที่ตกค้างในรอยเชื่อมปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากขึ้นประกอบด้วย ธาตุคาร์บอนตามรูปที่ 4.6
2. สัดส่วนธาตุผสมที่ตกค้างในรอยเชื่อมปรับลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ซิลิกอน แมงกานีส โครเมียม เป็นต้น ซึ่งธาตุในกลุ่มนี้เป็นพวกที่สามารถเกิดออกซิเดชันได้ตามที่แสดงในรูป 4.7 – 4.9 ตามลำดับ
3. สัดส่วนธาตุผสมที่ตกค้างในรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น นิเกิล

4.3 ผลการทดสอบการกัดกร่อน

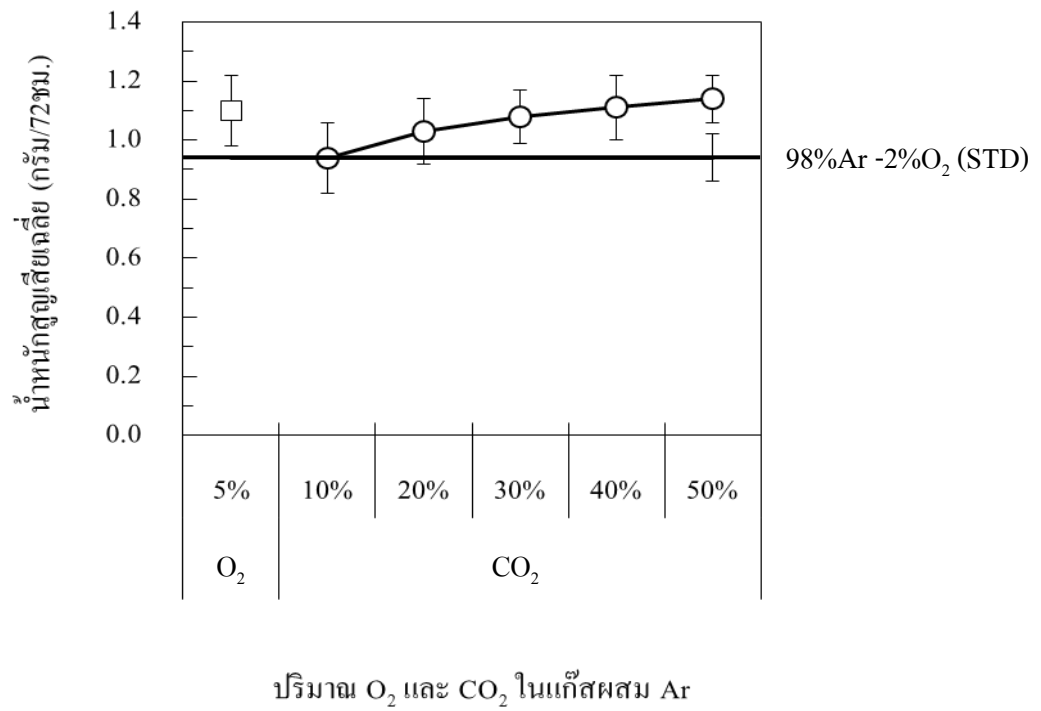
ผลทดสอบการกัดกร่อนแบบหลุมที่ดำเนินการกับรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ได้ดำเนินการทดสอบ 2 วิธี มีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบการกัดกร่อนแบบหลุมตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A

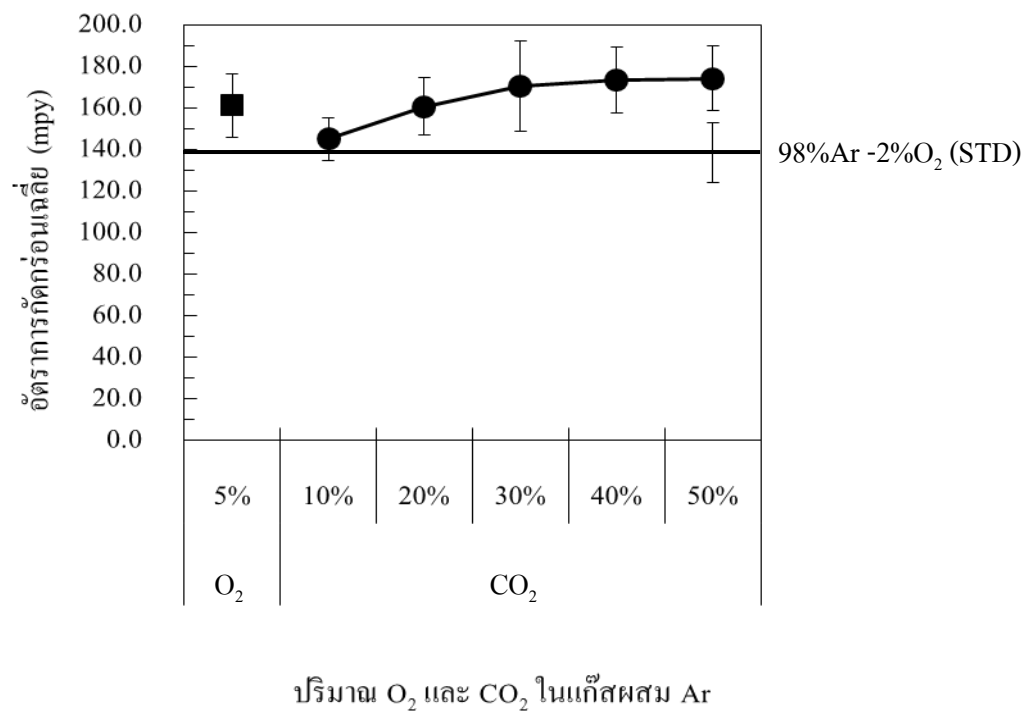
ผลการทดสอบการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi โดยเทียบเป็นปริมาณน้ำหนักเฉลี่ยที่หายไปในช่วงเวลาการทดสอบ 72 ชั่วโมง ในสภาวะแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ สำหรับอัตราการกัดกร่อนแบบหลุมโดยเฉลี่ยของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi โดยเทียบเป็นหน่วย Mills per year (mpy) ถูกแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ ตัวอย่างสภาพชิ้นงานหลังการทดสอบการกัดกร่อนแบบหลุมที่กำลังขยาย 30 เท่า ของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi แสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างภาพตัดขวางแสดงความลึกของการกัดกร่อนในรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi แสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ โดยผลการทดสอบทั้งหมดถูกแสดงในภาคผนวก ข



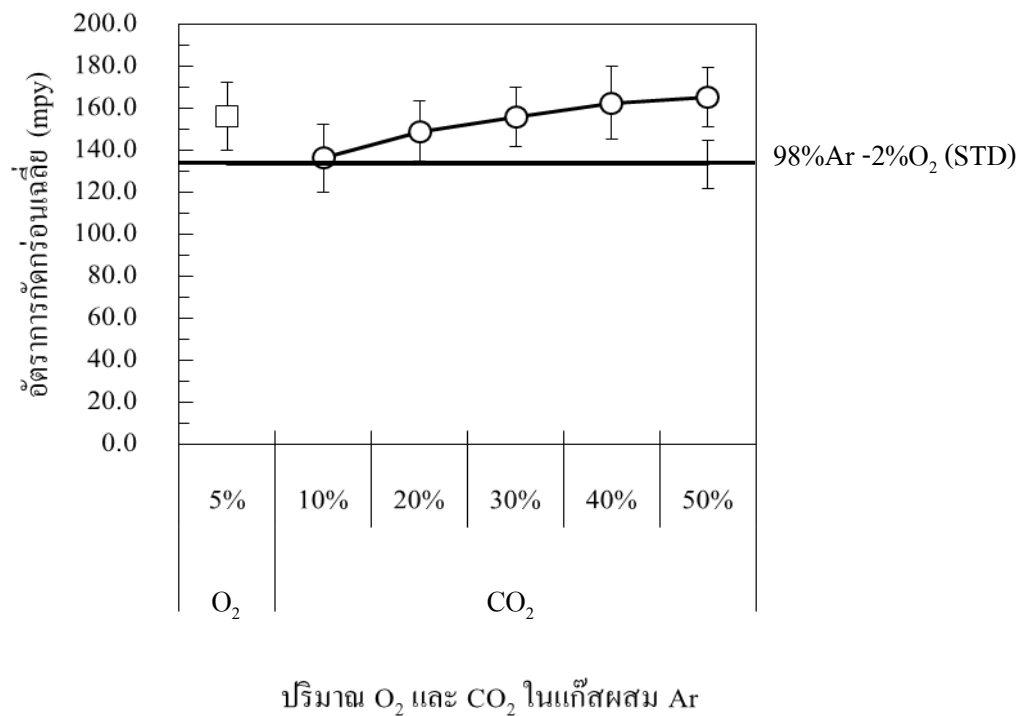
รูปที่ 4.10 น้ำหนักสูญเสียเฉลี่ยในช่วงการทดสอบ 72 ชั่วโมงของรอยเชื่อม ER308



รูปที่ 4.11 น้ำหนักสูญเสียเฉลี่ยในช่วงการทดสอบ 72 ชั่วโมงของรอยเชื่อม ER308LSi



รูปที่ 4.12 อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของรอยเชื่อม ER308



รูปที่ 4.13 อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของรอยเชื่อม ER308LSi

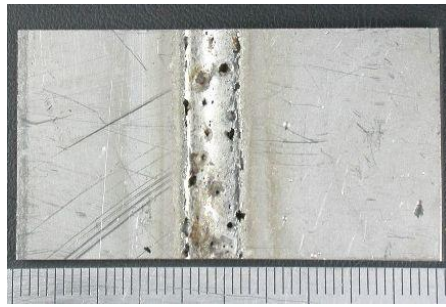
จากกราฟแสดงผลการกัดกร่อนรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ในรูปที่ 4.6 ถึง 4.7 เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานที่สูญหายไปในการทดสอบที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยเป็นค่าเฉลี่ยในจำนวน 5 ครั้งในแต่ละสถานะการทดสอบที่แตกต่างกันของสัดส่วนแก๊สปกคลุมรอยเชื่อม ซึ่งในการทดสอบกำหนดให้ชิ้นงานที่สถานะ 98%Ar - 2%O₂ เป็นชิ้นงานมาตรฐาน สำหรับรูปที่ 4.8 ถึง 4.9 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยเป็นหน่วย mpy ตามสมการการคำนวณที่ (3.1) ในบทที่ 3 อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมระหว่างการเชื่อมทดสอบ มีผลทดสอบการกัดกร่อนดังต่อไปนี้

1. การปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมอาร์กอนให้มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มอัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น โดยผลของอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่สถานะแก๊สผสม 50%Ar - 50%CO₂ ผลของอัตราการกัดกร่อนดังกล่าวมีลักษณะที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันของรอยเชื่อมทั้งสองชนิด

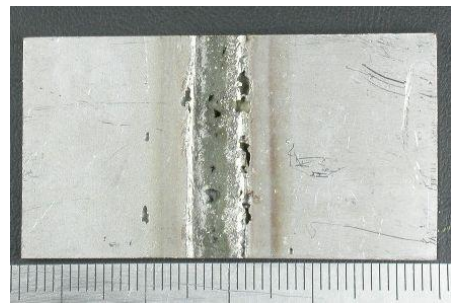
2. จากผลการปรับสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมอาร์กอนของลวดเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่าแก๊สผสม 90%Ar - 10%CO₂ ให้ผลของอัตราการกัดกร่อนต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับแก๊สผสมจาก 98%Ar - 2%O₂ เป็น 90%Ar - 10%CO₂ นั้น ให้ผลของอัตราการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลการทดสอบโดยใช้แก๊สผสมในสัดส่วนอื่นๆ

3. ผลการเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจนในแก๊สผสมอาร์กอน จาก 98%Ar - 2%O₂ ซึ่งเป็นแก๊สผสมมาตรฐานเป็น 95%Ar - 5%O₂ ให้ผลการกัดกร่อนเฉลี่ยสูงกว่าแก๊สผสมมาตรฐานและแก๊สผสม 90%Ar - 10%CO₂ ซึ่งผลดังกล่าวเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันกับรอยเชื่อมทั้งสองชนิด

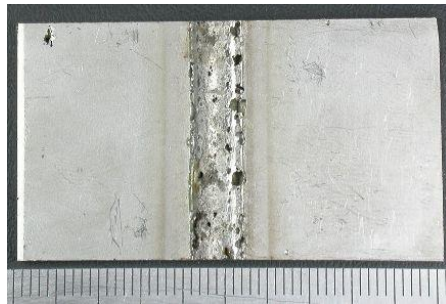
4. อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม ER308 มีแนวโน้มสูงกว่าอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยที่เกิดกับรอยเชื่อม ER308LSi ในทุกๆสภาวะการทดสอบ



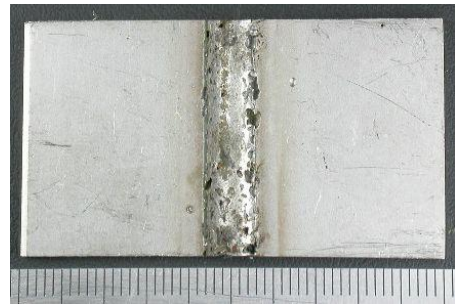
98%Ar – 2%O₂ (STD)



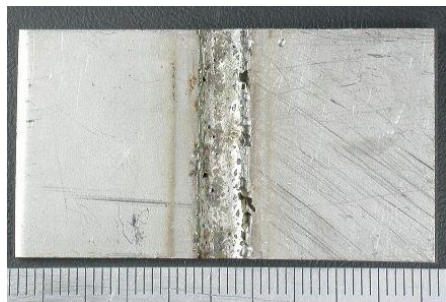
95%Ar – 5%O₂



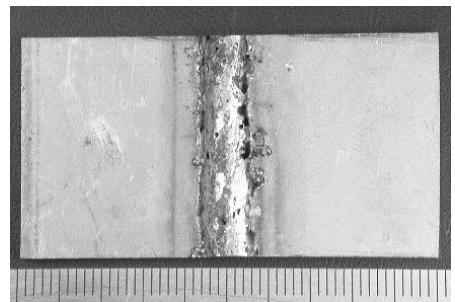
90%Ar – 10%CO₂



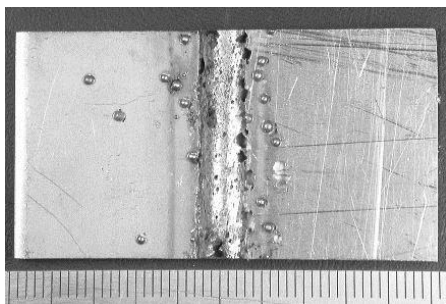
80%Ar – 20%CO₂



70%Ar – 30%CO₂

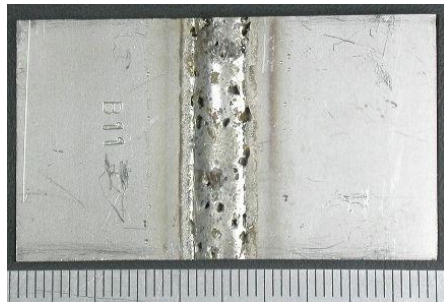


60%Ar – 40%CO₂

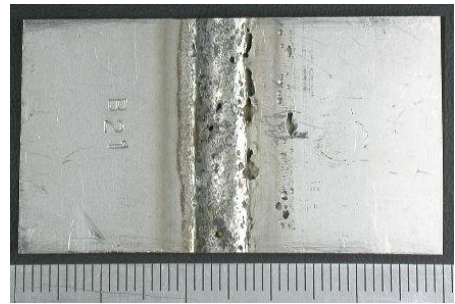


50%Ar – 50%CO₂

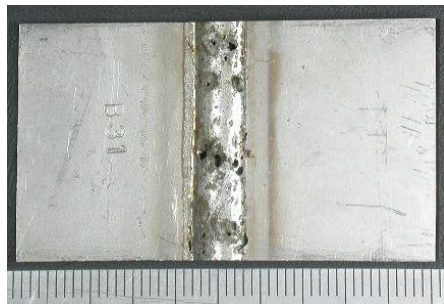
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างรอยเชื่อม ER308 ในสภาพหลังการทดสอบการกัดกร่อน



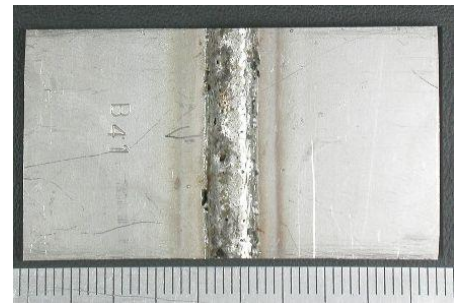
98%Ar – 2%O₂ (STD)



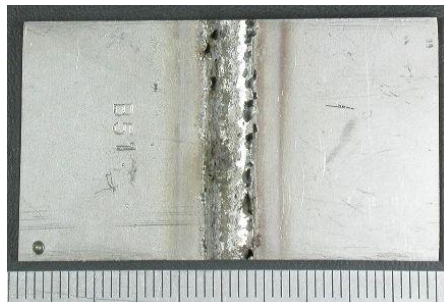
95%Ar – 5%O₂



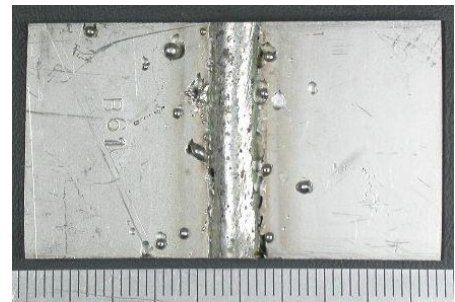
90%Ar – 10%CO₂



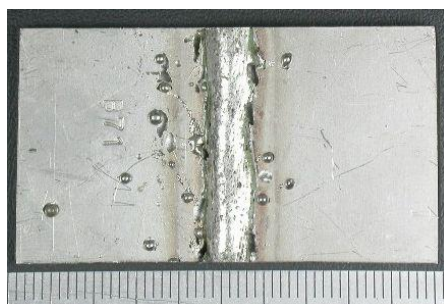
80%Ar – 20%CO₂



70%Ar – 30%CO₂

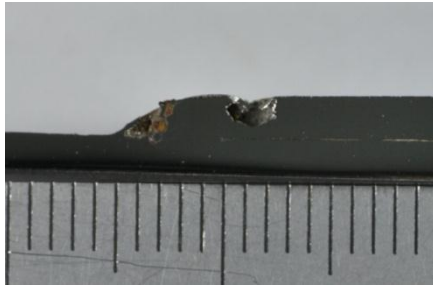


60%Ar – 40%CO₂

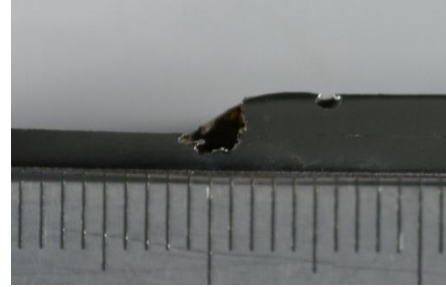


50%Ar – 50%CO₂

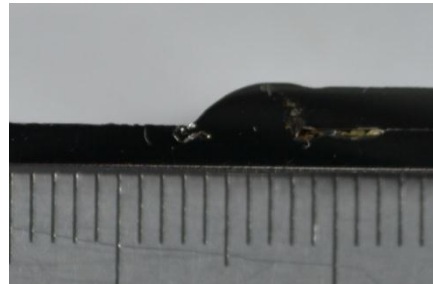
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างรอยเชื่อม ER308LSi ในสภาพหลังการทดสอบการกัดกร่อน



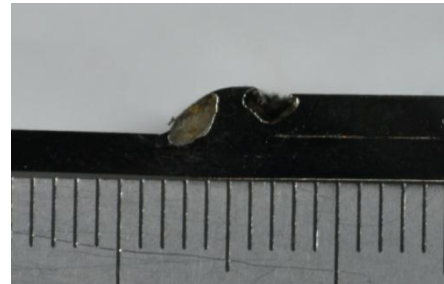
98%Ar – 2%O₂ (STD)



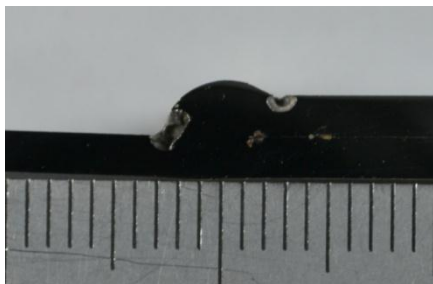
95%Ar – 5%O₂



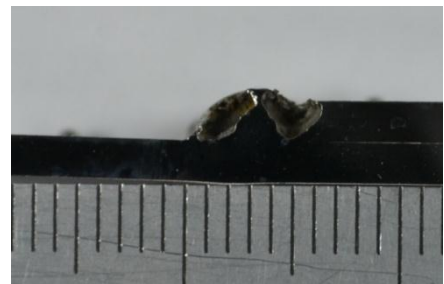
90%Ar – 10%CO₂



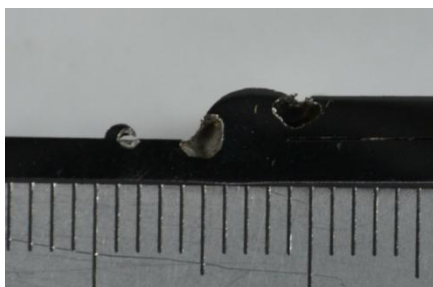
80%Ar – 20%CO₂



70%Ar – 30%CO₂

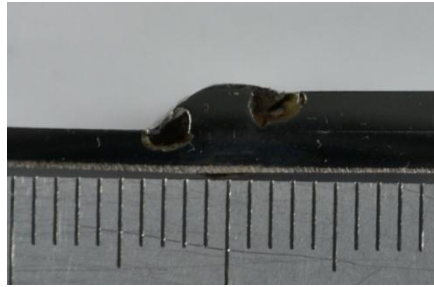


60%Ar – 40%CO₂

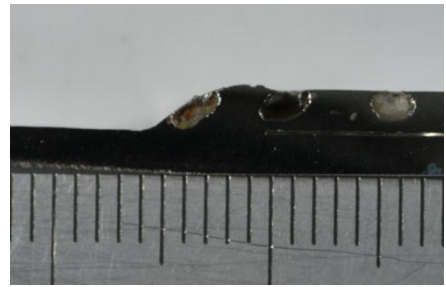


50%Ar – 50%CO₂

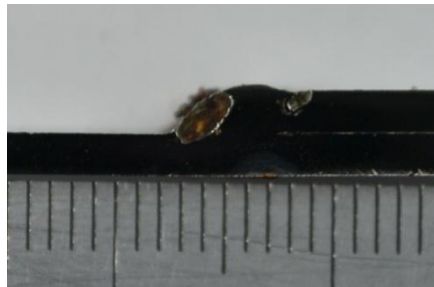
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างภาพตัดขวางรอยเชื่อม ER308 หลังการทดสอบการกัดกร่อน



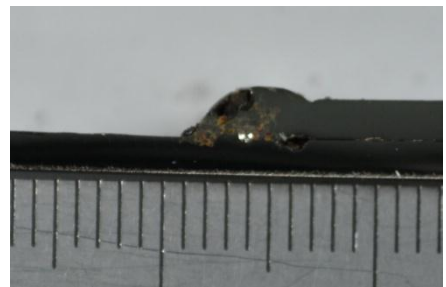
98%Ar – 2%O₂ (STD)



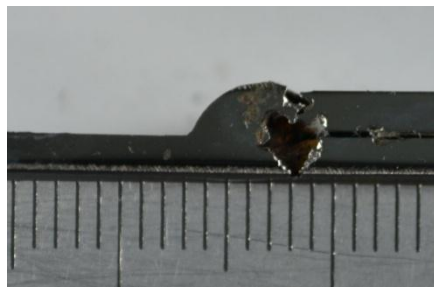
95%Ar – 5%O₂



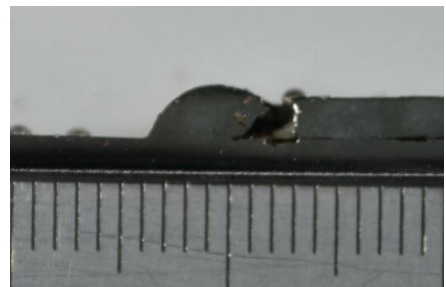
90%Ar – 10%CO₂



80%Ar – 20%CO₂



70%Ar – 30%CO₂



60%Ar – 40%CO₂



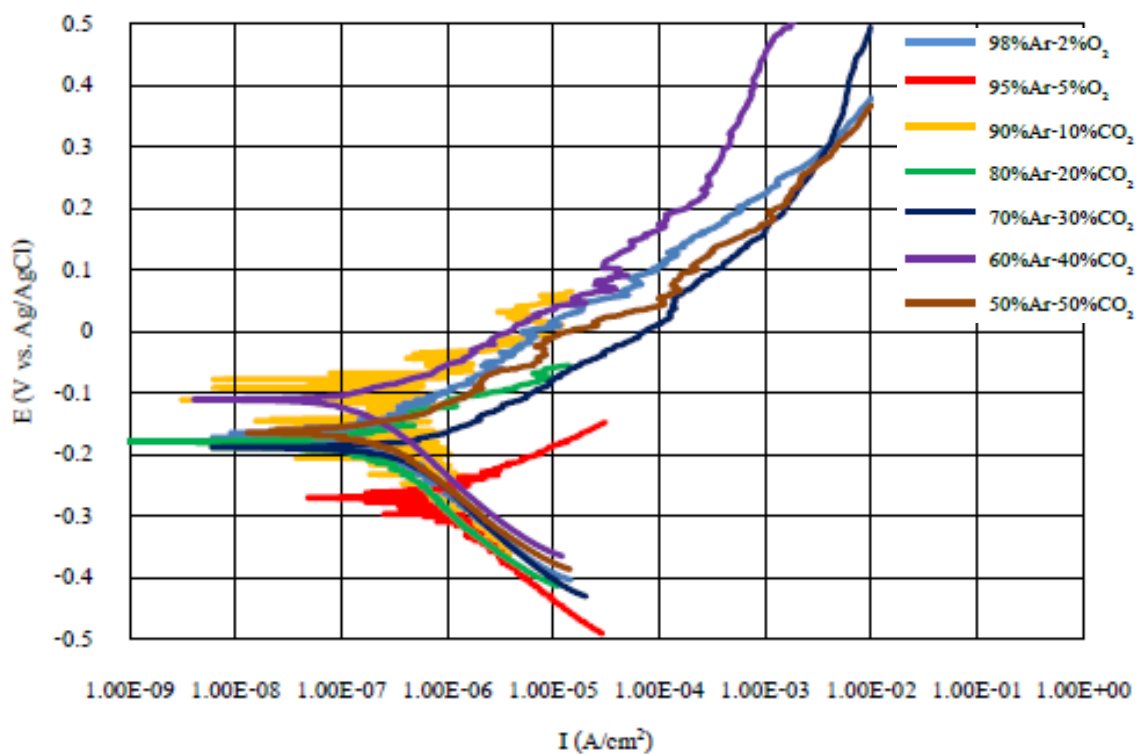
50%Ar – 50%CO₂

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างภาพตัดขวางรอยเชื่อม ER308LSi หลังการทดสอบการกัดกร่อน

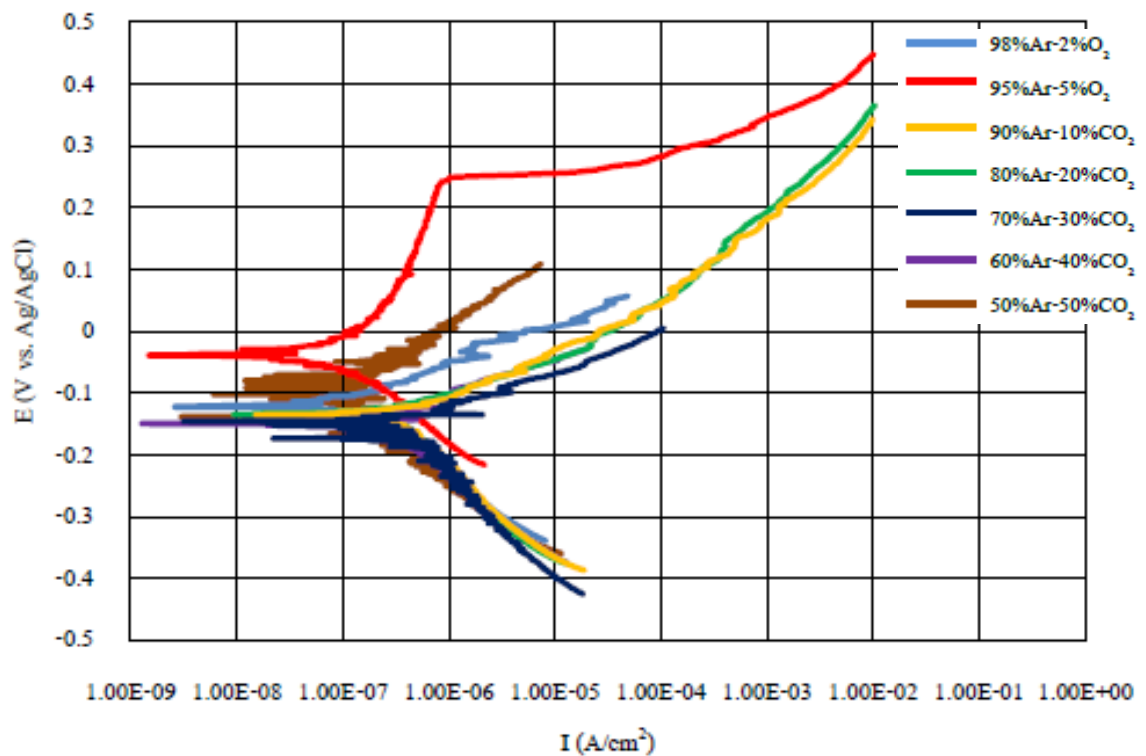
จากรูปที่ 4.14 – 4.15 เป็นการแสดงผลการทดสอบการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในแต่ละสภาวะการทดสอบของลวดทั้งสองชนิด จะเห็นว่าผลการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักเกิดตรงบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณขอบรอยเชื่อมกับชิ้นงาน ลักษณะรูของการกัดกร่อนจะพบว่ามีความถี่มากขึ้นเมื่อเป็นชิ้นงานที่มีการปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่มากขึ้น เมื่อทำการตัดชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการกัดกร่อนตามที่แสดงรูปที่ 4.16 – 4.17 จะเห็นว่าบริเวณที่พบการกัดกร่อนเมื่อมองจากภายนอกเป็นเพียงรูเล็กๆ แต่เมื่อดูภาพตัดขวางตรงบริเวณดังกล่าวจะมีการขยายตัวของรู จนกลายเป็นโพรงขนาดใหญ่อยู่ภายในบริเวณกระแทกร้อนและรอยเชื่อม บริเวณที่พบมากอยู่ที่บริเวณกระแทกร้อนของชิ้นงาน

4.3.2 ผลทดสอบการกัดกร่อนโดยเคมีไฟฟ้า

ผลการทดสอบการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi โดยใช้กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า สามารถแปลผลการทดสอบด้วยเส้นโค้งโพลาไรเซชันในรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 4.18 เส้นโค้งโพลาไรเซชันที่ได้จากการทดสอบการกัดกร่อนของรอยเชื่อม ER308



รูปที่ 4.19 เส้นโค้งโพลาริเซชันที่ได้จากการทดสอบการกัดกร่อนของรอยเชื่อม ER308LSi

จากรูป 4.18 และ 4.19 แสดงให้เห็นเส้นโค้งโพลาริเซชันของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ในสถานะแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ จากรูป 4.18 พบว่าในกรณีของรอยเชื่อม ER308 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำสุดเกิดขึ้นกับรอยเชื่อมในสถานะแก๊สปกคลุม 95%Ar – 5%O₂ และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนสูงสุดเกิดขึ้นที่สถานะ 90%Ar – 10%CO₂ ซึ่งหมายถึงที่สถานะ 95%Ar – 5%O₂ มีความไวต่อการกัดกร่อนสูงสุด ส่วนสถานะ 90%Ar – 10%CO₂ มีความไวต่อการกัดกร่อนต่ำสุด ในกรณีของรอยเชื่อม ER308LSi ในรูป 4.19 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำสุดเกิดขึ้นที่สถานะแก๊สปกคลุม 60%Ar – 40%CO₂ ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนสูงสุดเกิดขึ้นที่สถานะ 95%Ar – 5%O₂ ซึ่งหมายถึงความไวต่อการกัดกร่อนเกิดสูงสุดที่สถานะ 60%Ar – 40%CO₂ ส่วนสถานะ 95%Ar – 5%O₂ มีความไวต่อการกัดกร่อนต่ำสุด

จากเส้นโค้งโพลาริเซชันดังกล่าวสามารถหาค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน เพื่อนำมาคำนวณค่าอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมของแต่ละสถานะการทดสอบจากเครื่องมือวิเคราะห์ระบบวัดการกัดกร่อน PGSTAT 302N โดยแสดงผลในตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้าของรอยเชื่อม ER308

สภาวะแก๊สปกคลุม	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (V)	กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (A/cm ²)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)
98%Ar – 2%O ₂	-0.159	1.613×10^{-7}	1.693×10^{-3}
95%Ar – 5%O ₂	-0.268	6.897×10^{-7}	7.238×10^{-3}
90%Ar – 10%CO ₂	-0.071	1.219×10^{-7}	1.279×10^{-3}
80%Ar – 20%CO ₂	-0.171	1.420×10^{-7}	1.491×10^{-3}
70%Ar – 30%CO ₂	-0.183	4.215×10^{-7}	4.423×10^{-3}
60%Ar – 40%CO ₂	-0.110	1.769×10^{-7}	1.856×10^{-3}
50%Ar – 50%CO ₂	-0.115	2.208×10^{-7}	2.317×10^{-3}

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้าของรอยเชื่อม ER308LSi

สภาวะแก๊สปกคลุม	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (V)	กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (A/cm ²)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)
98%Ar – 2%O ₂	-0.119	1.386×10^{-7}	1.455×10^{-3}
95%Ar – 5%O ₂	-0.038	1.358×10^{-7}	1.425×10^{-3}
90%Ar – 10%CO ₂	-0.134	2.288×10^{-7}	2.378×10^{-3}
80%Ar – 20%CO ₂	-0.132	4.548×10^{-7}	4.772×10^{-3}
70%Ar – 30%CO ₂	-0.134	3.458×10^{-7}	3.629×10^{-3}
60%Ar – 40%CO ₂	-0.145	1.875×10^{-7}	1.968×10^{-3}
50%Ar – 50%CO ₂	-0.085	7.807×10^{-8}	8.192×10^{-4}

จากผลการทดสอบการกัดกร่อนของรอยเชื่อม ER308 ในตารางที่ 4.6 พบว่ารอยเชื่อมที่สภาวะ 95%Ar – 5%O₂ ให้อัตราการกัดกร่อนเกิดขึ้นสูงสุด ส่วนรอยเชื่อมที่สภาวะ 90%Ar – 10%CO₂ ให้อัตราการกัดกร่อนต่ำสุด ส่วนผลการทดสอบของรอยเชื่อม ER308LSi ในตารางที่ 4.7 พบว่ารอยเชื่อมที่สภาวะ 80%Ar – 20%CO₂ ให้อัตราการกัดกร่อนเกิดขึ้นสูงสุด ส่วนรอยเชื่อมที่สภาวะ 50%Ar – 50%CO₂ ให้อัตราการกัดกร่อนต่ำสุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมในแต่ละสภาวะการทดสอบของ ER308 และ ER308LSi พบว่าอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมในสภาวะมาตรฐานกับรอยเชื่อมที่มีการปรับเปลี่ยนแก๊สผสมมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราการกัดกร่อนระหว่างรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามในการทดสอบรอยเชื่อมด้วยเคมีไฟฟ้าในครั้งนี้ มีผลที่แตกต่างจากการทดสอบการกัดกร่อนตามวิธี ASTM G48 Method A เนื่องจากมีการกำหนดตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพียงครั้งเดียวในแต่ละรอยเชื่อม ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนแก่ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นมากกว่าการทดสอบซ้ำกันหลายครั้ง สำหรับเส้นโค้งโพลาริเซชันที่แสดงผลการวัดอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมถูกแสดงในภาคผนวก ก

4.4 ผลการทดสอบปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อม

ปริมาณเฟอร์ไรต์ที่ได้จากการทดสอบ เป็นค่าที่ได้จากการประมาณโดยใช้ส่วนผสมทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์ นำมาคำนวณค่าโครเมียมเทียบเท่า (Cr_{eq}) และนิเกิลเทียบเท่า (Ni_{eq}) ในสมการ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงในแผนภูมิไดอะแกรม WRC-1992 ผลการคำนวณค่าโครเมียมเทียบเท่าและนิเกิลเทียบเท่าแสดงในตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณเฟอร์ไรต์จากการเทียบค่าด้วยสมการถูกแสดงในตารางที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณเฟอร์ไรต์กับอัตราของ Cr_{eq}/Ni_{eq} แสดงในรูปที่ 4.20 – 4.21

ตารางที่ 4.8 ค่าโครเมียมและนิเกิลเทียบเท่าของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi

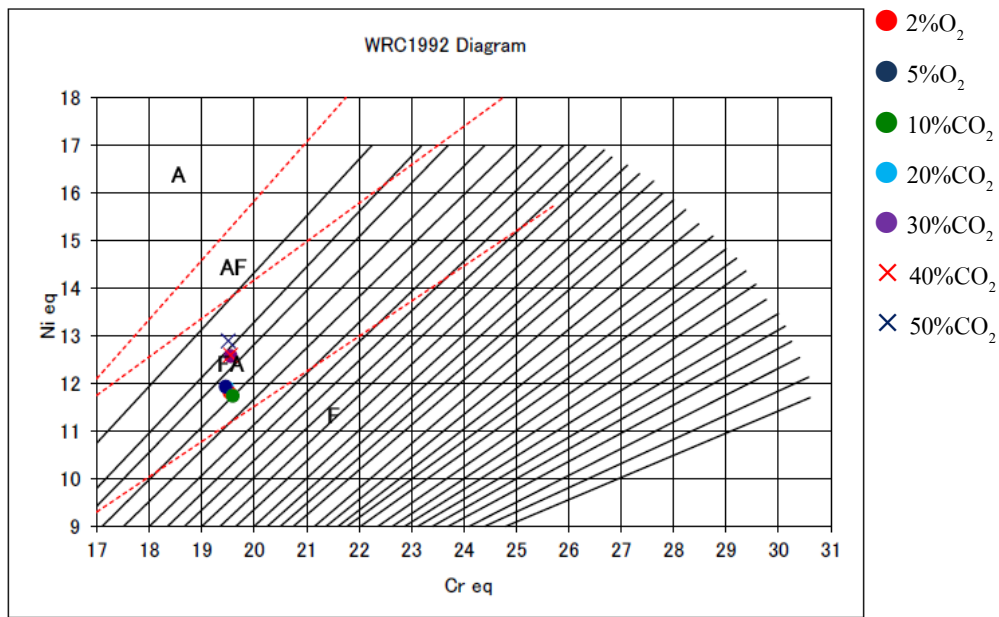
แก๊สปกคลุม	รอยเชื่อม ER308			รอยเชื่อม ER308LSi		
	Cr_{eq}	Ni_{eq}	Cr_{eq}/Ni_{eq}	Cr_{eq}	Ni_{eq}	Cr_{eq}/Ni_{eq}
98%Ar – 2%O ₂	19.53	11.80	1.66	19.55	11.62	1.68
95%Ar – 5%O ₂	19.46	11.93	1.63	19.30	11.52	1.68
90%Ar – 10%CO ₂	19.59	11.74	1.67	19.73	11.64	1.70
80%Ar – 20%CO ₂	19.49	11.90	1.64	19.49	11.73	1.66
70%Ar – 30%CO ₂	19.55	12.57	1.56	19.44	12.04	1.61
60%Ar – 40%CO ₂	19.55	12.59	1.55	19.37	11.93	1.62
50%Ar – 50%CO ₂	19.51	12.89	1.51	19.49	12.35	1.58

ตารางที่ 4.9 ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมจากการประมาณด้วยสมการ WRC-1992

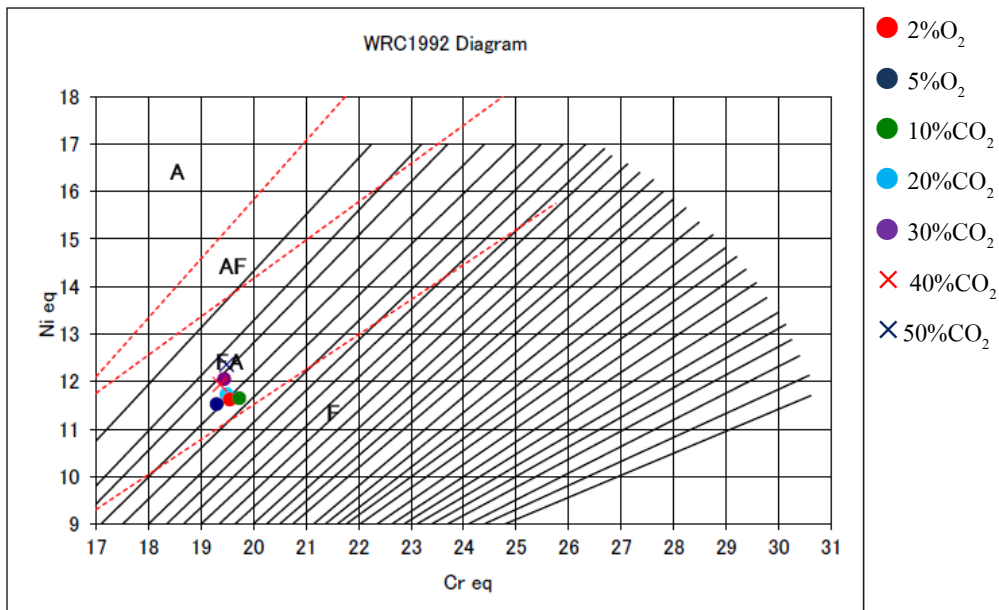
แก๊สปกคลุม	รอยเชื่อม ER308	รอยเชื่อม ER308LSi
98%Ar – 2%O ₂	7.5 FN	8.3 FN
95%Ar – 5%O ₂	6.9 FN	7.7 FN
90%Ar – 10%CO ₂	8.0 FN	9.0 FN
80%Ar – 20%CO ₂	7.1 FN	7.6 FN
70%Ar – 30%CO ₂	4.9 FN	6.4 FN
60%Ar – 40%CO ₂	4.7 FN	6.5 FN
50%Ar – 50%CO ₂	3.6 FN	5.5 FN

หมายเหตุ FN คือ Ferrite number

ตารางที่ 4.8 เป็นผลที่ได้จากการคำนวณค่าโครเมียมเทียบเท่าและนิเกิลเทียบเท่าจากสมการ (3.3) และ (3.4) ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นสมการที่แสดงอยู่ในไดอะแกรม WRC-1992 ผลที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวถูกนำไปใช้ในการกำหนดจุดเพื่อหาค่าเฟอร์ไรต์ จากผลการคำนวณพบว่าอัตราเทียบเท่าระหว่างค่าโครเมียมเทียบเท่ากับนิเกิลเทียบเท่าของชิ้นงานที่มีการเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นส่งผลให้ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มที่ลดลง สำหรับตารางที่ 4.9 เป็นผลการคำนวณโดยอาศัยโปรแกรมคำนวณค่าเฟอร์ไรต์ที่ถูกคิดค้นโดยบริษัทโกเบ สตีล จำกัด โดยอ้างอิงตามสมการของค่าโครเมียมเทียบเท่าและนิเกิลเทียบเท่าในไดอะแกรม WRC-1992 ผลจากตารางทั้งสองพบว่า อัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมและนิเกิลที่ลดลงทำให้ค่าเฟอร์ไรต์มีปริมาณที่ลดลงเช่นเดียวกัน โดยที่ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมที่พบน้อยที่สุดอยู่ในสถานะที่ใช้แก๊สผสม 50%Ar – 50%CO₂ ของลวดทั้งสองชนิด ส่วนสถานะแก๊สผสม 90%Ar – 10%CO₂ ให้ผลของปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมมากที่สุด



รูปที่ 4.20 ผลการคำนวณปริมาณเฟอร์ไรต์ในไดอะแกรม WRC-1992 ของรอยเชื่อม ER308



รูปที่ 4.21 ผลการคำนวณปริมาณเฟอร์ไรต์ในไดอะแกรม WRC-1992 ของรอยเชื่อม ER308LSi

รูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นรูปที่ได้จากโปรแกรมการคำนวณโดยอ้างอิงไดอะแกรม WRC-1992 ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวถูกคิดค้นโดยบริษัท โกเบ สตีล จำกัด จากผลที่ได้จากการกำหนดจุดที่เกิดขึ้นในไดอะแกรม WRC-1992 ของลวดทั้งสองชนิดพบว่าทุกจุดที่ได้จากสภาวะการทดสอบตกอยู่ในบริเวณที่มีโครงสร้างเฟอร์ไรต์กับออสเทนไนต์ (FA) ทั้งหมด

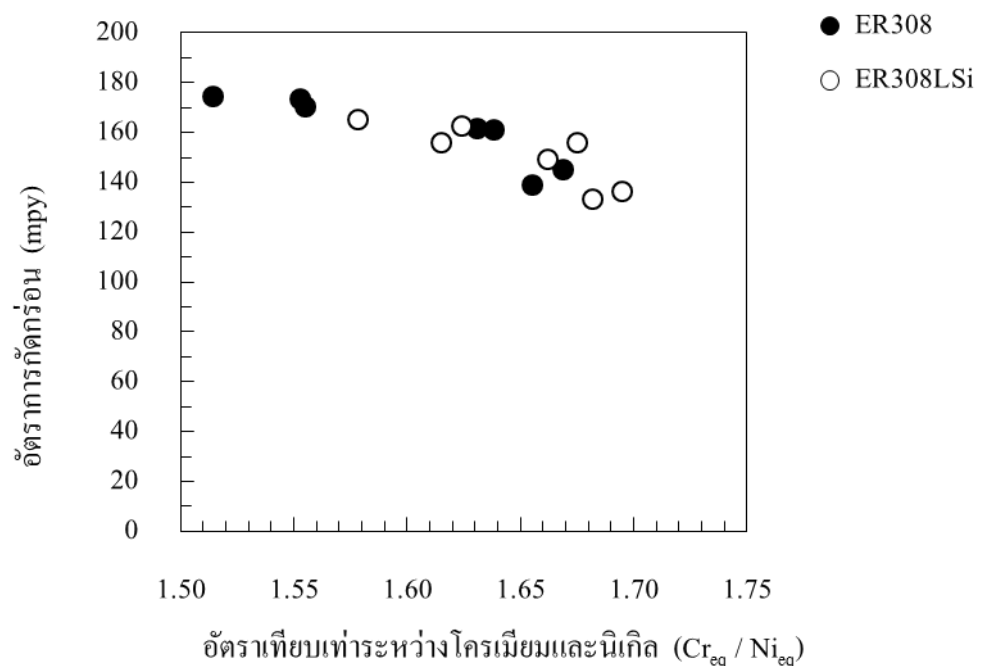
4.4.1 การอธิบายความสามารถต่อความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม

4.4.1.1 ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมกับอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิล

จากส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อมที่ได้จากการปรับสัดส่วนแก๊สผสมของปกคลุมรอยเชื่อมตามข้อ 3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของธาตุเกิดขึ้นในรอยเชื่อม ซึ่งส่วนผสมทางเคมีดังกล่าวมีผลต่ออัตราเทียบเท่าของโครเมียมกับนิกเกิลตามสมการที่ระบุในบททฤษฎี อัตราดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม สามารถจำแนกความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ผลของความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมทั้ง ER308 และ ER308LSi ต่างลดลง เมื่อมีอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิลลดลง
2. อัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิลจากรอยเชื่อม ER308 มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากรอยเชื่อม ER308LSi เนื่องจากผลของส่วนผสมทางเคมีที่เกี่ยวข้องในรอยเชื่อม ER308 มีปริมาณน้อยกว่า ดังนั้นความสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม ER308 จึงมีน้อยกว่า ER308LSi

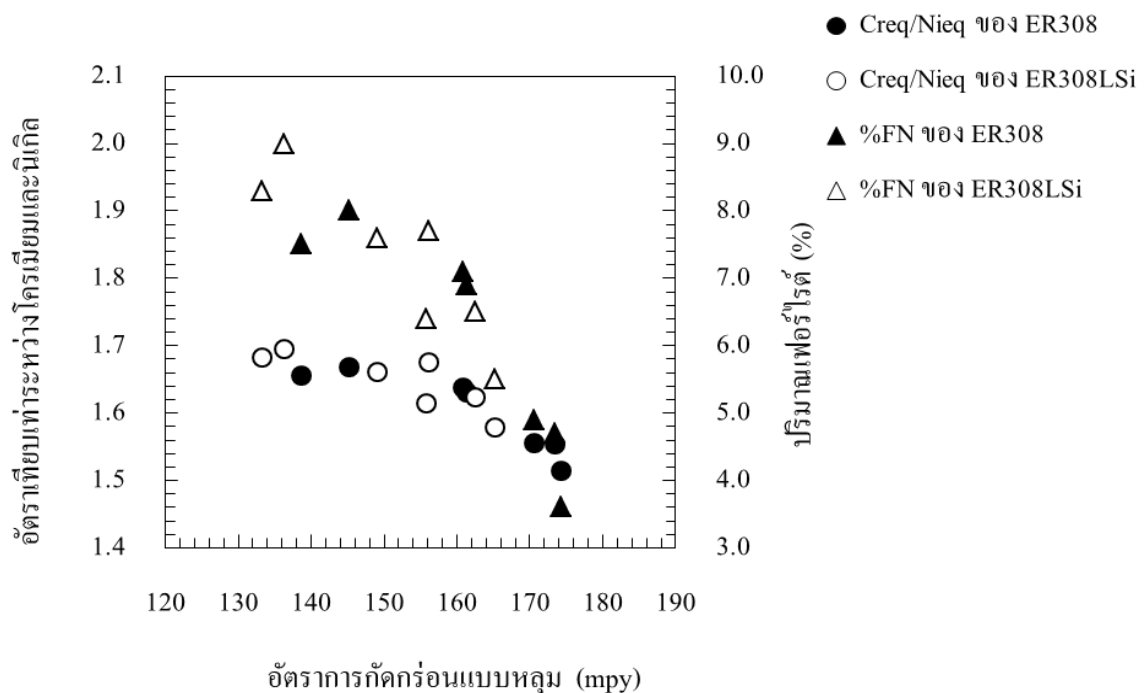
ความสัมพันธ์ของผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิลต่อความสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมในรอยเชื่อมถูกแสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการกัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิล

4.4.1.2 ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมต่อปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมและอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิล จากผลการทดสอบได้อาศัยส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อมกับอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมและนิกเกิล และปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมโดยอาศัยไดอะแกรม WRC-1992 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อม พบว่า

1. การเพิ่มปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ปกคลุมรอยเชื่อม ส่งผลให้อัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมและนิกเกิลลดลง ตามการเปลี่ยนส่วนผสมทางเคมีของรอยเชื่อม
2. ปริมาณการลดลงของอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมและนิกเกิล ส่งผลให้ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมมีแนวโน้มลดลง
3. อัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิกเกิล และปริมาณเฟอร์ไรต์ที่ลดลงมีแนวโน้มทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของรอยเชื่อมลดลง ความสัมพันธ์ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถแสดงในรูปที่ 4.23



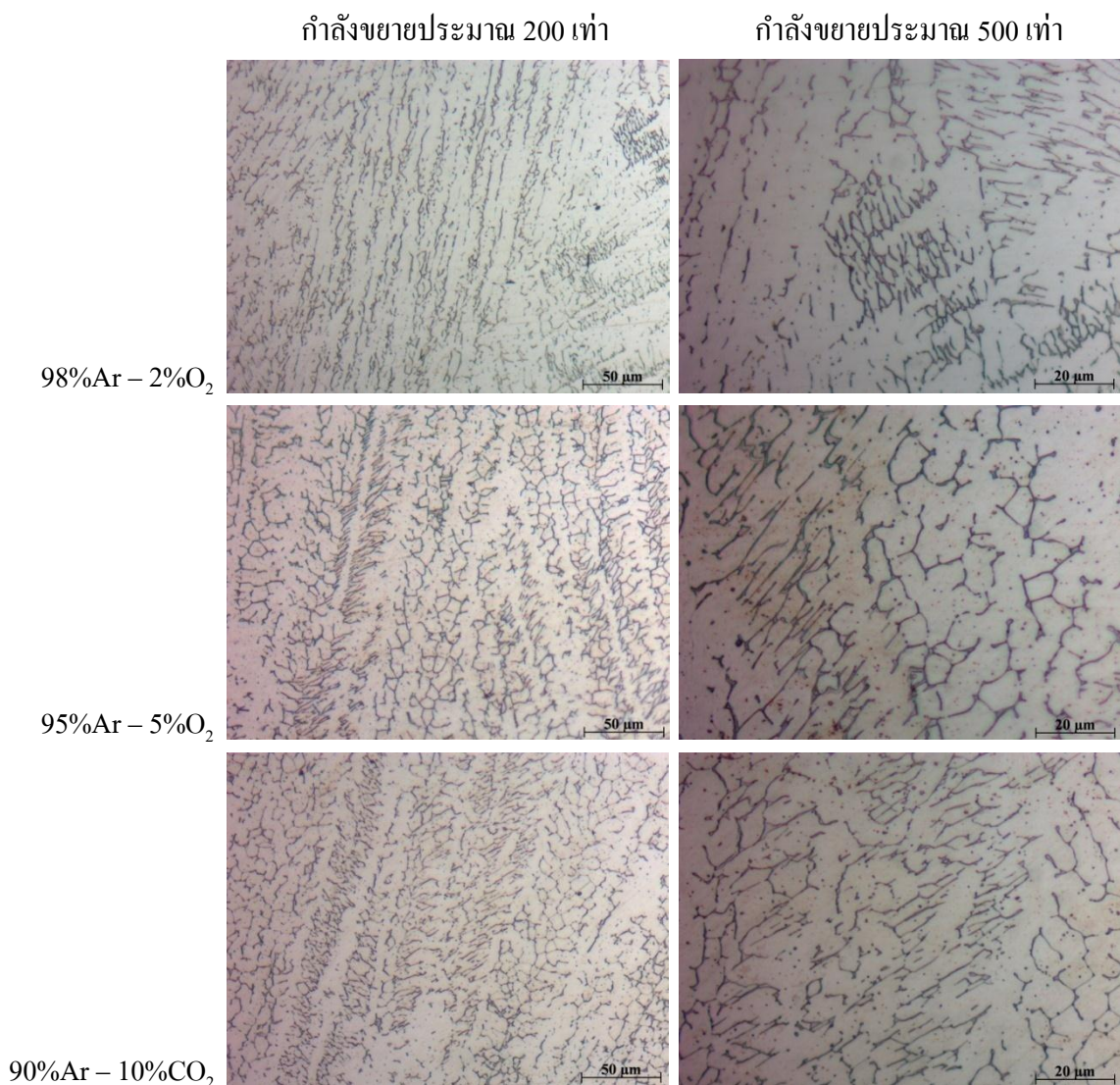
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมต่ออัตราเทียบเท่าของโครเมียมกับนิกเกิลและปริมาณเฟอร์ไรต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดแก๊สผสมในรอยเชื่อม

4.5 ผลการทดสอบโครงสร้าง

4.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การทดสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ในสภาพแก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ กำหนดให้บริเวณตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเป็นบริเวณกึ่งกลางของรอยเชื่อม โดยใช้กำลังขยายประมาณ 200 และ 500 เท่า ผลการตรวจสอบโครงสร้างที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ถูกแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ

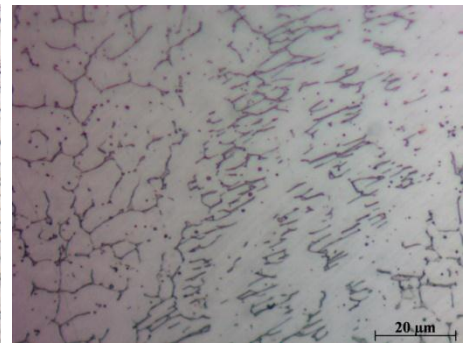
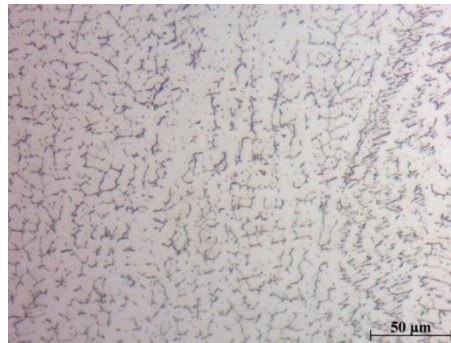
โครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อม ER308



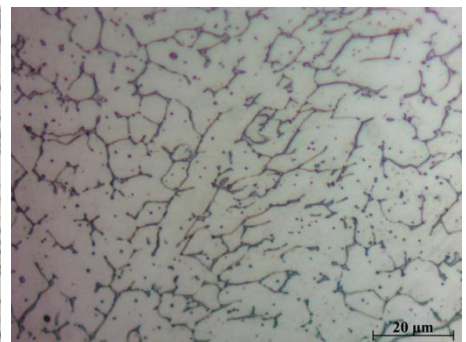
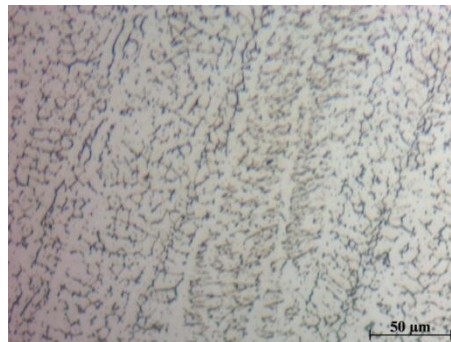
กำลังขยายประมาณ 200 เท่า

กำลังขยายประมาณ 500 เท่า

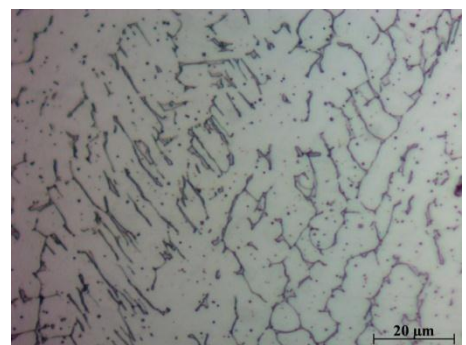
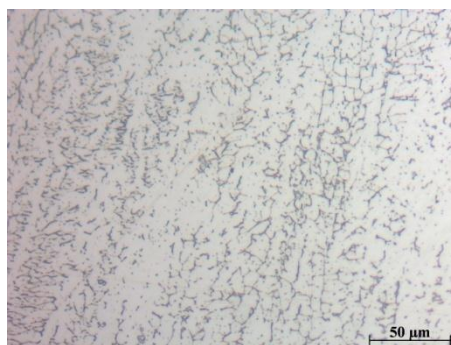
80%Ar – 20%CO₂



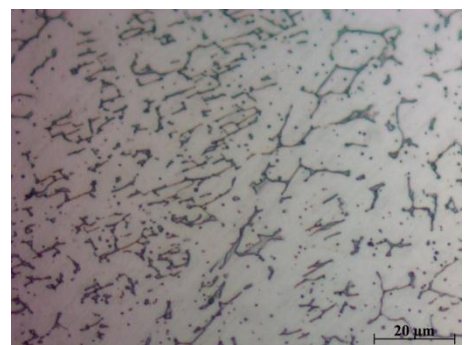
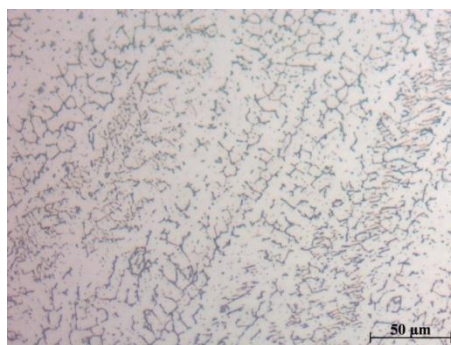
70%Ar – 30%CO₂



60%Ar – 40%CO₂



50%Ar – 50%CO₂



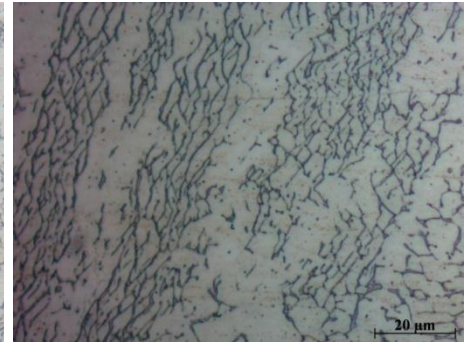
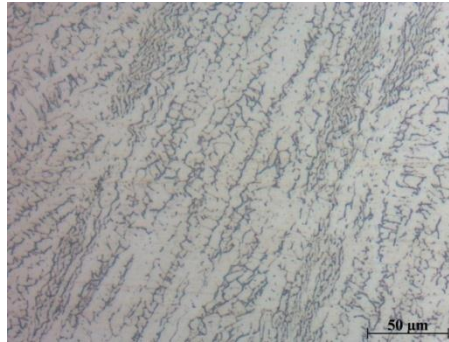
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ER308 ตามสถานะแก๊สปกคลุมต่างๆ

โครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อม ER308LSi

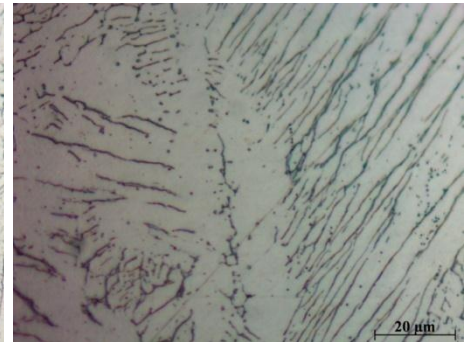
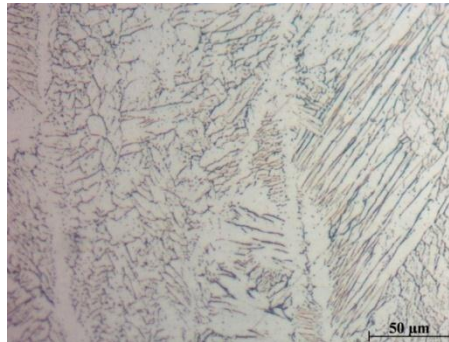
กำลังขยายประมาณ 200 เท่า

กำลังขยายประมาณ 500 เท่า

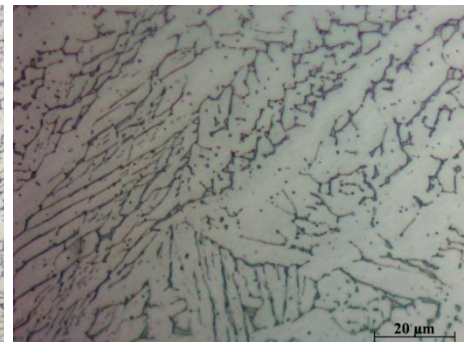
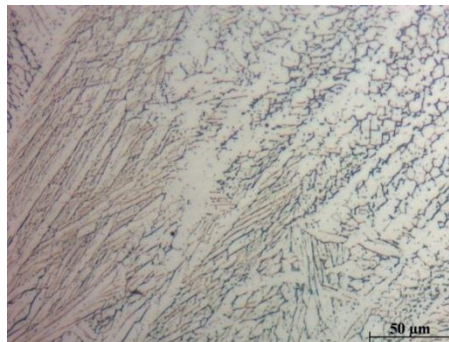
98%Ar – 2%O₂



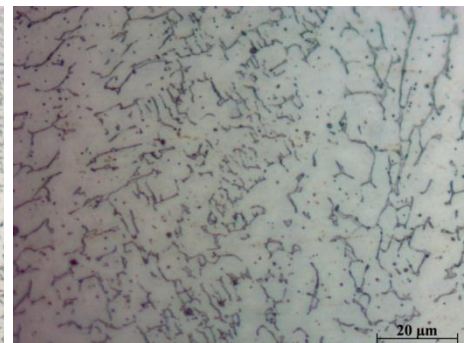
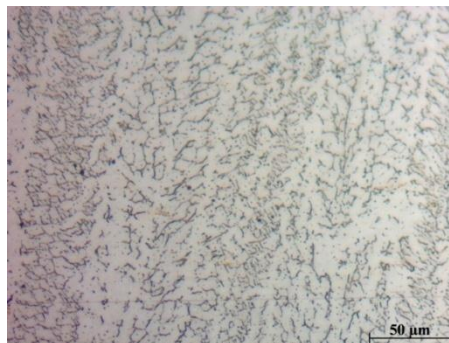
95%Ar – 5%O₂

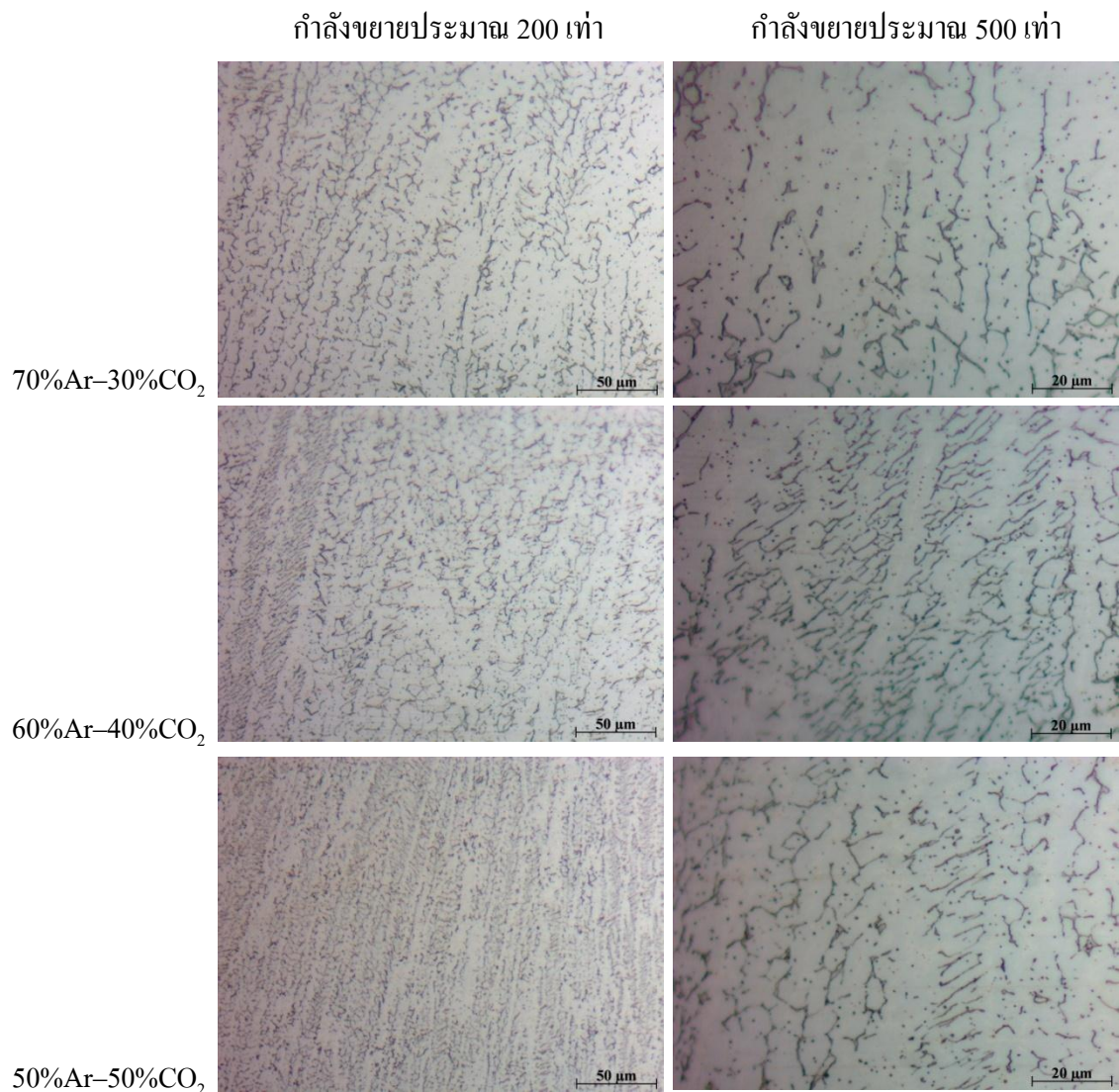


90%Ar – 10%CO₂



80%Ar–20%CO₂





รูปที่ 4.25 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ER308LSi ตามสภาวะแก๊สปกคลุมต่างๆ

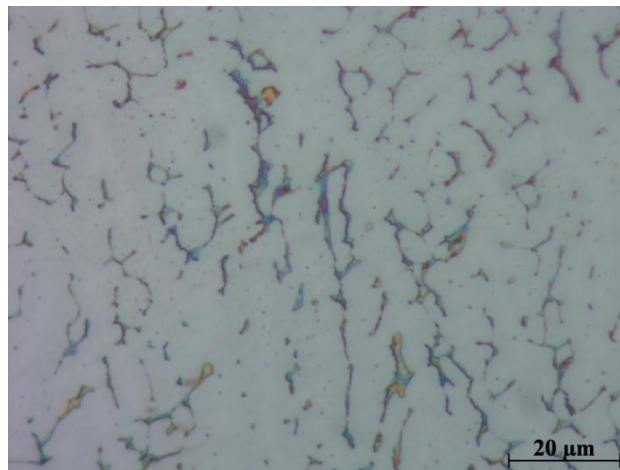
รูปที่ 4.24 และ 4.25 เป็นการแสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ปรากฏทั้งหมดประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนต์ที่มีพื้นเป็นสีขาว และโครงสร้างเฟอร์ไรต์ที่มีลักษณะเป็นเส้นสีดำ ลักษณะโครงสร้างที่พบในรอยเชื่อมของแต่ละสภาวะแก๊สปกคลุมไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ลักษณะโครงสร้างเฟอร์ไรต์ที่ปรากฏในแต่ละสภาวะการทดสอบเป็นชนิด FA ที่มี Skeletal ferrite และ Acicular ferrite ผสมกัน อย่างก็ตามโครงสร้างทั้งหมดที่ได้จากการกัดกรดด้วยวิธีปกติ ไม่สามารถทำการยืนยันการปรากฏของเฟสซิเมนต์ในโครงสร้างจุลภาคได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยการกัดกรดด้วยวิธีการย้อมสีโครงสร้าง เพื่อทำการจำแนกโครงสร้างเฟสซิเมนต์ออกมา

4.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยวิธีการย้อมสี

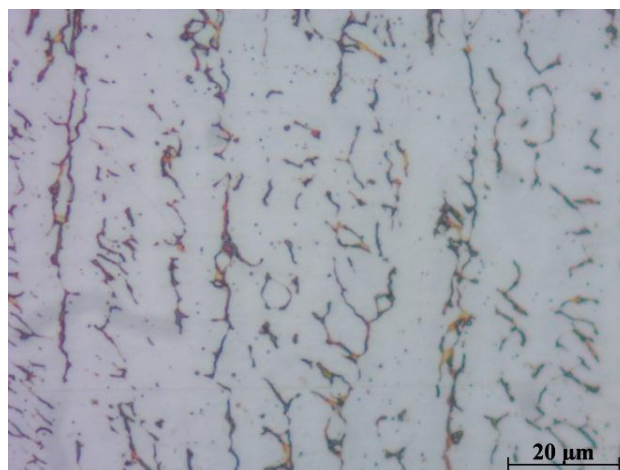
เนื่องจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อมแบบปกติ ไม่สามารถทำการจำแนกชนิดโครงสร้างที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้อย่างชัดเจนจึงจำเป็นต้องมีการจำแนกโครงสร้างที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการย้อมสีโครงสร้าง ด้วยการเปรียบเทียบสีโครงสร้างที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างที่ระบุในมาตรฐาน ASM (Metallography and Microstructures) ฉบับที่ 9 เพื่อเป็นการยืนยันโครงสร้างที่เกิดขึ้นจริง โดยผลทดสอบการย้อมสีโครงสร้างรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi แสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

รอยเชื่อม ER308

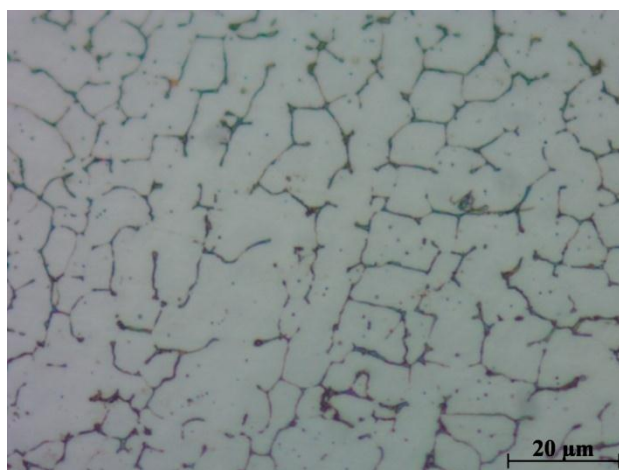
98%Ar-2%O₂



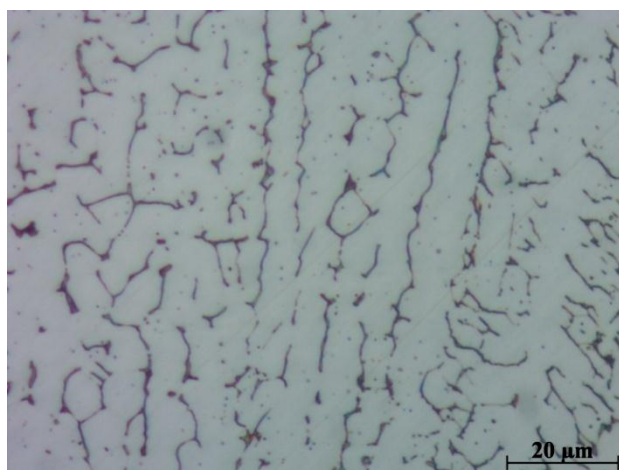
95%Ar-5%O₂



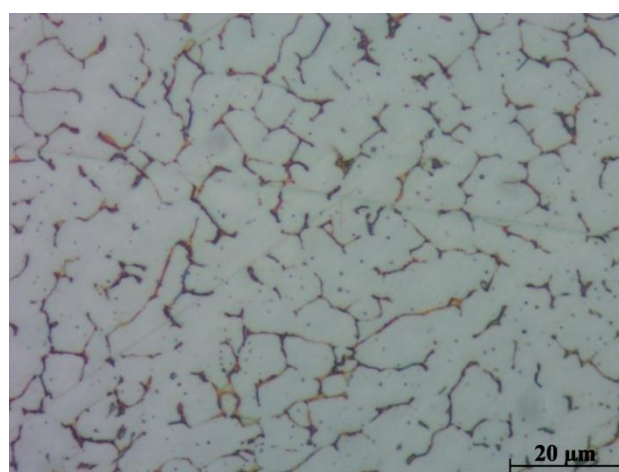
90%Ar-10%CO₂



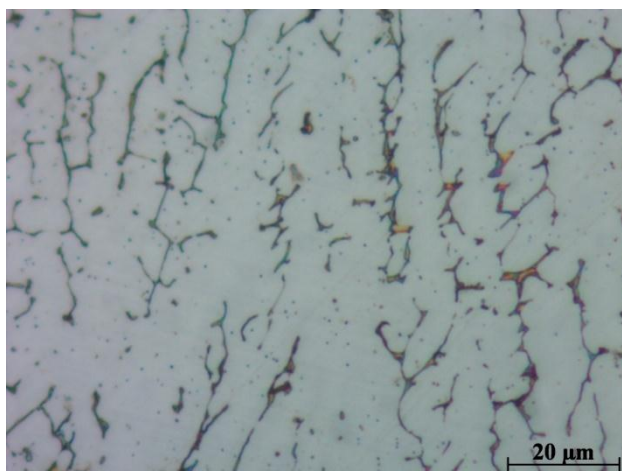
80%Ar-20%CO₂



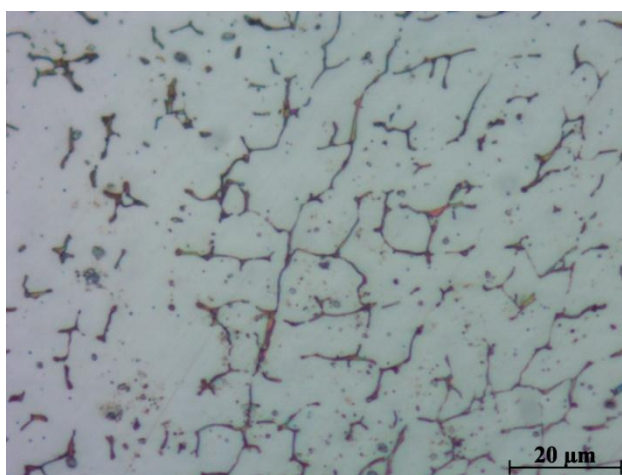
70%Ar-30%CO₂



60%Ar-40%CO₂



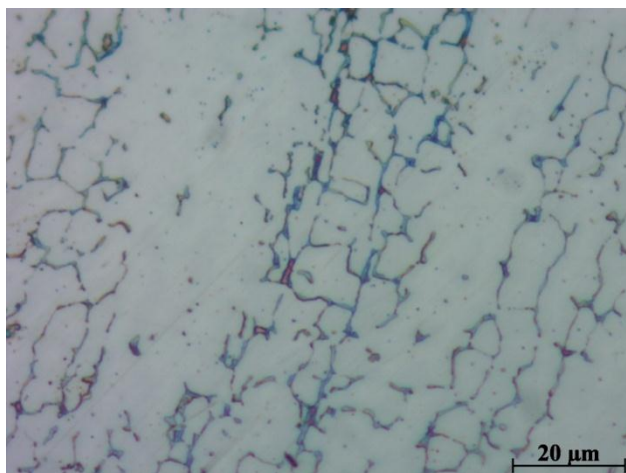
50%Ar-50%CO₂



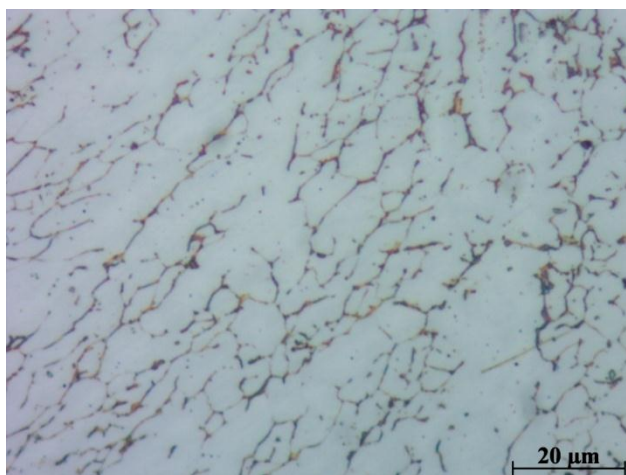
รูปที่ 4.26 โครงสร้างรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด ER308 ที่กำลังขยายประมาณ 500 เท่าโดยใช้ Modified Murakami's reagent ที่อุณหภูมิ 90 – 100°C เป็นเวลา 10 วินาที บริเวณสีเทา-ฟ้า แสดง เคลด้าเฟอร์ไรต์ สีส้มแสดงเฟสซิกม่า โดยมีสีขาวของออสเทนไนต์เป็นแมทริกซ์

รอยเชื่อม ER308LSi

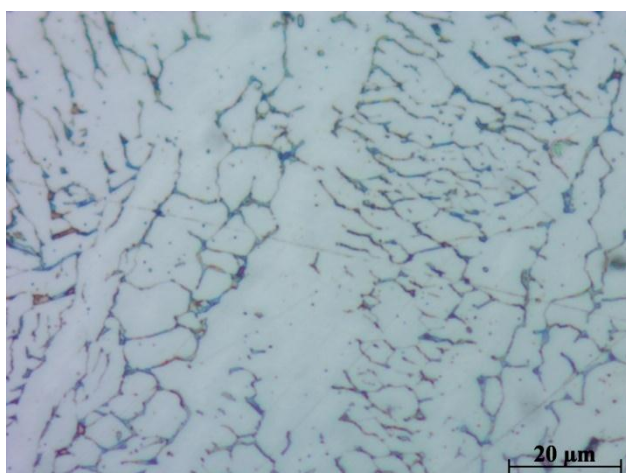
98%Ar-2%O₂



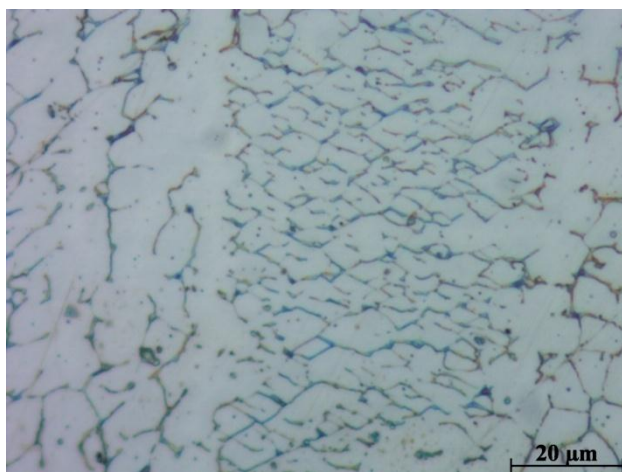
95%Ar-5%O₂



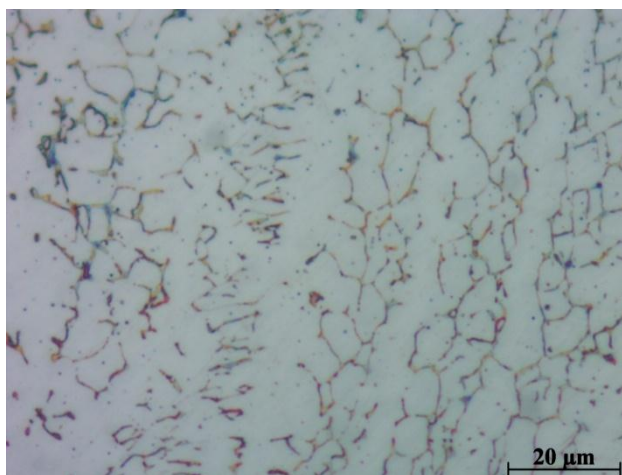
90%Ar-10%CO₂



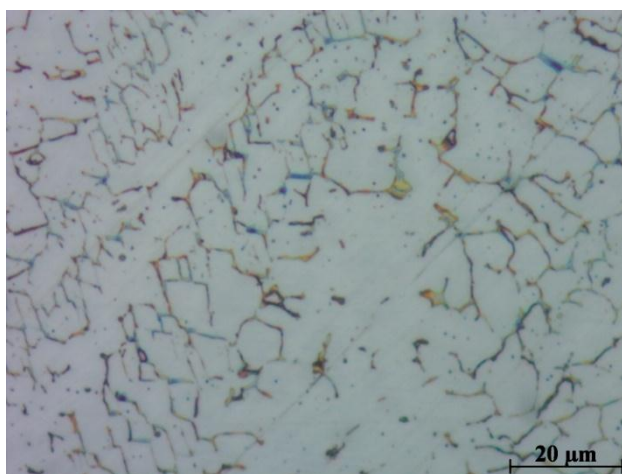
80%Ar-20%CO₂

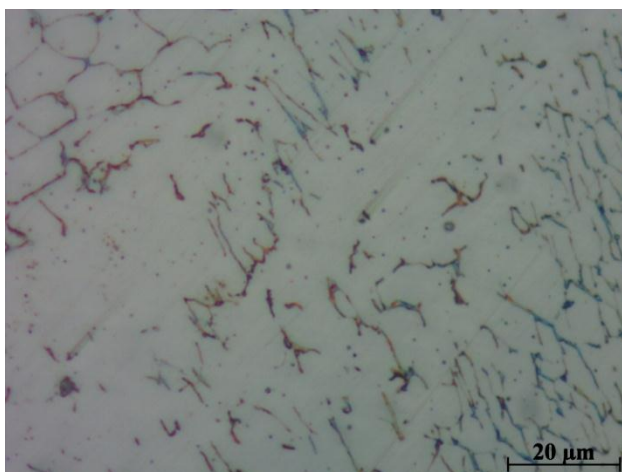


70%Ar-30%CO₂



60%Ar-40%CO₂



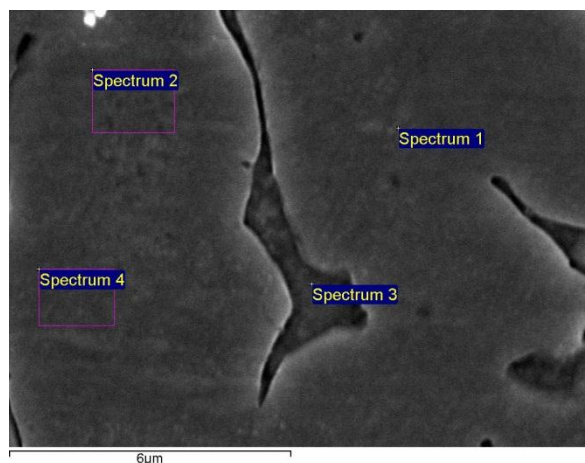
50%Ar-50%CO₂

รูปที่ 4.27 โครงสร้างรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด ER308LSi ที่กำลังขยายประมาณ 500 เท่าโดยใช้ Modified Murakami's reagent ที่อุณหภูมิ 90 – 100°C เป็นเวลา 10 วินาที บริเวณสีเทา-ฟ้า แสดงเคลด้าเฟอร์ไรต์ สีส้มแสดงเฟสซิกม่า โดยมีสีขาวของออสเทนไนต์เป็นแมทริกซ์

รูปที่ 4.26 และ 4.27 เป็นรูปโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ที่ผ่านการย้อมสี โครงสร้าง จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเฟสซิกม่า (สีส้ม) เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมในทุกๆสถานะแก๊สปกคลุม โดยเฟสซิกม่าที่พบมีลักษณะกระจายไปตามบริเวณสัมผัสระหว่างโครงสร้างเฟอร์ไรต์ (สีฟ้า) กับ ออสเทนไนต์ (สีขาว) เมื่อพิจารณาที่สถานะแก๊สปกคลุมมาตรฐาน (98%Ar – 2%O₂) กับสถานะแก๊สปกคลุม 90%Ar – 10%CO₂ ของรอยเชื่อมทั้งสองชนิด พบว่าค่อนข้างมีปริมาณเฟสซิกม่ากระจายตัว น้อยกว่าสถานะแก๊สปกคลุมอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่มีการผสมปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ที่มาก อย่างไรก็ตามในการทดสอบไม่สามารถทำการกำหนดปริมาณเฟสซิกม่าที่ เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

4.5.3 การตรวจสอบความแตกต่างของโครงสร้างโดยเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

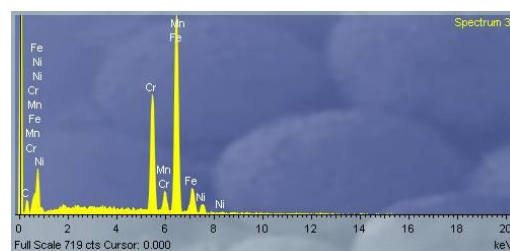
เนื่องจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อม จำเป็นต้องมีการจำแนกความแตกต่างที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง การใช้เครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) จึงถูกกระทำเพื่อเป็นการยืนยันลักษณะที่แตกต่างกันของรอยเชื่อม ในการทดสอบได้นำตัวอย่างรอย เชื่อม ER308 และ ER308LSi ที่ใช้แก๊สปกคลุม 98%Ar – 2%O₂ และ 90%Ar – 10%CO₂ เป็นตัวแทน ในการทดสอบ โครงสร้างที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi แสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



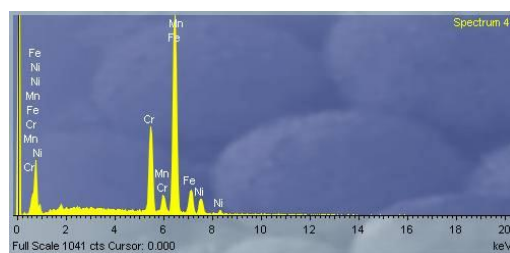
ส่วนผสมทางเคมีในโครงสร้าง(wt%)

ตำแหน่ง	Cr	Ni	Mn	Fe
Spectrum 3	22.92	4.94	1.55	59.98
Spectrum 4	19.39	8.92	1.44	70.25

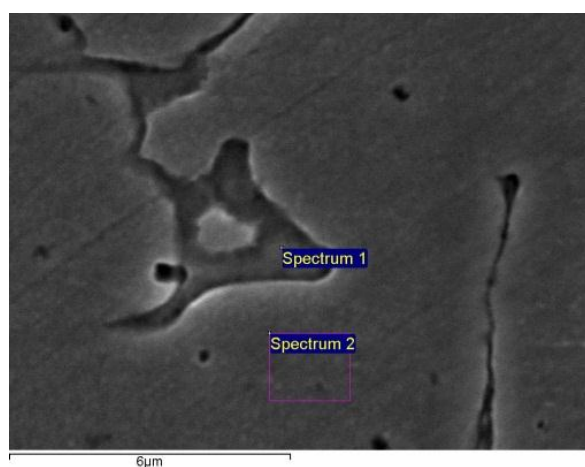
Spectrum 3



Spectrum 4



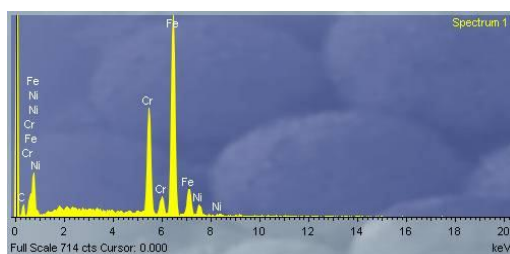
(A)



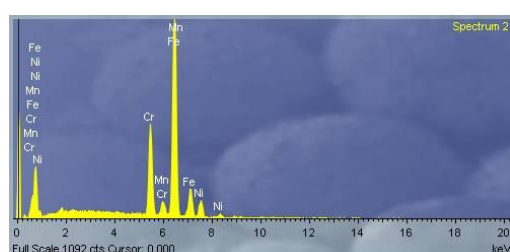
ส่วนผสมทางเคมีในโครงสร้าง(wt%)

ตำแหน่ง	Cr	Ni	Mn	Fe
Spectrum 1	22.87	5.99	-	71.14
Spectrum 2	18.97	9.30	1.36	70.36

Spectrum 1

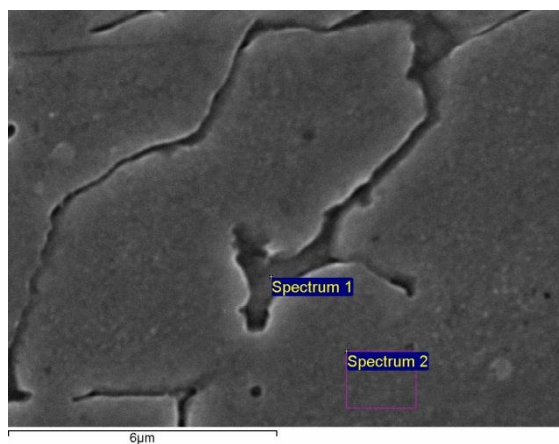


Spectrum 2



(B)

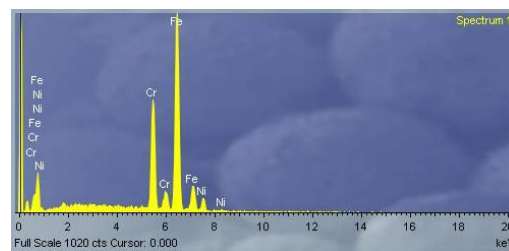
รูปที่ 4.28 โครงสร้างและส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อม ER308 เมื่อ (A) รอยเชื่อมที่ใช้ 98%Ar – 2%O₂ เป็นแก๊สปกคลุมและ (B) รอยเชื่อมที่ใช้ 90%Ar – 10%CO₂ เป็นแก๊สปกคลุม



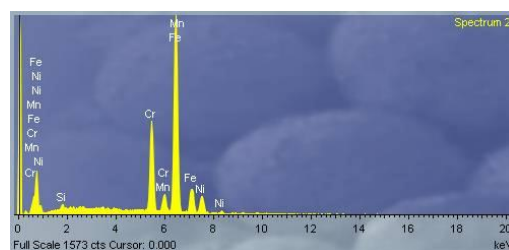
ส่วนผสมทางเคมีในโครงสร้าง(wt%)

ตำแหน่ง	Cr	Ni	Mn	Fe
Spectrum 1	24.72	6.87	-	68.42
Spectrum 2	19.55	9.73	1.80	68.32

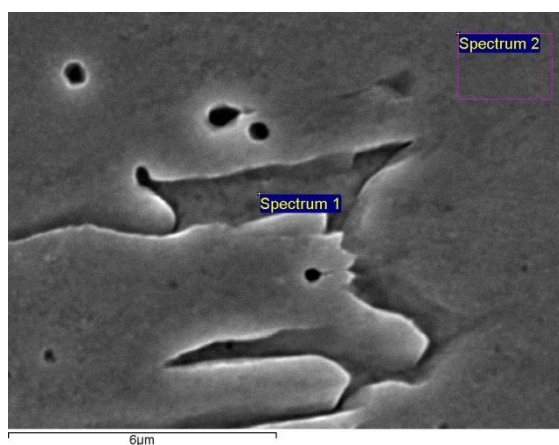
Spectrum 1



Spectrum 2



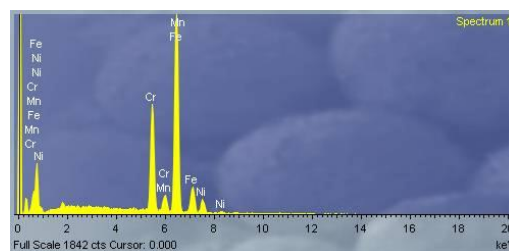
(A)



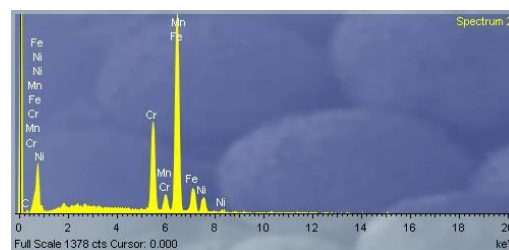
ส่วนผสมทางเคมีในโครงสร้าง(wt%)

ตำแหน่ง	Cr	Ni	Mn	Fe
Spectrum 1	22.31	7.40	1.48	68.80
Spectrum 2	19.00	8.54	1.89	67.42

Spectrum 1



Spectrum 2



(B)

รูปที่ 4.29 โครงสร้างและส่วนผสมทางเคมีในรอยเชื่อม ER308LSi เมื่อ (A) รอยเชื่อมที่ใช้ 98%Ar – 2%O₂ เป็นแก๊สปกคลุมและ (B) รอยเชื่อมที่ใช้ 90%Ar – 10%CO₂ เป็นแก๊สปกคลุม

รูปที่ 4.28 และ 4.29 แสดงให้เห็นความแตกต่างของบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งบริเวณ Spectrum 1 (Spectrum 3 รูป (A) ของรอยเชื่อม ER308) เป็นบริเวณที่ถูกพิจารณาเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์ที่ได้จากการกัดกรดสำหรับการตรวจสอบจุลโครงสร้าง ส่วนบริเวณ Spectrum 2 (Spectrum 4 รูป (A) ของรอยเชื่อม ER308) ที่กำหนดเป็นบริเวณโครงสร้างออสเตนไนต์นั้น ต่างมีความความแตกต่างกันในส่วนผสมทางเคมี กล่าวคือ บริเวณโครงสร้างที่กำหนดเป็นเฟอร์ไรต์จะมีธาตุโครเมียมสูงกว่าบริเวณโครงสร้างออสเตนไนต์ ในทางตรงข้ามบริเวณโครงสร้างเฟอร์ไรต์กลับมีปริมาณธาตุไนเกิลที่น้อยกว่า ซึ่งรอยเชื่อมทั้งสองชนิดมีทิศทางของปริมาณธาตุผสมในโครงสร้างในทิศทางเดียวกัน หากพิจารณาปริมาณธาตุผสมที่อยู่ในโครงสร้างของรอยเชื่อมทั้งสองสภาวะพบว่าปริมาณธาตุโครเมียมที่ตกค้างในรอยเชื่อมที่ได้จากแก๊สผสม $90\%Ar - 10\%CO_2$ มีปริมาณน้อยกว่าแก๊สผสม $98\%Ar - 2\%O_2$

4.5.4 การอภิปรายผลการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะโครงสร้างรอยเชื่อม

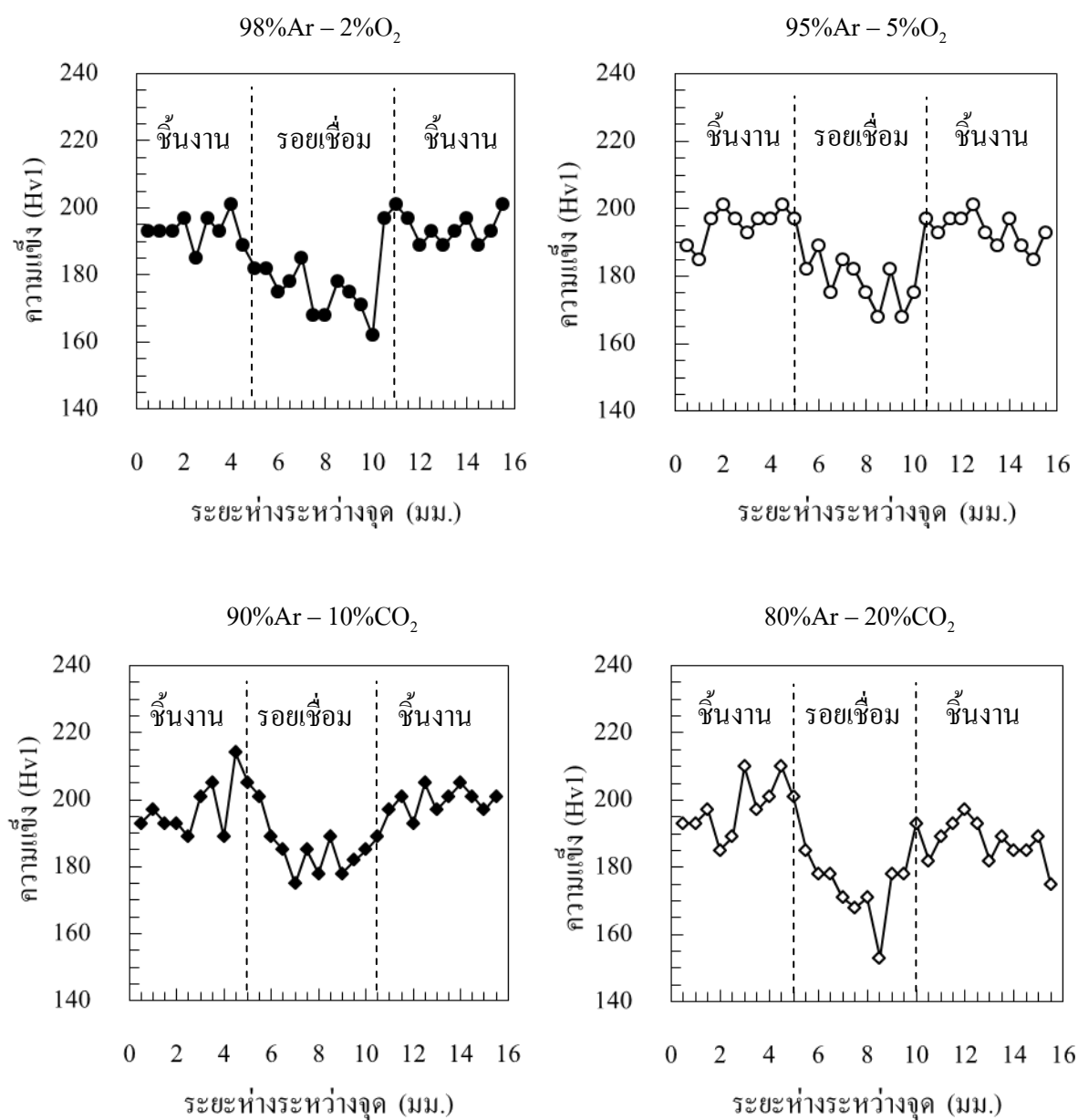
โครงสร้างรอยเชื่อมของลวดทั้ง ER308 และ ER308LSi ที่ได้จากการปรับสัดส่วนชนิดของแก๊สผสม ทั้งการเพิ่มขึ้นของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรอยเชื่อมที่ได้ทั้งหมดประกอบด้วยโครงสร้างออสเตนไนต์ เฟอร์ไรต์ และเฟสซิกม่า สำหรับโครงสร้างเฟอร์ไรต์ที่พบมีลักษณะเป็นแบบ FA เมื่อพิจารณาตามส่วนผสมของโครเมียมและไนเกิลตามที่ระบุในรูป 2.4

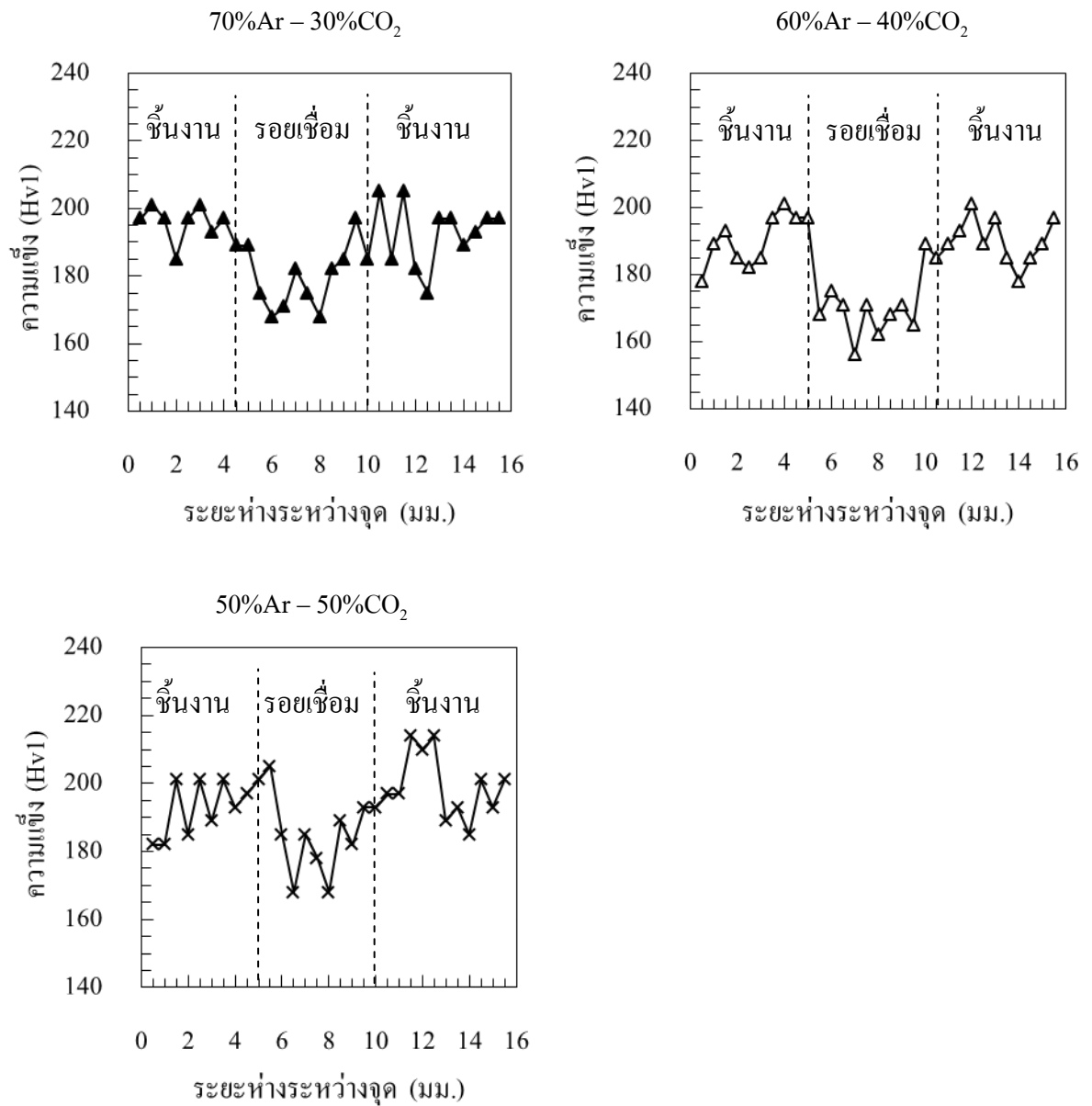
ในการพิจารณาเฟสซิกม่าที่เกิดขึ้นภายในรอยเชื่อมหลัก ER308 และ ER308LSi การใช้สารละลายกรดปกติเพื่อจำแนกโครงสร้างจุลภาคนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากลักษณะที่ปรากฏของเฟสซิกม่ากับโครงสร้างเฟอร์ไรต์ไม่มีความแตกต่างกัน การจำแนกจึงต้องอาศัยสารละลายกรดที่ได้จาก Modified Murakami's reagent จึงจะจำแนกออกมาได้ โดยเฟสซิกม่าจะปรากฏเป็นสีส้ม ส่วนโครงสร้างเฟอร์ไรต์จะแสดงออกมาเป็นสีฟ้า สำหรับลักษณะการกระจายตัวของเฟสซิกม่าที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ต่างมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจะมีการกระจายตัวของเฟสซิกม่าสูงขึ้น บริเวณที่พบเฟสซิกม่าอยู่ในบริเวณสัมผัสระหว่างโครงสร้างออสเตนไนต์กับโครงสร้างเฟอร์ไรต์

4.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงรอยเชื่อม

ผลทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมทั้งชนิด ER308 และ ER308LSi ด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ แสดงในรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงของรอยเชื่อมทั้งสองชนิดถูกแสดงในรูปที่ 4.32

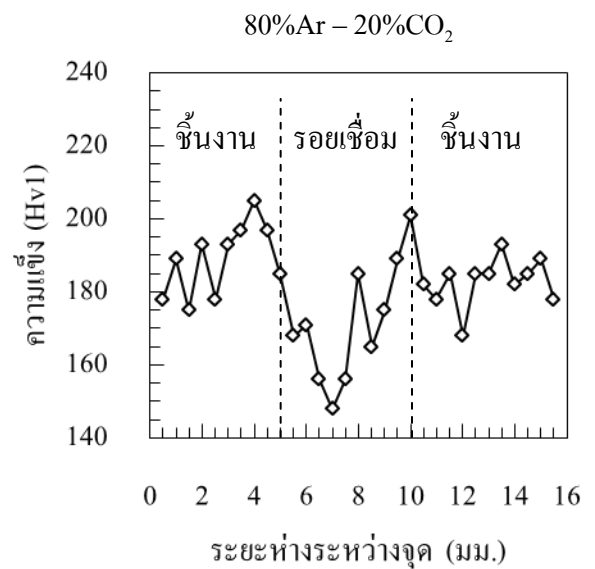
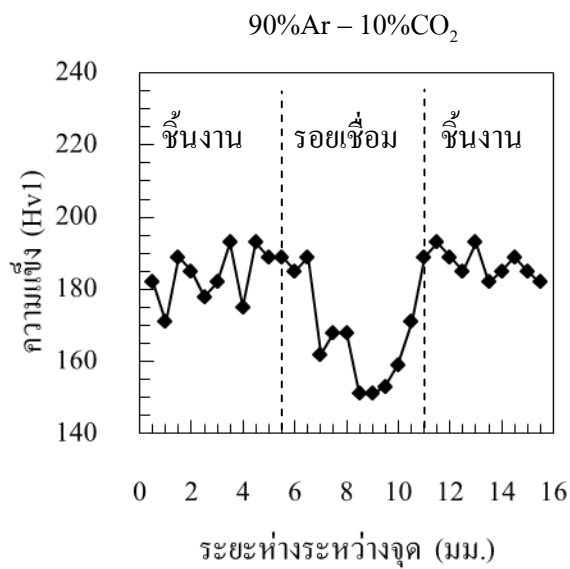
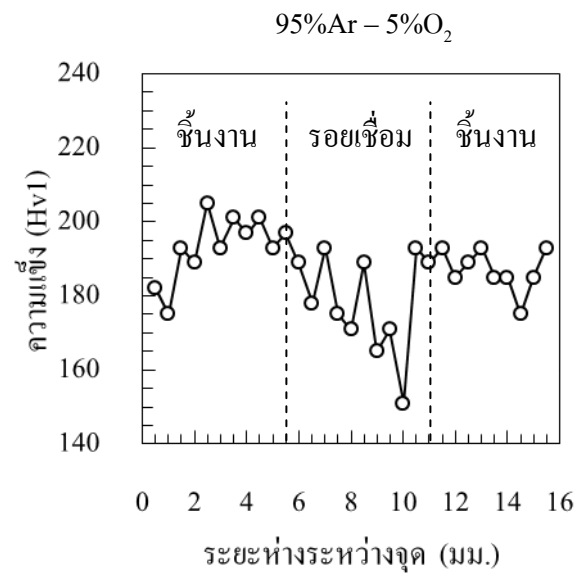
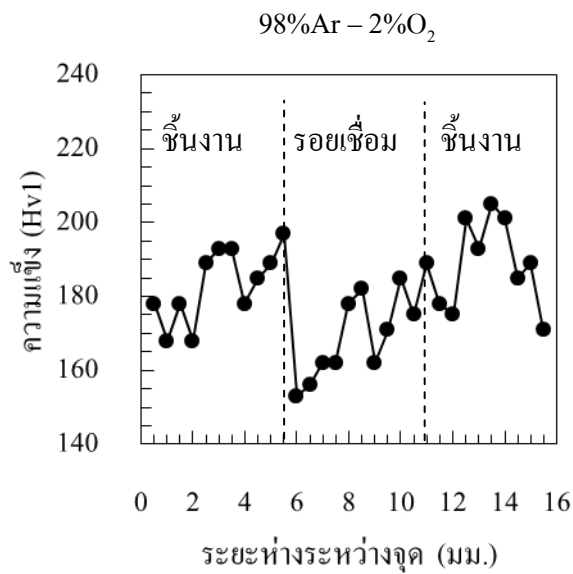
รอยเชื่อม ER308

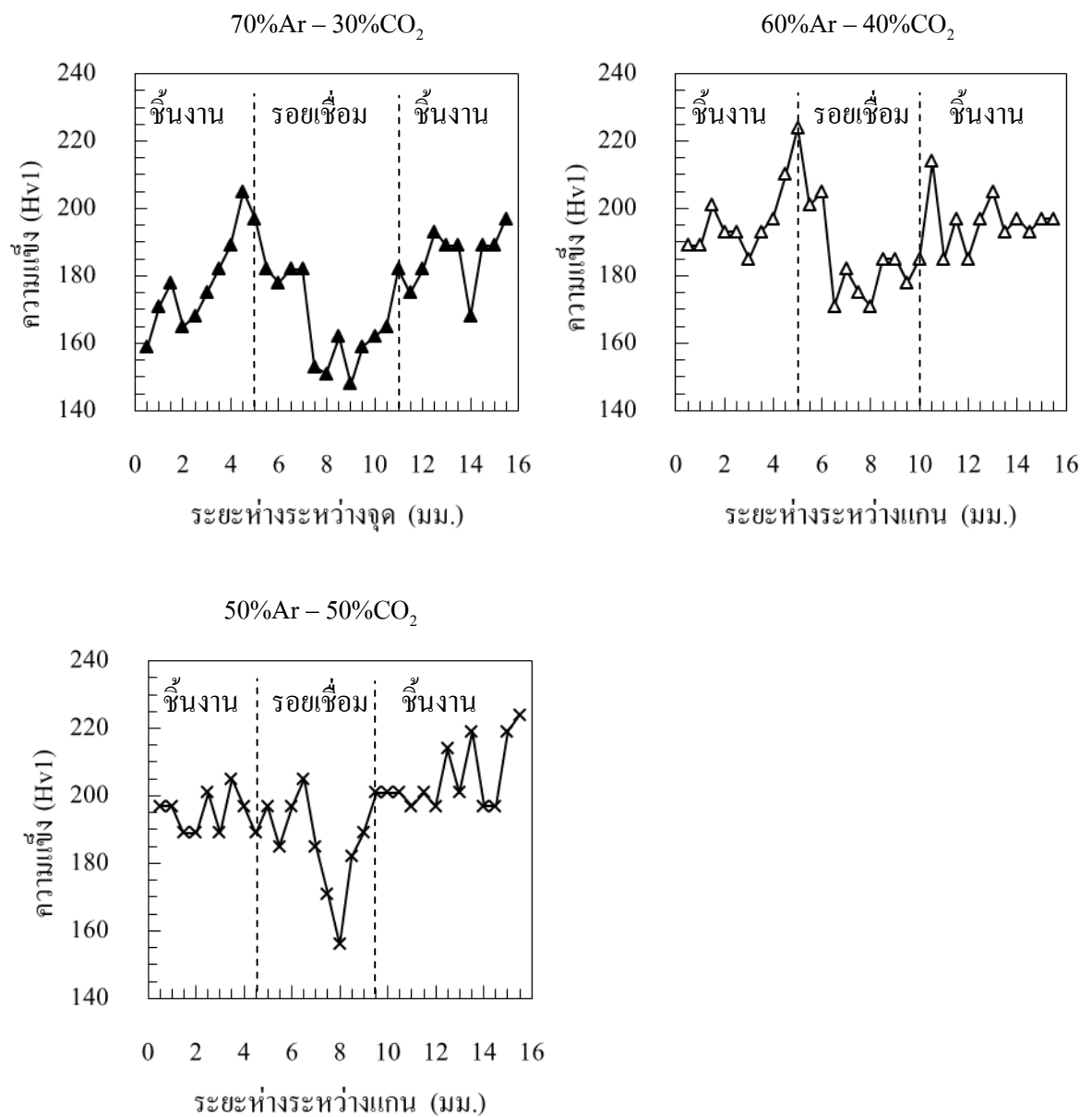




รูปที่ 4.30 ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม ER308 ในสภาพแก๊สปกคลุมต่างๆ

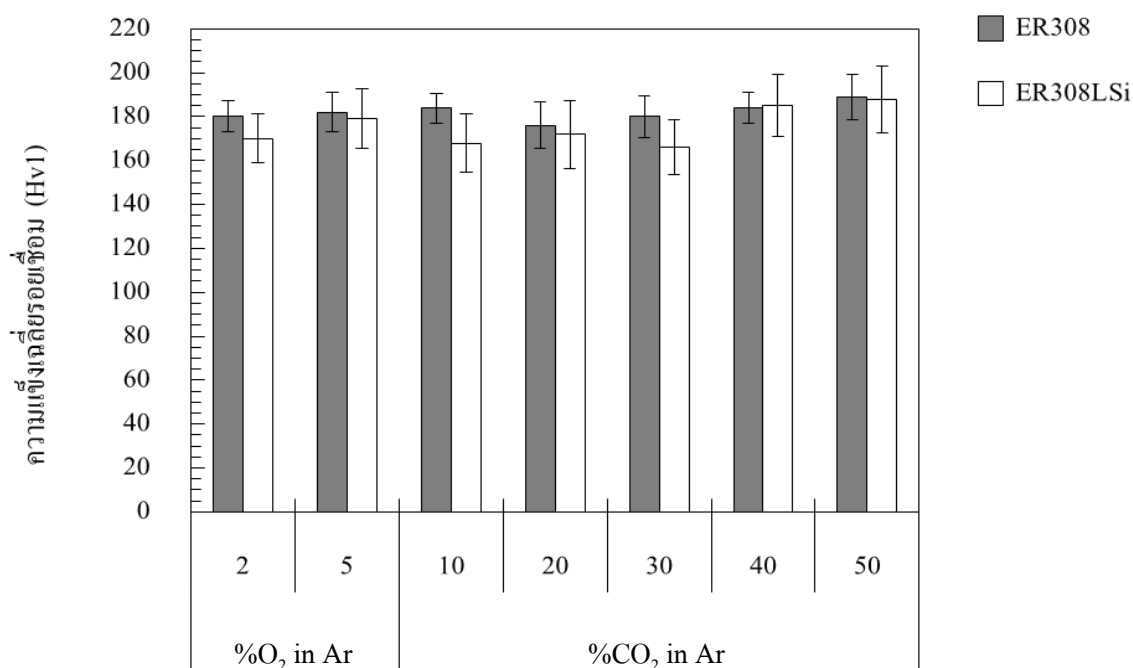
รอยเชื่อม ER308LSi





รูปที่ 4.31 ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม ER308LSi ในสภาพแก๊สปกคลุมต่างๆ

รูปที่ 4.30 และ 4.31 เป็นผลของการวัดความแข็งบริเวณขึ้นงานและรอยเชื่อม จะเห็นว่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมมีค่าน้อยกว่าความแข็งของขึ้นงาน (AISI 304) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ใกล้แนวกึ่งกลางรอยเชื่อมจะมีความแข็งที่น้อยกว่าบริเวณอื่นๆของรอยเชื่อม ลักษณะแนวโน้มนี้นี้มีทิศทางที่เหมือนกันกับลวดเชื่อมทั้งสองชนิด นอกจากนี้บริเวณใกล้เคียงกับจุดสัมผัสระหว่างรอยเชื่อมและขึ้นงานซึ่งเป็นบริเวณกระทบร้อนมีค่าความแข็งที่ไม่ต่างจากความแข็งของขึ้นงานมากนัก



รูปที่ 4.32 ค่าเปรียบเทียบความแข็งแรงของรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi ในสภาพแก๊สปกคลุมต่างๆ

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมชนิด ER308 มีค่าที่สูงกว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมชนิด ER308LSi ในทุกๆสภาพแก๊สปกคลุม อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของรอยเชื่อมของวัสดุทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้ว่าสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมที่ 50%CO₂ โดยปริมาตร จะมีปริมาณคาร์บอนตกค้างในรอยเชื่อมมากที่สุดก็ตาม

4.6.1 การอภิปรายผลการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมต่อความแข็งแรงรอยเชื่อม

การปรับสัดส่วนของแก๊สผสมที่ใช้ปกคลุมรอยเชื่อมมีผลต่อระดับความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แม้ว่าการมีปรับสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การตกค้างของธาตุคาร์บอนในรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ตาม นอกจากนี้รอยเชื่อมในกลุ่มของวัสดุที่มีระดับธาตุคาร์บอนปกติกับวัสดุที่มีระดับธาตุคาร์บอนต่ำจะมีความแตกต่างในระดับความแข็งแรงรอยเชื่อมเช่นเดียวกัน กล่าวคือ รอยเชื่อมในกลุ่มของคาร์บอนต่ำจะให้ระดับความแข็งแรงต่ำกว่ารอยเชื่อมในกลุ่มที่มีคาร์บอนระดับปกติ

4.7 อภิปรายผลการทดสอบ

4.7.1 ความสัมพันธ์โดยภาพรวมจากการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแก๊สปกคลุมรอยเชื่อม

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม ER308 และ ER308LSi เมื่อทำการปรับเปลี่ยนชนิดแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมสามารถนำมาเชื่อมโยงความสัมพันธ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

4.7.1.1 การปรับเปลี่ยนแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมจากแก๊สผสมมาตรฐาน 98%Ar – 2%O₂ โดยการเพิ่มสัดส่วน O₂ มากขึ้น และแทนที่ O₂ ด้วย CO₂ ในสัดส่วนตั้งแต่ 10% ถึง 50% โดยปริมาตร ส่งผลต่อลักษณะการเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการปรับสัดส่วนของ CO₂ ตั้งแต่ 20% โดยปริมาตรขึ้นไป ทำให้ปริมาณสะเก็ดไฟจากกระบวนการเชื่อมเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับข้อมูลที่ถูกระบุใน AWS C5.10 เนื่องจาก CO₂ เป็นแก๊สออกซิไดซ์ซึ่งที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะ ยังมีสัดส่วนของ CO₂ มากขึ้นการถ่ายโอนน้ำโลหะจากการเชื่อมจะเป็นไปในลักษณะการถ่ายโอนแบบเม็ดโต

4.7.1.2 จากการที่ O₂ และ CO₂ ต่างเป็นแก๊สออกซิไดซ์ซึ่งที่สามารถแตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน และสามารถรวมตัวกับธาตุผสมในรอยเชื่อมได้ดังนั้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ O₂ และ CO₂ ในแก๊สผสมที่ใช้สำหรับปกคลุมรอยเชื่อมขึ้น ทำให้แนวโน้มของธาตุในรอยเชื่อมที่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนลดลง ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มสัดส่วนของ CO₂ กลับทำให้มีการตกค้างของธาตุคาร์บอนในรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น

4.7.1.3 สมบัติของธาตุผสมในรอยเชื่อมสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่สนับสนุนการก่อตัวของโครงสร้างเฟอร์ไรต์ เช่น โครเมียม โมลิบดีนัมและไนโอเบียม และกลุ่มที่สนับสนุนการก่อตัวของโครงสร้างออสเทนไนต์ เช่น นิเกิล คาร์บอน ไนโตรเจนและทองแดง เมื่อเกิดการสูญเสียหรือเพิ่มขึ้นของธาตุผสมดังกล่าวในรอยเชื่อมอันเกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชันย่อมส่งผลต่อโครงสร้างภายหลังการเชื่อม เนื่องจากการทดสอบเป็นการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมส่งผลต่อสัดส่วนปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมออสเทนไนต์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การตรวจสอบปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมด้วยสมการของ WRC-1992 ด้วยอัตราเทียบเท่าระหว่างโครเมียมกับนิเกิล พบว่าปริมาณเฟอร์ไรต์สอดคล้องกับค่าเทียบเท่าของโครเมียมกับนิเกิล กล่าวคือ เมื่อปรับสัดส่วนของ O₂ และ CO₂ เพิ่มขึ้นทำให้อัตราเทียบเท่าของโครเมียมกับนิเกิลลดลง ส่งผลให้ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมลดลงเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการใช้แก๊สปกคลุมมาตรฐาน

4.7.1.4 รอยเชื่อมที่ได้จากการทดลองทั้งหมดถูกนำไปทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A และการทดสอบการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้า ซึ่งมีผลการอภิปรายดังนี้

1. การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมตามมาตรฐาน ASTM G48 Method A การที่รอยเชื่อมถูกนำไปแช่ในสารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่อุณหภูมิ $22 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการกัดกร่อนกับรอยเชื่อมแต่ละชิ้นไม่เหมือนกัน ชิ้นงานที่เพิ่มสัดส่วนของ O_2 ในแก๊สผสมมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมน้อยกว่าชิ้นงานมาตรฐาน ส่วนชิ้นงานที่เปลี่ยนจาก O_2 เป็น CO_2 ในแก๊สผสมพบว่ายิ่งเพิ่มสัดส่วนของ CO_2 มากขึ้น ยิ่งทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมลดลง ซึ่งผลการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการสูญเสียธาตุผสมในรอยเชื่อมและปริมาณเฟอร์ไรต์ที่เกิดขึ้น กล่าวคือ ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อมลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียธาตุโครเมียมจากการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการเชื่อม ซึ่งสมบัติเด่นของโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมคือ สมบัติต้านทานการกัดกร่อน ดังนั้นแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมที่มีสัดส่วนของแก๊สออกซิไดซ์สูงมาก ย่อมหมายถึงโอกาสในการสูญเสียโครเมียมในรอยเชื่อมก็ยิ่งเพิ่มขึ้น

2. การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้า รอยเชื่อมทั้งหมดถูกทดสอบโดยการแช่ในสารละลาย 3.5%NaCl ที่อุณหภูมิ 25°C แล้วป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าสู่ชิ้นงานทดสอบ พบว่ารอยเชื่อมในแต่ละสภาวะมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ไม่เท่ากัน ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำแสดงถึงความไวต่อการกัดกร่อนมากกว่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนสูง แต่จากการทดสอบรอยเชื่อมที่มีการเพิ่มสัดส่วนของ O_2 มากขึ้นจากสภาวะมาตรฐานหรือปรับเปลี่ยนจาก O_2 เป็น CO_2 กลับพบว่าอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนระหว่างรอยเชื่อมของลวดทั้งสองชนิดกลับพบว่าให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อนกลับมีบางค่าการทดสอบที่ไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นผลการทดสอบในครั้งนี้จึงไม่สามารถชี้ชัดได้อย่างชัดเจนถึงสภาวะของรอยเชื่อมที่มีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีที่สุด

4.7.1.5 ผลการปรับเปลี่ยนแก๊สผสมที่แตกต่างจากแก๊สปกคลุมมาตรฐานต่อความแข็งแรงรอยเชื่อม พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของ O_2 และการแทนที่ O_2 ด้วย CO_2 ในแก๊สผสม มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงรอยเชื่อมเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มปริมาณ CO_2 ในแก๊สผสมที่ 50% โดยปริมาตร ซึ่งเป็นสภาวะที่มีธาตุคาร์บอนตกค้างในรอยเชื่อมสูงสุด แต่เมื่อมองในภาพรวมถือว่าความแข็งแรงรอยเชื่อมไม่ได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน

4.7.1.6 จากการที่รอยเชื่อมทดสอบมีปริมาณเฟอร์ไรต์รวมอยู่ด้วย ซึ่งทราบได้จากการคำนวณโดยใช้สมการและไดอะแกรม WRC-1992 เพื่อทำการยืนยันโครงสร้างที่เกิดขึ้นทั้งหมดจึงได้ทดสอบด้วยการย้อมสีโครงสร้างรอยเชื่อมและชิ้นงาน โดยใช้ Modified Murakami's reagent แช่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 90 – 100°C เป็นเวลา 10 วินาที ปรากฏเฟสซิกม่าขึ้นในระหว่างโครงสร้างเฟอร์ไรต์กับออสเตนไนต์ในรอยเชื่อมทุกสภาวะ สัดส่วนเฟสซิกม่าที่เกิดขึ้นภายในรอยเชื่อมของชิ้นงานทั้งหมดไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมบัติรอยเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุมมาตรฐาน

การทดสอบ	ผลการเปลี่ยนแปลงจากแก๊สผสมมาตรฐาน 98%Ar – 2%O ₂	
	การเพิ่ม O ₂ จาก 2% เป็น 5% โดยปริมาตร	การแทนที่ 2%O ₂ ด้วย CO ₂ จากสัดส่วน 10% ถึง 50% โดยปริมาตร
1. ผลการเชื่อม	ไม่แตกต่างจากการใช้แก๊สผสมมาตรฐาน	ไม่แตกต่างในกรณีแทนที่ด้วย CO ₂ ไม่เกิน 20% โดยปริมาตร หากมากกว่านั้นจะเริ่มมีปริมาณสะเก็ดไฟเชื่อมมากขึ้น
2. รูปร่างแนวเชื่อม	ไม่แตกต่างจากการใช้แก๊สผสมมาตรฐาน	แนวเชื่อมมีแนวโน้มแคบลง แต่การซึมลึกเพิ่มสูงขึ้น
3. ส่วนผสมทางเคมีรอยเชื่อม	ธาตุผสมในรอยเชื่อมที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง เช่น Si, Mn และ Cr	ธาตุผสมในรอยเชื่อมที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง แต่มีธาตุคาร์บอนตกค้างในรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น
4. ความต้านทานการกัดกร่อน - มาตรฐานASTM G48 Method A - เคมีไฟฟ้า	- ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้แก๊สผสมมาตรฐาน - มีผลใกล้เคียงกัน	- มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ CO ₂ และมีค่าน้อยสุดเมื่อเพิ่มสัดส่วน เป็น 50% โดยปริมาตร - มีผลใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.10 สมบัติรอยเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุมมาตรฐาน [ต่อ]

การทดสอบ	ผลการเปลี่ยนแปลงจากแก๊สผสมมาตรฐาน 98%Ar – 2%O ₂	
	การเพิ่ม O ₂ จาก 2% เป็น 5% โดยปริมาตร	การแทนที่ 2%O ₂ ด้วย CO ₂ จากสัดส่วน 10% ถึง 50% โดยปริมาตร
5. ปริมาณเฟอร์ไรต์ในรอยเชื่อม	ลดลง	มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ CO ₂ และมีค่าน้อยสุดเมื่อเพิ่มสัดส่วน เป็น 50% โดยปริมาตร
6. โครงสร้างและการกระจายตัวของเฟสชิกม่า	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง แต่เฟสชิกม่ามีแนวโน้มกระจายตัวมากขึ้นตามปริมาณ CO ₂ ที่ปรับเพิ่มขึ้น
7. ความแข็งรอยเชื่อม	ไม่แตกต่างจากการใช้แก๊สผสมมาตรฐาน	เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของ CO ₂