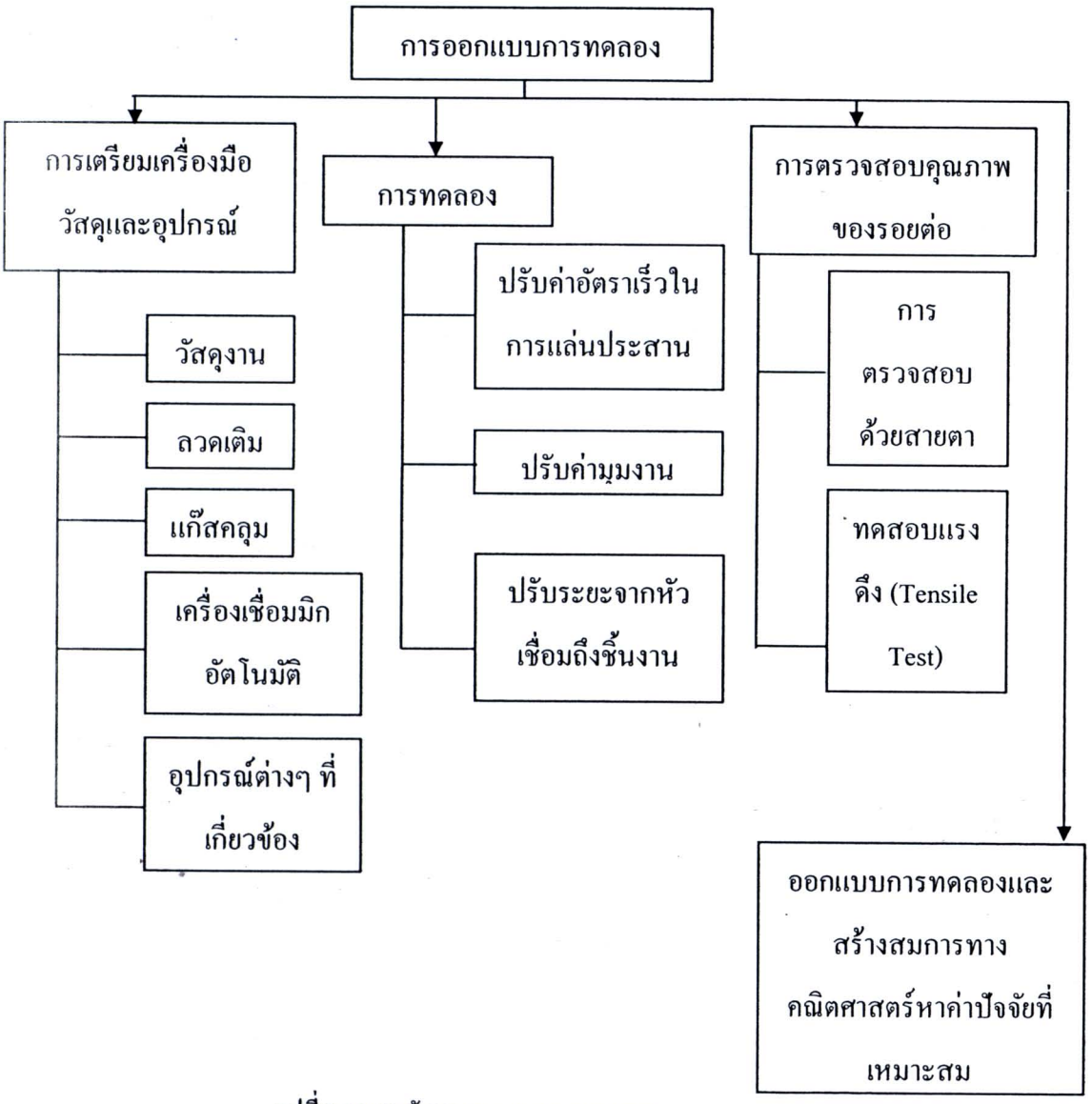
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

การศึกษาการออกแบบการทดลอง ทางผู้ทำการวิจัยได้กำหนดขั้นตอนหลัก ๆ ไว้ 4 ขั้นตอนคือ จัดเตรียมเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ การทดลอง การตรวจสอบคุณภาพของรอยต่อ และการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม ไปจนถึงการสร้างสมการณ์ทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการออกแบบการทดลอง

3.2 การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

3.2.1 วัสดุงาน

3.2.1.1 แผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี

วัสดุงาน (แผ่นเหล็กกล้า) วัสดุที่ใช้ในการวิจัยเป็นแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชุบสังกะสี (Galvanized steel sheet) ซึ่งมีคุณสมบัติเชื่อมได้ง่าย ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ โดยเฉพาะการประกอบตัวถังรถยนต์ โดยแผ่นเหล็กที่เลือกใช้มีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยคุณสมบัติต่างๆได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของวัสดุงานเหล็กกล้าชุบสังกะสี (Electro Galvanized Steel Sheet)

ส่วนผสมทางเคมีโดยน้ำหนัก						
C	Mn	P	S	Fe	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
0.05	0.24	0.015	0.016	Bal.	320	42

3.2.1.2 แผ่นอลูมิเนียม

วัสดุงาน (แผ่นอลูมิเนียม) วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมอัลลอยชนิด 5052 (5052 Aluminium alloy) ซึ่งอลูมิเนียม 5xxx เป็นอลูมิเนียมที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียม สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด เหมาะสมกับการเชื่อม ขึ้นรูปได้ดี และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ความหนาของวัสดุชิ้นงานคือ 1.2 มิลลิเมตร โดยคุณสมบัติต่างๆได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติของวัสดุงาน อลูมิเนียมอัลลอยชนิด 5052 (5052 Aluminium alloy)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt)									
Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Al	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
0.20	0.01	0.32	2.38	0.03	0.10	0.012	Bal.	225	15

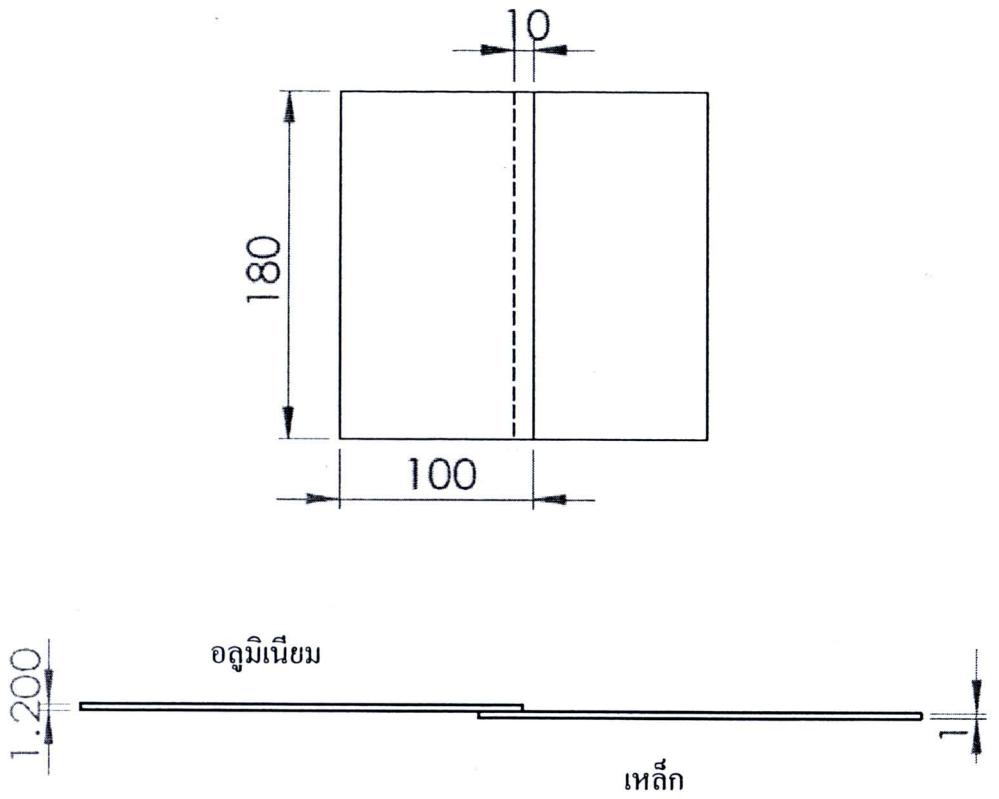
เมื่อทราบถึงวัสดุงานและส่วนผสมต่างๆแล้ว จึงได้วางแผนการทดลองต่อโดยมีการเตรียมการดังนี้

การเตรียมรอยต่อในงานแล่นประสาน ลักษณะของรอยต่อที่นำมาศึกษาเป็นรอยต่อแบบเกย (Lap joint) โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลองดังต่อไปนี้

1) ตัดแผ่นชิ้นงานของเหล็กและอลูมิเนียมตามกำหนดไว้คือขนาด 180 x 100 มิลลิเมตร

2) ทำความสะอาดชิ้นงานโดยการเช็ดด้วยอะซีโตน (Acetone) เพื่อดูดซับความชื้นหรือคราบน้ำมัน

3) นำชิ้นงานวางบนอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานให้ชิ้นงานเกยทับกันประมาณ 10 มิลลิเมตร โดยให้แผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบนของแผ่นเหล็กกล้าชุบสังกะสี



รูปที่ 3.2 ลักษณะของรอยต่อของชิ้นงานทดสอบ

3.2.2 ลวดเติม

ลวดเติม (Filler Metal) ที่ใช้ในการทดลองเป็นลวดเชื่อมอลูมิเนียมไฟฟ้า ANSI/AWS A5.10 ER/R 4043 ซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นอลูมิเนียมและซิลิกอน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยลวดเติมชนิดนี้สมบัติการไหลเมื่อเกิดการหลอมได้ดี และเกิดความหนาของชั้นประกอบเชิงโลหะน้อย สมบัติของลวดเติมแสดงในตาราง 3.4

ตารางที่ 3.3 สมบัติของลวดเติมเกรด ANSI/AWS A5.10 ER/R 4043 ตามน้ำหนัก

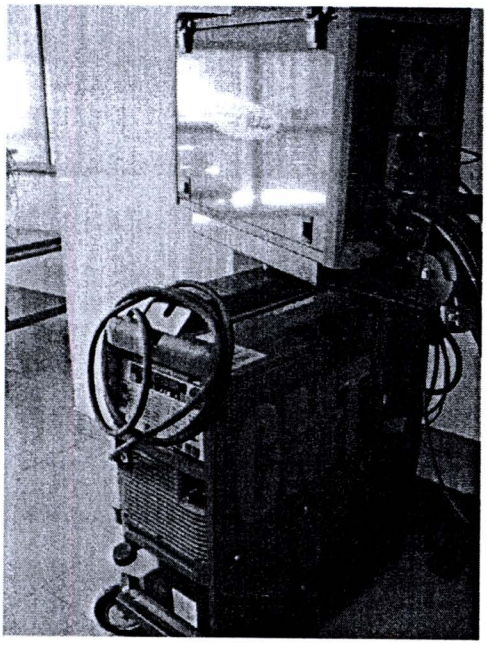
ส่วนผสมทางเคมี (%wt)							จุดหลอมละลาย °C	สมบัติเชิงกล	
Si	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	Al		Tensile Strength (MPa)	Elongation
4.5-6.0	0.80	0.30	0.10	0.05	0.50	Bal.	577 - 638	190	8%

3.2.3 แก๊สสำหรับปกคลุมรอยต่อ

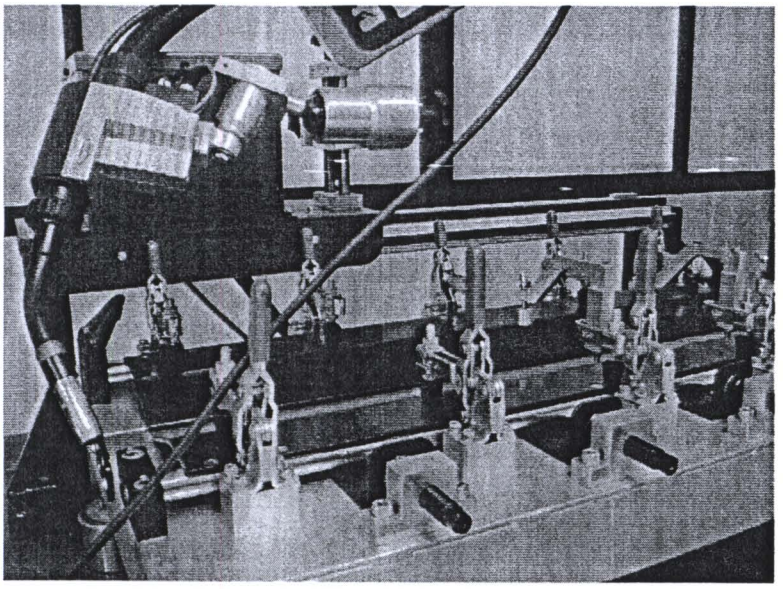
แก๊สที่ใช้ปกคลุมการแล่นประสานรอยต่อคือแก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 100% เนื่องจากเป็นแก๊สเฉื่อย สามารถปกป้องรอยต่อจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างโลหะเหลวกับบรรยากาศระหว่างการเชื่อม ความเข้มของความร้อนมีน้อยกว่าแก๊สฮีเลียม การเริ่มต้นอาร์กดีกว่า มีการหลอมลึกน้อยกว่าแก๊สฮีเลียม มีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่า

3.2.4 เครื่องเชื่อมมิกอัตโนมัติ

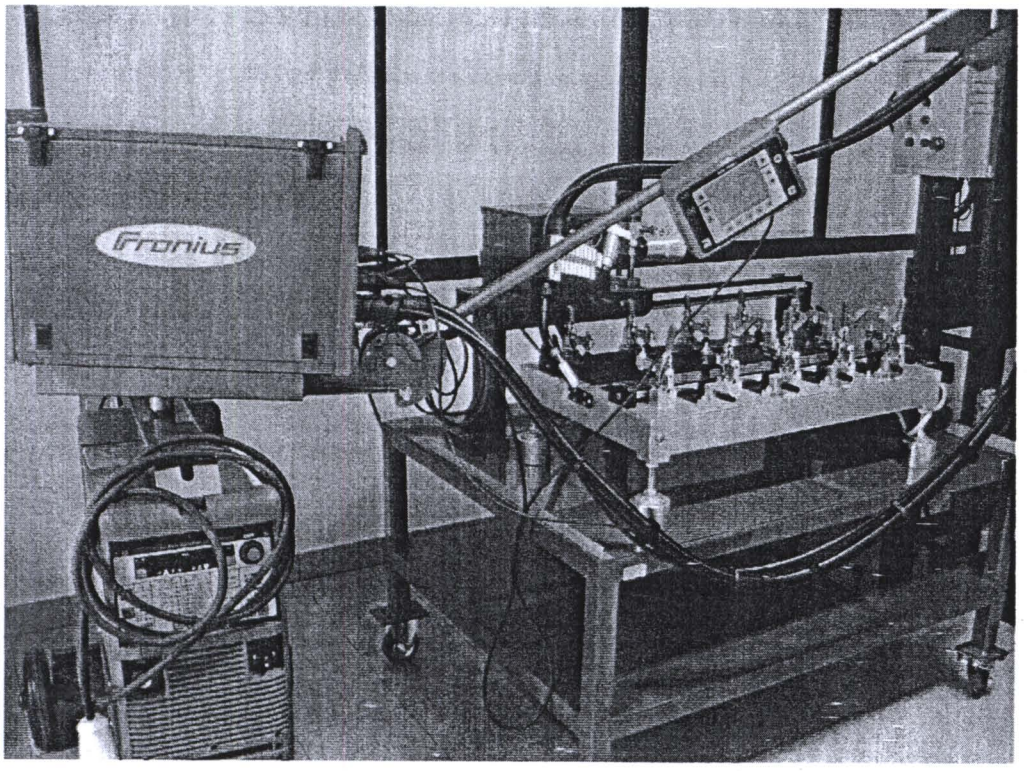
เครื่องที่ใช้เป็น Fronius รุ่น Trans Synergic 4000 ประกอบด้วยเครื่องเชื่อม ชุดจับยึดชิ้นงานแบบเชื่อมในแนวแกน X และแกน Y และชุดจับยึดหัวเชื่อมที่ออกแบบสำหรับการทดลองนี้ ซึ่งสามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน อัตราป้อนลวด ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าอื่นๆ โดยระบบที่ใช้ในการเชื่อมในการทดลองนี้จะใช้เป็นระบบ Cold Metal Transfer (CMT) ซึ่งมีข้อดีหลัก ๆ คือเรื่องของอุณหภูมิที่น้อยกว่าการเชื่อมมิกแบบธรรมดา



รูปที่ 3.4 ตัวจ่ายกระแสและตัวจ่ายลวดของเครื่องเชื่อมมิกอัตโนมัติ (Power Source and Wire Feeder)



รูปที่ 3.5 ชุดยึดจับชิ้นงานและชุดยึดจับหัวเชื่อม



รูปที่ 3.6 ภาพโดยรวมทั้งหมดของตัวเครื่องเชื่อมมิกอัตโนมัติ

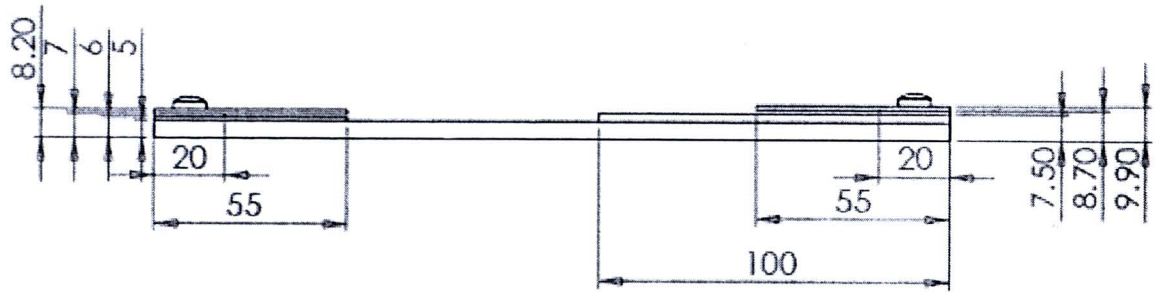
3.2.5 เครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cut EDM)

หลังจากทำการเชื่อมบัดกรีชิ้นทดสอบจะทดสอบจะถูกตัดด้วยเครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cut EDM) ยี่ห้อ Socick รุ่น AQ535L เพื่อทำเป็นชิ้นทดสอบแรงดึงและชิ้นวัดขนาดของรอยเชื่อมในขั้นต่อไป โดยเหตุผลที่ใช้เครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้าเพราะว่ารอยเชื่อมจะเสียรูปน้อยกว่าการตัดด้วยวิธีอื่นๆ

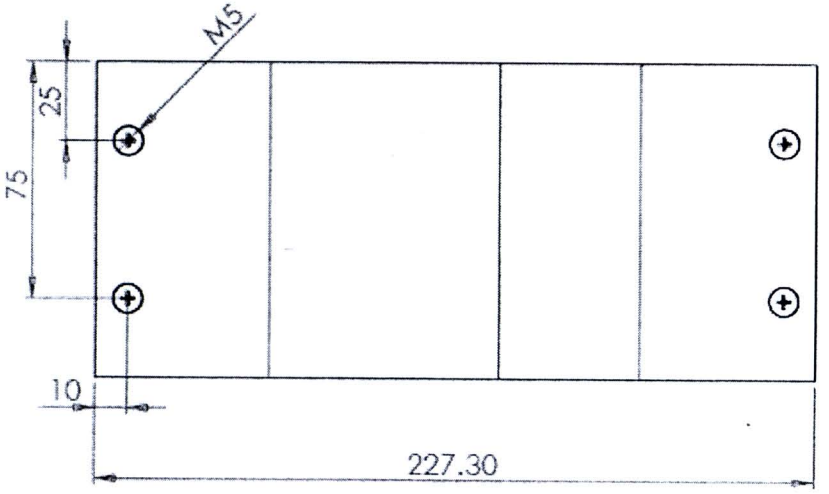
รูปที่ 3.7 เครื่องตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cut EDM) ยี่ห้อ Socick รุ่น AQ535L

3.2.6 จิ๊กที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงาน

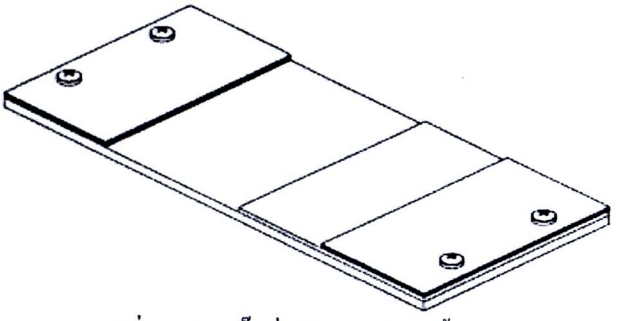
เนื่องจากจิ๊กของตัวเครื่องเชื่อมไม่สามารถจับชิ้นงานให้เป็นไปตามความต้องการได้จึงได้มีการจัดทำจิ๊กขึ้น



รูปที่ 3.8 จิ๊กที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงาน



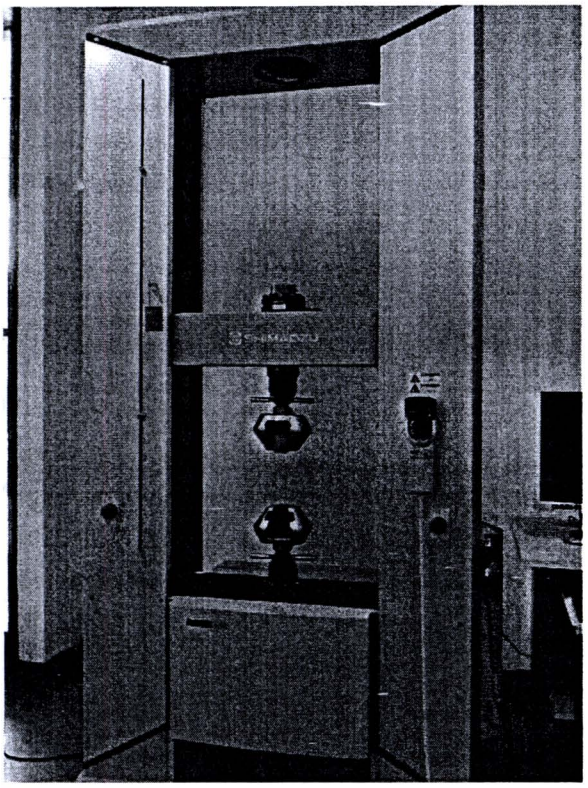
หมายเหตุ หน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 (ต่อ) จิ๊กที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงาน

3.2.7 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)

ค่าตอบสนอง (Output) ที่ต้องการคือความต้านทานแรงดึง ดังนั้นจึงได้ใช้เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AG-X ในการทดสอบวัดค่าความต้านทานแรงดึง



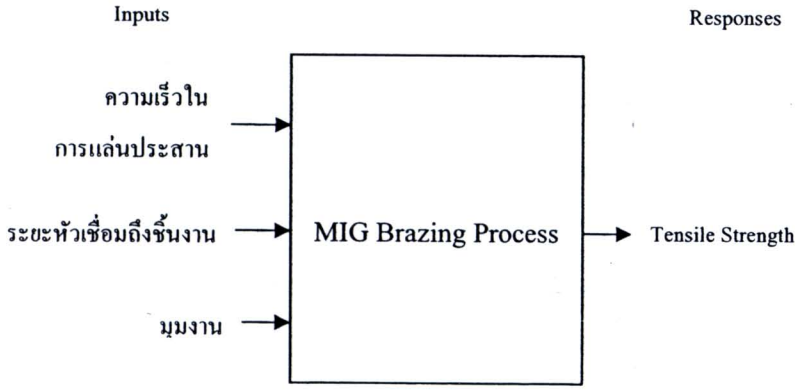
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AG-X

3.3 การควบคุมพารามิเตอร์ของการแล่นประสาน

ในการแล่นประสานรอยต่อ ในตำแหน่งท่าขนานนอนด้วยกระบวนการ GMAW-P โดยการเดินแนวเชื่อมจะใช้เป็นแบบเดินไปข้างหน้าในทุกการทดลอง เพราะเป็นการเชื่อมเหล็กแผ่นบางโดยจะสามารถมองเห็นรอยเชื่อมได้ง่ายและการหลอมลึกจะน้อย โดยจะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความเร็วในการแล่นประสาน (Travel speed) ระยะจากหัวเชื่อมถึงชิ้นงาน (Nozzle to work) และมุมงาน (Work angle) ซึ่งค่าที่นอกเหนือจากที่กล่าวมานี่จะเป็นค่าคงที่คือ กระแสในการแล่นประสาน (Brazing current) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) อัตราการป้อนลวด (Feed rate) และอัตราการไหลของแก๊ส (Gas flow)

ตารางที่ 3.4 ค่าของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ค่าของปัจจัย
ความเร็วที่ใช้ในการแล่นประสาน (Travel Speed)	455 มิลลิเมตร / นาที , 565 มิลลิเมตร / นาที
ระยะจากหัวเชื่อมถึงชิ้นงาน (Nozzle to Work)	10 มิลลิเมตร , 14 มิลลิเมตร
มุมงาน (Work Angle)	-15 องศา , 15 องศา
กระแสในการแล่นประสาน (Brazing Current)	50 แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	11.2 โวลต์
อัตราการป้อนลวด (Feed Rate)	3.2 เมตร / นาที
อัตราการไหลของแก๊ส (Gas Flow)	16 ลิตร / นาที



รูปที่ 3.10 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมในการแล่นประสาน

3.4 การออกแบบการทดลอง

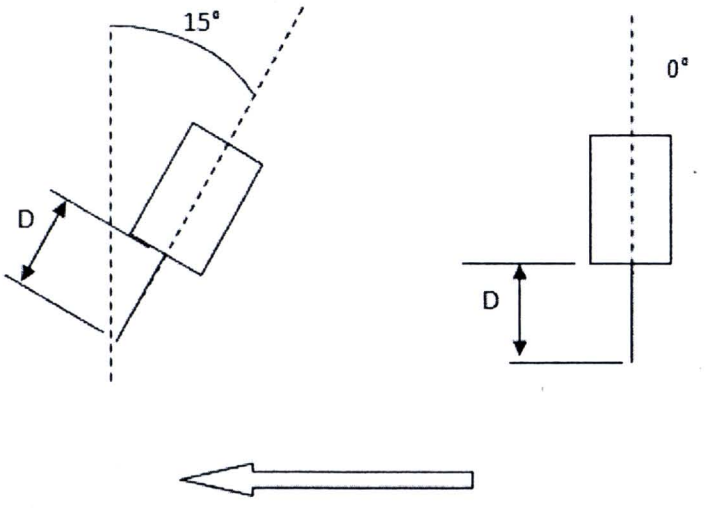
ในการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมในการแล่นประสาน ทางกลุ่มได้มี การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรอยเชื่อมโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial 2^k

3.4.1 การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial 2^k

จากตัวแปรทั้งหมด 3 ตัวแปรซึ่งใช้เป็นวิธี Full Factorial ทั้งหมด 2^3 หรือ 8 ครั้ง โดยจะมีการทดลองซ้ำ 3 รอบ รวมการทดลองแล้วมีทั้งหมด 24 ครั้ง โดยได้แสดงค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของแต่ละปัจจัยไว้ดังตารางที่ 3.5 ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อดูช่วงของค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 3.5 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง 2^k Factorial design

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย	
				Low (-)	High (+)
1	ความเร็วในการเชื่อม	mm/min	S	455	565
2	ระยะหัวเชื่อมถึงชิ้นงาน	mm	D	10	14
3	มุมงาน	degrees	A	-15	15



รูปที่ 3.11 ลักษณะของมุมงานและทิศทางการเชื่อม

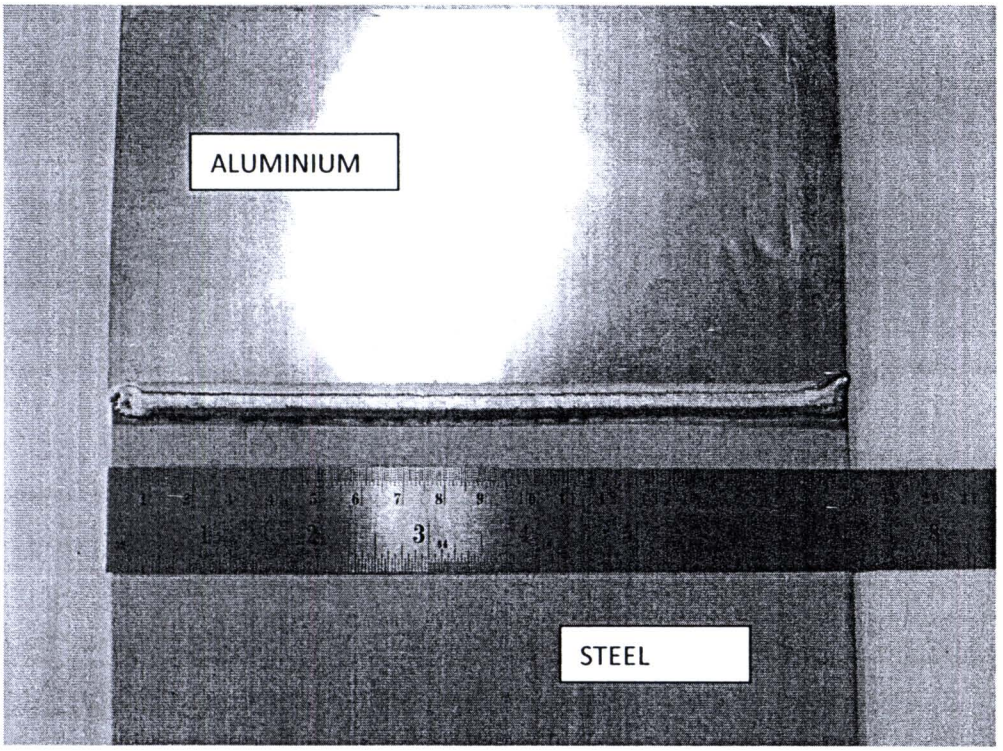
ตารางที่ 3.6 ตารางการออกแบบลำดับการทดลอง 2^k Factorial Design

Run Order	Std.Order	Treat Combo Symbol	Parameter and their level			Tensile Strength
			S	D	A	
1	1	-1	-	-	-	
2	4	S	+	-	-	
3	3	D	-	+	-	
4	24	A	-	-	+	
5	5	SD	+	+	-	
6	9	SA	+	-	+	
7	15	DA	-	+	+	
8	11	SDA	+	+	+	
9	20	-1	-	-	-	
10	6	S	+	-	-	
11	8	D	-	+	-	
12	13	A	-	-	+	
13	23	SD	+	+	-	
14	19	SA	+	-	+	
15	10	DA	-	+	+	
16	7	SDA	+	+	+	
17	12	-1	-	-	-	
18	18	S	+	-	-	
19	21	D	-	+	-	
20	17	A	-	-	+	
21	14	SD	+	+	-	
22	16	SA	+	-	+	
23	22	DA	-	+	+	
24	2	SDA	+	+	+	

3.5 การตรวจสอบคุณภาพของงานแล่นประสาน

3.5.1 ตรวจสอบรอยต่อด้วยสายตา (Visual Inspection)

หลังจากทำการเชื่อมเรียบร้อยแล้วจะมีการตรวจสอบด้วยสายตาก่อนเป็นขั้นแรก โดยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) จะเป็นไปตามมาตรฐานของการตรวจสอบรอยเชื่อม ANSI โดยสังเกตตั้งแต่เริ่มต้นการแล่นประสานจนจบการแล่นประสาน โดยสังเกตผลจากการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆกัน ตรวจสอบหลังจากการแล่นประสานเสร็จ ดูความสมบูรณ์ที่ขอบหน้า และด้านหลังรอยต่อ สังเกตความสูง ความกว้าง ความนูน ความต่อเนื่อง การไม่เติมเต็มขอบรอยต่อ (Under Fill) สีของรอยต่อและเม็ดโลหะกระเด็น (Spatters) โดยถ้ารอยต่อไม่สมบูรณ์ก็จะไม่นำมาพิจารณาในการทดลองต่อไป

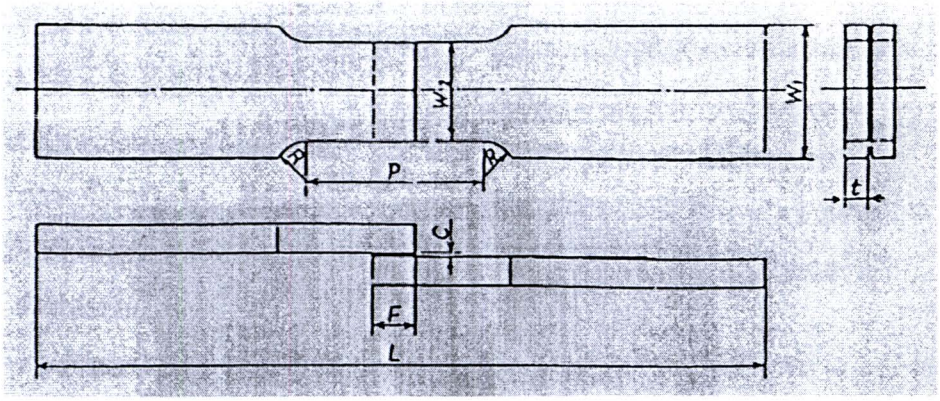


รูปที่ 3.12 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแล้ว

3.5.2 การเตรียมการเพื่อทำการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

เมื่อรอยต่อผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาแล้ว นำชิ้นงานไปเตรียมการในการทดสอบแรงดึงโดยขั้นตอนมีดังนี้

1) ตัดชิ้นงานตวรจสอบโดยแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยใช้เครื่องมือตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cut EDM) โดยต้องตัดในส่วนที่ห่างจากจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดรอยต่อ 22.5 มิลลิเมตร โดยขนาดของชิ้นงานตรวจสอบเป็นรูป Specimen มีขนาด 15 x 100 มิลลิเมตรตามมาตรฐานของการทดสอบแรงดึง JIS Z3192 จำนวน 5 ชิ้นต่อชิ้นงานทดสอบ 1 ชิ้น



โดย W1 = 15 มิลลิเมตร

W2 = 10 มิลลิเมตร

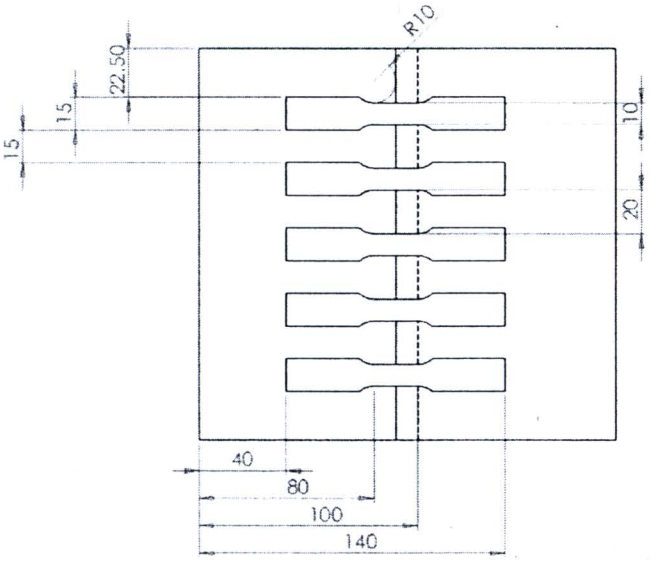
F = 10 มิลลิเมตร

L = 100 มิลลิเมตร

P = 20 มิลลิเมตร

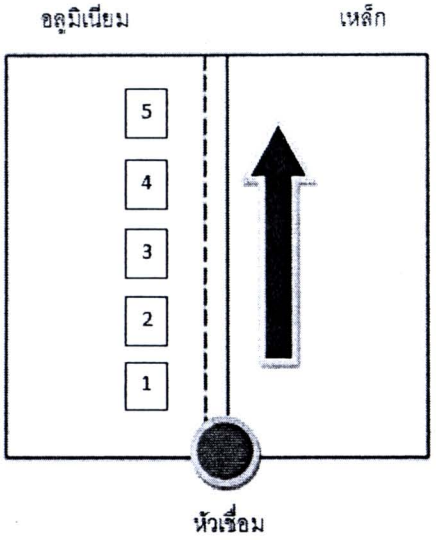
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.13 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน JIS Z3192

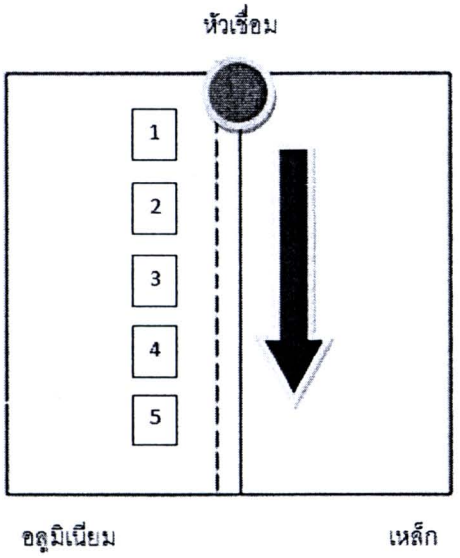


รูปที่ 3.14 ชิ้นงานทดสอบที่จะนำมาตัดเป็นชิ้นงานตรวจสอบตามมาตรฐาน JIS Z3192

โดยในขั้นตอนนี้มีข้อที่ควรระวังไว้คือ หมายเลขของชิ้นงานทดสอบแรงดึงจะขึ้นอยู่กับทิศทางการเชื่อมและมุมงาน ดังภาพ



รูปที่ 3.15 ชิ้นงานความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเดินของหัวเชื่อมและลำดับของชิ้นงานทดสอบแรงดึง ที่มุมงาน 15 องศา



รูปที่ 3.16 ชิ้นงานความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการเดินของหัวเชื่อมและลำดับของชิ้นงานทดสอบแรงดึง ที่มุมงาน - 15 องศา

2) ชิ้นงานตรวจสอบ 5 ชิ้นมาทดสอบแรงดึง (Tensile test) โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ดึงชิ้นงานด้วยแรงดึงที่สม่ำเสมอ คงที่ที่ 1.27 mm/min จนชิ้นงานตรวจสอบในส่วนของเหล็กและอลูมิเนียมขาดออกจากกันแล้วบันทึกผลที่ได้

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าผลตอบสนอง (Output)

1) จากค่า Output ที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมมินิแทบ (MINITAB) โดยจะวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลน้อยต่อรอยเชื่อมในการแล่นประสานออก (Screening) จากตาราง ANOVA
2) เมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรอยเชื่อม จะนำปัจจัยนั้น ๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไป

3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทำโดยใช้ Scanning electron microscope (SEM) และ Energy dispersive X-ray spectrometry (EDX) ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและปริมาณของสารประกอบเชิงโลหะ ในการศึกษาสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นและองค์ประกอบทางเคมี จะทำการศึกษาโดยใช้ SEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV และใช้ EDX ยี่ห้อ JEOL รุ่น Link ISIS Series 300