

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อม ต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค ของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก โดยมีระเบียบวิธีและขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการวิจัย ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร ตำรา วารสาร งานวิจัย ทั้งภายในและต่างประเทศ ที่มีเนื้อหาหรือลักษณะของการวิจัยที่ใกล้เคียงกันและศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ห้องสมุดของสถาบันอุดมศึกษา ตลอดจนการศึกษาจากประสบการณ์การปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการเชื่อม และการสนทนาสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย

3.2 กำหนดปัจจัยการทดลอง

กำหนดปัจจัย ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง สำหรับดำเนินการวิจัย เพื่อที่จะนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบถึงความแตกต่าง โดยอ้างอิงหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐาน ซึ่งจะก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ขึ้นจากผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับการศึกษาและงานอุตสาหกรรมต่อไป

การศึกษากำหนด ตัวแปรและปัจจัยในการศึกษาวิจัย ประกอบด้วย

1. ศึกษาเกี่ยวกับแก๊ส 3 ชนิด คือ $Ar+CO_2(95:5\%)$ $Ar+CO_2(90:10\%)$ $Ar+CO_2(85:15\%)$
2. ศึกษาเกี่ยวกับกระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 150 แอมป์ 170 แอมป์ 200 แอมป์
3. ศึกษาเกี่ยวกับความเร็ว 3 ระดับ คือ 250 มม./นาที 300 มม./นาที 350 มม./นาที

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุ ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง ประกอบด้วย

1. เครื่องเชื่อมมิก รุ่น HOBART RC-256 ประกอบติดตั้งกับเครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรง
2. เครื่องผสมแก๊ส (Gas Mixer)
3. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N
4. ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ER- 308L Si ขนาด 1.2 มม. Lingcol
5. แก๊สผสม $Ar+CO_2(95:5\%)$
6. แก๊สผสม $Ar+CO_2(90:10\%)$

7. แก๊สผสม Ar+CO₂(85:15%)
8. เครื่องเลื่อยกล รุ่น MEBA 320
9. แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อม
10. เครื่องออฟติคอลลิมิซันสเปกโตรมิเตอร์ (Optical Emission Spectro Meter) รุ่น DV 6
11. เครื่องกัดมิติรุ่น KPS F1-250
12. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
13. เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส รุ่น MMT-X7
14. กล้องจุลทรรศน์ (Micro structure) รุ่น Axiolab a
15. เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ขนาด 75 mm x 150 mm x 4.5 mm 54 แผ่น
16. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ขนาด 75 mm x 150 mm x 4.5 mm 54 แผ่น



รูปที่ 3.1 เครื่องเชื่อมมิก รุ่น HOBART RC-256



รูปที่ 3.2 เครื่องผสมแก๊ส



รูปที่ 3.3 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น MMT-X7



รูปที่ 3.6 เครื่องออปติคอลลิมิซันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น DV 6



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.4 การทดลองเบื้องต้น

งานศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อเป็นบรรทัดฐานสำหรับการทดลอง จึงทำการทดลองเบื้องต้น หาระดับของความเร็วในการเดินแนวเชื่อม กระแสไฟเชื่อม อัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาให้มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ ส่วนตัวแปรอื่น เช่น ลวดเชื่อม มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค เทคนิคการเชื่อม กำหนดให้เป็นตัวแปรค่าคงที่ สำหรับใช้ในการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพ ในการทดลองเบื้องต้น

ความเร็ว ในการเชื่อม Mm/min	แก๊ส อัตราส่วนผสม (%)	กระแสไฟฟ้า Amp.					
		150 Amp.		170 Amp.		200 Amp.	
250	Ar+CO ₂ (95:5%)	A ₁₁				C ₁₁	
	Ar+CO ₂ (90:10%)						
	Ar+CO ₂ (85:15%)	G ₁₁				I ₁₁	
300	Ar+CO ₂ (95:5%)	J ₁₁				L ₁₁	
	Ar+CO ₂ (90:10%)						
	Ar+CO ₂ (85:15%)	P ₁₁				R ₁₁	
350	Ar+CO ₂ (95:5%)	S ₁₁				U ₁₁	
	Ar+CO ₂ (90:10%)						
	Ar+CO ₂ (85:15%)	Y ₁₁				AA ₁₁	

จากการทดลองปฏิบัติการเชื่อมทดสอบหาประสิทธิภาพ ทำให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสม ที่ได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่อง เพื่อนำไปใช้ออกแบบการทดลองต่อไป

3.5 การออกแบบการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการทดลองเบื้องต้น ทำให้ได้ตัวแปรในการออกแบบการทดลอง ภายใต้การควบคุมสภาพการณ์ ตัวแปรหรืออิทธิพลที่เกี่ยวข้อง สามารถสังเกตได้ มีความเที่ยงตรง การศึกษาปัจจัยพารามิเตอร์การเชื่อมในขั้นการทดลองจริง ประกอบด้วยปัจจัย 3 ตัว คือ กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม แก๊สปกคลุมการเชื่อม การทดลองออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล ดีไซน์จะทำการเชื่อมชิ้นงานซ้ำ จำนวน 2 ครั้ง ต่อระดับปัจจัย รวม 54 ชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์การเชื่อม ในการทดลองจริง

ความเร็ว ในการเชื่อม Mm/min	แก๊ส อัตราส่วนผสม (%)	กระแสไฟฟ้า Amp.					
		150 Amp.		170 Amp.		200 Amp.	
250	Ar+CO ₂ (95:5%)	1	28	10	37	46	19
	Ar+CO ₂ (90:10%)	29	2	11	38	20	47
	Ar+CO ₂ (85:15%)	3	30	39	12	48	21
300	Ar+CO ₂ (95:5%)	4	31	40	13	49	22
	Ar+CO ₂ (90:10%)	5	32	41	14	50	23
	Ar+CO ₂ (85:15%)	33	6	15	42	24	51
350	Ar+CO ₂ (95:5%)	34	7	16	43	25	52
	Ar+CO ₂ (90:10%)	8	35	17	44	53	26
	Ar+CO ₂ (85:15%)	9	36	18	45	54	27

หมายเหตุ

1,28 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

10,37 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

46,19 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

29,2 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

11,38 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

20,47 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

3,30 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

39,12 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

48,21 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 250 mm/min

4,31 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 Mm/min

40,13 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

49,22 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

5,32 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

41,14 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

50,23 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

33,6 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส $\text{Ar}+\text{CO}_2(85:15\%)$ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 Mm/min

15,42 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

24,51 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 300 mm/min

34,7 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส $Ar+CO_2(95:5\%)$ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

16,43 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

25,52 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(95:5%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

8,35 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

17,44 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

53,26 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(90:10%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

9,36 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 150 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

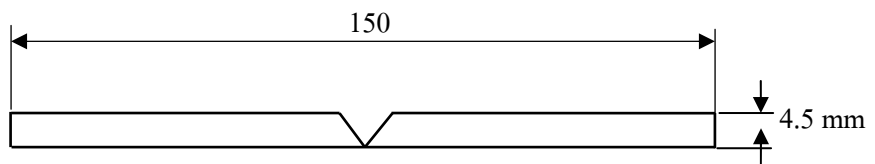
18,45 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 170 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

54,27 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ใช้แก๊ส Ar+CO₂(85:15%) กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 200 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 350 mm/min

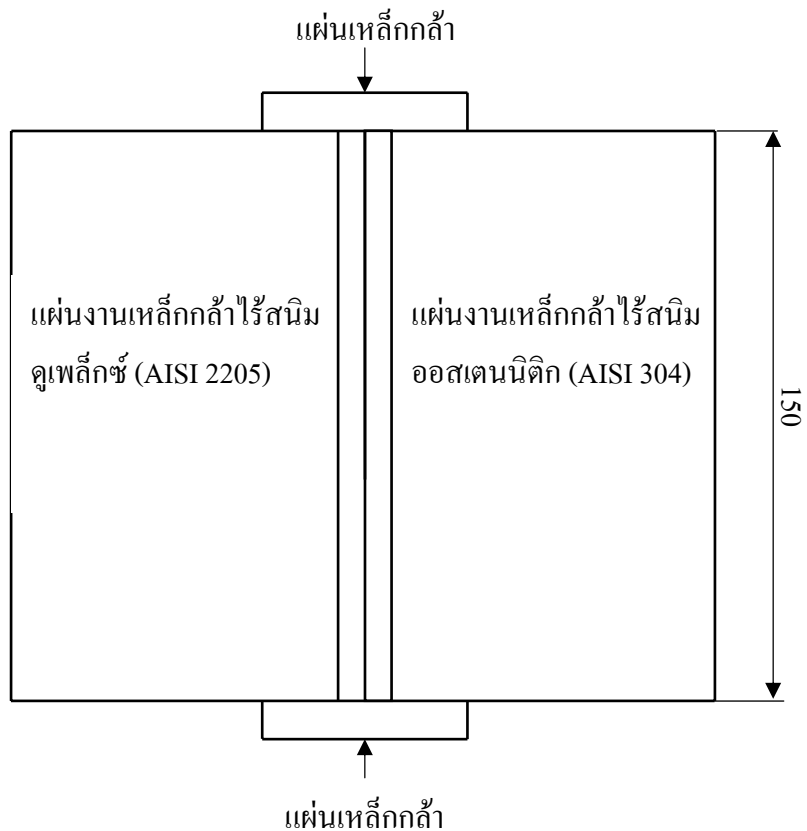
3.6 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานเชื่อม เพื่อการทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมคูเพิล็กซ์ (AISI 2205) ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 75 X 150 X 4.5 มม. จำนวน 54 ชิ้น
2. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 75 X 150 X 4.5 มม. จำนวน 54 ชิ้น
3. บากหน้างาน มุมเอียง (Bevel angle) 30 องศา
4. เชื่อมประกอบชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) และทำการการเชื่อมยึดบริเวณหัว-ท้ายรอยต่อ ด้วยแผ่นเหล็กกล้า ขนาดกว้าง 3 มม. ยาว 4 มม.หนา 4.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ,3.9



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการต่อชิ้นงานแบบต่อชน



รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการเชื่อมยึดหัว-ท้าย ชิ้นงานด้วยแผ่นเหล็กกล้า

3.7 การดำเนินการทดลอง

1. ทำความสะอาด ขจัดสิ่งสกปรกบริเวณรอยต่อ
2. เตรียมอุปกรณ์เครื่องมือการเชื่อม ปรับค่าตัวแปร เช่น ความเร็วในการเชื่อม กระแสไฟเชื่อม มุมหัวเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ที่ 15 ลิตร/ลูกบาศก์ฟุต และระยะอาร์ค
3. เชื่อมชิ้นงานในตำแหน่งทำراب โดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลังชิ้นงาน และยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลัง

4. เชื่อมชิ้นงานโดยเริ่มเชื่อมจากแผ่นยึดชิ้นงาน ใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดินหน้า (Fore hand) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



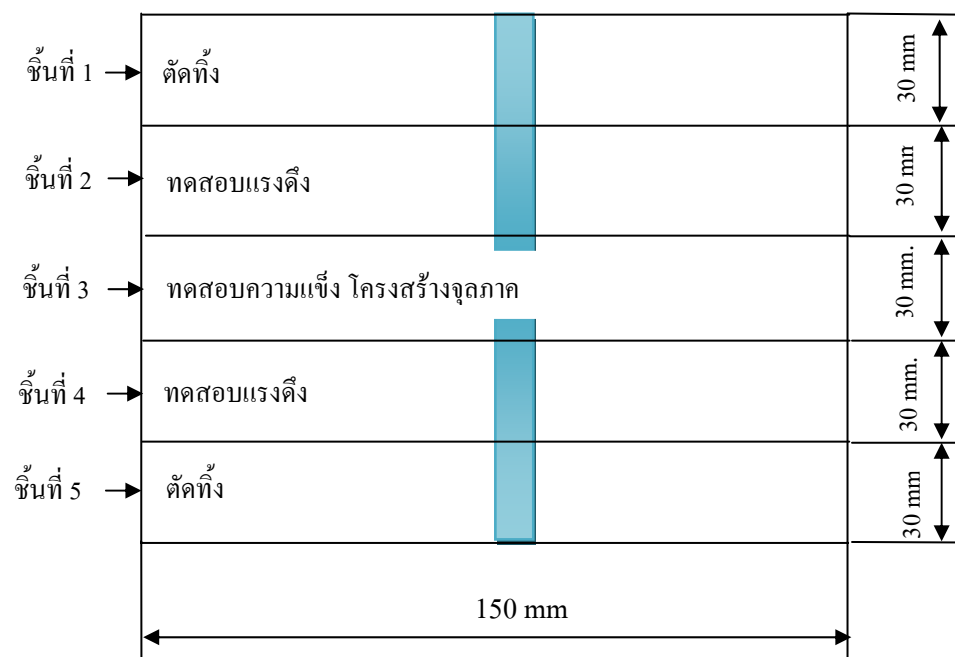
รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงาน ด้วยการเชื่อมมิก

5. เชื่อมเสร็จปล่อยชิ้นงานเชื่อมให้เย็นตัวในอากาศ
6. ทำการเชื่อมชิ้นงานตามลำดับจากการออกแบบการทดลอง และเปลี่ยนค่าตัวแปรการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยปฏิบัติการเชื่อมตามขั้นตอน ข้อที่ 1-5

3.8 การทดสอบและเก็บข้อมูล

การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็งแรง ทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุด และการศึกษาโครงสร้างจุลภาค ทำตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 มีขั้นตอนดังนี้

3.8.1 ออกแบบชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จ ทั้งหมดจำนวน 54 ชิ้น เพื่อตัดใช้ทำการทดสอบ (Specimen) ดังแสดงในรูปที่ 3.12

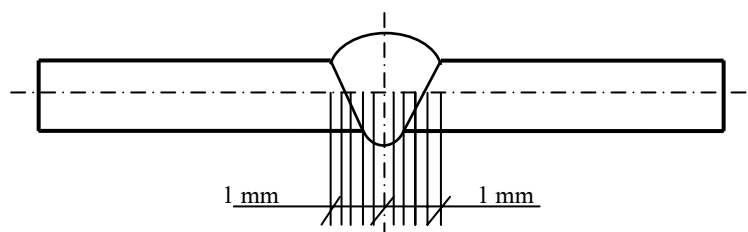


รูปที่ 3.12 แสดงการออกแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อตัดทำการทดสอบความแข็งแรงแรงดึง และศึกษาโครงสร้างจุลภาค

3.8.2 ตัดชิ้นงานตามแบบด้วยเครื่องเลื่อยกล โดยการหล่อเย็นด้วยน้ำ

3.8.3 การทดสอบสมบัติทางกลด้านความแข็ง เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASME Section IX มีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานชิ้นที่ 3 จากการเตรียมชิ้นงาน ตามรูปที่ 3.12 นำมาขัดผิวให้ด้านข้างแนวเชื่อมให้เรียบ เพื่อเตรียมทดสอบความแข็ง
2. กำหนดตำแหน่งการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระพรวน โลหะงาน จำนวน 18 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.13
3. ทำการทดสอบความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness test) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ตามลำดับขั้นตอน จำนวน 54 ชิ้น
4. บันทึกข้อมูลจากการทดสอบ



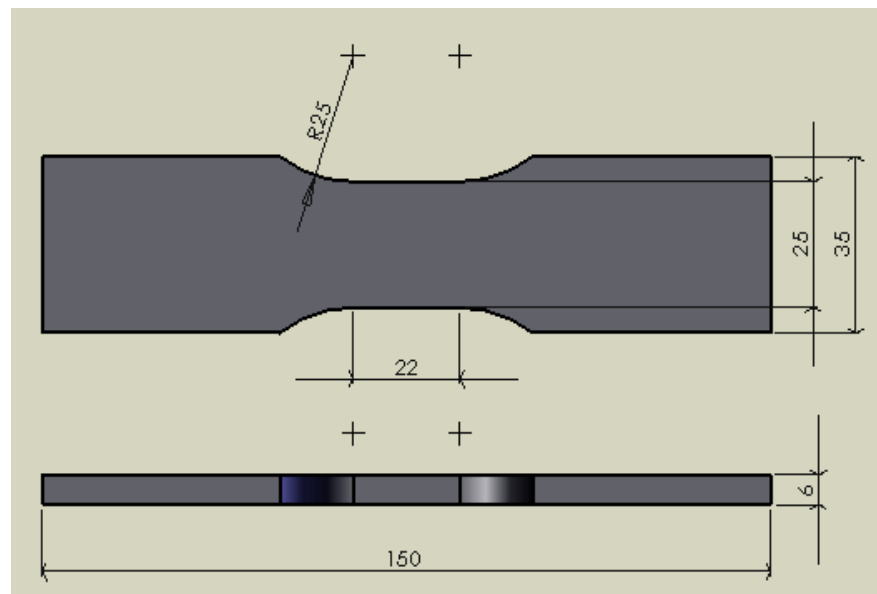
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็ง บริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระพรวนและโลหะงาน



รูปที่ 3.14 แสดงวิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส

3.8.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME Section IX และการเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานชิ้นที่ 2 ตามรูปที่ 3.12 ตัดแต่งผิวหน้าแนวเชื่อมด้านบนและด้านหลัง ด้วยตะไบหรือเครื่องเจียรไนให้เรียบ
2. ออกแบบชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME Section IX
3. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ ขอบของชิ้นทดสอบตกแต่งด้วยด้วยการตะไบ ความยาวชิ้นทดสอบ (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. ความยาวส่วนจับชิ้นทดสอบจะเท่ากับ 2 ใน 3 ของความยาวปากจับ (Grip Length) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะชิ้นงานใช้ทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุด ตามมาตรฐาน ASME Section IX

4. ปรับเครื่องทดสอบและประกอบหัวจับสำหรับงานแบน
5. ยึดชิ้นงานเข้ากับหัวจับด้านบน ปรับยกหัวจับเคลื่อนขึ้น เพื่อจับปลายชิ้นทดสอบด้านล่าง
6. เพิ่มแรงดึงขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จนชิ้นทดสอบเกิดความเครียดยืดออกและขาด
7. บันทึกค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด แรงดึงที่จุดขาด อัตราการยืดตัว
8. อ่านและแปลผลที่ได้จากกราฟบันทึกผลการทดสอบความเค้นแรงดึง
9. ทำการทดสอบชิ้นงาน ตามลำดับขั้นจนครบทั้ง 54 ชิ้น

3.8.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการนำชิ้นงานส่วนที่ 3 (ตามรูปที่ 3.12) ของชิ้นงานที่มีความเค้นแรงดึงสูงที่สุด ชิ้นงานที่มีความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด ขัดชิ้นงานเชื่อมด้วยกระดาษทราย (Grinding) ด้วยเบอร์ 150 – 1200
2. ขัดมันชิ้นงานเชื่อม (Polishing)
3. กัดชิ้นงานเชื่อมด้วยสารละลาย (Etching)
4. ถ่ายภาพโครงสร้างรอยเชื่อม บริเวณกระแทกร้อน บริเวณโลหะงาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์โคปเปอร์ EZ4D ด้วยกำลังขยาย 50 100 500 1000 เท่า



รูปที่ 3.16 แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด



รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.9 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติจากตัวอย่างงานเชื่อมของแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้

3.9.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

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

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

3.9.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

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

เมื่อ	S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
	X	=	ข้อมูลแต่ละตัว
	$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	μ	=	ข้อมูลเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	n	=	จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

3.9.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three - Way Analysis of Variance)

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

1. เมื่อแบบจำลองทางสถิติเพื่ออธิบายข้อมูลจากการทดลองสามารถเขียนได้ ดังนี้

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

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three - Way Analysis of Variance) ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง มีดังนี้

- กำหนดสมมุติฐานเพื่อการทดสอบ
- กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α)
- 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้แต่ละตัวกับค่า F จากตาราง
- สรุปผล และแปลความหมาย