

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาเอกสารตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ศึกษาเอกสารตำราข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของฟลักซ์ต่อกระบวนการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas; TIG) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด AISI 2205 ปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมได้แก่ ชนิดของฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม มีผลต่อความแข็งแรงและโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด AISI 2205

ก. ในการทดลองเชื่อมได้มีการใช้ เครื่องเชื่อมทังสเตนอาร์ก (GTAW) ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการเร็วในการเชื่อม โดยใช้เครื่องตัดตรงแก๊ส และชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) โดยนำชิ้นงานที่เตรียมรอยต่อเสร็จแล้ว นำไปทดลองเชื่อมร่วมกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ข. กำหนดชนิดและระดับปัจจัยการเชื่อมอื่น ๆ ให้มีค่าคงที่ ได้แก่ มุมหัวเชื่อมกับชิ้นงาน มีมุมเท่ากับ 90 องศาจากแนวราบ มุมลวดเชื่อมกับชิ้นงานมีมุมเท่ากับ 90 องศาจากแนวราบ ระยะห่างระหว่างหัวเชื่อมกับปลายลวดเชื่อมมีระยะห่างเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปลายทังสเตนอิเล็กโทรดกับชิ้นงานมีระยะห่างเท่ากับ 1 มิลลิเมตร แก๊สอาร์กอนที่ใช้ในการทดลองใช้ เกรดอุตสาหกรรม (Industrial grade) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990% โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที การปรับอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมใช้ Flow meter regulator ใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน

ค. กำหนดปัจจัยในการเชื่อมหรือตัวแปรในการทดลองคือ ตัวแปรต้นได้แก่ กระแสไฟฟ้า มี 3 ระดับคือ 150 180 และ 210 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 125 มิลลิเมตรต่อนาที และ ฟลักซ์มี 3 ชนิด ไทเทเนียมไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และ ซิลิกอนออกไซด์ สำหรับตัวแปรตามมี 2 ตัวแปรก็คือ สมบัติทางกลด้านความแข็งแรง และโครงสร้างมหภาค

สมบัติทางกล ที่พิจารณา ได้แก่

- ค่าความแข็งแรง 3 บริเวณ ดังนี้ ด้านขอบซ้าย ตรงกลางและด้านขอบขวาแนวเชื่อมทั้งบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205

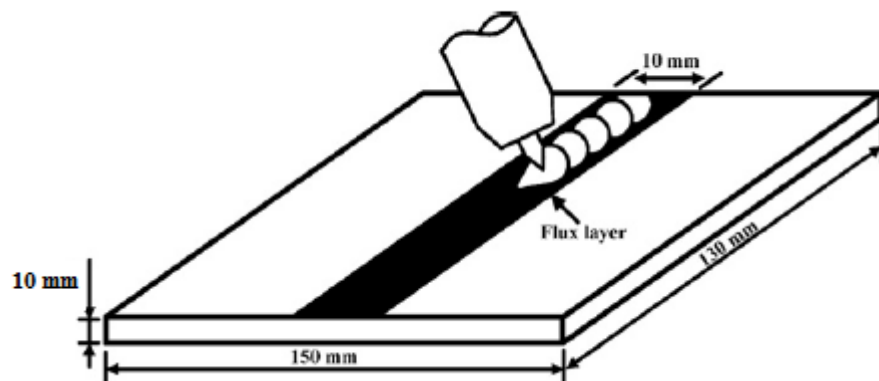
โครงสร้างมหภาค ที่พิจารณา ได้แก่

- บริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้การทดลอง

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 2205 ที่ผ่านกระบวนการรีดมา มีความหนา 10 มิลลิเมตร ตัดให้มีขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 130 มิลลิเมตร ความเค้นแรงดึงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 680 Mpa และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าเท่ากับ 25 ความแข็งมีค่าเท่ากับ 260 HB



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 2205 ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 (มาตรฐาน)

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
	< 0.03	2.0	1.0	0.03	0.02	23	3.5	6.5

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 (จากการทดสอบจากชิ้นงาน)
วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Emission Optical Spectrometer (BAIR DV6)

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
max	0.0465	0.8611	0.8377	0.0170	<0.0010	20.3395	2.9375	4.5716

2. สารเคมีที่ใช้เป็นผงฟลักซ์ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือเรียกว่า อลูมินา และ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) โดยสารเคมีทั้งสามนี้มีลักษณะเป็นผลละเอียดขนาดอนุภาคประมาณ 0.5 ไมครอน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะผงเคมีที่ใช้ในการทำฟลักซ์

3. สารที่ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับการเตรียมฟลักซ์ ในการวิจัยนี้จะเตรียมฟลักซ์โดยการผสมสารเคมีแต่ละตัวผสมลงในอะซิโตน ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้สารเคมีที่ผสมนั้นมีลักษณะเป็นครีมข้นสามารถทาบนผิวงานเชื่อมได้ง่าย หลังจากทาลงบนผิวชิ้นงานและทิ้งไว้ประมาณ 2-3 นาที อะซิโตนจะระเหยหมด คงเหลือไว้เพียงฟลักซ์ที่ผิวหน้าชิ้นงานแล้วจึงทำการเชื่อมตามปกติ การเตรียมฟลักซ์โดยใช้ช้อนตวง ขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตวงผงไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 10 ช้อนตวง ใส่ลง

ในถ้วยแก้วผสมและใช้หลอดฉีดยาฉีดอะซิโตน ให้ได้ปริมาณ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในถ้วยผสมที่ใส่ไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้แล้วและคนผงไทเทเนียมไดออกไซด์ให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเตรียมฟลักซ์ที่เหลือ ทำเช่นเดียวกับการเตรียม ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้และสารเคมีได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟลักซ์

4. ถังบรรจุแก๊สอาร์กอนสำหรับใช้ในกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์ก ซึ่งแก๊สอาร์กอนที่ใช้ในการทดลองใช้ เป็นเกรดอุตสาหกรรม (Industrial grade) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990% โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที การปรับอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมใช้ Flow meter regulator ซึ่งใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนเท่านั้น



รูปที่ 3.4 ถังบรรจุแก๊สอาร์กอน

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเชื่อม ในการทดลองการวิจัยจะใช้ กระบวนการเชื่อมแบบ GTAW ด้วยเครื่องเชื่อม ทิกกีห้อ Long well ขนาด 215 Amp



รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมทิก Long well ขนาด 215 Amp

2. อุปกรณ์ควบคุมอัตราความเร็วในการเชื่อม เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมความเร็วในการเชื่อมให้คงที่ได้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ซึ่งดัดแปลงมาจากเครื่องตัดโลหะแผ่นด้วยแก๊ส พร้อมกับติดตั้งเข้ากับหัวเชื่อมของเครื่องเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์ก ซึ่งจะทำให้การเชื่อมเป็นแบบ กึ่งอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราความเร็วในการเชื่อม

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เพื่อดูลักษณะรูปร่างแนวเชื่อม โดยกล้องมีกำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า – 30 เท่า



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope

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



รูปที่ 3.8 เครื่องขัดมัน (Polishing)

3. สารเคมี ที่ใช้ในการกักรวดดูโครงสร้างจุลภาค

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

3.2 โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (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 ใช้เป็นเครื่องทดสอบสำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลแบบการทดสอบความแข็ง สเกลที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Vickers Testing เครื่องหมายการค้า TESTOMETRIC รุ่น MICRO โดยใช้แรงในการทดสอบ 2000 gf. ใช้เวลาทดสอบ 5 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Test)

3.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

เพื่อให้ได้ระดับของตัวแปร ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ที่ส่งผลต่อผลการทดลองที่ถูกต้องมีความเที่ยงตรง น่าเชื่อถือ จึงได้มีปฏิบัติการทดลองเบื้องต้นเอาไว้ เพื่อหาระดับของกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษา เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการปรับระดับของพารามิเตอร์การเชื่อม ส่วนความเร็วในการเดินหัวเชื่อม ระยะอาร์ก มุมของหัวเชื่อม และเทคนิคการเชื่อม กำหนดให้เป็นตัวค่าคงที่ ในเบื้องต้นได้ทดลองการเชื่อมด้วยฟลักซ์ 3 ชนิด ไทเทเนียมไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนออกไซด์ ระดับกระแสไฟเชื่อม 3 ระดับ 150 180 210 แอมแปร์ และความเร็ว 125 มิลลิเมตรต่อนาที จำนวน 36 ชิ้น โดยมีลำดับการเชื่อมก่อนหลังตามตารางการส่งดังตารางที่ 3.3 จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้ตัดและขึ้นรูปตามมาตรฐานการทดสอบความแข็ง และนำค่าการทดสอบนำมาวิเคราะห์ทางสถิติในลำดับต่อไป

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ชนิดของฟลักซ์ / กระแสไฟเชื่อม		กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)								
		150 แอมแปร์			180 แอมแปร์			210 แอมแปร์		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
ฟลักซ์	อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	14						20		
	ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	3						8		
	ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	21						15		
	ไม่ทาฟลักซ์ (Without flux)	29						34		

เมื่อทำการทดลองหาค่าฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมและสัมพันธ์กัน ได้กระแสไฟและความเร็วที่เหมาะสม จึงทำการทดลอง ตามที่ได้ออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลอง (Experimental design)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบการทดลอง (Experimental design) เพื่อให้การทดลองมีระเบียบแบบแผนและมีระบบการควบคุมสภาพการณ์ ในตัวแปรที่กำหนด หรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเกตหรือบันทึกผลการทดลอง ที่ปราศจากความแปรปรวนของข้อมูล และทดลองซ้ำเพื่อให้ได้ผลอีก หลังจากทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเบื้องต้น จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรในการทดลอง ที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันมีความสมบูรณ์ไม่มีข้อบกพร่อง จึงดำเนินการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมหภาคและสมบัติทางกล บริเวณแนวเชื่อม (Welded) , บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) และ ซึ่งกำหนดการทดลอง 2 ปัจจัย ทดลองซ้ำงานที่มีความสัมพันธ์ของปัจจัยระหว่างฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม จำนวน 36 ครั้ง ดังแสดงในตารางการทดลองที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การสุ่มชิ้นงานทดลอง Experimental design

ชนิดของฟลักซ์ กระแสไฟเชื่อม		กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)								
		150 แอมแปร์			180 แอมแปร์			210 แอมแปร์		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
ฟลักซ์	อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	14	30	13	1	9	35	20	24	5
	ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	3	25	19	10	36	23	8	12	27
	ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2)	21	26	16	18	17	22	15	31	2
	ไม่ทาฟลักซ์ (Without flux)	29	11	28	33	4	6	34	7	32

3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลอง

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

1. เชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม ดูเพล็กซ์ เกรด AISI 2205 เชื่อมเดินในตำแหน่ง Bead-on-plate ตำแหน่งทำราบ
2. ตัดชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด AISI 2205 ด้วยเครื่อง wire – cut ให้ได้ขนาด $70 \times 20 \times 10$ มิลลิเมตร จำนวน 36 ชิ้น

3.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบดูโครงสร้างมหภาค

3.5.2.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

1. การขัดหยาบและละเอียด ขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายละเอียดตั้งแต่เบอร์ 180 240 360 600 800 1000 และ 1,200 ตามลำดับ ในระหว่างการขัดต้องเปิดน้ำ เพื่อถ่ายเทความร้อนระหว่างการขัดและช่วยพาผงโลหะที่หลุดจากการขัดทิ้งไปด้วย และการขัดควรขัดไปแนวเดียวกัน ทำเช่นนี้จนกระดาษทรายเบอร์ละเอียดสุด ถ้างน้ำสะอาดและฉีดไล่ความชื้นด้วยแอลกอฮอล์แล้วเป่าให้แห้ง ให้ครบจำนวนชิ้นงานอบอ่อน จำนวน 36 ชิ้น และชิ้นงานที่ไม่อบ

2. การขัดมัน ชิ้นงานจะถูกขัดด้วยผงขัด ในการทดลองใช้ผงขัดชนิดอลูมินาหรืออลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อทำให้ผิวเรียบเงาไร้รอยขีดข่วน ในขณะที่ขัดให้ใช้สารหล่อลื่นช่วยในการขัด โดยการใช้

สารหล่อลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชิ้นงาน ถ้าเป็นวัสดุอ่อนควรใช้สารหล่อลื่นในปริมาณมากเพื่อป้องกันการเสียหายของชิ้นงาน สำหรับวัสดุแข็งแรงในการหล่อลื่นน้อยแต่ใช้ผงขัดมาก เนื่องจากมีการสึกหรอของผงขัดเร็ว การขัดชิ้นงานจะทำการฉีดน้ำอลูมินาที่ได้ผสมแล้วลงบนผ้าขัดแล้วค่อย ๆ ทำการขัดเบา ๆ จนผิวของโลหะเรียบใสคล้ายกระจก

3. ผสมสารกัด น้ำกลั่น 100 มิลลิเมตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม

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

3.5.2.2 ตรวจดูโครงสร้างมหภาค

การตรวจดูโครงสร้างมหภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและมหภาคของชิ้นงานทดลอง จะศึกษาและถ่ายภาพเพื่อดูลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมของชิ้นงานทดลอง ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นทดลอง ได้แก่ แนวเชื่อม (Welded) และเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และทำการถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค ของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope โดยกล้องมีกำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า – 30 เท่า

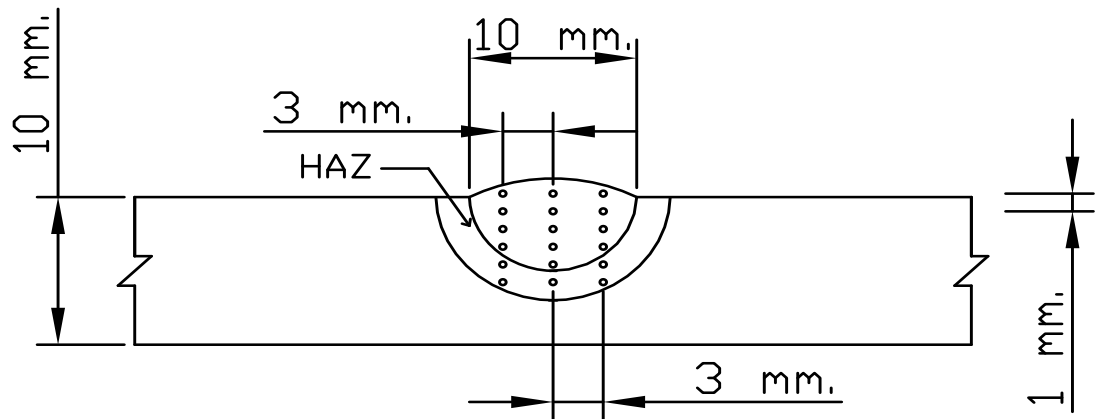


รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

3.5.3 ขั้นตอนการทดสอบค่าความแข็ง

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

1. นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ ซึ่งทำการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำไปทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค (Hardness Tester) ด้วยสเกล Vickers Testing ได้แก่ บริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และ จำนวน 18 ตำแหน่งต่อชิ้น ระยะห่างตำแหน่งทดสอบ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ห่างจากขอบชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบค่าความแข็ง

2. บันทึกผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบค่าความแข็ง โดยวัดค่าความแข็งจำนวน 18 ตำแหน่ง แล้วทำการเฉลี่ยค่าที่ได้จากการทดสอบหาค่าความแข็ง

3.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบ และการเก็บข้อมูลจากการทดลอง สามารถลำดับขั้นตอนได้ ดังนี้

3.5.4.1 ตรวจสอบด้วยสายตา

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 คาบฟลักซ์ และสิ่งสกปรกต่าง ๆ บริเวณรอยเชื่อม และผิวหน้าของงาน ตรวจสอบความสูง ความกว้าง ความสมบูรณ์ จุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ความสม่ำเสมอของรอยเชื่อมตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดรอยเชื่อม ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

3.5.4.2 การเก็บข้อมูลจากการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค

ลำดับขั้นตอนในการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

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

3.5.4.3 การทดสอบความแข็ง

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบความแข็งโดยนำชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเสร็จเรียบร้อยแล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งต่อไปโดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. นำชิ้นงานทดลองไปการทดสอบความแข็ง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME
2. กำหนดตำแหน่งในการทดสอบความแข็งโดยใช้ตำแหน่ง
3. การทดสอบความแข็งทำตามลำดับขั้นตอนจนครบจำนวนชิ้นงานทั้ง 36 ชิ้น
4. เก็บบันทึกข้อมูล

3.6 สถิติที่ใช้ในการทดลอง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างงานทดลอง ของการศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิกต่อโครงสร้างมหภาคและสมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด AISI 2205 โดยใช้สถิติ ดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์

3.6.1.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ค่าเฉลี่ย (Mean) [20]

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) [20]

จากสูตร

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

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

3. การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) [20]

จากสูตร

$$SS_{TO} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q Y_{ijk}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{npq}$$

$$SS_A = \sum_{j=1}^p \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{nq} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{npq}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{k=1}^q \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{nq} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{npq} \\
SS_{AB} &= - \sum_{k=1}^p \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{nq} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p Y_{ijk} \right)^2}{np} \\
&+ \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q Y_{ijk} \right)^2}{npq} \\
SS_{Wcel} &= - \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_{ijk} \right)^2}{n} \\
MS_{Wcel} &= \frac{MS_{Wcell}}{pq(n-1)}
\end{aligned}$$