บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลกระทบทางกระบวนการความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 โดยผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในขั้นตอนการทดลองได้ใช้กระบวนการเชื่อมแบบ GTAW และได้กำหนดค่าตัวแปร ที่ใช้ในการทดลองของงานเชื่อมดังนี้กระแสไฟฟ้า แรงดันแก๊สอาร์กอนและขนาดของแท่งTungsten electrode เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม ได้แก่ เครื่องเชื่อมแบบ GTAW ชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิมได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 การทดสอบสมบัติทางกลแบบแรงดึงการทดสอบหาค่าความแข็งและการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

ก) ในการทดลองได้ใช้ เครื่องเชื่อม GTAW ที่เป็นตัวเชื่อม ซึ่งประกอบเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมอัตราความเร็วรอบในการเชื่อม โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S38103โดย จะนำไปทดลองเชื่อมกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ข) กำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ ตัวแปรต้นได้แก่ อุณหภูมิที่ทำการบ่มแข็งด้วยอายุ (Aging)มี 3 ระดับคือ 650^{O} ,750^{O} และ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็งชิ้นงานมี 3 ระดับ คือ 1,4 และ 8 ชั่วโมง สำหรับตัวแปรตามได้แก่ การตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ค่าความแข็งของรอยเชื่อม ในการทดลองจะมีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.2 เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม ดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือเหล็กกล้าไร้สนิม ดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 มีส่วนผสมเคมีดังตารางที่ 3.1 ในรูปของเหล็กกล้าไร้สนิม (Plate) ที่ผ่านกระบวนการรีดมามีความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 105 มิลลิเมตร ความยาว 280 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.1 มีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการเดินแนวเชื่อมบนชิ้นงานมีขั้นตอนดังนี้ คือ

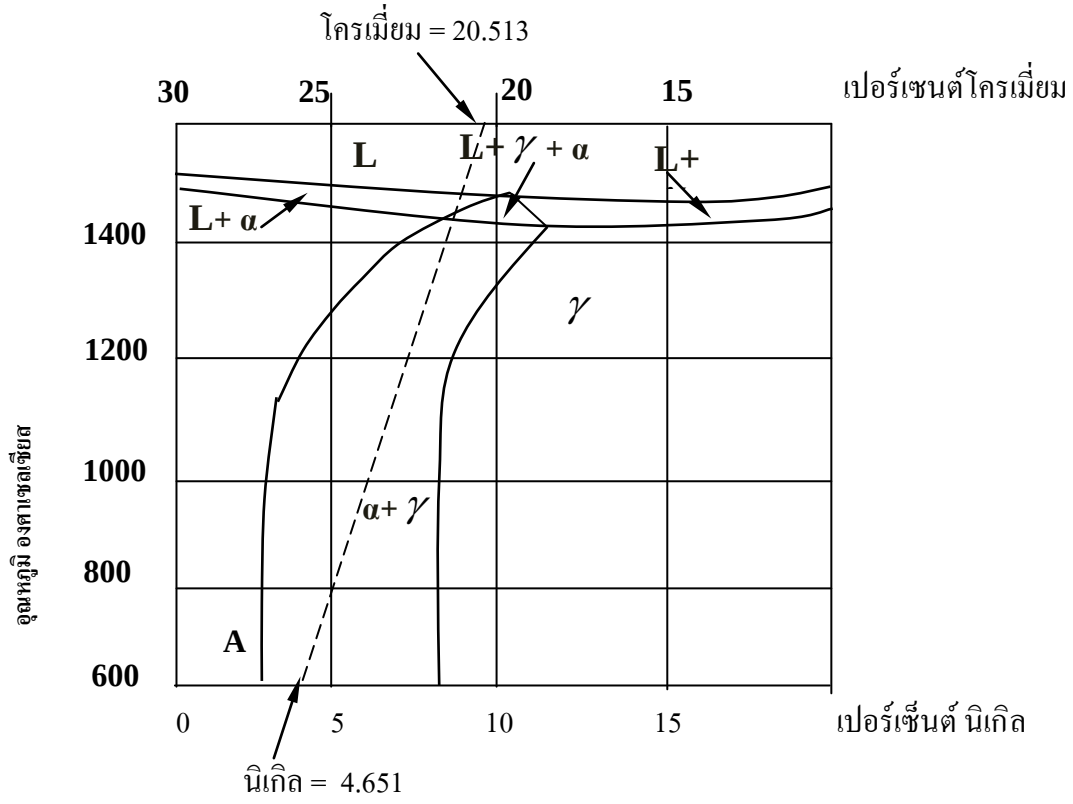
1. ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 มีขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 105 มิลลิเมตร ความกว้าง 280 มิลลิเมตร

2. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยทินเนอร์ เพื่อขจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกอื่นๆ

3. เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจำนวน 2 ชิ้น โดยบากร่องตัว V ทดลองเชื่อมแบบเดินแนวท่าราบบนชิ้นงาน

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานทดลอง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Spectrometer)

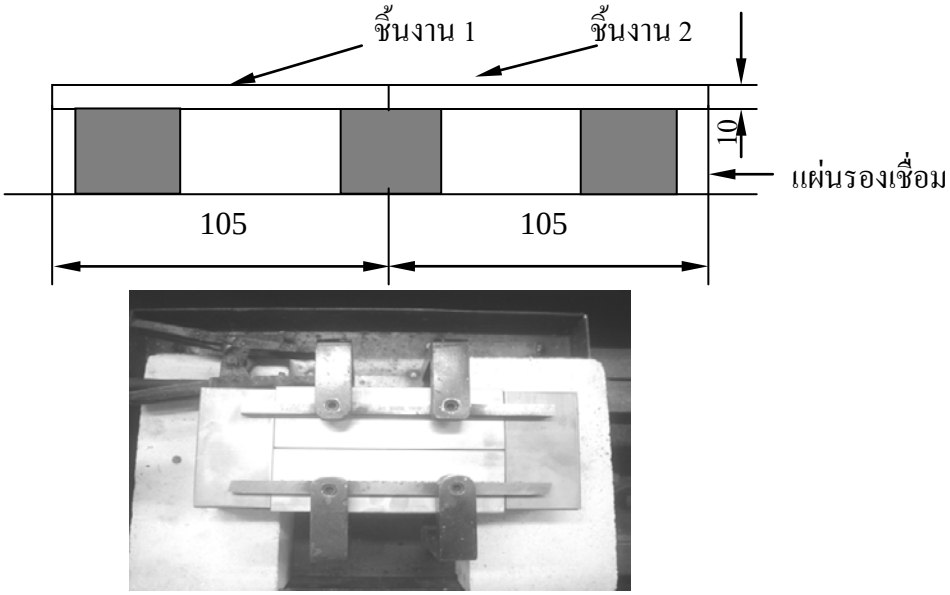
เกรด UNS	ส่วนผสมทางเคมี							
	C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni	Mo
S31803	0.0331	0.8380	<0.0010	0.0053	0.7516	20.513	4.651	2.915



รูปที่ 3.1 แผนภาพกึ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเหล็กล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้จับยึดชิ้นงาน

อุปกรณ์ที่ใช้จับยึดชิ้นงานทำจากเหล็กเหนียวนำมาเชื่อมประกอบกันเป็นชิ้นเดียว มีBacking เป็นทองแดง ซึ่งผิวหน้าของอุปกรณ์ที่ใช้วางชิ้นงานทำการปาดผิวเรียบและเจียระไนตลอดทั้งชิ้น เพื่อการวางชิ้นงานที่ได้ระดับและเสมอกันทั้งชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การจับยึดชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.2.3 เครื่องเชื่อมแบบ GTAW

เครื่องเชื่อมที่ใช้ทำการทดลองเป็นเครื่องเชื่อมระบบอินเวอร์เตอร์ควบคุมตัวแปรการเชื่อม ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ และซอฟแวร์ของเครื่องเชื่อมกระแสไฟที่ใช้เป็นแบบกระแสไฟตรงขั้วตรง (D.C.S.P.) เครื่องหมายการค้า Kemppi รุ่น Master TIG AC/DC 2500W จะกำหนดตามลักษณะการใช้งาน ดังรูปที่ 3.3 และการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ ดังนี้

1. เครื่องเชื่อม (Power Source)
2. ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling System)
3. แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)
4. หัวเชื่อมและอุปกรณ์ประกอบ (Welding Torch and Equipment)

รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อม TIG

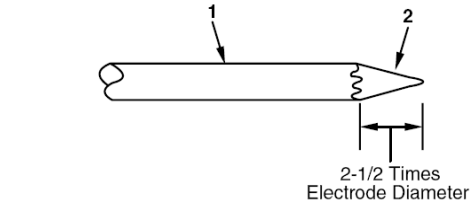
3.2.4 ชุดอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมชิ้นงาน

ชุดอุปกรณ์ช่วยสำหรับเชื่อมชิ้นงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำการเชื่อมแทนผู้ปฏิบัติงานเชื่อมเพื่อให้สามารถทำการควบคุมความเร็วในการเชื่อม และระยะของการอาร์คให้คงที่ขณะที่ทำการเชื่อมได้ โดยมีชุดควบคุมที่ประกอบด้วย สวิตช์ควบคุมความเร็วในการเชื่อมและชุด Timer ในการควบคุมเวลาในการเชื่อม ส่วนการควบคุมระยะอาร์คให้คงที่จะมี สกรูสำหรับปรับเลื่อนขึ้นเลื่อนลงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ช่วยการเชื่อม

3.2.5 แท่งTungsten electrode

Tungsten electrode อิเล็กโทรดที่ใช้กับการทดลอง จะเป็นทังสเตนผสมทอเรียมออกไซด์(ThO2) 2% Thoriated Tungsten โดยน้ำหนัก จะใช้ทดลองอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตรและ2.4 มิลลิเมตร มุมแหลมปลายอิเล็กโทรด (Tip Angle) 30 องศาและมนปลายส่วนที่แหลมเล็กน้อย และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับชิ้นงานทดสอบ(Arc Length) 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเซรามิกส์ครอบทังสเตนอิเล็กโทรด (WeldTorch – Vertical Orifice) มีขนาด 6 มิลลิเมตร อิเล็กโทรดยื่นออกจากหัวเซรามิกส์ (Electrode Stickout) 4 มิลลิเมตร หัวเชื่อมทำมุมกับชิ้นงานทดลอง 90 องศา ใช้น้ำระบายความร้อนระหว่างเชื่อม ดังรูปที่ 3.5



1. Tungsten Electrode
2. Tapered End

รูปที่ 3.5 แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทังสเตนอิเล็กโทรดในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม [20]

ตารางที่ 3.2 แสดงมาตรฐานของลวดเชื่อมทังสเตน[20]

AWS-ASTM Classification	ชนิดลวดเชื่อมทังสเตน	สี
EWP	Pure Tungsten	เขียว
EWTH-1	1% Thoriaed	เหลือง
EWTH-2	2.% Thoriated	แดง
EWTH-3	Pure + Thoriated Tungsten	น้ำเงิน
EWZr	Zirconiared	น้ำตาล

3.2.6 แก๊สอาร์กอน

แก๊สที่ใช้ในการทดลองใช้แก๊สอาร์กอนโดยจะปรับอัตราการไหลให้มีแรงดันแก๊สอยู่ 3 ระดับคือ 6 ลิตร/นาที,7 ลิตร/นาทีและ 8 ลิตร/นาที แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สที่ทำให้การเริ่มต้นเชื่อมง่ายให้อาร์คที่เปลวเรียบและสม่ำเสมอ แก๊สอาร์กอนมีความหนาแน่นมากกว่าบรรยากาศ การใช้งานกับโลหะทุกชนิดรวมทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม มีความบริสุทธิ์ 99.95 %

3.2.7 อุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสคอป

ชุดอุปกรณ์การถ่ายภาพด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสคอป ที่ใช้ถ่ายภาพรูปร่างโครงสร้างมหภาคใช้เครื่องOLMPUS รุ่นSZ 61ตามเครื่องหมายการค้า แสดงดังภาพที่ 3.6 ซึ่งเป็นกล้องที่ถ่ายภาพดูโครงสร้างมหภาค และสามารถนำภาพถ่ายรูปร่างโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง ส่งต่อไปทำการวัดระยะของการหลอมละลายลึก(Penetration : D) และระยะความกว้าง (Width : W) จากนั้นจะบันทึกค่าที่วัดได้ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

รูปที่ 3.6 แสดงชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสคอป

3.2.9 เครื่องทดสอบความแข็ง

เครื่องทดสอบสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบการทดสอบความแข็ง สเกลที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Vickers Testing เครื่องหมายการค้า TESTOMETRIC รุ่น MICRO เป็นเครื่องทดสอบสามารถทดสอบความแข็งได้ ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็ง

3.2.10 เครื่องขัดชิ้นงาน

ในการขัดชิ้นงานจะต้องใช้ขัดละเอียดเพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง เครื่องขัดยี่ห้อ BUEHLERรุ่น ECOMET 6 สามารถปรับอัตราความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 50 – 450รอบ/นาที ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงาน

3.2.11 เครื่องตัด Wire-Cut

เครื่องตัด Wire-Cut ยี่ห้อ CHARMILLES TECHNOLOGIES (รุ่น ROBOFIL 290) ใช้ในการตัดชิ้นงานเชื่อม ให้ได้ขนาด 10 × 70 ×10 มิลลิเมตร หลักการทำงานของ Wire-Cut ใช้หลักการอาร์คด้วยลวดทองเหลืองเคลื่อนที่ในการตัดชิ้นงาน ซึ่งลวดเป็นขั้วบวกและชิ้นงานเป็นขั้วลบ ขนาดความโตของลวดตัด ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ควบคุมการตัดชิ้นงานด้วยคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 การตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut

3.3 การทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ในการดำเนินงานทดทอง เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมเป็นบรรทัดฐานให้การทดลองมีความเที่ยงตรงและ น่าเชื่อถือ จึงได้มีปฏิบัติการทดลองเบื้องต้นโดยการออกแบบPilot Study เพื่อหาระดับตัวแปรที่สำคัญได้แก่ การบ่มแข็งด้วยอายุ(Aging)ที่มี 3 ระดับคืออุณหภูมิ 650 ^{O}C,750 ^{O}C และ850^{O}C ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา ทั้งนี้ตัวแปรอื่นๆ เช่นโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และเทคนิคการเชื่อมกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่าระดับของตัวแปรกำหนดเป็นค่าเบื้องต้นที่ใช้ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAWในการวิจัยการทดลอง ดังตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในการทดลอง เบื้องต้น

		เวลา/ช.ม. (B)					
		1 ช.ม.		4 ช.ม.		8 ช.ม.	
		1	2	1	2	1	2
อุณหภูมิ ^{O}C (A)	650 ^{O}C	A_{11}	A_{12}	B_{11}	B_{12}	C_{11}	C_{12}
	750 ^{O}C	D_{11}	D_{12}	E_{11}	E_{12}	F_{11}	F_{12}
	850 ^{O}C	G_{11}	G_{12}	H_{11}	H_{12}	I_{11}	I_{12}

เมื่อทำการทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAWจนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันได้รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่อง จึงทำการเชื่อม ตามที่ได้ออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

ในการทดลองครั้งนี้ได้เป็นการทดลองเชิงวิจัย(Experimental design)เพื่อให้การทดลองมีระเบียบแบบแผนมีระบบการควบคุมสภาพการณ์ ในตัวแปรที่กำหนดตัว หรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเกตหรือบันทึกผลการทดลอง ที่ปราศจากความแปรปรวนของข้อมูล และทดลองทำซ้ำเพื่อได้ผลอีกหลังจากทำการทดลองเชื่อมเบื้องต้น(Pilot Study) เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเบื้องต้น จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรเกี่ยวกับระดับกระแสไฟ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนและขนาดของแท่งทังสเตนที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันรอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่อง และดำเนินการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม (Weld Metal)และบริเวณกระทบร้อน HAZ) ได้แก่ อุณหภูมิในการบ่มแข็งและเวลาการบ่มแข็ง ซึ่งกำหนดการทดลอง 2 ปัจจัย ทดลองชิ้นงาน 18 ครั้ง ดังตารางการทดลองที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การสุ่มการทดลองชิ้นงานจำนวน 18 ครั้ง

		เวลา/ชั่วโมง (B)					
		1 ชั่วโมง		4 ชั่วโมง		8 ชั่วโมง	
อุณหภูมิ ^{O}C (A)	650 ^{O}C	6	15	1	18	9	10
	750 ^{O}C	11	13	3	12	4	17
	850 ^{O}C	2	7	8	14	5	16
อุณหภูมิ ^{O}C (A)	650 ^{O}C	6		1		9	
	750 ^{O}C						
	850 ^{O}C	2		8		5	

3.5 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานเชื่อมเพื่อการทดลอง การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบด้วยแรงดึง และการทดสอบความแข็งได้กำหนดตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition 2 โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานทดลอง ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเครื่องเลื่อยกลหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 105×280 ม.ม. จำนวน 2 ชิ้น

2. บากหน้างานทั้ง 2 ด้านด้วยเครื่องกัด มุมเอียง(Bevel angle) ด้านละ 30 ^{O}C

3. ประกอบรอยต่อชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) ก่อนการเชื่อมโดยการเชื่อมยึดบริเวณหัวท้ายของ รอยต่อด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด กว้าง 210 ม.ม. ยาว 280 ม.ม. หนา 10 ม.ม. ให้ได้ชิ้นงานจำนวน 1ชิ้น

3.6 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. เตรียมชิ้นงาน และทำความสะอาดบริเวณรอยบาก เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เช่น คราบน้ำมันไขมัน และ สิ่งสกปรก

2. เตรียมเครื่องเชื่อมพร้อมอุปกรณ์

3. วางชิ้นงานเชื่อมในตำแหน่ง ท่าราบ บนแผ่นรองงานเชื่อม และวางแผ่นประกบชิ้นงานด้านบนพร้อมกับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดให้แน่น

4. เริ่มต้นเชื่อมจากแผนยึดชิ้นงาน จนไปสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง โดยใช้เทคนิค การเชื่อมแบบเดินไปข้างหน้า (Fore hand)

5. ตัดซอยชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ ด้วยเครื่องตัดแบบ Wire-cut ที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำให้ได้ขนาด 10×70 มม. จำนวน 18 ชิ้น

6. นำชิ้นงานไปทดสอบโดยการบ่มแข็งอุณหภูมิที่ทำการบ่มแข็งด้วยอายุ (Aging) มี 3 ระดับ คือ 650 ^{O}C ,

750 ^{O}C และ 850^{O}C เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็งชิ้นงานมี 3 ระดับ คือ 1,4 และ 8 ชั่วโมงตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ค่าความแข็งของแนวเชื่อม ภายหลังการนำชิ้นงานผ่านการบ่มแข็ง ตามค่าตัวแปรที่กำหนด

3.7 การตรวจสอบและเก็บข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบ และการเก็บข้อมูลจากการทดลอง สามารถลำดับขั้นตอนได้ ดังนี้

3.7.1 การตรวจสอบด้วยสายตา

1. การตรวจสอบก่อนการเชื่อม ทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องเชื่อม การจับยึดของสายดิน (Ground Clamp) มุมของหัวเชื่อม ระยะอาร์ค การจับยึดชิ้นงาน ตลอดจนตำแหน่งการวางของชิ้นทดลอง

2. การตรวจสอบระหว่างการเชื่อม ทำการตรวจสอบตั้งแต่การเริ่มต้นอาร์ค ในระหว่างการอาร์ค และสิ้นสุดการอาร์ค โดยสังเกตุ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม เช่น เสียงอาร์ค ความรุนแรงของการอาร์ค เขม่าควัน และสะเก็ดของเม็ดโลหะ (Spatter)

3. การตรวจสอบหลังการเชื่อม ทำการตรวจสอบดูบริเวณรอยเชื่อม ผิวของรอยเชื่อม คาบเขม่าและสิ่งสกปรกต่าง ๆ บริเวณรอยเชื่อม และ ผิวหน้าของงาน ตรวจสอบความสูง ความกว้าง ความสมบรูณ์ จุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นความ สม่ำเสมอของรอยเชื่อมตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดรอยเชื่อมทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

3.7.2 การทดสอบความแข็ง

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบความแข็ง มีขั้นตอน ดังนี้

1.นำชิ้นงานทดลองที่เชื่อมเสร็จแล้วมาวางแผนในการทดสอบความแข็ง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME

2. ตัดซอยชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ ด้วยเครื่องตัดแบบ Wire-cut ที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำ

3. ตะไบผิวหน้าชิ้นงานทดสอบให้เรียบ

4. ขัดเงาด้านที่ต้องการทดสอบความแข็งให้เรียบ

5. กำหนดตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง

6. ทำการทดสอบความแข็งตามที่ได้วางแผนการทดสอบเอาไว้ แล้วเก็บบันทึกข้อมูลจากการทดสอบ

7. การทดสอบความแข็งทำตามลำดับขั้นตอนเช่นนี้จนครบทั้ง 18 ชิ้น

3.7.3 การทดสอบโครงสร้างจุลภาค

1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ(Specimen)

2. การปรับระดับผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบ ด้วยตะไบ

3. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding) ด้วยเบอร์ 150 – 1200

4. การขัดมัน (Polishing)

5. การกัดด้วยสารละลาย (กรด) (Etching)

6. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopy)

7. การถ่ายภาพโครงสร้าง

3.8 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างงานทดลอง ของการศึกษาผลกระทบทางกระบวนการความร้อนต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S31803 โดยผ่านกรรมวิธีการบ่มแข็ง โดยใช้ สถิติ ดังนี้

3.8.1 การวิเคราะห์

3.8.1.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ค่าเฉลี่ย (Mean) [21]

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{\mathrm{N}}$$

เมื่อ $\overline{\mathrm{X}}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum xi$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูล

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

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

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละตัวในกลุ่มตัวอย่าง

$\overline{\mathrm{X}}$ แทน คะแนนเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่าง

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

$\sum$ แทน ผลรวม

3. การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)