บทที่ 4

เงื่อนไขการทดลองที่นำมาใช้ในงานวิจัย

การทดลองเชื่อมเป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L โดยทฤษฎีที่จะมาสนับสนุนในการทดลองเชื่อมนั้นเลือก เรื่อง Factorial Design จากหลักการออกแบบการทดลอง(Experimental Design) เพราะว่าสามารถกำหนดเงื่อนไขและจำนวนเงื่อนไขในการทดลองเชื่อมได้ นอกจากนั้นการวิเคราะห์ผลตามหลักการออกแบบการทดลอง สามารถแสดงโดยใช้กราฟและตัวเลข

การกำหนดปัจจัยนั้นศึกษาจากตัวแปรสำคัญของกรรมวิธี เริ่มจากการจำแนกประเภทของตัวแปร โดยตัวแปรที่สำคัญของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ซึ่งมีอิทธิพลต่อกรรมวิธีการเชื่อมจะเป็นปัจจัยของกรรมวิธีและค่าต่างๆของปัจจัยที่ระดับของปัจจัยก็สามารถกำหนดได้จากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ส่วนตัวแปรซึ่งสามารถจะรักษาค่าไว้ให้คงที่ได้ตลอด ขณะที่ทำการเชื่อมจะถูกกำหนดเป็น Background Variable

การกำหนดจำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัย สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนเงื่อนไขการทดลองเชื่อมสำหรับงานวิจัยได้จำนวน 8 เงื่อนไขการทดลองด้วยกันโดยที่ค่าของปัจจัย ที่ระดับของปัจจัยจะถูกระบุรายละเอียดไว้ในเงื่อนไขการทดลองเชื่อม โดยขณะทำการทดลองเชื่อมนั้น สามารถตั้งค่าของปัจจัยและรักษาค่านั้นไว้ตามแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

4.1 ความหมายของคำว่าตัวแปร และระดับของตัวแปร

คำจำกัดความทั่วไปของตัวแปรประเภทต่างๆ มีดังต่อไปนี้

ปัจจัย(Factor) หรือ ตัวแปรอิสระ(Independent Variable)

คือ ตัวแปรซึ่งแปรค่าเพื่อควบคุมกรรมวิธี สามารถสังเกตุอิทธิพลของปัจจัยได้จากตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนอง(Response Variable) หรือ

ตัวแปรตาม(Dependent Variable)

คือ ตัวแปรซึ่งใช้วัดผลในกรรมวิธี อาจจะแสดงผลทางด้านคุณภาพก็ได้ในกรรมวิธี โดยสามารถมีตัวแปรตอบสนองได้มากกว่าหนึ่งตัว

Background Variable หรือ ตัวแปรรบกวน(Noise Variable)

คือ ตัวแปรซึ่งสามารถมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่มีความสำคัญเท่าปัจจัย ตัวแปรรบกวนสามารถทำให้มีค่าคงที่ได้ในการทดลอง

ระดับของปัจจัย(Factor Level)

สามารถกำหนดค่าของปัจจัยให้คงที่ได้ตามระดับของปัจจัย โดยเป็นการกำหนดค่าคงที่ซึ่งสามารถเป็นไปได้

4.2 ตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG

ตัวแปรสำหรับกรรมวิธีการผลิตเป็นองค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตนั้น จะสามารถควบคุมด้วยการปรับเปลี่ยนค่าหรือทำให้คงที่เพื่อต้องการส่งผลให้กรรมวิธีการผลิตมีค่าเฉพาะเหมาะสมสำหรับการผลิตที่ต้องการ และยังต้องการส่งผลต่อเนื่องให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติ หรือคุณลักษณะเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้

ตัวแปรสำคัญของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ที่สามารถนำมาพิจารณา มีดังนี้

1. กระแสไฟเชื่อม
2. แรงดันไฟเชื่อม
3. ความเร็วในการเชื่อม
4. สภาพของอิเลคโตรดทังสเตน (Tungsten Electrode Conditioning)
5. ลักษณะรอยต่อเชื่อม (Weld Joint Design)

โดยที่ตัวแปรสำคัญแต่ละตัว สามารถอธิบายความสำคัญได้ดังนี้

กระแสไฟเชื่อม

เป็นตัวแปรที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานความร้อน ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งได้มาจากการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอิเลคโตรด ทำให้โลหะหลอมละลายได้ถ้าปรับค่าให้เหมาะสม แต่ถ้าปรับค่าสูงไป หรือต่ำไป จะทำให้สภาพการหลอมละลายไม่ถูกต้อง หลอมละลายไม่สมบูรณ์ หรือไม่หลอมละลาย

แรงดันไฟเชื่อม

เป็นตัวแปรที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานความร้อน ที่เกิดจากแรงดันไฟตกคร่อมซึ่งได้มาจากการปรับระยะระหว่างอิเลคโตรดกับผิวชิ้นงาน ทำให้พลังงานของอิเลคตรอนมีค่าสูงหรือต่ำ ส่งผลถึงสภาพการซึมลึกหรือความกว้างของบ่อหลอมละลาย

ความเร็วในการเชื่อม

เป็นตัวแปรที่เป็นสัดส่วนผกผันกับเวลาการให้พลังงานความร้อนแก่บ่อหลอมละ-ลายของชิ้นงาน ที่ความเร็วในการเชื่อมมีค่าต่ำเวลาการให้พลังงานแก่บ่อหลอมละ-ลายของชิ้นงานจะนานกว่าที่ความเร็วในการเชื่อมมีค่าสูง

สภาพของอิเลคโตรดทังสเตน

ทำให้เป็นตัวแปรมีค่าคงที่โดยเลือกใช้ Thoriated Tungsten Electrode ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 มม. และลับมุมแหลมที่ปลาย 40 องศา

ลักษณะของรอยต่อเชื่อม

ทำให้เป็นตัวแปรที่มีค่าคงที่ โดยเลือกใช้การต่อเชื่อมแบบแผ่นต่อชนตัว I ซึ่งแผ่นมีการต่อชนตัว I ทำได้โดยการขึ้นรูปแผ่นตามทิศทางการบังคับของลูกรีด

4.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L

เลือกตัวแปรสำคัญ มากำหนดเป็นปัจจัย ของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ได้จำนวน 3 ปัจจัย คือ

1. กระแสไฟเชื่อม
2. แรงดันไฟเชื่อม
3. ความเร็วในการเชื่อม

กระแสไฟเชื่อมและแรงดันไฟเชื่อม เป็นค่าระหว่างอิเลคโตรดกับโลหะชิ้นงานเชื่อม ส่วนความเร็วในการเชื่อมนั้น เป็นความเร็วของแผ่นแถบซึ่งถูกทำให้ขึ้นรูปเป็นท่อโดยชุดของลูกรีด ซึ่งจะได้ตะเข็บเชื่อมของท่อวิ่งผ่านชุดของอิเลคโตรดที่อยู่นิ่ง

ระดับของปัจจัยกำหนดได้ 2 ระดับ คือ

1. ระดับสูง ให้สัญลักษณ์เป็น +
2. ระดับต่ำ ให้สัญลักษณ์เป็น -

สรุปจำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษา ดังในตาราง

ตารางที่ 4-1 จำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษา พร้อมสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลองเชื่อม

หัวข้อ	ข้อกำหนด	สัญลักษณ์
จำนวนปัจจัย	1. กระแสไฟเชื่อม	A
	2. แรงดันไฟเชื่อม	V
	3. ความเร็วในการเชื่อม	S
ระดับของปัจจัย	1. ระดับสูง	+
	2. ระดับต่ำ	-

การกำหนดค่าของกระแสไฟเชื่อม

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาของแผ่นแถบเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก และกระแสไฟเชื่อม อาศัยข้อมูลจากเครื่องเชื่อม Matsushita มาแสดงในตารางดังนี้

ตารางที่ 4-2 กระแสไฟเชื่อมที่แนะนำให้ใช้ ที่ความหนาต่างๆกันของแผ่นแถบเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เมื่อใช้อิเลคโตรด 1 ตัว

ความหนาของแผ่นแถบเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก (มิลลิเมตร)	กระแสไฟเชื่อมที่แนะนำให้ใช้ (แอมแปร์)	แกสอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)
0.5	10 ~ 15	4
1.0	30 ~ 40	5
1.5	60 ~ 100	5
3.0	120 ~ 140	5
4.5	200 ~ 250	6
6.0	275 ~ 350	6

ในการทดลองจะใช้อิเลคโตรด 2 ตัวสำหรับเชื่อมแผ่นแถบเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก ที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร จึงกำหนดกระแสไฟเชื่อม ดังนี้

ตารางที่ 4-3 กระแสไฟเชื่อม สำหรับแผ่นแถบที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร เมื่อใช้อิเลคโตรด 2 ตัว

อิเลคโตรดที่ 1	อิเลคโตรดที่ 2
70 แอมแปร์	90 แอมแปร์
80 แอมแปร์	110 แอมแปร์

การกำหนดค่าของแรงดันไฟเชื่อม

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟเชื่อมและกระแสไฟเชื่อม จากคู่มือของเครื่องเชื่อม SAF Nertinox TH300 เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$V = 10+0.04I$$

ก่อนหน้านี้ได้กำหนดกระแสไฟเชื่อมมาแล้ว จึงกำหนดค่าแรงดันไฟเชื่อม ได้ดังตาราง

ตารางที่ 4-4 การกำหนดค่าแรงดันไฟเชื่อมจากสมการ V = 10+0.04I

กระแสไฟเชื่อม (แอมแปร์)	แรงดันไฟเชื่อม(โวลท์) จากสมการ V = 10+0.04I	กำหนดค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย	กำหนดค่าที่ระดับสูงของปัจจัย
70	10+2.8 = 12.8	11 โวลท์	
80	10+3.2 = 13.2		
90	10+3.6 = 13.6		
110	10+4.4 = 14.4		14 โวลท์

ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแรงดันไฟเชื่อมที่คำนวณได้จากสมการคือ 12.8 และ 14.4 โวลท์ เนื่องจากเป็นค่าที่แนะนำสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เมื่อใช้อิเลคโตรด 1 ตัว แต่ในการทดลองเชื่อมจะใช้อิเลคโตรด 2 ตัวทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกดังนั้นจึงเลือกกำหนดค่าที่ระดับต่ำของปัจจัยเป็น 11 โวลท์ ส่วนค่าที่ระดับสูงของปัจจัยจะกำหนดค่า 14 โวลท์ เพื่อไม่ให้ช่วงค่าของปัจจัยกว้างมากเกินไป

การกำหนดค่าความเร็วในการเชื่อม

ความสามารถของเครื่องเชื่อม SAF Nertinox TH300 จากคู่มือเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-5 ความสามารถของเครื่องเชื่อม SAF Nertinox TH300 สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เมื่อใช้จำนวนของอิเลคโตรดต่างกัน

ความหนาของแผ่นแถบ (มิลลิเมตร)	ความเร็วในการเชื่อม เมื่อใช้อิเลคโตรด 1 ตัว (เมตรต่อนาที)	ความเร็วในการเชื่อม เมื่อใช้อิเลคโตรด 3 ตัว (เมตรต่อนาที)
0.5	0.80	
0.8		6.00
1.0	1.20	
1.5	0.80	4.00
2.0		3.00
2.5	0.45	
3.0		1.50

เมื่อรวมกับความสามารถของชุดลูกรีดที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นแถบและอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง จึงกำหนดค่าความเร็วในการเชื่อม สำหรับแผ่นแถบ 1.2 มิลลิเมตร ดังนี้

ตารางที่ 4-6 การกำหนดค่าความเร็วในการเชื่อม เมื่อใช้อิเลคโตรด 2 ตัว

ขอบเขตความเร็วในการเชื่อม ของเครื่อง SAF Nertinox TH300 (เมตรต่อนาที)	กำหนดค่าความเร็วในการเชื่อมสำหรับ ระดับต่ำและระดับสูงตามระดับของปัจจัย
0.80 (ใช้อิเลคโตรด 1 ตัว) 1.20 (ใช้อิเลคโตรด 1 ตัว)	ที่ระดับต่ำ = 1 เมตรต่อนาที ที่ระดับสูง = 1.5 เมตรต่อนาที

ตารางสรุปการกำหนดค่าของปัจจัยที่ระดับของปัจจัย

ตารางที่ 4-7 **ระดับสูงของปัจจัย ของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG**

ปัจจัย	อิเลคโตรดที่ 1	อิเลคโตรดที่ 2
กระแสไฟเชื่อม	80 แอมแปร์	110 แอมแปร์
แรงดันไฟเชื่อม	14 โวลท์	14 โวลท์
ความเร็วในการเชื่อม	1.5 เมตรต่อนาที	

ตารางที่ 4-8 **ระดับต่ำของปัจจัย ของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG**

ปัจจัย	อิเลคโตรดที่ 1	อิเลคโตรดที่ 2
กระแสไฟเชื่อม	70 แอมแปร์	90 แอมแปร์
แรงดันไฟเชื่อม	11 โวลท์	11 โวลท์
ความเร็วในการเชื่อม	1.0 เมตรต่อนาที	

4.4 เงื่อนไขการทดลองเชื่อม

จำนวนเงื่อนไขการทดลองเชื่อม = (2)ยกกำลัง3

= 8 เงื่อนไขการทดลอง

โดยที่แต่ละเงื่อนไขการทดลองเชื่อมจะกำหนดระดับของปัจจัยเป็น ระดับต่ำ(-) และระดับสูง(+) และระบุค่าของปัจจัยที่ระดับของปัจจัยได้ดังตาราง

ตารางที่ 4-9 การกำหนดระดับของปัจจัย ตามเงื่อนไขของการทดลองเชื่อม

เงื่อนไขที่	กระแสไฟเชื่อม(A)	แรงดันไฟเชื่อม(V)	ความเร็วในการเชื่อม
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

ตารางที่ 4-10 เงื่อนไขการทดลองเชื่อม เมื่อระบุค่าของปัจจัยที่ระดับของปัจจัย

เงื่อนไขที่	กระแสไฟเชื่อม(แอมแปร์)		แรงดันไฟเชื่อม(โวลท์)		ความเร็วการเชื่อม เมตร/นาที
	อิเลคโตรดที่1	อิเลคโตรดที่2	อิเลคโตรดที่1	อิเลคโตรดที่2	
1	70	90	11	11	1.0
2	**80**	**110**	11	11	1.0
3	70	90	**14**	**14**	1.0
4	**80**	**110**	**14**	**14**	1.0
5	70	90	11	11	**1.5**
6	**80**	**110**	11	11	**1.5**
7	70	90	**14**	**14**	**1.5**
8	**80**	**110**	**14**	**14**	**1.5**