

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกลในการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) โดยมีระเบียบวิธีและขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการวิจัย ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร ตำรา วารสาร งานวิจัย ทั้งภายในและต่างประเทศ ที่มีเนื้อหาหรือลักษณะของการวิจัยที่ใกล้เคียงกันและศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น ห้องสมุดของสถาบันอุดมศึกษา ตลอดจนการศึกษามาจากประสบการณ์การปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการเชื่อม และการสนทนาสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย

3.2 กำหนดปัจจัยการทดลอง

กำหนดปัจจัย ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง สำหรับดำเนินการวิจัย เพื่อที่จะนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบถึงความแตกต่าง โดยอ้างอิงหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามมาตรฐาน ซึ่งจะก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ขึ้นจากผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับการศึกษาและงานอุตสาหกรรมต่อไป

การศึกษากำหนด ตัวแปรและปัจจัยในการศึกษาวิจัย ประกอบด้วย

1. ศึกษาเกี่ยวกับฟลักซ์ 3 ชนิด คือ Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3)
2. ศึกษาเกี่ยวกับกระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 185 แอมป์ 200 แอมป์ และ 215 แอมป์
3. ศึกษาเกี่ยวกับความเร็วคงที่ คือ 100 มม./นาที

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุ ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง ประกอบด้วย

1. เครื่องเชื่อมทิก รูน เครื่องเชื่อมทิก เอช.ดีซี. TIG 215P AC/DC ประกอบติดตั้งกับเครื่องตัด แก๊สแบบเส้นตรง
2. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N
3. ฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2)

4. ผงฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2)
5. ผงฟลักซ์ Aluminium Oxide (Al_2O_3)
6. เครื่องเลื่อยกล รุ่น MEBA 320
7. แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อม
8. Wire Cut Machines (AQ325L)
9. เครื่องออปติคอลอิมิชชันสเปกโตรมิเตอร์ (Optical Emission Spectro Meter) รุ่น DV 6
10. เครื่องกัดมิลริง รุ่น KPS F1-250
11. เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester) รุ่น MATSUZAWA Model MMT-X7B
12. เครื่องขัดกระดาษทรายแบบสายพานและแบบจานหมุน
13. กล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) กำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า – 30 เท่า
14. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ขนาด 75 mm x 70 mm x 10 mm จำนวน 9 แผ่น



รูปที่ 3.1 เครื่องเชื่อมทิก เอช.ดี.ซี. TIG 215P AC/DC



รูปที่ 3.2 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N



รูปที่ 3.3 Wire Cut Machines (AQ325L)



รูปที่ 3.4 เครื่องเลื่อยกล รุ่น MEBA 320



รูปที่ 3.5 ฟลักซ์ 3 ชนิด คือ Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3)



รูปที่ 3.6 แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อมและการตั้งปลายหัวเชื่อม



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester) รุ่น MATSUZAWA Model MMT-X7B



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope



รูปที่ 3.9 เครื่องตัดกระดาศทรายแบบจานหมุน

3.4 การทดลองเบื้องต้น

1. งานศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อเป็นบรรทัดฐานสำหรับการทดลอง จึงทำการทดลองหาค่าปัจจัยในการเชื่อมเบื้องต้น ที่สามารถเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบก๊าซทังสเตนอาร์ค (Gas Tungsten Arc Welding; GTAW) ซึ่งมีความหนา 10 มิลลิเมตรเพื่อกำหนดปัจจัยในการเชื่อม เช่น ปริมาณกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการศึกษาให้มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ ส่วนตัวแปรอื่น เช่น ลวดเชื่อม มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค เทคนิคการเชื่อม กำหนดให้เป็นตัวแปรค่าคงที่ สำหรับใช้ในการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

2. อัตราการไหลของแก๊สที่สามารถเชื่อมได้มีค่าอยู่ที่ 15 - 20 ลิตรต่อนาที และได้กำหนดอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 20 ลิตรต่อนาที [19]
3. ความเร็วในการป้อนลวด ที่สามารถเชื่อมได้และสวยงาม มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อนาที [19]
4. วัสดุในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045
5. ฟลักซ์ที่ใช้ทาผิวของชิ้นงานเชื่อม คือ Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3) ละลายในอะซิโตน (Acetone) ในอัตราส่วนประมาณ 1: 1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพ ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ความเร็วในการเชื่อม (mm/min)	ชนิดของฟลักซ์	กระแสไฟฟ้า (Amp)					
		185		200		215	
		Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
100	TiO_2	A_{11}		B_{11}		C_{11}	
	SiO_2	D_{21}		E_{21}		F_{21}	
	Al_2O_3	G_{31}		H_{31}		I_{31}	

จากการทดลองปฏิบัติการเชื่อมทดสอบหาประสิทธิภาพ ทำให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสม ที่ได้อรอยเชื่อมสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่อง เพื่อนำไปใช้ออกแบบการทดลองต่อไป

3.5 การออกแบบการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการทดลองเบื้องต้น ทำให้ได้ตัวแปรในการออกแบบการทดลอง ภายใต้การควบคุมสภาพการณ์ ตัวแปรหรืออิทธิพลที่เกี่ยวข้อง สามารถสังเกตได้ มีความเที่ยงตรง การศึกษาปัจจัยพารามิเตอร์การเชื่อมในขั้นการทดลองจริง ประกอบด้วยปัจจัย 3 ตัว คือ กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และ ฟลักซ์ การทดลอง ออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล ดีไซน์จะทำการเชื่อมชิ้นงาน จำนวน 2 ครั้ง ต่อระดับปัจจัย รวม 36 ชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์การเชื่อม ในการทดลองจริง (Experimental design)

ความเร็วในการเชื่อม (mm/min)	ชนิดของฟลักซ์	กระแสไฟฟ้า (Amp)					
		185		200		215	
		Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
100	TiO ₂	17	18	12	13	11	14
	SiO ₂	6	10	7	9	1	4
	Al ₂ O ₃	5	8	2	15	16	3

หมายเหตุ

17 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 ใช้ฟลักซ์ TiO₂ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

18 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 2 ไม่ใช้ฟลักซ์ TiO₂ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

6 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 ใช้ฟลักซ์ SiO₂ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

10 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 2 ไม่ใช้ฟลักซ์ SiO₂ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

5 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 1 ใช้ฟลักซ์ Al₂O₃ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

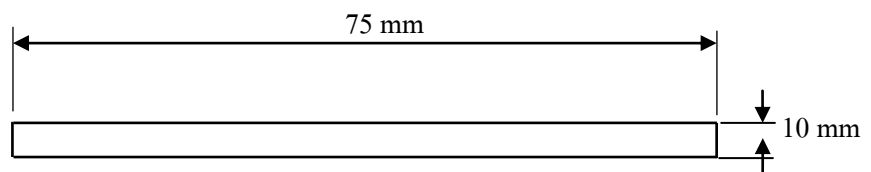
8 หมายถึง เชื่อมครั้งที่ 2 ไม่ใช้ฟลักซ์ Al₂O₃ กระแสที่ใช้ทำการเชื่อม 185 แอมป์ และความเร็วในการเชื่อม 100 mm/min

3.6 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.6.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเชื่อม

เพื่อทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 75 มม. X 70 มม. X 10 มม. จำนวน 9 ชิ้น

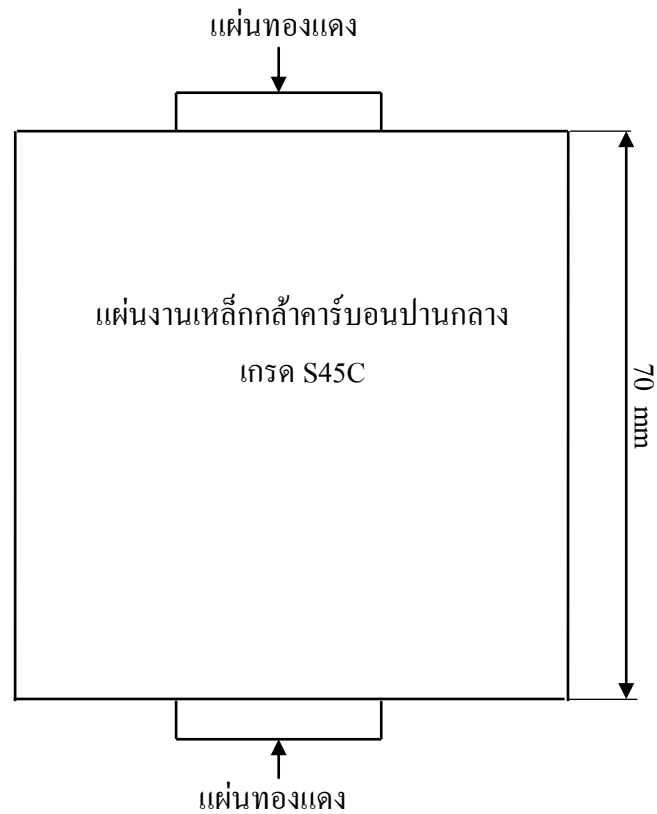


รูปที่ 3.9 แสดงขนาดชิ้นงานที่เตรียมทำการเชื่อม

2. เตรียมฟลักซ์ 3 ชนิด คือ Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3) ละลายในอะซิโตน(Acetone) ในอัตราส่วนประมาณ 1: 1 ดังรูปที่ 3.10



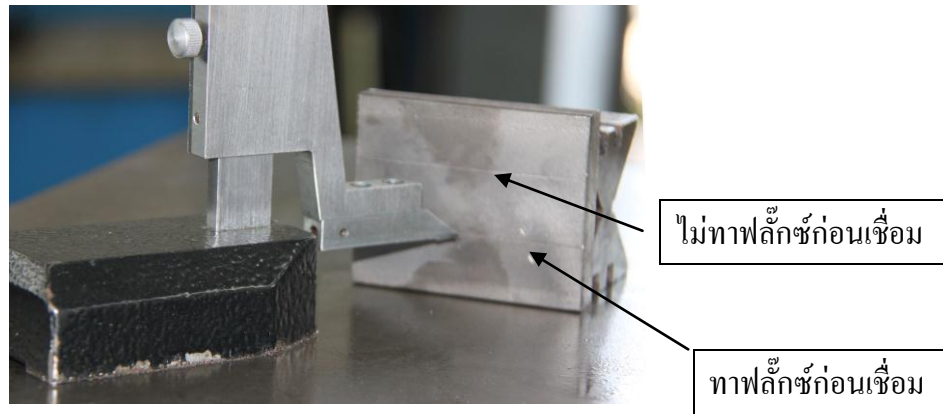
รูปที่ 3.10 Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) Aluminium Oxide (Al_2O_3) และ Acetone



รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการประกบแผ่นหลังชิ้นงานเชื่อมด้วย แผ่นทองแดง

3.7 การดำเนินการทดลอง

1. ทำความสะอาด บริเวณผิวหน้าชิ้นงานแล้วทาอะซิโตน(Acetone) ขจัดสิ่งสกปรก
2. เตรียมอุปกรณ์เครื่องมือการเชื่อม ปรับค่าตัวแปร เช่น ความเร็วในการเชื่อม กระแสไฟเชื่อม มุมหัวเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ที่ 20 ลิตร/ลูกบาศก์ฟุต และระยะอาร์ค 2 มิลลิเมตร
3. ร่างแบบชิ้นงานเชื่อม ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการร่างแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบการเชื่อมที่ทาฟลักซ์กับไม่ทาฟลักซ์



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานเชื่อมที่ร่างแบบเสร็จเตรียมเชื่อมเปรียบเทียบรอยเชื่อมที่ทาฟลักซ์กับไม่ทาฟลักซ์

4. เชื่อมชิ้นงานในตำแหน่งท่าราบ โดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลังชิ้นงาน และยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการตรวจสอบหัวเชื่อมก่อนการเชื่อมโดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลัง

5. ทาฟลักซ์ชิ้นงานเชื่อมแนวเชื่อมที่ 1 ชั้นที่ 1 ที่ทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2)
6. เชื่อมชิ้นงานโดยเริ่มเชื่อมจากแผ่นยึดชิ้นงาน ใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดินหน้า (Fore hand) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



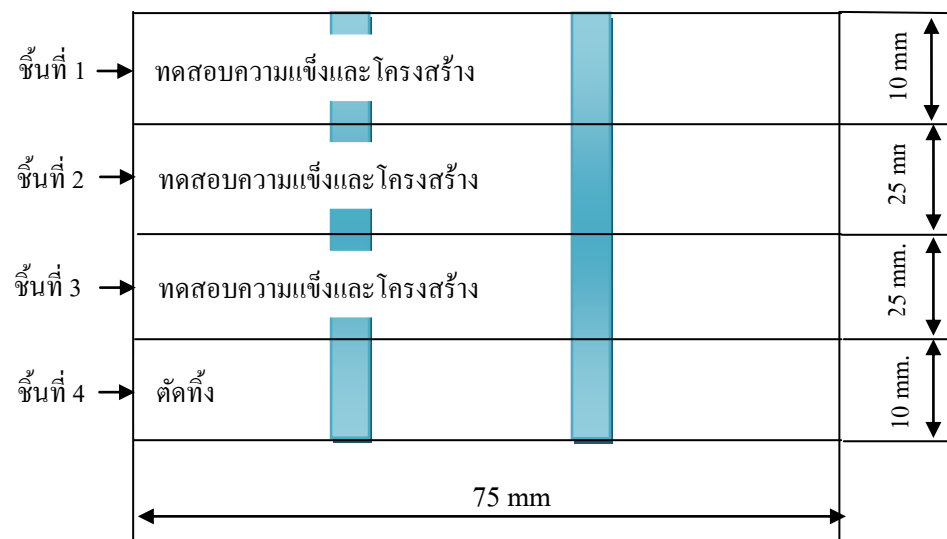
รูปที่ 3.15 แสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงาน ด้วยการเชื่อมมิก

7. เชื่อมเสร็จปล่อยให้ชิ้นงานเชื่อมให้เย็นตัวในอากาศ
8. ทำการเชื่อมชิ้นงานตามลำดับจากการออกแบบการทดลอง และเปลี่ยนค่าตัวแปรการเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยปฏิบัติการเชื่อมตามขั้นตอน ข้อที่ 3.71 – 3.78

3.8 การทดสอบและเก็บข้อมูล

การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบความแข็งแรง และการศึกษาโครงสร้างและการหลอมลึก (Dilution) ทำตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 มีขั้นตอนดังนี้

3.8.1 ออกแบบชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จ ทั้งหมดจำนวน 9 ชิ้น เพื่อตัดใช้ทำการทดสอบ (Specimen) ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการออกแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อตัดทำการทดสอบความแข็ง ศึกษาโครงสร้าง และการหลอมลึก (Dilution)

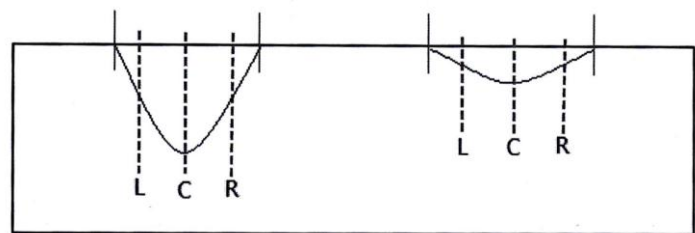
3.8.2 ตัดชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ด้วยเครื่อง wire-cut ให้ได้ขนาด 10 x 75 x 10 มิลลิเมตร จำนวน 9 ชิ้น และขนาด 10 x 75 x 10 มิลลิเมตร จำนวน 18 ชิ้น รวม 27 ชิ้น

3.8.3 ทดสอบสมบัติทางกลด้านความแข็ง เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASME Section IX มีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานชั้นที่ 1 จากการเตรียมชิ้นงาน ตามรูปที่ 3.16 นำมาขัดผิวให้ด้านข้างแนวเชื่อมให้เรียบ เพื่อเตรียมทดสอบความแข็ง
2. กำหนดตำแหน่งการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระพือร้อน โลหะงาน บริเวณละ 6 จุด รวมจำนวน 18 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.18
3. ทำการทดสอบความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบ Hardness Tester สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบการทดสอบความแข็ง โดยใช้วิธีการทดสอบความแข็งแบบ Vickers ด้วยเครื่องทดสอบ Hardness Tester เครื่องหมายเลขคำ MATSUZAWA Model MMT-X7B เป็นเครื่องทดสอบความแข็งที่สามารถปรับโหลดการทดสอบ ตั้งแต่ 10 gf – 2000 gf ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ตามลำดับขั้นตอนจำนวน 27 ชิ้น



รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester)

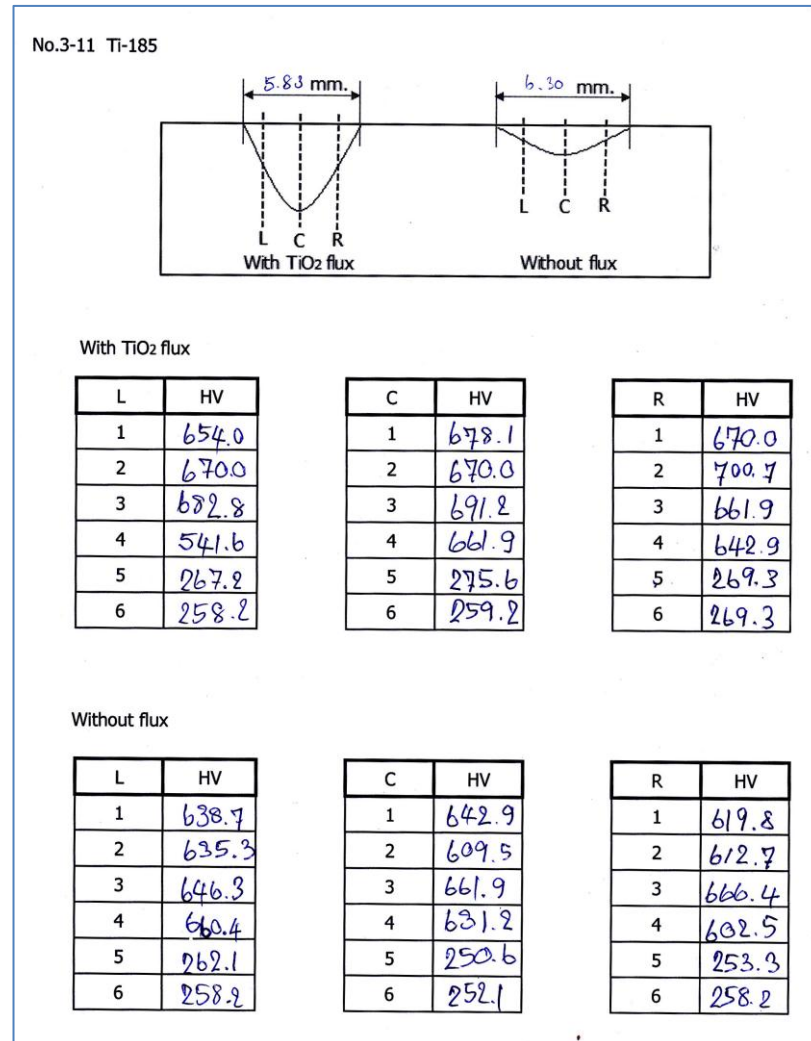


With Flux

With Out Flux

รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็ง บริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระแทกร้อนและโลหะงาน

4. บันทึกข้อมูลจากการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม ลงในแบบบันทึกค่าความแข็ง ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การบันทึกผลการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester)

3.8.3 การตรวจสอบโครงสร้าง รูปร่างของแนวเชื่อมและการหลอมลึก (Dilution) ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการนำชิ้นงานส่วนที่ 1-3 (ตามรูปที่ 3.15) ของชิ้นงานที่มีความขัดชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย (Grinding) ด้วยเบอร์ 150 – 1200
2. ขัดมันชิ้นงานเชื่อม (Polishing)
3. กัดชิ้นงานเชื่อมด้วยสารละลาย (Etching)
4. ส่องกล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เพื่อดูลักษณะรูปร่างแนวเชื่อม โดยกล้องมีกำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า – 30 เท่า



รูปที่ 3.20 แสดงการจัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัด



รูปที่ 3.21 กล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เพื่อดูลักษณะรูปร่างแนวเชื่อม โดยกล้องมีกำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า – 30 เท่า

3.9 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติจากตัวอย่างงานเชื่อมของแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้

3.9.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) [17]

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \bar{X} &= \text{ค่าเฉลี่ย} \\ \sum x_i &= \text{ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด} \\ n &= \text{จำนวนของข้อมูลทั้งหมด} \end{aligned}$$

3.9.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) [17]

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } S &= \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง} \\ X &= \text{ข้อมูลแต่ละตัว} \\ \bar{X} &= \text{ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง} \\ \mu &= \text{ข้อมูลเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง} \\ n &= \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง} \end{aligned}$$

3.9.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three - Way Analysis of Variance) [17]

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

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2}{abcn} \\
 SS_A &= \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{an} - \frac{y^2}{abcn} \\
 SS_B &= \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{an} - \frac{y^2}{abcn} \\
 SS_C &= \sum_{k=1}^c \frac{y_k^2}{an} - \frac{y^2}{abcn} \\
 SS_{AB} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{n} - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_B
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

- เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้แต่ละตัวกับค่า F จากตาราง
- สรุปผล และแปลความหมาย