

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกล ของ เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ที่มีผลต่อ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยมีระเบียบวิธี และขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล จากเอกสาร ตำรา วารสาร งานวิจัย ทั้งภายใน และต่างประเทศที่มีเนื้อหาหรือลักษณะของการวิจัยที่ใกล้เคียงกันและศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ห้องสมุดของสถาบันอุดมศึกษา ตลอดจนการศึกษาจากประสบการณ์การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการ เชื่อม และการสนทนาสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการ วิจัย

3.2 กำหนดพารามิเตอร์การทดลอง

ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเสร็จแล้วได้กำหนดพารามิเตอร์, ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง สำหรับ ดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เพื่อที่จะนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบถึงความแตกต่าง โดย อ้างอิงหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐานที่ใช้ซึ่งจะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ขึ้น จาก ผลการวิจัยนี้และสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับงานอุตสาหกรรมได้ต่อไป

การศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้ สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก (GMAW) ครั้งนี้ ได้กำหนด ตัวแปรและ พารามิเตอร์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. ศึกษาเกี่ยวกับแก๊ส 3 ชนิด คือ $Ar+O_2$ (95:5) , $Ar+Co_2$ (95:5) และ $Ar+O_2+Co_2$ (92:5:3)
2. ศึกษาเกี่ยวกับกระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 160 แอมแปร์ , 180 แอมแปร์ และ 200 แอมแปร์
3. ศึกษาเกี่ยวกับความเร็ว 3 ระดับ คือ 250 ม.ม./นาที, 300 ม.ม./นาที และ 350 ม.ม./นาที

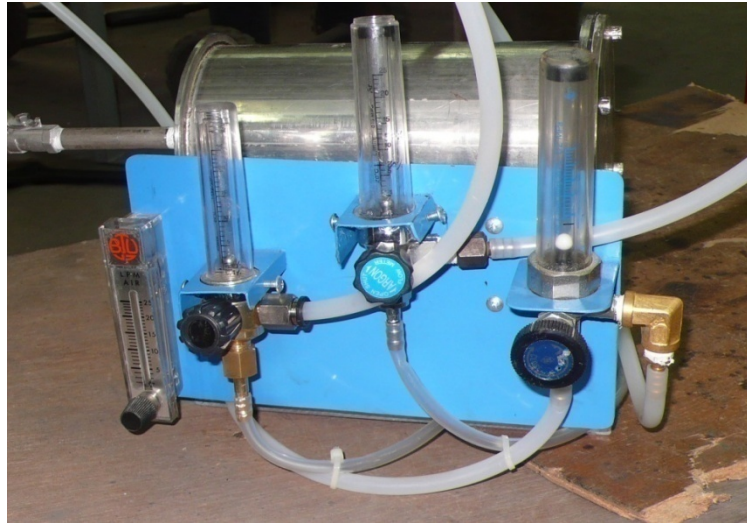
3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุ ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง การเชื่อมต่อเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก/แม็ก (GMAW) ประกอบด้วยเครื่องมือ และอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องเชื่อมมิก/แม็ก (GMAW) รุ่น HOBART RC-256
2. เครื่องผสมแก๊ส (Gas Mixer)
3. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N
4. ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ER- 308L Si ขนาด 1.2 มม.
5. แก๊สผสม $\text{Ar}+\text{O}_2$ (95:5)
6. แก๊สผสม $\text{Ar}+\text{Co}_2$ (95:5)
7. แก๊สผสม $\text{Ar}+\text{O}_2+\text{Co}_2$ (92:5:3)
8. เครื่องเลื่อยกล รุ่น MEBA 320
9. แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อม
10. เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบธาตุ(Optical Emission Spectro Meter) รุ่น DV 6
11. เครื่องกัดตึงพื้น รุ่น KPS F1-250
12. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
13. เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Vicker Hardness รุ่น MMT-X7
14. กล้องจุลทรรศน์ (Micro structure) รุ่น Axiolab a
15. กล้องจุลทรรศน์ (Macro structure) รุ่น EZ4D
16. เหล็กกล้าไร้สนิมดิวเพิล็กซ์ (AISI 2205) ขนาด 75 mm x 150 mm x 4.5 mm จำนวน 54 แผ่น
17. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ขนาด 75 mm x 150 mm x 4.5 mm จำนวน 54 แผ่น



รูปที่ 3.1 เครื่องเชื่อมมิก (GMAW) รุ่น HOBART RC-256



รูปที่ 3.2 เครื่องผสมแก๊ส (Gas Mixer)



รูปที่ 3.3 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น MMT-X7



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมธาตุ (Optical Emission Spectro Meter) รุ่น DV 6



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์ รุ่น EZ4D



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์ รุ่น Axiolaba



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

3.4 การทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

งานศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อเป็นบรรทัดฐานสำหรับการทดลองต่อไป จึงได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม แก๊สปกคลุมและอัตราส่วนผสม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาให้มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ ส่วนตัวแปรอื่นๆ เช่น ลวดเชื่อม มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค เทคนิคการเชื่อม กำหนดให้เป็นตัวแปรค่าคงที่ ค่าตัวแปรค่าคงที่สำหรับใช้ในการเชื่อม

ตารางที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลองขั้นต้น (Pilot study)

ความเร็วในการเชื่อม	แก๊สปกคลุมอัตราส่วน (%)	กระแสไฟเชื่อม		
		160	180	200
250	Ar+O ₂ (95:5)	A		B
	Ar +Co ₂ (95: 5)	C		D
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	F		G
300	Ar+O ₂ (95:5)	H		I
	Ar +Co ₂ (95: 5)	J		K
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	L		M
350	Ar+O ₂ (95:5)	N		O
	Ar +Co ₂ (95: 5)	P		Q
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	R		S

จากทดลองปฏิบัติการเชื่อม ในการเชื่อมต่อชิ้นงาน Duplex Stainless Steel (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิม (AISI 304) จนได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมจนได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องจึงได้ปฏิบัติการเชื่อมชิ้นงาน ตามที่ได้ออกแบบการทดลองต่อไป

3.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental)

หลังจากที่ทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเบื้องต้นที่เหมาะสม แล้วทำให้ได้ตัวแปรเพื่อออกแบบการทดลองอย่างมีระเบียบแบบแผน ภายใต้การควบคุมสภาพการณ์ ตัวแปรหรืออิทธิพลที่เกี่ยวข้องสามารถสังเกตได้ มีความเที่ยงตรงสามารถจัดกระทำซ้ำหรือทดสอบได้ผลการออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาพารามิเตอร์พารามิเตอร์การเชื่อม ที่จะมีผลต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม บริเวณกระพุ่มร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) บริเวณกระพุ่มร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) บริเวณโลหะงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205) บริเวณโลหะงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) และผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) บริเวณกระพุ่มร้อน (HAZ)ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI2205) ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) และผลต่อสมบัติทางกลด้านเค้นแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อม ซึ่งพารามิเตอร์ประกอบด้วย 3 ระดับ คือ แก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาทีก, กระแสไฟเชื่อมที่ใช้ทำการเชื่อม (Current) และความเร็วเชื่อมในการเชื่อม (มม./นาทีก) การทดลองจะทำการเชื่อมชิ้นงานซ้ำจำนวน 2 ครั้งต่อระดับพารามิเตอร์ รวม 54 ชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพในการเชื่อม

ความเร็ว ในการเชื่อม	แก๊สปกคลุม อัตราส่วน (%)	กระแสไฟเชื่อม					
		160		180		200	
		1	2	1	2	1	2
250	Ar+O ₂ (95:5)	1	28	10	37	19	46
	Ar+Co ₂ (95:5)	29	2	11	38	47	20
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	3	30	39	12	21	48
300	Ar+O ₂ (95:5)	4	31	40	13	49	22
	Ar+Co ₂ (95:5)	32	5	41	14	23	50
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	33	6	42	15	51	24
350	Ar+O ₂ (95:5)	7	34	16	43	25	52
	Ar+Co ₂ (95:5)	35	8	44	17	53	26
	Ar+O ₂ +Co ₂ (92:5:3)	9	36	18	45	27	54

หมายเหตุ การปฏิบัติการเชื่อมได้ดำเนินการทดลองตามแผนผังการทดลอง โดยเริ่มต้นจากลำดับที่ 1 จนถึง ลำดับที่ 54 ดังตัวอย่าง

1,28 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+O₂(95:5%) กระแสไฟเชื่อมที่ใช้ทำการเชื่อม 160 แอมแปร์ และความเร็วในการเชื่อม 250 มม/นาที

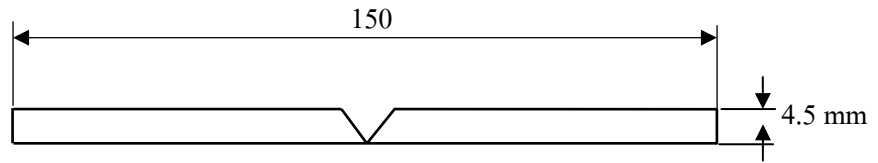
3.6 ขั้นตอนการทดลอง

3.6.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลอง

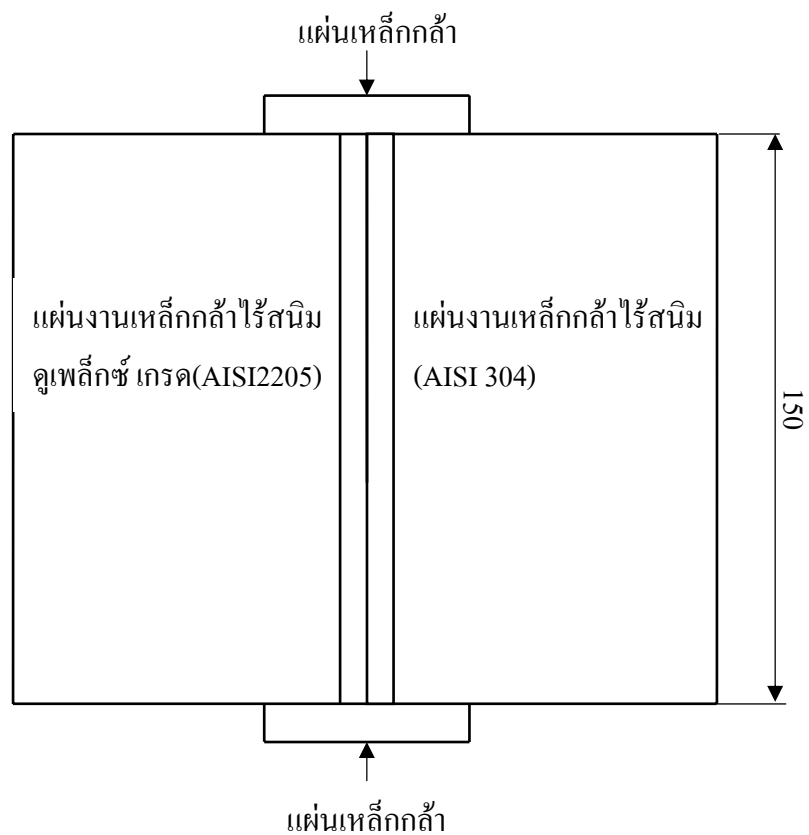
ลำดับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเชื่อมจะกระทำตามข้อกำหนดของมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 มีขั้นตอน ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมคูเพิล็กซ์ (AISI 2205) ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 75 X 150 X 4.5 mm. จำนวน 54 ชิ้น
2. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 75 X 150 X 4.5 mm. จำนวน 54 ชิ้น
3. บากหน้างาน มุมเอียง (Bevel angle) 30° ด้วยเครื่องกัด (Milling)

4. เชื่อมประกอบชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) และทำการเชื่อมยึดบริเวณหัว-ท้าย รอยต่อด้วยแผ่นเหล็กกล้า ขนาดกว้าง 30 mm. ยาว 40 mm. หนา 4.5 mm. ดังแสดงในรูปที่ 3.10,3.11



รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการต่อชิ้นงานแบบต่อชน



รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการเชื่อมยึดหัว-ท้ายชิ้นงานด้วยแผ่นเหล็กกล้า

3.6.2 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานทดลอง

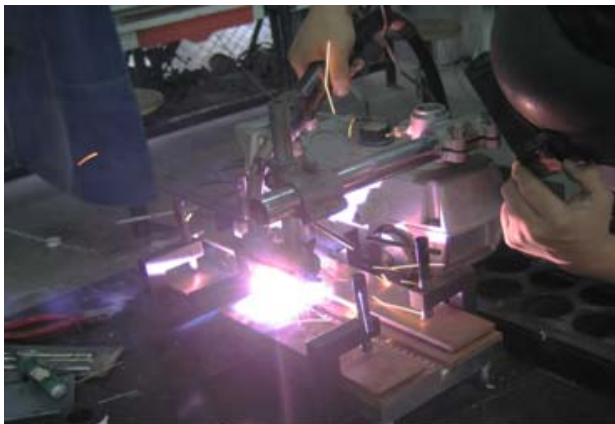
1. นำชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วมาทำความสะอาด เพื่อขจัดสิ่งสกปรกบริเวณรอยต่อออกให้หมด
2. เชื่อมชิ้นงานในตำแหน่งท่าราบ โดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลังชิ้นงานและยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.12

3. เตรียมอุปกรณ์เครื่องมือในการเชื่อม ปรับค่าตัวแปร เช่น ความเร็วในการเชื่อม กระแสไฟเชื่อม มุมหัวเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ที่ 15 ลิตร/ลูกบาศก์ฟุตและระยะอาร์ค



รูปที่ 3.12 แสดงการจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลัง

4. เชื่อมชิ้นงานโดยเริ่มเชื่อมจากแผ่นยึดชิ้นงาน ใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดินหน้า (Fore hand) แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงานด้วยกรรมวิธี GMAW

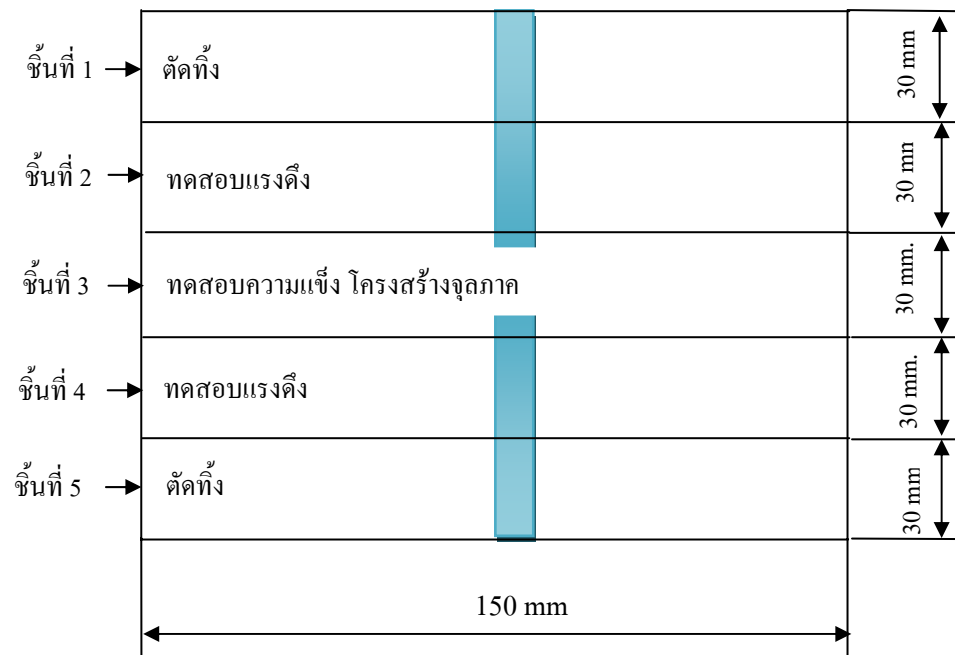
5. เชื่อมเสร็จปลดชิ้นงานเชื่อมให้เย็นตัวในอากาศ

6. ทำการเชื่อมชิ้นงานชิ้นใหม่ตามลำดับจากการออกแบบการทดลองและเปลี่ยนค่าตัวแปรการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยปฏิบัติการเชื่อมตามขั้นตอน ข้อที่ 1-5

3.6.3 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล

การทดสอบ และการเก็บข้อมูลจากการทดลอง กระทำตามขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จทั้งหมดจำนวน 54 ชิ้นมาตัดใช้ทำการทดสอบ(Specimen) ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการออกแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อตัดทำการทดสอบความแข็งแรง แรงดึงและการศึกษาโครงสร้างจุดภาค

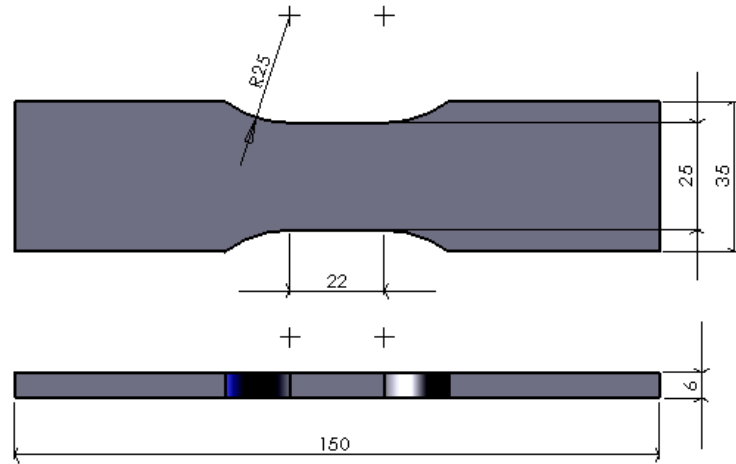
2. ตัดชิ้นงานตามแบบด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยการหล่อเย็นด้วยน้ำ

3.6.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง

การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME และขั้นตอนการเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานชั้นที่ 2 ตามรูปที่ 3.14 ตกแต่งผิวหน้าแนวเชื่อมด้านบนและด้านหลัง ด้วยตะไบหรือเครื่องเจียรระไนให้เรียบ
2. ออกแบบชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME Section IX การเตรียมชิ้นงานทดสอบขอบของชิ้นทดสอบอาจตกแต่งด้วยด้วยการตะไบ ความยาวส่วนขนานของชิ้นทดสอบ (Parallel Length) เท่ากับความกว้างของแนวเชื่อม (Width of Weld) บวก 1/2 นิ้ว (13 มม.) ส่วนโค้งของชิ้นทดสอบขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด (Milling) มีรัศมีส่วนโค้งเท่ากับ 1 นิ้ว (25 มม.) ความกว้างส่วนทดสอบ (W) ลบจากขอบความกว้างชิ้นทดสอบด้านละ 1/4 นิ้ว (6 มม.) ความยาวชิ้นทดสอบประมาณ 150 มม.

หรือตามต้องการ ความยาวส่วนจับขึ้นทดสอบจะเท่ากับ 2 ใน 3 ของความยาวปากจับ (Grip Length) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



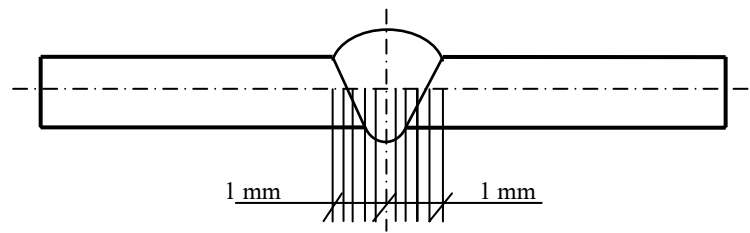
รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะชิ้นงานใช้ทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASME Section IX

3. ปรับเครื่องทดสอบและประกอบหัวจับสำหรับงานแบน
4. ยึดชิ้นงานเข้ากับหัวจับด้านบน ปรับยกหัวจับเคลื่อนขึ้น เพื่อจับปลายชิ้นทดสอบด้านล่าง
5. เพิ่มแรงดึงขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จนชิ้นทดสอบให้เกิดความเครียดยืดออกและขาด
6. บันทึกค่าความต้านแรงดึงสูงสุด แรงดึงที่จุดขาด และอัตราการยืดตัว
7. อ่านและแปลผลที่ได้จากกราฟบันทึกผลการทดสอบแรงดึง
8. ทำการทดสอบแรงดึง ตามลำดับขั้นตอนจนครบทั้ง 54 ชิ้น

3.6.5 การทดสอบสมบัติทางกลด้านความแข็ง

การทดสอบความแข็งตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME และขั้นตอนการเก็บข้อมูล โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานชิ้นที่ 3 จากการเตรียมชิ้นงาน ตามรูปที่ 3.15 นำมาขัดผิวให้เรียบด้านข้างแนวเชื่อมเพื่อเตรียมทดสอบความแข็ง
2. กำหนดตำแหน่งการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) จำนวน 11 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.16
3. ทำการทดสอบความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness test) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ตามลำดับขั้นตอน จำนวน 54 ชิ้น
4. บันทึกข้อมูลจากการทดสอบ



รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ)



รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness test)

3.6.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทำตามขั้นตอน

ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen) นำชิ้นงานชิ้นที่ 3 ทำการปรับระดับผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบ ด้วยตะไบ

1. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding) ด้วยเบอร์ 150 – 1,200
2. การขัดมัน (Polishing)
3. การกัดด้วยสารละลาย (Etching)

4. การถ่ายภาพโครงสร้างรอยเชื่อม (Weld metal) บริเวณที่ชิ้นงานได้รับอิทธิพลจากความร้อนหลังจากการเชื่อม (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะงาน (Base Metal) ด้วยกล้องไมโครสโคป รุ่น EZ4D ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า

5. การถ่ายภาพโครงสร้างรอยเชื่อม (Weld metal) บริเวณของชิ้นงานที่ได้รับอิทธิพลจาก

6. ความร้อนภายหลังการเชื่อม (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะงาน (Base Metal) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ รุ่น Axiolab a ด้วยกำลังขยาย 100, 500, 1000 เท่า



รูปที่ 3.18 แสดงการจัดชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ด้วยเครื่องขัด



รูปที่ 3.19 แสดงวิธีการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.7 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติจากตัวอย่างงานเชื่อมของแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้

3.7.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

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

เมื่อ	$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
	$\sum x_i$	=	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	n	=	จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

3.7.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ	SD	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
	X	=	ข้อมูลแต่ละตัว
	$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	μ	=	ข้อมูลเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	n	=	จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง [8]

3.7.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three - Way Analysis of Variance)

งานวิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยมี 3 พารามิเตอร์ประกอบด้วย ความเร็วเชื่อม(A) แก๊สปกคลุม(B) กระแสไฟเชื่อม (C) แต่ละพารามิเตอร์มี 3 ระดับ ดังนั้น การวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงใช้การวิเคราะห์แบบสามทาง (Three - Way Analysis of Variance) ดังนี้

3.7.4 เมื่อแบบจำลองทางสถิติเพื่ออธิบายข้อมูลจากการทดลองสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$y_{ijkl} = \mu + \lambda_i + \beta_j + \gamma_k + (\lambda\beta)_{ij} + (\lambda\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\lambda\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

3.7.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three - Way Analysis of Variance)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง มีดังนี้

1. กำหนดสมมุติฐานเพื่อการทดสอบ
2. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α)
3. คำนวณหาค่า F ดังตาราง

ตารางที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F
A	SS_A	$a-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	MS_A/MS_E
B	SS_B	$b-1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	MS_B/MS_E
C	SS_C	$c-1$	$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$	MS_C/MS_E
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	MS_{AB}/MS_E
AC	SS_{AC}	$(a-1)(c-1)$	$MS_{AC} = \frac{SS_{AC}}{(a-1)(c-1)}$	MS_{AC}/MS_E
BC	SS_{BC}	$(b-1)(c-1)$	$MS_{BC} = \frac{SS_{BC}}{(b-1)(c-1)}$	MS_{BC}/MS_E
ABC	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	$MS_{ABC} = \frac{SS_{ABC}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	MS_{ABC}/MS_E
Error	SS_E	$abc(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	$abcn-1$		

สูตร

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{abcn}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{an} - \frac{y^2}{abcn}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{an} - \frac{y^2}{abcn}$$

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \frac{y_k^2}{an} - \frac{y^2}{abcn}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{n} - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y_{ik}^2}{n} - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{jk}^2}{n} - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C$$

$$SS_E = SS_T - SS_{ABC} - SS_A - SS_B - SS_C$$

4. เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้แต่ละตัวกับค่า F จากตาราง

5. สรุปผล และแปลความหมาย

3.8 ขั้นตอนการแปลผล สรุป และเขียนวิทยานิพนธ์

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติมาทำการแปลผลสรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์