บทที่ 5
การออกแบบการทดลอง

5.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการที่ใช้ในการออกแบบแผนการทดสอบกระบวนการโดยการกำหนดค่าตัวแปรของกระบวนการ ซึ่งทำให้เราทราบผลลัพธ์ของการบวนการที่เปลี่ยนไป เทคนิคการออกแบบการทดลองนี้สามารถทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของวิธีการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยที่สนใจและหาเงื่อนในการผลิตใหม่ที่เหมาะสมกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกปัจจัย 4 ปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากบทที่ 4 เพื่อนำมาใช้ทำการออกแบบการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและตีความหมายของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลกับตัวแปรตอบสนองคือค่าสมดุลของเพลากลาง

5.2 การกำหนดปัญหาที่สนใจ

ปัญหาที่สนใจในงานวิจัยครั้งนี้คือ ค่าสมดุลของเพลากลางจากข้อกำหนดของเพลากลางมีว่าค่าสมดุลหลังประกอบเสร็จแล้วนำมาทดสอบค่าสมดุลก่อนขั้นตอนติดเหล็กถ่วงน้ำหนักห้ามเกิน 36 กรัมและถ้าหลังขั้นตอนติดเหล็กถ่วงน้ำหนักแล้วค่าสมดุลห้ามเกิน 10 กรัม จากข้อมูลของของเสียแผนกตรวจสอบคุณภาพพบว่าปัญหาส่วนมีสาเหตุมาจากการทดสอบค่าสมดุลเกิน 36 กรัมก่อนติดน้ำหนักถ่วงจากข้อกำหนดดังกล่าวทำให้ไม่สามารถส่งงานให้ลูกค้าได้จนกว่าจะมีการซ่อมงานหรือบางครั้งต้องทิ้งงานเป็นของเสีย (Scrap) ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องทำการควบคุมค่าสมดุลมิให้เกิน 10 กรัมก่อนติดน้ำหนักถ่วงก่อนส่งลูกค้า ดังนั้นปัญหาที่เราสนใจคือ การควบคุมการผลิตเพลากลางมิให้ค่าสมดุลเกิน 10 กรัม

5.3 การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในบทที่ 4 ด้วยแผนภูมิแสดงเหตุและผล และทำการลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยวิธีการของ FMEA สามารถเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลกับค่าสมดุลของเพลากลางเพื่อใช้ทำการออกแบบการทดลองดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าของการเชื่อม (Supply Voltage)
2. ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม (Welding Speed)
3. ค่าความร่วมศูนย์ (Concentricity) ของรูประกอบแบริ่งที่ York Tube
4. ค่าทอร์ค (Torque) ในการประกอบ York

การกำหนดระดับของปัจจัย (Brefogle, 1999) โดยในการทดลองนี้จะทำการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) ใช้ระดับเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่

สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการผลิตข้อมูลจากคู่มือการทำงานของเครื่องเชื่อมและข้อกำหนดของงาน แต่จะพิจารณาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ในช่วงการใช้งาน ดังนั้นกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับและจะทำการเพิ่มระดับของแต่ละปัจจัยอีก 1 ระดับจากค่ากลางเป็น 3 ระดับสำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

5.3.1. แรงดันไฟฟ้าการเชื่อม (Supply Voltage)

แรงดันไฟฟ้าการเชื่อมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 30 Volt ดังนั้นเพื่อให้การกำหนดระดับครอบคลุมช่วงการใช้งานในปัจจุบันจึงเลือกระดับของแรงดันไฟฟ้าการเชื่อมตามค่าต่ำสุดและสูงสุดที่เครื่องแบบ CO_2 กำหนดไว้ที่ 28 – 32 Volt ดังนี้

ระดับ	แรงดันไฟฟ้า	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	28	Volt	A
0 (กลาง)	30	Volt	A
+1 (สูง)	32	Volt	A

5.3.2. ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม (Welding Speed)

อัตราความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 21 วินาที/รอบ ดังนั้นเพื่อให้การกำหนดระดับครอบคลุมช่วงการใช้งานในปัจจุบันจึงเลือกระดับของความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมตามค่าต่ำสุดและสูงสุดที่เครื่องแบบ CO_2 กำหนดไว้ที่ 19 – 23 Volt ดังนี้

ระดับ	ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	19	วินาที/รอบ	B
0 (กลาง)	21	วินาที/รอบ	B
+1 (สูง)	23	วินาที/รอบ	B

5.3.3. ค่าความร่วมศูนย์ (Concentricity) ของรูประกอบแบริ่งที่โยก (York tube)

ค่าความร่วมศูนย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 0.15 มิลลิเมตร ดังนั้นเพื่อให้การกำหนดระดับครอบคลุมช่วงการใช้งานในปัจจุบันจึงเลือกระดับค่าความร่วมศูนย์ดังตามค่าต่ำสุดและสูงสุดที่แบบ (Drawing) กำหนดไว้ที่ 0.1 – 0.3 มิลลิเมตร ดังนี้

ระดับ	ค่าความร่วมศูนย์	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	0.10	มิลลิเมตร	C
0 (กลาง)	0.15	มิลลิเมตร	C
+1 (สูง)	0.30	มิลลิเมตร	C

5.3.4. ค่าทอร์คของการประกอบ York ใช้อยู่ในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 6 kg.f-m ดังนั้น เพื่อให้การกำหนดระดับครอบคลุมช่วงการใช้งานในปัจจุบันจึงเลือกระดับของค่าทอร์คตามค่าต่ำสุดและสูงสุดที่แบบ (Drawing) กำหนดไว้ที่ 3 – 9 kg.f-m ดังนี้

ระดับ	ค่าทอร์ค	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	3	kg.f-m	D
0 (กลาง)	6	kg.f-m	D
+1 (สูง)	9	kg.f-m	D

ตารางที่ 5.1 สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ทำการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		-1 (ต่ำ)	0 (กลาง)	+1 (สูง)
1. แรงดันไฟฟ้า	A	28	30	32
2. ความเร็วในการป้อนลวด	B	19	21	23
3. ค่าความร่วมศูนย์	C	0.1	0.15	0.3
4. ค่าท็อร์ค	D	3	6	9

5.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวัดที่ใช้ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะผ่านการสอบเทียบ และการวิเคราะห์ระบบการวัด (GR&R) ตามมาตรฐานของโรงงาน โดยรายการเครื่องมือวัดที่ใช้มีดังนี้

1. เครื่องทดสอบความสมดุล (Balance Machine) ใช้ทดสอบความสมดุลของเพลากลางหลังประกอบเสร็จเพื่อตรวจสอบคุณภาพโดยใช้ค่าสมดุลเป็นเกณฑ์ วิธีการทดสอบจะประกอบเพลากลางเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งจะจำลองแบบมาจากการทำงานจริงของรถยนต์

2. เครื่องมือวัด Vernier High Gauge และ Dial Gauge ใช้สำหรับการตรวจสอบขนาดขององวัตถุดิบคือ โยกทิวและท่อ

5.5 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

เพื่อเป็นการลดปัญหาการทดสอบค่าความสมดุลของเพลากลางมีค่าเกินข้อกำหนด การทำการทดลองนี้จึงมีความสนใจที่ลดค่าความสมดุลของเพลากลางที่ออกจากกระบวนการผลิต ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้คือค่า**ความสมดุล** (Balance) โดยที่ข้อกำหนดของลูกค้าระบุให้มีค่าน้อยกว่า 36 กรัมที่ความเร็วรอบการหมุนในการทดสอบที่ 4000 rpm/min

5.6 การเลือกแบบการทดลอง

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลอง 2 แบบคือ การทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ มีปัจจัย (Factors) 4 ปัจจัย แบบการทดลองเท่ากับ 16 แบบ จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ และจำนวนครั้งการทดลอง (Runs) 16 ครั้ง ซึ่งจะถูกใช้เป็นการทดลองเบื้องต้นและการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีการกำหนดให้บางปัจจัยคงที่ (Factorial Design With Fixed Effect Models) ซึ่งจะใช้ในการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตของกระบวนการผลิตเพลากลาง

5.6.1 การทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้ทำการวิจัยจะใช้เทคนิคการทดลองและวิเคราะห์ผลแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับเท่านั้น (2^k Factorial Design) โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยเป็นค่าสูงสุด (Maximum) และต่ำสุด (Minimum) ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะกับการทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าบาล้านซ์ในเบื้องต้น (Factor Screening Experiment) เพื่อตัดปัจจัยที่ที่ไม่น่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าสมดุล (Balance) หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไปและข้อดีของการทดลองแบบนี้คือใช้ตัวอย่างน้อยที่สุด (Smallest Number of Run) ทำให้สามารถประหยัดเวลาและทรัพยากรได้มาก ส่วนข้อเสียก็คือสารสนเทศที่ไม่มากพอ เพราะเป็นการกำหนดปัจจัยไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้น แต่เนื่องจากการทำการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและทรัพยากรสูงจึงไม่สามารถทำการทดลองได้ที่ทุกๆระดับของแต่ละปัจจัย รายละเอียดของแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้นมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

   ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกับค่าความสมดุลของเพลากลาง โดยใช้ตัวอย่างน้อยที่สุด

2. ข้อมูลพื้นฐาน ค่าสมดุลเป็นดัชนีวัดที่สำคัญสำหรับใช้ในการควบคุมคุณภาพของเพลากลางในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งค่าสมดุลจะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในด้านการใช้งาน (Function) ของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

3. ตัวแปรการทดลอง

   3.1 ตัวแปรตอบสนองคือ ค่าสมดุล (Balance) โดยที่ข้อกำหนดของลูกค้าระบุให้มีค่าน้อยกว่า 10 กรัมที่ความเร็วรอบการหมุนในการทดสอบที่ 4000 rpm/min

   3.2 ปัจจัย ระดับ ต่ำ (-1) สูง (+1)

1. แรงดันไฟฟ้าการเชื่อม	28	32
2. ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม	19	23
3. ค่าความร่วมศูนย์	0.1	0.3
4. ค่าท็อร์ค	3	9

3.3 ปัจจัยควบคุมในการวิจัยขั้นตอนนี้ ได้ทำการทดลองโดยการกำหนดสภาวะแวดล้อมในการทำงานดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่ควบคุม
1. พนักงานที่ใช้ในการทดลอง	
ผู้ตรวจสอบ (QC Inspector)	1 คน
ช่างประกอบ (Fitter)	1 คน
2. เพลากลางที่ใช้ในการทดลอง	MR111779
3.ความเร็วสายการผลิต (Cycle Time)	32 Pcs. / Hr.
4. ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบ	4000 RPM / MIN
5. ความดันของเครื่องกด (Press Fitting)	450 kgf/cm^2
6. เครื่องมือวัดที่ใช้งาน	No.Qc1235
7. เครื่องทดสอบความสมดุล (Balance Machine)	No.1

4 วิธีการสุ่ม

การทำสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization) โดยลำดับในการทดลอง (Random no.) แสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5.2

5 การทำซ้ำ ทำการทดลองทั้งหมด 16 สภาวะ 16 การทดลอง มี 1 ซ้ำ

6 ตารางบันทึกผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.2

7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

7.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA)

7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Model Adequacy Checking) ได้แก่การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality test) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย (Variance Stability Test)

7.3 กราฟตัวแปรตอบสนอง (Response Variable)

7.4 กราฟเรสซิดวล (Residual Plot)

ตารางที่ 5.2 บันทึกผลในการทดลองเบื้องต้นแสดงได้ดังนี้ (Data Matrix Randomized)

2^4 Design for Balance test					
ลำดับ	ปัจจัย				ค่าความสมดุล
	A	B	C	D	
1	-	-	-	-	
2	+	-	-	-	
3	-	+	-	-	
4	+	+	-	-	
5	-	-	+	-	
6	+	-	+	-	
7	-	+	+	-	
8	+	+	+	-	
9	-	-	-	+	
10	+	-	-	+	
11	-	+	-	+	
12	+	+	-	+	
13	-	-	+	+	
14	+	-	+	+	
15	-	+	+	+	
16	+	+	+	+	

5.6.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยจะได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้วก็จะทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้การทดลองแบบแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งเทอมที่ที่สำคัญของการทอสอบนี้ประกอบด้วย

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการศึกษา

2. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) หมายถึงการแสดงออกของระดับต่างๆในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของปัจจัย

3. ตัวแบบในการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Factorial with Fixed Effect Models) เป็นการทดสอบที่มีระดับของปัจจัยคงที่และแน่นอน ในการทดลองในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถทำการทดลองได้ในทุกๆระดับของแต่ละปัจจัยจึงจำเป็นต้องกำหนดมาเพียงบางระดับเพื่อทำ

การหาสภาวะที่เหมาะสม รายละเอียดของแผนการออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ ประสงค์เพื่อจะหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสมดุลอย่างแท้จริงและและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้เกิดค่าความสมดุลที่เพลากลางอยู่ที่ 10 กรัม

2. ข้อมูลพื้นฐาน ค่าสมดุลเป็นดัชนีวัดที่สำคัญสำหรับใช้ในการควบคุมคุณภาพของเพลากลางในขั้นตอนสุดท้าย ค่าสมดุลจะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในด้านการใช้งาน (Function) ของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

3. ตัวแปรการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง ค่าสมดุล (Balance) โดยที่ข้อกำหนดของลูกค้าระบุให้มีค่าน้อยกว่า 36 กรัมที่ความเร็วรอบการหมุนในการทดสอบที่ 4000 rpm/min

3.2 ปัจจัย	ระดับ	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)
1. ค่าปรับแรงดันไฟฟ้าการเชื่อม		28	30	32
2. ค่าปรับความเร็วในการเชื่อม		19	21	23
3. ค่าความร่วมศูนย์		0.1	0.15	0.3

3.3 ปัจจัยควบคุม

ในการวิจัยขั้นตอนนี้ ได้ทำการทดลองโดยการกำหนดสภาวะแวดล้อมในการทำงานดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่ควบคุม
1. พนักงานที่ใช้ในการทดลอง	
ผู้ตรวจสอบ (QC Inspector)	1 คน
ช่างประกอบ (Fitter)	1 คน
2. เพลากลางที่ใช้ในการทดลอง	MR111779
3. ความเร็วสายการผลิต (Cycle Time)	32 Pcs. / Hr.
4. ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบค่าสมดุล	4000 rpm/min
5. ความดันของเครื่องกด (Press Fitter)	450 kgf/cm^2
6. เครื่องมือวัดที่ใช้งาน	No.Qc1235
7. เครื่องทดสอบความสมดุล (Balance Machine)	No.1

4. วิธีการสุ่มการทำสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization) โดยลำดับในการทดลอง (Random no.) แสดงในตารางผลการทดลองที่ 6.4

5. การทำซ้ำ ทำการทดลองทั้งหมด 27 สภาวะ 27 การทดลอง มี 1 ซ้ำ

6. ผลการทดลองดูในตารางแสดงผลการทดลองที่ 6.4

7. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

7.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA)

7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Model Adequacy Checking) ได้แก่การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality Test) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย (Variance Stability Test)

7.3 กราฟตัวแปรตอบสนอง (Response Variable)

7.4 กราฟเรสซิดวล (Residual Plot)

5.6.3 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลนี้ ผู้วิจัยได้ใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม กรณีประชากร 2 ชุด มาใช้ในการทดสอบซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

1. การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย ในการทดสอบครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีด้วยกันคือ

- ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของทั้งสองประชากร
- ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของทั้งสองประชากร แต่ทราบว่าไม่แตกต่างกัน
- ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของทั้งสองประชากร และไม่ทราบว่าไม่แตกต่างกันหรือไม่

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยกรณีที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากร แต่ทราบว่าไม่แตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม

2. การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากร 2 ชุด)

ในการทดสอบความมีนัยสำคัญที่สำคัญมากต่องานวิศวกรรม คือการทดสอบถึงความแตกต่างของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติ 2 ชุด หรือความแตกต่างของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มปกติ 2 ชุด โดยการทดสอบนี้อาจใช้ทดสอบควบคู่กันไปกับการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ประชากร เพื่อพิจารณาถึงข้อกำหนดก่อนว่าความแปรปรวนของทั้งสองประชากรมีค่าเท่ากันหรือไม่เพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยต่อไป

5.6.4 การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทดลองเพื่อยืนยันผล

ภายหลังจากที่ได้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม โดยจะทำการเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการทดลองกับสภาวะที่ใช้งานจริงในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดสอบเพื่อยันผลที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบเพื่อยันผล

No.	Current Condition	Purpose Condition

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.8.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนของการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและการทดลองเพื่อยืนยันผล

5.8.2 การวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งในส่วนของการทดลองเบื้องต้นจะใช้การทดสอบแบบแฟคทอเรียล ซึ่งมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ (2^k Factorial Design) และการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจะใช้การทดสอบแบบแฟคทอเรียล ซึ่งมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ (3^k Factorial Design) ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการนี้จะต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยประกอบด้วยการทดสอบ 3 ประเภทคือ

1.การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล(Normality Test) ซึ่งจะใช้เป็นการพล็อทค่า Residual ลงบนกระดาษกราฟแบบ Normal Probability Paper

2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่า Residual ซึ่งค่า Residual แต่ละค่าควรเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยจะต้องทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า Residual กับเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย (Variance Stability Test) การทดสอบนี้เป็นการบอกถึงความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยทำการพล็อตกราฟค่า Residual กับค่าที่กำหนด

ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสมดุลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Minitab) จะทำการคำนวณค่า P-Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P-Value นั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P-Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าปัจจัยนั้นๆมีผลกระทบต่อค่าความสมดุลของเพลากลาง โดยในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

สมการตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + (\tau\beta\delta)_{ijl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijk} \;;$$

โดย $i = 1,2,\ldots,a$

$j = 1,2,\ldots,b$

$k = 1,2,\ldots,c$

$l = 1,2,\ldots,n$

เมื่อ Y_{ijkl} คือ ค่าของตัวแปรตอบสนองของการทดลอง (ค่าสมดุล)

μ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากค่าแรงดันไฟฟ้า (ปัจจัย A)

β_j คือ อิทธิพลที่เกิดจากอัตราการป้อนลวด (ปัจจัย B)

γ_k คือ อิทธิพลที่เกิดจากค่าความร่วมศูนย์ (ปัจจัย C)

δ_l คือ อิทธิพลที่เกิดจากค่าท็อร์ก (ปัจจัย D)

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A และปัจจัย B

$(\tau\gamma)_{ik}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A และปัจจัย C

$(\tau\delta)_{il}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A และปัจจัย D

$(\beta\gamma)_{jk}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย B และปัจจัย C

$(\beta\delta)_{jk}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย B และปัจจัย D

$(\gamma\delta)_{kl}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย C และปัจจัย D

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย C

$(\tau\beta\delta)_{ijl}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย D

$(\beta\gamma\delta)_{jkl}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A ปัจจัย C และปัจจัย D

$(\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl}$ คือ อิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัย A ปัจจัย B ปัจจัย C และปัจจัย D

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two – Factor Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	MS_A/MSE
B	SS_B	b-1	MS_B	MS_B/MSE
C	SS_C	c-1	MS_c	MS_C/MSE
D	SS_d	d-1	MSd	MS_d/MSE
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	MS_{AC}	MS_{AC}/MSE
AD	SS_{AD}	(a-1)(d-1)	MS_{AD}	MS_{AD}/MSE
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	MS_{BC}	MS_{BC}/MSE
BD	SS_{BD}	(b-1)(d-1)	MS_{BD}	MS_{BD}/MSE
ABC	SS_{AB}	(a-1)(b-1)(c-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
ABD	SS_{ABD}	(a-1)(b-1)(d-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
BCD	SS_{BCD}	(b-1)(c-1)(d-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
ABCDE	SS_{BCD}	(b-1)(c-1)(d-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/MSE
Error	SS_E	abc(n-1)	MS_E	
Total	SS_T	abcn-1		

ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสมดุลของเพลากลาง จะต้องเปรียบเทียบค่า F-Ratio ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยในทางทฤษฎีจะทำการเปรียบเทียบค่า F-Ratio ที่คำนวณได้จากแต่ละปัจจัยกับค่า F วิกฤตที่หาได้จากการเปิดตาราง F โดยที่ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05

ถ้าค่า F-Ratio ของปัจจัยมากกว่าค่า F วิกฤต แสดงว่าปัจจัยนั้นๆมีผลกระทบกับค่าความสมดุลของเพลากลางแต่ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติจะทำการคำนวณค่า P-Value ออก

มาให้ซึ่งในการพิจารณาค่า P-Value นั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P-Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าปัจจัยนั้นๆมีผลกระทบต่อค่าความสมดุลของเพลากลาง

5.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเพื่อยืนยันผล

ในส่วนของการการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเพื่อยืนยันผลนี้จะใช้ทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากร 2 ชุด) โดยเลือกวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของประชากรทั้งสองชุดและทราบว่าไม่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของประชากรปกติ ให้ **X** และ **Y** คือประชากรที่ให้ความสนใจ 2 ชุดซึ่งมีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยคือ μ_x และ μ_y และมีความแปรปรวนคือ σ^2_x และ σ^2_y ตามลำดับโดยที่ **X** และ **Y** มีความอิสระต่อกันและ $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ ซึ่งสามารถกำหนดวิธีการตัดสินใจในรูปแบบการทดสอบสมมุติฐานได้ดังนี้

1. สมมุติฐานของปัจจัยเดี่ยวมี 5 สมมุติฐานคือ

H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = 0$

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ$\tau_1 \neq \tau_2 \neq 0$

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ$\beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$

H_0 : $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ$\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq 0$

H_0 : $\delta_1 = \delta_2 = 0$

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ$\delta_1 \neq \delta_2 \neq 0$

2. สมมุติฐานของปัจจัยเดี่ยวมี 10 สมมุติฐานคือ

H_0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ สำหรับทุกค่า i, j

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$

H_0 : $(\tau\gamma)_{ik} = 0$ สำหรับทุกค่า i, k

H_1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $(\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้การทดสอบ t-test โดยทำการหาค่า t critical ซึ่งหาได้จาก

$$t\ critical = (\bar{X} - \bar{Y}) / S_p\ (1/n_x + 1/n_y)^{1/2}$$

โดยที่

$$S_p = \frac{(n_x - 1)^{1/2} S_x + (n_y - 1)^{1/2} S_y}{(n_x + n_y)^{1/2}}$$

ภายใต้เงื่อนไขของ α ที่กำหนดให้สมมุติฐานเป็นจริงจะได้ผลว่า

$$-t_{\alpha/2}\,;\, n_x + n_y - 2 \quad < \quad t_{critical} \quad < \quad t_{\alpha/2}\,;\, n_x + n_y - 2$$

โดยที่ค่า $t_{\alpha/2}\,;\, n_x + n_y - 2$ สามารถเปิดจากตาราง t แต่ทั้งนี้ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติได้คำนวณค่า P Value ให้ ดังนั้นการพิจารณาทำได้โดยทำการเปรียบเทียบค่า P Value ดังกล่าวกับค่า α โดยที่การทดลองนี้ กำหนดค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

- ถ้าค่า P Value มีค่ามากกว่า α จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากรมีค่าไม่แตกต่างกัน
- ถ้าค่า P Value มีค่าน้อยกว่า α จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากรมีค่าแตกต่างกัน

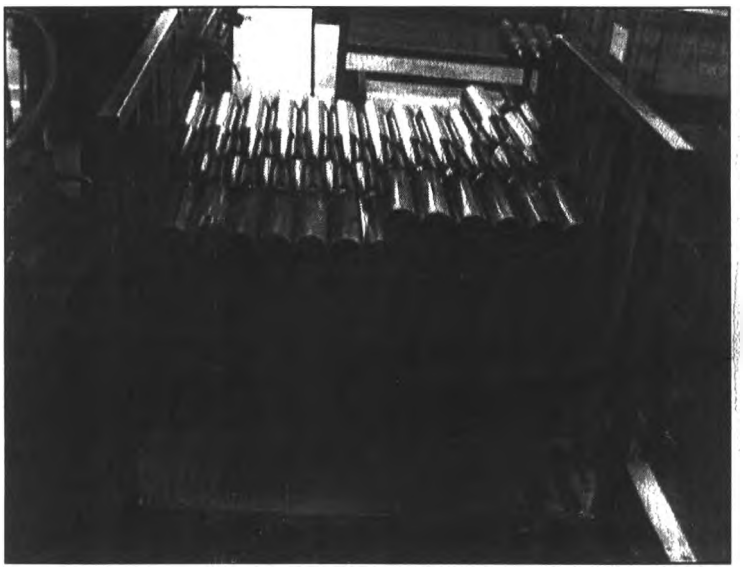
5.8 การดำเนินการทดลอง

5.8.1 การจัดเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

1. นำชิ้นงานโยกทิวงานหล่อที่ผ่านการตรวจรับขั้นต้นเตรียมส่งสายงาน Machining ดังแสดงในรูปที่ 5.1

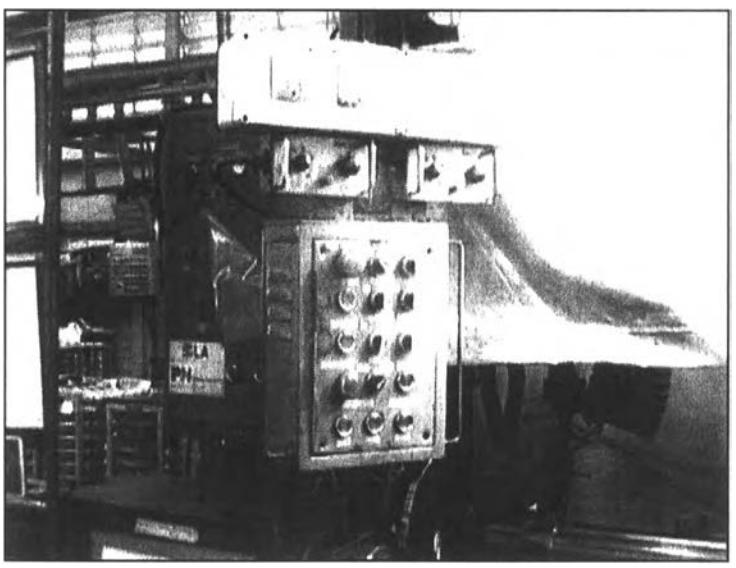
รูปที่ 5.1 แสดงชิ้นงานหล่อโยก

2. นำท่อ (Pipe) ที่ตัดเสร็จแสดงในรูปที่ 5.2 ส่งไปทำการตรวจวัดค่าความยาว ความฉาก และความเรียบร้อยภายนอกให้ได้ตามข้อกำหนดก่อนส่งเข้าสายงานประกอบ



รูปที่ 5.2 แสดงท่อ (Pipe) ที่ตัดเสร็จพร้อมประกอบ

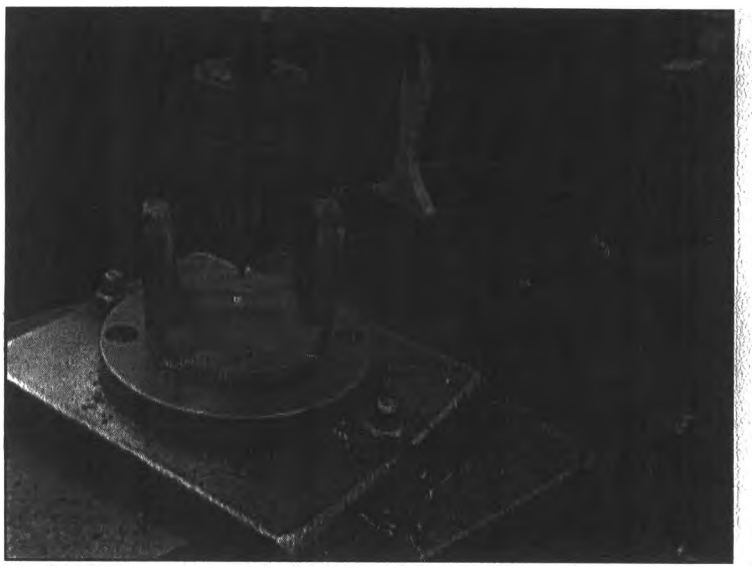
5.8.2. การปรับตั้งค่า Supply Voltage และอัตราการป้อนลวดที่เครื่องเชื่อม CO_2 ให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ในแต่ละสภาวะการการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.3



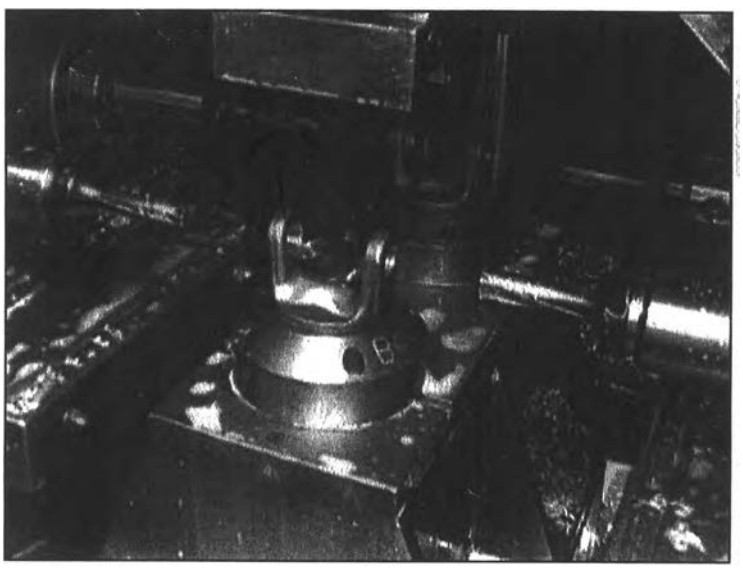
รูปที่ 5.3 แสดงจุดปรับแต่งค่า Supply Voltage และอัตราการป้อนลวดที่เครื่องเชื่อม CO_2

5.8.3 ดำเนินการทดลอง

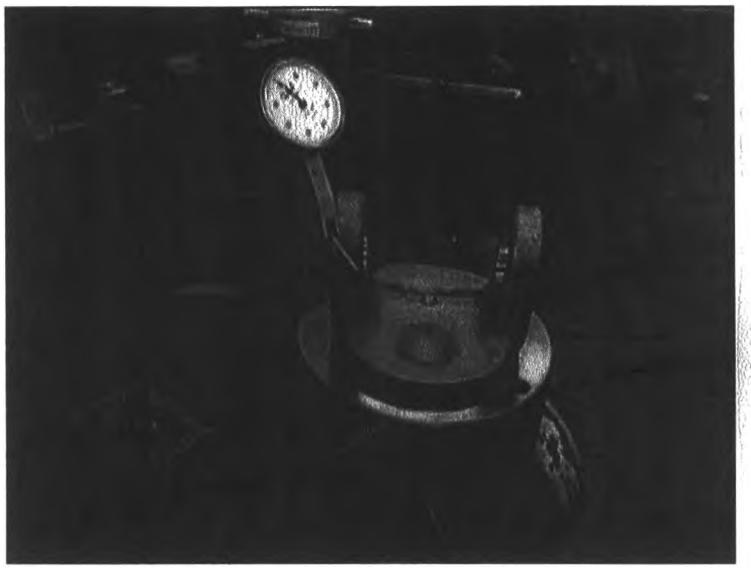
1. นำชิ้นงานโยกทิวบงานหล่อที่ผ่านการตรวจสอบขั้นต้นส่งเข้าเจาะรูยันศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 5.4 แล้วส่งเข้าทำการกลึง กัดร่องและเจาะรูสำหรับประกอบแบริ่งดังแสดงในรูปที่ 5.5 จากนั้นส่งไปทำการตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 5.6 เพื่อทำการปรับค่า Concentricity ให้ได้ตามระดับที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 5.6



รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการเจาะรูยันศูนย์

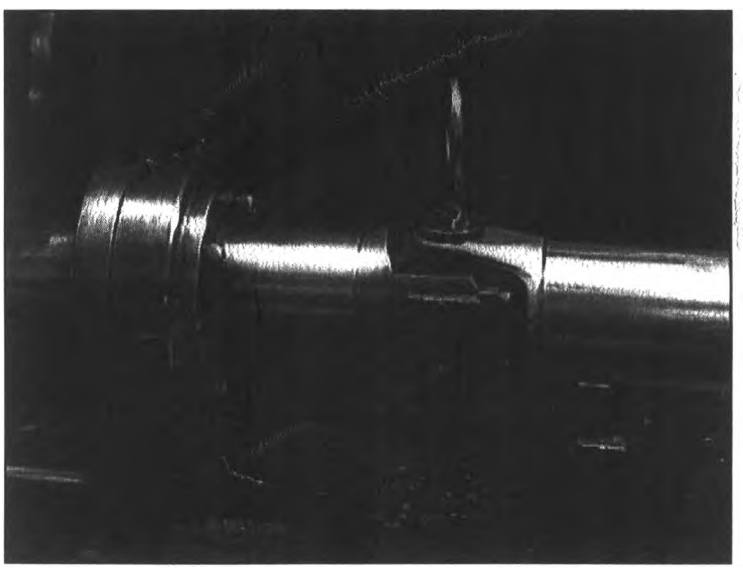


รูปที่ 5.5 แสดงขั้นตอนการเจาะรูประกอบแบริ่ง



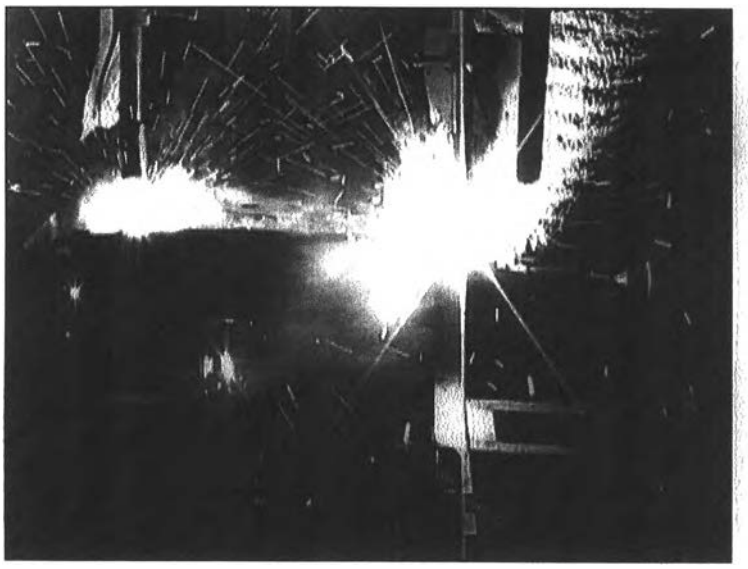
รูปที่ 5.6 แสดงขั้นตอนการตรวจวัดชิ้นงานโยกทิว

5.8.4 ควบคุมกระบวนการประกอบโยกทิวกับท่อดังแสดงในรูปที่ 5.7 ให้ได้ตามสภาวะที่กำหนดไว้



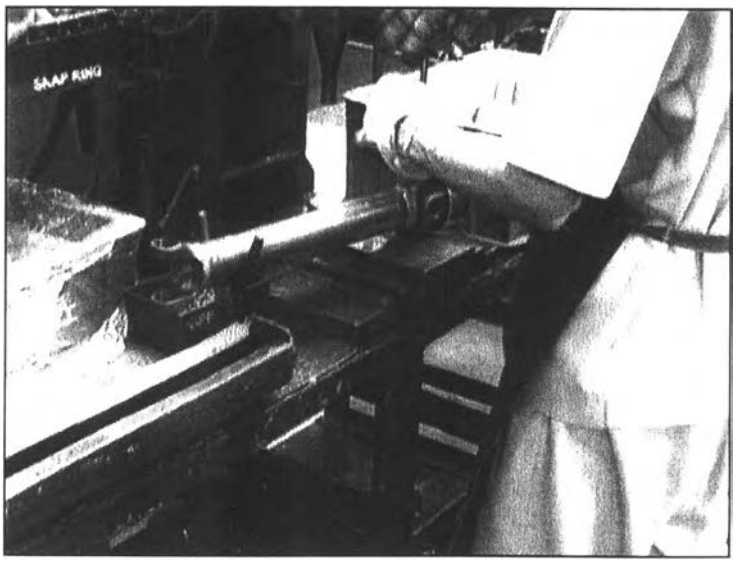
รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนการประกอบโยกทิวเข้ากับท่อ

5.8.5. หลังจากประกอบโยกทิวเข้ากับท่อเรียบร้อยก็จะนำเข้าสู่กระบวนการเชื่อมรอบ ดังแสดงในรูปที่ 5.8 โดยก่อนเชื่อมต้องทำการตั้งความดันไฟฟ้า (Voltage) ความเร็วในการป้อนลวด (Welding Speed) ที่เครื่องเชื่อม ตามสภาวะที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.6



รูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนการเชื่อมงานโยกทิวเข้ากับท่อ

5.8.6 นำโยกสลีฟและโยกแฟลงประกอบที่ด้านหัวและด้านท้ายเพลา (Main Shaft)ดังแสดงในรูปที่ 5.9 หลังจากนั้นทำการปรับค่าท็อร์ค (Torque) โยกสลีฟและโยกแฟลงของให้ได้ตามระดับที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 5.6 หลังจากนั้นนำชิ้นงานประกอบสำเร็จไปจัดวางดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการประกอบโยกแฟลงและโยกสลีฟ

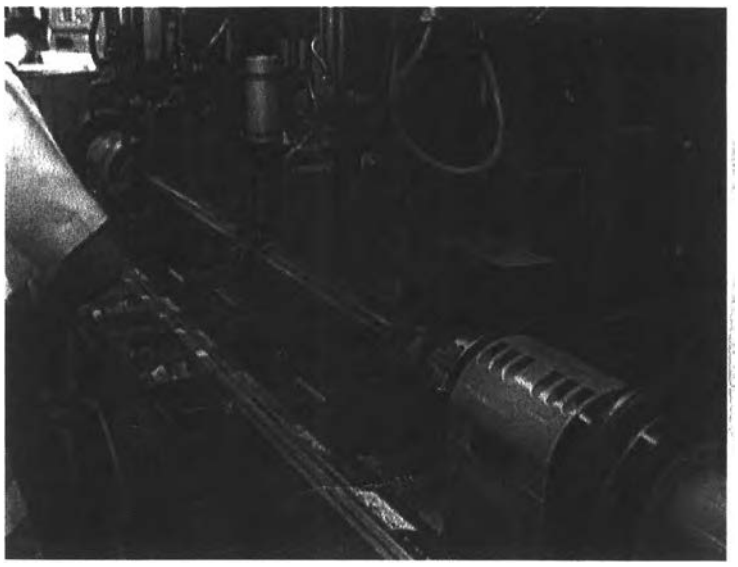
รูปที่ 5.10 แสดงชิ้นงานเพลากลางสำเร็จรูปรอเข้าทดสอบค่าสมดุล

5.8.7 ทดสอบค่าสมดุล

1. นำชิ้นงานเพลากลางตัวต้นแบบดังรูปที่ 5.11 มาทำการทดสอบเครื่องว่าเครื่องทดสอบความสมดุลมีความในการวัดอยาในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่

รูปที่ 5.11 แสดงชิ้นงานเพลากลางต้นแบบสำหรับทดสอบ

2. นำชิ้นงานสำเร็จรูปเข้าทดสอบค่าสมดุลที่ความเร็วรอบ 4000 rpm ดังรูปที่ 5.12 ทำการอ่านค่าที่เครื่องทดสอบแล้วบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 5.12 แสดงการทดสอบค่าสมดุลของงานสำเร็จรูป

5.8.8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

นำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า P-Value ออกมาให้จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่า α = 0.05 ถ้าค่า P-Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าปัจจัยนั้นๆมีผลกระทบต่อค่าความสมดุลของเพลากลางอย่างมีนัยสำคัญ และทำการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบประกอบด้วยการทดสอบทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลและทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายหาสภาะที่เหมาะสมในการผลิต

5.9 บทสรุปท้ายบท

ในบทนี้จะนำข้อมูลที่ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง โดยการวิจัยครั้งนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลและทำการกำหนดให้บางปัจจัยคงที่ ขั้นตอนแรกของการออกแบบการทดลองคือการกำหนดตัวแปรตอบสนองที่เราสนใจคือค่าสมดุลของเพลากลางและทำการออกแบบการทดลอง 2 ครั้งโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือการออกแบบทดลองเบื้องต้น มีการกำหนดแต่ละปัจจัยให้มี 2 ระดับ มีปัจจัย 4 ปัจจัย แบบการทดลองเท่ากับ 16 แบบ และมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 1 ซ้ำ หลังจากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม โดยจะนำปัจจัยที่วิเคราะห์แล้วว่ามีผลต่อค่าสมดุลมาทำการออกแบบการทดลองโดยเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วต้องทำการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยใช้สภาวะของปัจจัยที่นำเสนอเทียบกับสภาวะของปัจจัยในสายการผลิตปัจจุ บัน