

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาเอกสารตำราที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเอกสารตำราข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทางกระบวนการความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาค และ สมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ดูปเหล็กส์ เกรดUNS S31803 โดยผ่านกรรมวิธีการอบอ่อน ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบทาง กระบวนการความร้อน มีผลต่อความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ดูปเหล็กส์ เกรด UNS S31803 หลังผ่านกรรมวิธีการอบอ่อน

ก) ในการทำวิจัยทดลองครั้งนี้ใช้ กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW เชื่อมชิ้นงานและควบคุม อัตราความเร็วรอบในการเชื่อมให้คงที่ ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิมดูปเหล็กส์ เกรด UNS S38103 ทดลองเชื่อมโดยใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานช่วยในการเชื่อม ใช้ลวดเชื่อมเติม AWS E2209 ขนาด $\varnothing$ 2.6 มิลลิเมตร เชื่อมต่อชนทำราบบากร่องตัววีเชื่อมข้อทับ 6 แนวและควบคุม Heat input ด้วย 12 KJ/inch

ข) ตัวแปรต้นที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิอบอ่อน มี 3 ระดับ คือ 850°C 950°C และ $1,050^{\circ}\text{C}$ เวลาที่ใช้ในการอบอ่อน มี 3ระดับ คือ 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง

ค) สำหรับตัวแปรตามที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ค่าความแข็งของชิ้นงานและ โครงสร้าง จุลภาคทดลอง เปรียบเทียบ ก่อนผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนและภายหลังที่ผ่านกรรมวิธีการอบอ่อน

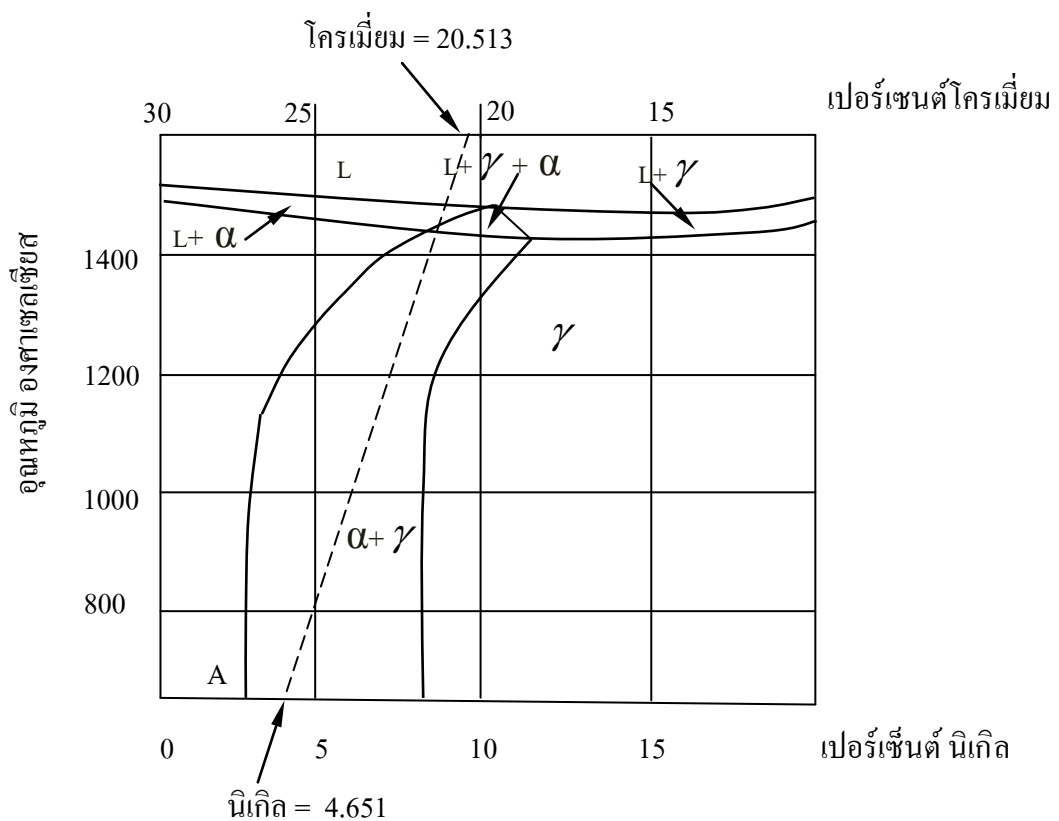
3.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุชิ้นงานทดลองใช้เหล็กกล้าไร้สนิม ดูปเหล็กส์ เกรด UNS S31803 ตามมาตรฐาน AISI 2209 ที่ผ่านกระบวนการรีดมาแล้วนำมาทดสอบหาส่วนผสมทางเคมี ด้วยเครื่อง Spectro mete ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และแผนภาพกิ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิม ดูปเหล็กส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

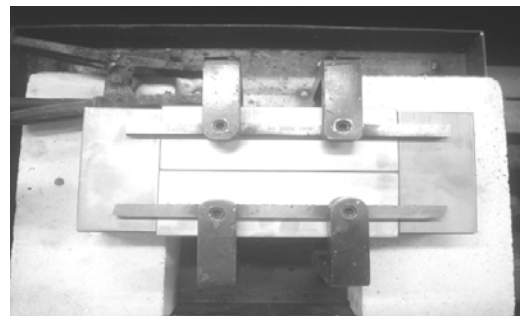
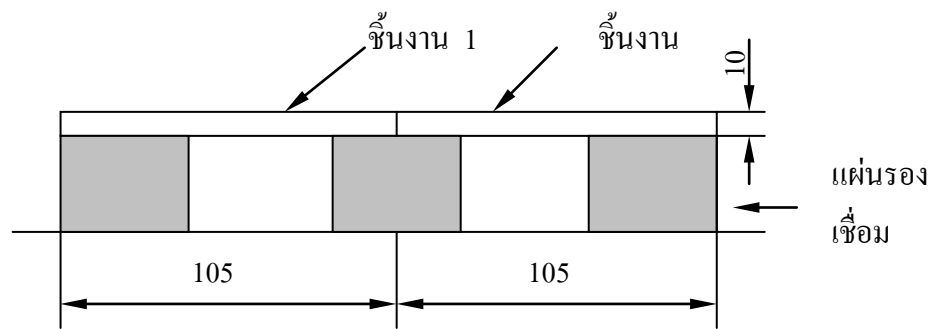
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานทดลอง วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Spectro mete

เกรด UNS	ส่วนผสมทางเคมี							
	C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni	Mo
S31803	0.0331	0.8380	<0.0010	0.0053	0.7516	20.513	4.651	2.915



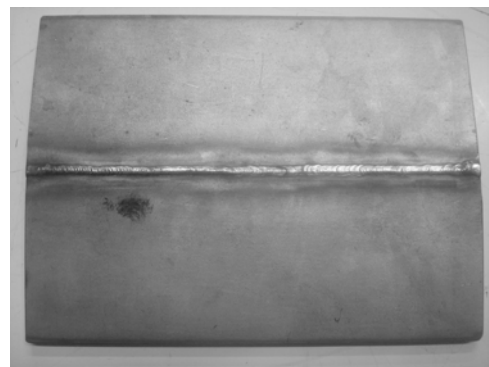
รูปที่ 3.1 แผนภาพกึ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ [5]

- นำชิ้นงานมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง×ความยาว×หนา เท่ากับ 105 × 280 × 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยทินเนอร์ เพื่อขจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกอื่น ๆ
- เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจำนวน 2 ชิ้น บากร่องตัว V เชื่อมยึดหัวและท้าย เชื่อมในตำแหน่งต่อชนทำราบ
- นำอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดชิ้นงานทดลอง วางประกบชิ้นงานให้ได้ระดับและเสมอกันทั้งชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



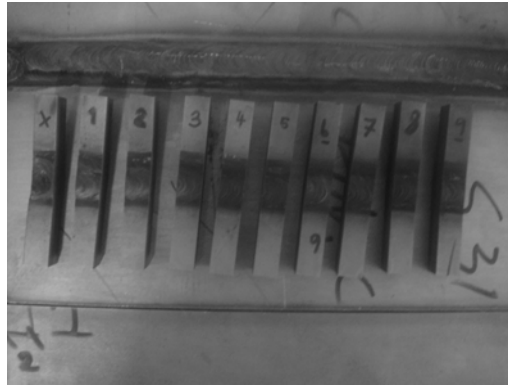
รูปที่ 3.2 การจับยึดชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

5. ชิ้นงานทดลอง เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม TIG ชิ้นงานทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม TIG เชื่อมซึมลึกแนวที่ 1 และเชื่อมซ้อทับ 6 แนวเชื่อมโดยควบคุม Heat input ด้วย 12 KJ/inch ในการเชื่อม ได้ชิ้นงานเชื่อมที่สมบูรณ์ 1 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดลองเชื่อมบากร่องตัวด้วยกระบวนการเชื่อม TIG

6. ชิ้นงานทดลอง ที่ใช้ในการอบอ่อน ตัด ให้ได้ขนาด $10 \times 70 \times 10$ มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัด Wire-Cut ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานที่ใช้ในการอบอ่อน ขนาด $10 \times 70 \times 10$ มิลลิเมตร

3.2.2 เครื่องมือ

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการอบอ่อน

1. เครื่องตัด Wire-Cut ยี่ห้อ CHARMILLES TECHNOLOGIES (รุ่น ROBOFIL 290) ทำงานด้วยหลักการอาร์คโดยผ่านลวดทองเหลืองเคลื่อนที่ในการตัดชิ้นงาน ซึ่งลวดเป็นขั้วบวกและชิ้นงานเป็นขั้วลบ ขนาดความโตของลวดตัด ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ควบคุมการตัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut

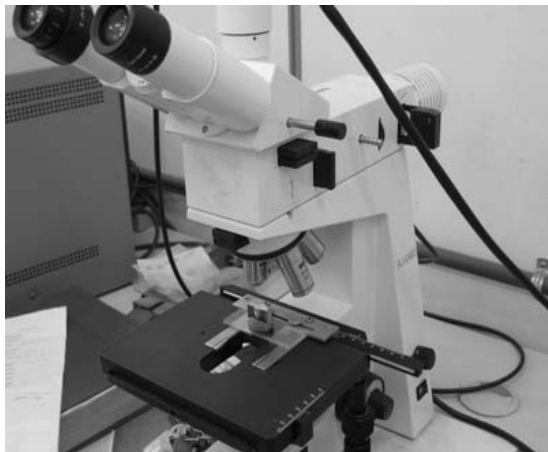
2. เตาอบชิ้นงานยี่ห้อ HITASHI ประกอบด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลาและชุดเตาอบสามารถอบได้ที่อุณหภูมิสูงสุด $1,300^{\circ}\text{C}$ และควบคุมเวลาระบบอัตโนมัติ ดังแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.6 เตาอบชิ้นงาน

3.2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ใช้วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและหาปริมาณสัดส่วนเฟอไรท์ (Image Analyzers) ซึ่งเป็นกล้องที่ถ่ายภาพดูโครงสร้างจุลภาค และสามารถนำภาพถ่ายรูปร่างโครงสร้างของชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง ส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะบันทึกค่าที่วัดได้ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลต่อไปดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงวิเคราะห์โครงสร้างและหาสัดส่วน เฟอไรท์ (Image Analyzers)

2. เครื่องขัดชิ้นงาน (Polishing) ในการขัดชิ้นงานจะต้องใช้ขัดละเอียด เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง เครื่องขัด ยี่ห้อ BUEHLE รุ่น ECOMET 6 สามารถปรับอัตราความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 50 – 450 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องขัดมัน (Polishing)

3. สารเคมี ที่ใช้ในการกัดกรดดูโครงสร้างจุลภาค

3.1 แอมโมเนียมไดฟลูออไรด์ (Ammonium difluoride : $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$) 20 กรัม

3.2 โพแทสเซียมเมตาไบซัลเฟต (Potassium Metabisulfite : $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 0.5 กรัม

3.3 น้ำกลั่น

3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH)

4. เครื่องทดสอบความแข็ง ใช้เป็นเครื่องทดสอบสำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติทางกล
แบบการทดสอบความแข็ง สเกลที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Vickers Testing เครื่องหมายการค้า
TESTOMETRIC รุ่น MICRO ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Test)

3.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ในดำเนินงานทดลอง เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมเป็นบรรทัดฐานในการทดลองมีความเที่ยงตรง และ น่าเชื่อถือ จึงได้มีปฏิบัติการทดลองเบื้องต้นโดยการออกแบบเบื้องต้น เพื่อหาระดับ ตัวแปรที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิในการอบอ่อนและเวลาการอบอ่อน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา ทั้งนี้ตัวแปรอื่นๆ เช่นลวดเชื่อม ระยะอาร์ค มุมของหัวเชื่อม และเทคนิคการเชื่อมกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่าระดับของตัวแปรกำหนดเป็นค่าเบื้องต้นที่ใช้ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม TIG

ในการวิจัยการทดลอง ได้ออกแบบการทดลองระหว่างความสัมพันธ์ทั้ง 2 ตัวแปรโดย การทดลองนี้มีค่าตัวแปร 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิในการอบอ่อนและเวลาการอบอ่อน การทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ดังตารางที่ 3.2 ชิ้นงานทดลอง เป็นชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมสมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่อง จำนวน 18 ชิ้น ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรสำหรับการใช้ในการทดลอง เบื้องต้น

เวลา/ชั่วโมง อุณหภูมิ °C		เวลา/ชั่วโมง(B)					
		1 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		5 ชั่วโมง	
		Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
อุณหภูมิ °C (A)	850°C	A ₁₁	A ₁₂	B ₁₁	B ₁₂	C ₁₁	C ₁₂
	950°C	D ₁₁	D ₁₂	E ₁₁	E ₁₂	F ₁₁	F ₁₂
	1,050°C	G ₁₁	G ₁₂	H ₁₁	H ₁₂	I ₁₁	I ₁₂

เมื่อทำการทดลองหาค่าอุณหภูมิและเวลา จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันได้ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จึงทำการทดลอง ตามที่ได้ออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเชิงวิจัย(Experimental design) เพื่อให้การทดลองมีระเบียบแบบแผนและมีระบบการควบคุมสภาพการณ์ ในตัวแปรที่กำหนด หรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเกตหรือบันทึกผลการทดลอง ที่ปราศจากความแปรปรวนของข้อมูล และทดลองซ้ำซ้ำเพื่อให้ได้ผลอีก หลังจากทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเบื้องต้น จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรในการทดลอง ที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันมีความสมบูรณ์ไม่มีข้อบกพร่อง จึงดำเนินการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล บริเวณเนื้องาน (Base Metal), บริเวณ

เขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone(HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) ซึ่งกำหนดการทดลอง 2 ปัจจัย ทดลองชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์ของปัจจัยระหว่างอุณหภูมิและเวลา จำนวน 18 ครั้ง ดังแสดงในตารางการทดลองที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การสุ่มชิ้นงานทดลอง Experimental design

เวลา/ชั่วโมง อุณหภูมิ °C		เวลา/ชั่วโมง(B)					
		1 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		5 ชั่วโมง	
		Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
อุณหภูมิ °C (A)	850°C	17	18	12	13	11	14
	950°C	6	10	7	9	1	4
	1,050°C	5	8	2	15	16	3

3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานเชื่อมเพื่อทำการทดลอง และการเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบดูโครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติทางกลด้านความแข็ง ได้กำหนดตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. เชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม คูเพิล็กซ์ เกรด UNS S31803 เชื่อมซึมลึกแนวที่ 1 และเชื่อมข้อทับ 6 แนวเชื่อมโดยควบคุม Heat input ด้วย 12 KJ/inch ได้ชิ้นงานเชื่อมที่สมบูรณ์ 1 ชิ้น
2. ตัดชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมคูเพิล็กซ์ เกรด UNS S31803 ด้วยเครื่อง wire – cut ให้ได้ขนาด $10 \times 70 \times 10$ มิลลิเมตร จำนวน 18 ชิ้น

3.5.2 ขั้นตอนการอบอ่อน

1. นำชิ้นงานเชื่อมกว้าง×ยาว×หนาขนาดเท่ากับ $10 \times 70 \times 10$ มิลลิเมตร ตัดด้วยเครื่อง Wir-Cut เสร็จสมบูรณ์ จำนวน 18 ชิ้น
2. นำชิ้นงานที่ตัดเป็นชิ้นไปอบอ่อนด้วยเตาอบ(Heat Treatment) ที่อุณหภูมิ 850°C 950°C และ 1,050°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง
3. ปลอ่ยให้เย็นตัวในเตาอบ(Heat Treatment)

4. ออบชิ้นงานทดลองแต่ละชิ้นสุ่ม ตามตารางการออกแบบ Experimental design ดังตารางที่ 3.3 จนครบจำนวน 18 ชิ้น

3.5.3 ขั้นตอนการตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาค

3.5.3.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

1. การขัดหยาบและละเอียด ขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายละเอียดตั้งแต่เบอร์ 180 240 360 600 800 1000 และ 1,200 ตามลำดับ ในระหว่างการขัดต้องเปิดน้ำ เพื่อถ่ายเทความร้อนระหว่างการขัดและช่วยพาผงโลหะที่หลุดจากการขัดทิ้งไปด้วย และการขัดควรขัดไปแนวเดียวกัน ทำเช่นนี้จนกระดาษทรายเบอร์ละเอียดสุด ล้างน้ำสะอาดและฉีดไล่ความชื้นด้วยแอลกอฮอล์แล้วเป่าให้แห้ง ให้ครบจำนวนชิ้นงานอบอ่อน จำนวน 18 ชิ้น และชิ้นงานที่ไม่อบ จำนวน 1 ชิ้น

2. การขัดมัน ชิ้นงานจะถูกขัดด้วยผงขัด ในการทดลองใช้ผงขัดชนิดอะลูมินาหรืออะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อให้ผิวเรียบเงาไร้รอยขีดข่วน ในขณะที่ให้ใช้สารหล่อลื่นช่วยในการขัด โดยการใช้สารหล่อลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชิ้นงาน ถ้าเป็นวัสดุอ่อนควรใช้สารหล่อลื่นในปริมาณมากเพื่อป้องกันการเสียหายของชิ้นงาน สำหรับวัสดุแข็งแรงในการหล่อลื่นน้อยแต่ใช้ผงขัดมาก เนื่องจากมีการสึกหรอของผงขัดเร็ว การขัดชิ้นงานจะทำการฉีดน้ำอะลูมินาที่ได้ผสมแล้วลงบนผ้าขัดแล้วค่อยๆทำการขัดเบาๆจนผิวของโลหะเรียบใสคล้ายกระจก

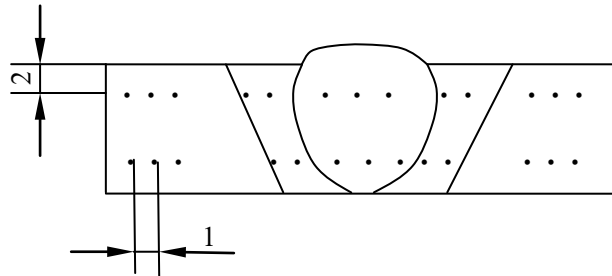
3. ผสมสารกัด น้ำกลั่น 100 มิลลิเมตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม

4. ทำการกัดผิวหน้า (Etching) ด้วยสารกัดกรดประมาณ 1 นาที แล้วล้างสารละลายด้วยน้ำอุ่นและใช้แอลกอฮอล์ฉีดเป่าให้แห้ง สารกัดกรดจะทำปฏิกิริยากับพื้นที่ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผิวของชิ้นงานทดลองที่มีความสูงจะเกิดการกัดเซาะคล้ายการกัดเซาะผิวเปลือกโลก ทำให้เกิดความแตกต่างของผิวหน้าชิ้นงาน บริเวณเกรนและในบริเวณเกรนจะถูกกัดด้วยความเร็วที่แตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นได้ว่า เกรนจะแยกออกเป็นขอบเขต เพื่อให้เห็นโครงสร้างภายใน

3.5.3.2 ตรวจดูโครงสร้างจุลภาค

การตรวจดูโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและหาปริมาณสัดส่วนเฟสเฟรอไรท์ (Image Analyzers) ของชิ้นงานทดลอง จะศึกษาและถ่ายภาพเพื่อคุณสมบัติของเฟสเฟรอไรท์และออสเทนไนท์ของชิ้นงานทดลอง ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลอง ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) จำนวน 16 ตำแหน่งต่อชิ้น ระยะห่างของตำแหน่งทดสอบ ขนาด 1 มิลลิเมตรห่างจากขอบชิ้นงาน 2

มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และทำการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานทดลอง ที่ผ่านการกัดกรดแล้วด้วยกำลังขยายที่ 400 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง(Image Analyzers)



รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

3.5.4 ขั้นตอนประเมินความสมดุลของปริมาณเฟอร์ไรต์ (Ferrite Content)

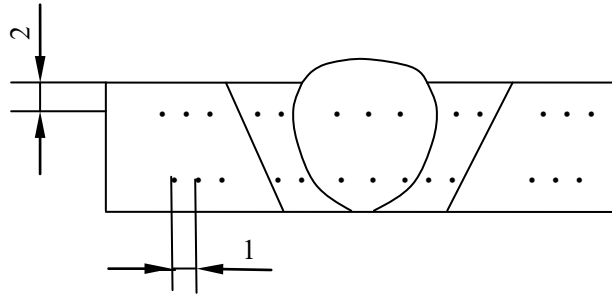
1. หลังจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแล้วจะนำชิ้นงานมาทำการขัดมัน (Polishing) โดยใช้ผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ความละเอียด 0.3 μm ร่วมกับผ้าสักหลาด
2. กัดกรดเพื่อเผยผิวของชิ้นงานทดลองเพื่อตรวจสอบหาปริมาณเฟอร์ไรต์ โดยใช้กรดร้อน โดยตั้งบนเตาไฟฟ้าตลอดการกัดกรด ส่วนผสมได้แก่ Ammonium bifluoride ($NH_4 F \cdot HF$) 100 กรัม, Potassium Metabisulfite ($K_2 S_2 O_5$) 2.5 กรัม และน้ำร้อน 500 มิลลิตร ใช้เวลาประมาณ 50 วินาที หรือดูลักษณะชิ้นงานทดลองให้เป็นต่างจากการกัดกรด แล้วทำการล้างด้วยน้ำสะอาด นิดด้วยแอลกอฮอล์เป่าด้วยความร้อนให้แห้ง
3. นำมาตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้เครื่อง Image Analyzer ด้วยโปรแกรม Leica MW เพื่อการวิเคราะห์ Phase Analysis ในการหาเปอร์เซ็นต์เฟอร์ไรต์ ในบริเวณ เนื้องาน(Base metal)บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) และ บริเวณแนวเชื่อม(Welded) ดังแสดงในรูปที่ 3.9

3.5.5 ขั้นตอนการทดสอบค่าความแข็ง

เครื่องทดสอบ Hardness Tester สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบการทดสอบความแข็ง สเกลที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Vickers Testing เครื่องหมายการค้า MATSUZAWA Model MMT-X7B เป็นเครื่องทดสอบสามารถทดสอบความแข็งได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ ซึ่งทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำไปทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค (Hardness Tester) ด้วยสเกล Vickers Testing ได้แก่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal), เขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และแนวเชื่อม (Welded) จำนวน

16 ตำแหน่งต่อชิ้น ระยะห่างตำแหน่งทดสอบ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ห่างจากขอบชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ใช้ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบค่าความแข็ง

2. บันทึกผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบค่าความแข็ง โดยวัดค่าความแข็งจำนวน 16 ตำแหน่ง แล้วทำการเฉลี่ยค่าที่ได้จากการทดสอบหาค่าความแข็ง

3.5.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบ และการเก็บข้อมูลจากการทดลอง สามารถลำดับขั้นตอนได้ ดังนี้

3.5.6.1 การตรวจสอบด้วยสายตา

1. การตรวจสอบก่อนการเชื่อม ทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องเชื่อม การจับยึดของสายดิน (Ground Clamp) มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค การจับยึดชิ้นงาน ตลอดจนตำแหน่งการวางของชิ้นทดลอง

2. การตรวจสอบระหว่างการเชื่อม ทำการตรวจสอบตั้งแต่การเริ่มต้นอาร์ค ในระหว่างการอาร์ค และสิ้นสุดการอาร์ค โดยสังเกต ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม เช่น เสียงอาร์ค ความรุนแรงของการอาร์ค เขม่าควัน และสะเก็ดของเม็ดโลหะ (Spatter)

3. การตรวจสอบหลังการเชื่อม ทำการตรวจสอบดูบริเวณรอยเชื่อม ผิวของรอยเชื่อม คาบเขม่า และสิ่งสกปรกต่าง ๆ บริเวณรอยเชื่อม และผิวหน้าของงาน ตรวจสอบความสูง ความกว้าง ความสมบูรณ์ จุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ความสม่ำเสมอของรอยเชื่อมตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดรอยเชื่อม ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

4. การตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบอ่อน ตรวจสอบดูสีผิวของชิ้นงานทดลองหลังการอบอ่อนตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด

3.5.6.2 การเก็บข้อมูลจากการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค

ลำดับขั้นตอนในการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ(Specimen)
2. การปรับระดับผิวด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพาน
3. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding) เบอร์ 180 240 320 400 600 800 1,000และ 1,200
4. การขัดมัน (Polishing)
5. การกัดด้วยสารละลายกรด (Etching)
6. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopy)
7. การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคทำตามลำดับขั้นตอนจนครบจำนวนชิ้นงาน
8. การถ่ายภาพโครงสร้างและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.6.3 การทดสอบความแข็ง

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบความแข็งโดยนำชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเสร็จเรียบร้อยแล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งต่อไปโดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. นำชิ้นงานทดลองที่อบอ่อนเสร็จแล้วมาวางแผนในการทดสอบความแข็ง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME
2. กำหนดตำแหน่งในการทดสอบความแข็งโดยใช้ตำแหน่ง
3. การทดสอบความแข็งทำตามลำดับขั้นตอนจนครบจำนวนชิ้นงานทั้ง 18 ชิ้น
4. เก็บบันทึกข้อมูล

3.6 สถิติที่ใช้ในการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างงานทดลอง ของการศึกษาผลกระทบทางกระบวนการความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 โดยผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนโดยใช้ สถิติ ดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์

3.6.1.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ค่าเฉลี่ย (Mean) [23]
- จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย
 $\sum x_i$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 n คือ จำนวนข้อมูล

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) [23]

จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X แทน คะแนนแต่ละตัวในกลุ่มตัวอย่าง
 $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่าง
 n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
 $\sum$ แทน ผลรวม

3. การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) [23]