

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Welding) และกรรมวิธีการเชื่อม ด้วยลวดเชื่อม ใต้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding: FCAW) โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 1020 เป็นชิ้นงาน ทดลองเชื่อม กำหนดรอยต่อเป็นแบบแนวเชื่อมต่อฉากทำราบ โดยเตรียมงานตามมาตรฐานงานเชื่อม ASME QW-462.4 (b) การเชื่อมเป็นแบบอัตโนมัติโดย ใช้กระแสไฟเชื่อมชนิด กระแสแบบมาตรฐาน ใช้แก๊สคลุมขณะทำการเชื่อมเป็นแก๊ส (CO_2) หลังจากนั้นวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจากลักษณะ ทางกายภาพ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และการทดสอบสมบัติทางกล ดังนั้นการ ดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนแนวคิด และจุดประสงค์ของการวิจัย
2. จัดเตรียมเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
3. กำหนดปัจจัยและออกแบบการทดลอง
4. เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานที่กำหนดและทดลองเชื่อมตามแผนการทดลอง
5. เตรียมชิ้นงานทดสอบและทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด
6. บันทึกข้อมูลวิเคราะห์และสรุปผลของการทดลองจากข้อมูลของปัจจัยที่ทำการศึกษามีผล

ต่อลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของงานเชื่อม

3.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยและเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคธนบุรี วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ และวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี เครื่องมือประกอบด้วย

3.2.1 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมเป็นระบบ Synergic เครื่องหมายการค้า EWM รุ่น Phoenix Puls P 351 ควบคุม ตัวแปร ของการเชื่อมด้วยไมโคร โปรเซสเซอร์และซอฟต์แวร์ของเครื่องเชื่อม แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องเชื่อม EWM รุ่น Phoenix Puls P 351

3.2.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมแบบอัตโนมัติ

ออกแบบวิธีการเชื่อม โดยการประยุกต์หัวเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์เครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติ เครื่องหมายการค้า TANAKA รุ่น KT-160 ความเร็วของเครื่องตัดสามารถปรับได้ในช่วง 0-1000 mm./min โดยหัวเชื่อมยึดติดแทนที่หัวตัดแก๊สและถูกขับเคลื่อนไปตามรางของเครื่องตัดด้วยความเร็วคงที่ในการเชื่อมตามลำดับการทดลอง 350, 400 และ 450 mm./min นอกจากนี้หัวเชื่อม ยังสามารถ กำหนดมุม และระยะการอาร์คให้คงที่ได้ แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมแบบอัตโนมัติ TANAKA รุ่น KT-160

3.2.3 วัสดุทดลองเชื่อม

วัสดุทดลองเชื่อมเป็นเหล็กกล้ารีดร้อน (Hot Rolled Steel) ตามมาตรฐาน AISI เกรด 1020 เป็นวัสดุที่ นิยมนำมาใช้ในงาน โครงสร้างทั่วไป ก่อนทำการทดลองเชื่อมได้ตรวจสอบส่วนผสมด้วยเครื่อง

วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Emission Spectrometer Machine) มีส่วนผสมของคาร์บอนในเนื้อเหล็ก 0.201 % จัดเป็นเหล็กกล้าประเภทคาร์บอนปานกลาง รายละเอียดส่วนผสมทางเคมีอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ก



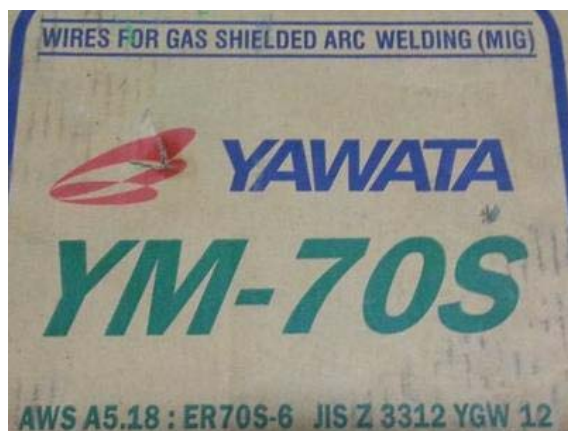
รูปที่ 3.3 เครื่อง Emission Spectrometer



รูปที่ 3.4 เหล็กกล้ารีดร้อน AISI เกรด 1020

3.2.4 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลองเป็นลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐาน ASME/AWS A5.18 ER70S-6 เครื่องหมายการค้า YAWATA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm. และ ลวดเชื่อมประเภทไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐาน ASME/AWS A5.20 E71T-1 เครื่องหมายการค้า YAWATA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm. มีส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลแสดง ในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.5 ASME/AWS A5.18 ER70S-6

CLASSIFICATION		AWS A5.20:E71T-1 JIS Z3313 :YFW-C36DH		
YAWATA 71T-1 is a flux cored arc welding wire to be used with CO ₂ shield gas for machinery, structures, ships, bridges, towers, chemical engineering apparatus or storage tank.				
Size and Recommended current Range(DC+)				WELDING POSITION
Dia(mm.)		1.2	1.4	1.6
Current (Amp.)	F & HF	120-300	150-400	180-450
	H	120-280	150-320	180-350
	VD	200-280	220-270	230-280
				 all positions
YAWATA ELECTRODE(THAILAND)CO LTD				

รูปที่ 3.6 ASME/AWS A5.20 E71T-1

3.2.5 แก๊สปกคลุม

แก๊สคลุมที่ใช้มี 1 ชนิด คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ในการทดลองเชื่อมโดยกำหนดอัตราการไหลของแก๊สคลุมขณะเชื่อมผ่านชุดควบคุมแก๊สได้โดยตรงในปริมาณเท่ากับ 12 L/min



รูปที่ 3.7 ชุดควบคุมแก๊ส

3.2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดความร้อน

เครื่องมือวัดอุณหภูมิความร้อน เครื่องหมายการค้า National Instruments เป็นเครื่องมือสำหรับดูพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการทดลองและบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป แสดงใน รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิความร้อน National Instruments



รูปที่ 3.9 คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลความร้อน

3.2.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบการบิดงอเชิงมุมและการหลอมลึก

เครื่องตรวจสอบการบิดงอเชิงมุมและการหลอมลึก เครื่องหมายการค้า Struers รุ่น Welding Expert เป็นเครื่องมือสำหรับวัดลักษณะการบิดงอเชิงมุมและการหลอมลึก ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นกล้องตรวจสอบ และส่วนที่เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องตรวจสอบการบิดงอเชิงมุมและการหลอมลึก

3.2.8 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

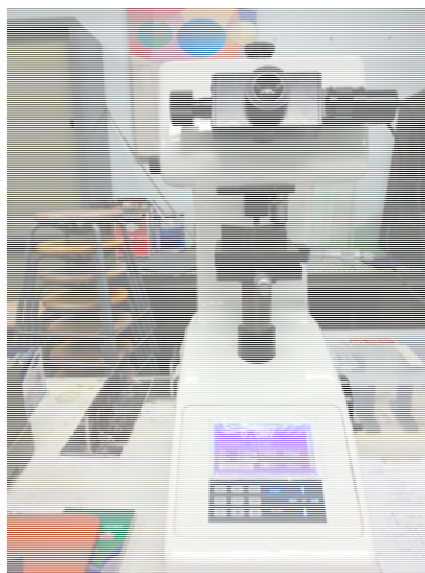
กล้องจุลทรรศน์ เครื่องหมายการค้า Zeiss รุ่น Axiovert 40 MAT เป็นเครื่องมือสำหรับดู และ ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นกล้องจุลทรรศน์ และส่วนที่เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูล แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

3.2.9 เครื่องมือในการทดสอบสมบัติทางกล

เครื่องทดสอบความแข็ง เป็นเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า ESEWAY สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัลการวัดความแข็งใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมปลายหัวกดทำมุม 136° โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของงานเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม เขตที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและเนื้อโลหะเดิม แสดงใน รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

3.3 การกำหนดปัจจัยและการออกแบบการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการบิดงอเชิงมุม (Distortion) โดยมีปัจจัยที่ควบคุมได้ คือ ชนิดของกระบวนการเชื่อมระหว่างกรรมวิธีการเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Welding) และกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding: FCAW) กระแสเชื่อมและแก๊สปกคลุม ว่ามีผลต่อการบิดงอเชิงมุมของงานเชื่อม ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลต่องานเชื่อมอย่างไร ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยสำคัญ ที่ทำการศึกษาได้ดังนี้

3.3.1 ปัจจัยสำคัญในการทดลอง

1. ชนิดของกระบวนการเชื่อม
 - กระบวนการเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Welding)
 - กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding:)
2. ขนาดของกระแสไฟเชื่อม 200A, 220A และ 240A แรงดัน 27 V
3. ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 350, 400 และ 450 mm./min
4. อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม (Shielding Gas) กำหนดอัตราการไหล ที่ 12 L/min.

3.3.2 ปัจจัยที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง

1. เครื่องเชื่อมและชุดอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ
2. ชุดชุดควบคุมแก๊ส
3. วัสดุชิ้นงานทดลองเชื่อม ตามมาตรฐาน AISI เกรด 1020
4. ลวดเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME/AWS A5.18 ER70S-6
5. ลวดเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME/AWS A5.20 E71T-1
6. การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ประกอบด้วยโครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค ตามมาตรฐาน ASTM E407
7. การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วยความแข็งตามมาตรฐาน ASTM E92
8. ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม แสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม

ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม	กระบวนการเชื่อม	
	GMAW	FCAW
กระแสไฟเชื่อม (A)	200,220,240	200,220,240
แรงดันไฟฟ้า (V)	27	27
อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม (L/min)	12	12
มุมของหัวเชื่อม (°)	90	90
อัตราความเร็วในการเดินแนวเชื่อม (mm./min)	350,400,450	350,400,450

9. การออกแบบตารางการทดลองแบบ Factorial Design

ตารางที่ 3.2 แสดงการออกแบบตารางการทดลองแบบ Factorial Design

(A) กระบวนการเชื่อม	(B) ความเร็วในการเชื่อม								
	350 mm./min			400 mm./min			450 mm./min		
	(C) กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม								
	200 A	220 A	240 A	200A	220 A	240 A	200 A	220 A	240 A
	46	29	30	31	32	33	16	53	36
GMAW	28	11	48	48	50	15	52	35	54
	10	47	12	49	27	51	34	17	18
	1	38	21	4	41	6	7	44	45
FCAW	37	20	3	40	23	42	43	8	27
	19	2	39	22	36	24	25	26	9

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ของการดำเนินงาน เช่น การเตรียมชิ้นงานทดลอง การเชื่อมชิ้นงานทดลอง ตลอดจนการตรวจสอบและทดสอบชิ้นงาน ภายหลังจากการเชื่อม จึงกำหนดขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ ของงานเชื่อม ดังนี้

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานทดลองได้กำหนดรอยต่อตามมาตรฐาน ASME-QW462.4(b) แสดงในภาคผนวก ก โดยตัดชิ้นงานทดลองเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1020 ให้ได้ ขนาด $75 \times 150 \times 6$ mm. หลังจากนั้น เชื่อมยึดชิ้นสายสัญญาณวัดความร้อนเข้ากับชิ้นงาน และติดตั้งชิ้นงานบนตัวจับยึดชิ้นงานที่เตรียมไว้ เพื่อเตรียมการเชื่อมงานต่อจากทำราบ แสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14 โดยชิ้นงานทดลองเชื่อม ใช้สำหรับการเชื่อมด้วยการออกแบบตารางการทดลองแบบ Factorial Design ตัวอย่าง 1 เท่านั้น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.13 ลำดับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลอง (ก) ตัดชิ้นงานทดลอง (ข) เตรียมชิ้นงานเชื่อม (ค) ตัวจับยึดชิ้นงาน (ง) เชื่อมยึดชิ้นสายสัญญาณวัดความร้อน



รูปที่ 3.14 การติดตั้งชิ้นงานก่อนเชื่อม

3.4.2 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง

ติดตั้งอุปกรณ์การเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยมีวิธีการ คือ ประกอบหัวเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์ของเครื่อง ตัดแก๊สอัตโนมัติ ปรับมุมของหัวเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม (Welding Speed) แสดงในรูปที่ 3.15 ก และ ข หลังจากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเชื่อมแสดงในรูปที่ 3.16 ค และ ง และเชื่อมโดยไม่สายหัวเชื่อม จำนวนแนวเชื่อมของชิ้นทดลองแต่ละชิ้นมีจำนวนทั้งหมด 1 แนวต่อชิ้น การเชื่อมกำหนดลำดับของการเชื่อมแต่ละแนวเหมือนกันทุกชิ้น

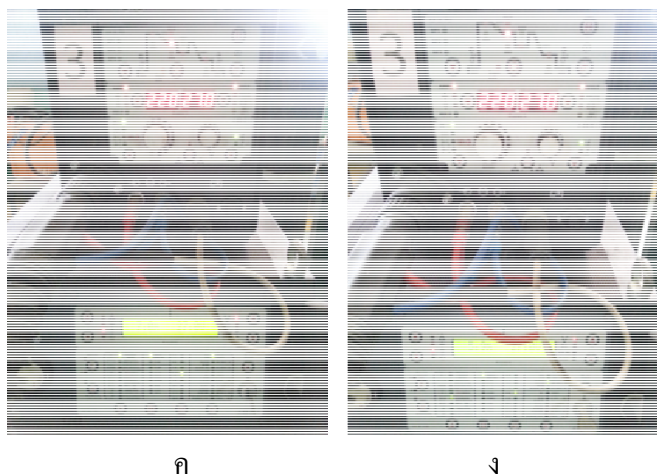


(ก)



(ข)

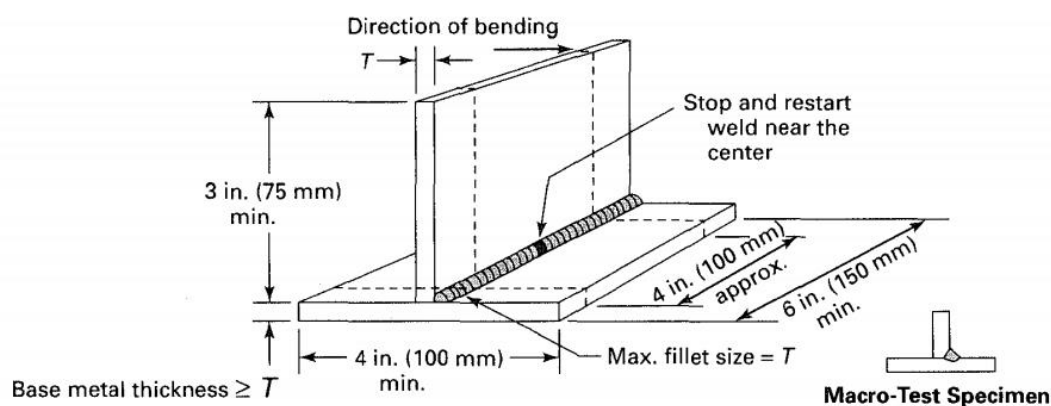
รูปที่ 3.15 การเตรียมอุปกรณ์เชื่อม (ก) ประกอบหัวเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์
(ข) เชื่อมโดยไม่สายหัวเชื่อม



รูปที่ 3.16 การตั้งค่าพารามิเตอร์ (ค) ตั้งค่าพารามิเตอร์ GMAW (ง) ตั้งค่าพารามิเตอร์ FCAW

3.4.3 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ในส่วนของการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยานั้นใช้วิธีการตรวจสอบ 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและจุลภาค ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นชิ้นงานเดียวกัน การเตรียมชิ้นงานมีวิธีการดำเนินงาน คือ นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว ทำการตัดแบ่งเป็นชิ้นทดสอบแต่ละอย่าง แสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18 และในภาคผนวก ก ซึ่งในชิ้นงานแต่ละชิ้นสามารถตัดมาเป็นชิ้นตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาได้เท่ากับ 1 ชิ้น แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.17 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา



รูปที่ 3.18 การแบ่งชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASME-QW462.4(b)

การเตรียมชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยนำชิ้นงานที่ตัดได้ขนาดไปทำการทดสอบต่อไป แสดงในรูปที่ 3.18

1. การตัดชิ้นงานเชื่อมที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้าง ต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดเกิด การเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดข้อผิดพลาด สำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบกำหนดให้ขนาด 75×25 mm. ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่ายโดยไม่ต้องทำตัวเรือน



รูปที่ 3.19 การตัดชิ้นงานเชื่อมทดสอบ

2. การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ ขัดด้วยกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 220 จนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับในการขัดชิ้นงานทดสอบบนเครื่องขัดผิวชิ้นงานลงบนกระดาษทรายนั้นให้เปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรก ซึ่งได้แก่ผงโลหะ และซิลิโคนคาร์ไบด์ออกให้หมด การขัดผิว

ตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณ ไม่ควรออกแรงขัดมากจนเกินไปทั้งนี้ส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาดได้



(ก) กระดาษทราย



(ข) เครื่องขัดชิ้นงาน

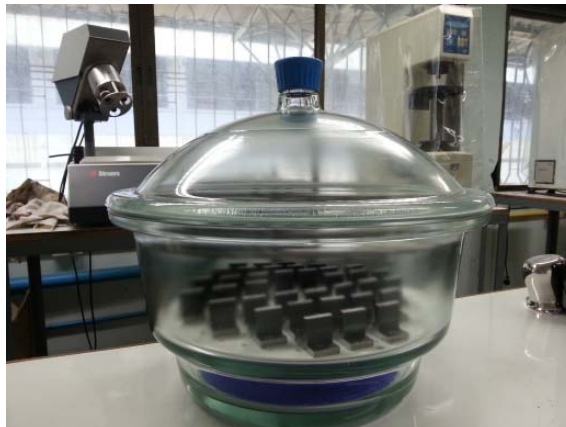
รูปที่ 3.20 การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ (ก) กระดาษทราย (ข) เครื่องขัดชิ้นงาน

3. การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจาก อะลูมินา (Alumina Oxide) โดยผงขัดใช้ขนาดตั้งแต่ 5, 1, 0.3 μm ด้วยจานหมุนชนิดผ้าสักหลาดใช้ผง ขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน



รูปที่ 3.21 ผงขัดใช้ขนาดตั้งแต่ 5, 1, 0.3 μm

4. การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นงานตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกัดด้วยน้ำยาซึ่งใช้กรดไนตริกร้อยละ 2.5 ผสมกับแอลกอฮอล์ หลังจากการกัดกร่อนไป ล้างน้ำและเป่าให้แห้ง แล้วนำไปเก็บในโถเก็บชิ้นทดสอบดูความชื้น



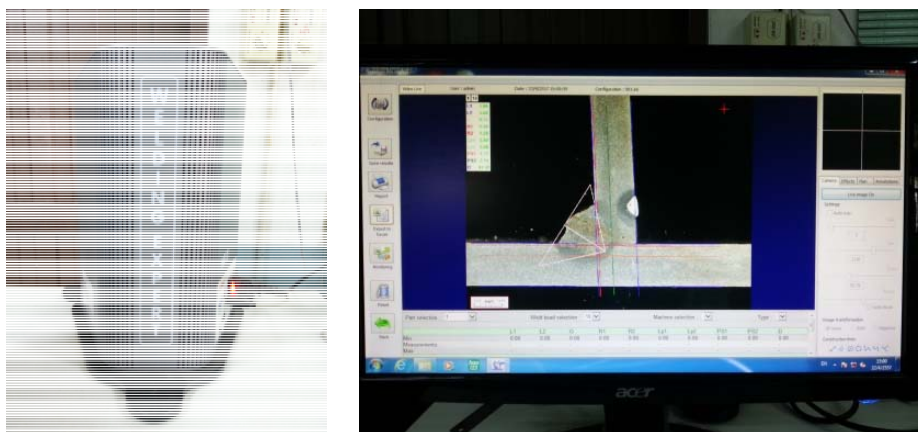
รูปที่ 3.22 โถเก็บชื้นทดสอบดูความชื้น

นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Inspection) ต่อไป

สรุป ผลการตรวจสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการตรวจสอบทางกายภาพและโครงสร้างมหภาค เพื่อดูลักษณะความแตกต่างของแนวเชื่อม เช่น ความกว้าง ความนูน การบิดงอเชิงมุมของชิ้นงานเชื่อม การหลอมลึก และจุดบกพร่องต่างๆ บริเวณแนวเชื่อมและภายในรอยเชื่อม และส่วนที่สองเป็นการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อตรวจสอบขนาดและลักษณะของเกรนบริเวณเนื้อเชื่อม WM เขตที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน HAZ และบริเวณเนื้อโลหะเดิม BM

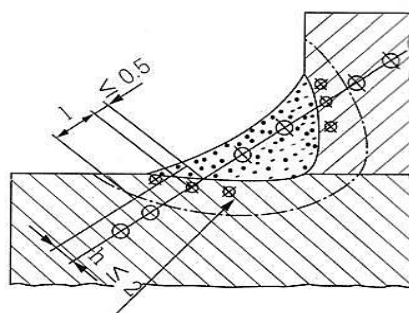
3.4.4 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติทางกล

1. การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบการบิดงอเชิงมุม (Distortion Test) ใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณมุมของรอยต่อจากของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้วิธีการวัดด้วยเครื่องวัดมุม Welding Expert แล้วประมวลผลการวัดมุมด้วยโปรแกรมวัดมุมด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วัดมุมด้วยคอมพิวเตอร์

2. การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) เขตที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะหลัก (Base Metal) แสดงในรูปที่ 3.24 วิธีการวัดความแข็งใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136° ใช้แรงกด 1 kgf กดเข้าเป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 3.24 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง ISO 9015.2

การสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกล เป็นการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เพื่อเปรียบเทียบความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) เขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะงาน (Base Metal) จากปัจจัยของการทดลองที่แตกต่างกัน