

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ สำหรับเหล็ก เอสที 37

Optimization of Flux Cored Arc Welding Parameters For Steel ST 37

อนุสิทธิ์ อ้าไพบูลย์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิทยาเขตดอนแก่น ต. ในเมือง อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000 โทร 089-4193-058 E-mail: anusit2004@hotmail.com.

ก่อโชค ภูนิคม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ถ.สถลมารค ต.ศรีโค
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 09-7177-983 โทรสาร. 0-4528-8378 E-mail: dr.kochoke@yahoo.com.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ (Flux – Cored Arc Welding, FCAW) โดยเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^{6-2} Fractional Factorial Designs โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เพื่อกรองปัจจัย 6 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟ แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วเชื่อม ระยะโผล่ลวดเชื่อม มุมหัวเชื่อมและแก๊สคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม จากนั้นใช้การทดลองแบบ บ็อกซ์-เบนเคน (Box-Behnken) เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบที่ดีที่สุด ในการศึกษาใช้เครื่องเชื่อม Lincoln รุ่น SQUIRT WELDER LN - 8 ใช้ลวดเชื่อม รหัส E71T-1 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นงานมาทำการเชื่อมทางตรงและทดสอบหาคุณภาพทางกล ด้วยการทดสอบค่าความต้านแรงดึง ผลการทดลองความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรต่างๆ คือ กระแสไฟ เท่ากับ 250 แอมป์ แรงดันไฟเชื่อม เท่ากับ 32 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม เท่ากับ 22 นิ้วต่อนาที ระยะโผล่ลวดเชื่อม เท่ากับ 15 มิลลิเมตร มุมหัวเชื่อม เท่ากับ 45.6 องศาและแก๊ส CO2 คลุมแนวเชื่อม เท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 6400 kgf.

คำหลัก: การออกแบบการทดลอง, การเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์,

Abstract

The purpose of this research was to determine the optimal factors of Flux Cored Arc Welding process. First, 2^{6-2} Fractional Factorial Designs (i.e., 2^{6-2} design) was used to screen 6 factors into that factor which exhibited the significant tensile of weldment. Five welding parameters are: current, volt, speed, stickout angle and gas then the Box-Behnken design was used in order to analyze data and to find out the optimization. The experiment used Lincoln welding machine model SQUIRT WELDER LN-8, electrode E71T-1 and rod size diameter 1.2 minlimeters. The study methodology is to prepare the welding specimens for test mechanical quality, by using tensile. The result of the experiment at the level of the statistical significance with α level of 0.05, the optimal conditions was 250 amp. of

current, 32 volt of voltage, speed are 22 inch. per minute., 15 mm. Of stickout., 45.6 degree of angle and 20 of CO₂ gas showed the maximum of tensile test of 6400 kgf.

Keywords: Design Of Experiment., Flux Cored Arc Welding

1. บทนำ

ในการพัฒนาอุตสาหกรรมของไทยมีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้น เช่น สิ่งก่อสร้าง โครงสร้าง สะพาน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เหล็กเป็นวัสดุที่มีความสำคัญที่ถูกนำมาใช้เป็นโครงสร้างเพราะว่าเหล็กมีความแข็งแรงและสะดวกรวดเร็วในการประกอบ ซึ่งในการประกอบโครงสร้างเหล็กเข้าด้วยกันจะใช้กรรมวิธีในการเชื่อมประสานให้ติดกันซึ่งในการเชื่อมเหล็กก็มีหลายกรรมวิธีด้วยกัน โดยกรรมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้มากในปัจจุบันคือการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding, FCAW)

การเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ นับว่ามีความสำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมในด้านของงานโครงสร้าง โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นเหล็กชนิด เอสที 37 เพื่อเชื่อมประสานเหล็กให้ติดกัน แต่ก่อนใช้วิธีการเชื่อมโลหะด้วยรูปเชื่อม แต่ในปัจจุบันใช้วิธีการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์มากขึ้น เพราะสะดวก รวดเร็วและประหยัดเวลาในการเชื่อม ปัจจุบันช่างเชื่อมที่ปฏิบัติการเชื่อมจะเชื่อมโดยอาศัยประสบการณ์ การลองผิดลองถูกหรือตั้งค่าปัจจัยต่างๆ ตามข้อกำหนดที่ระบุมาจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องเชื่อมและลวดเชื่อม ซึ่งคุณภาพของงานเชื่อมที่ได้ออกมาไม่ดีเท่าที่ควรเช่น มีค่าความแข็งแรงต่ำคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดไว้ ทำให้โอกาสเกิดความเสียหาย การแตกร้าว และการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมและโครงสร้างเหล็กค่อนข้าง

สูง ในกรรมวิธีการเชื่อมเพื่อที่จะให้ได้งานที่ออกมามีความแข็งแรงและคุณภาพดีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆด้าน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาว่า ปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมโลหะแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ ในเหล็กชนิด เอสที 37 ซึ่งประกอบด้วย กระแสไฟเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ระยะโผล่ลวดเชื่อม มุมของหัวเชื่อมและแก๊สคลุมแนวเชื่อม โดยหาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อความสัมพันธ์กับค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อม

2. วิธีวิจัย

2.1 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

การออกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น การออกแบบการทดลองแบบ 2⁶⁻² ทำการทดลองแบบเศษส่วน (Fractional Factorial Designs) นำมาประยุกต์ใช้ในการกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อม โดยใช้เครื่องเชื่อม Lincoln รุ่น SQUIRT WELDER LN - 8 เพื่อทำการกรองปัจจัยต่างๆ ให้เหลือเฉพาะปัจจัยหลักที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาของการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ (Flux – Cored Arc Welding) แสดงในตารางที่ 1 โดยในการทดลองได้กำหนดค่าของปัจจัยไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง

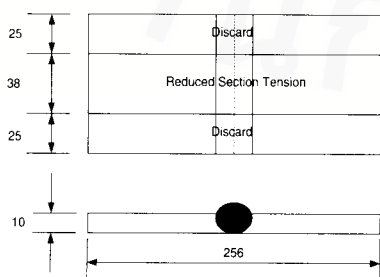
ตารางที่ 1 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัยสำหรับการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์

ปัจจัย/หน่วย	ระดับ	
	ต่ำ (-1)	สูง (1)
1.กระแสไฟเชื่อม (Amp)	150	250
2.แรงดันเชื่อม (Volt)	22	32
3.ความเร็วในการเชื่อม (in./min)	14	30
4.ระยะโผล่ของลวดเชื่อม (mm.)	10	20
5.มุมของลวดเชื่อม (Degree)	45	75
6.แก๊ส CO ₂ คลุมแนวเชื่อม(L/min)	10	20

จากปัจจัยที่มีอยู่ 6 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งถ้าทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบบริบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ 64 การทดลอง ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองแบบเศษส่วน $\frac{1}{4}$ ของการออกแบบ 2^k หรือการออกแบบการทดลองแบบ 2^{6-2} ซึ่งจะเหลือการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองและทำการซ้ำการทดลอง 2 ครั้ง = 32 หน่วยการทดลอง ซึ่งการกำหนดรูปแบบสำหรับการทดลองและผลการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยการทดลองมีการจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากปัจจัยที่ไม่ได้ทำการควบคุม

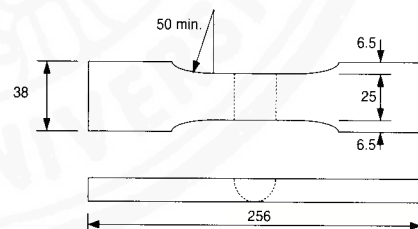
2.2 การทดลอง

การเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding) จะใช้ชิ้นทดสอบที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน โดยชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 100 x 125 x 10 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุเหล็กเหนียวอสตี 37 จำนวน 2 ชิ้น วางชิ้นงานชนกัน (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบแนวเชื่อม

นำชิ้นงานเชื่อมยึด (Tack of Weld) ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม. Code AWS E70T-1 กำหนด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมคือกระแสไฟ 150-250 แอมแปร์ แรงดันไฟเชื่อม 22-32 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม 14-30 นิ้วต่อนาที ระยะโผล่ของลวดเชื่อม 10-20 มม. มุมของหัวเชื่อม 45-75 องศา แก๊ส CO₂ คลุมแนวเชื่อม 10-20 ลิตรต่อนาที โดยต้องจอร์แบบ Direct Current Electrode Positive (DCEP) ซึ่งจะทำให้การทดลองเชื่อมตามลำดับการสุ่มที่ได้จากตารางที่ 2 นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปทำการกัดเพื่อลดขนาด ตามมาตรฐาน ASME Section IX (ดังรูปที่ 2)



รูปที่ 2 ชิ้นงานทดสอบ Tensile Strength ของรอยเชื่อม

นำชิ้นทดสอบ (Specimens) ที่ผ่านการกัด (ตามรูปที่ 2) ไปทำการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบ (ตารางที่ 2) นำผลการทดลองที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติเพื่อเลือกปัจจัยที่มีผลต่อ ความแข็งแรง ของแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ โดยเปรียบเทียบจากค่า P - Value

กับค่าของ Alpha (MINITAB User's Guide, 2000) ซึ่งในกระบวนการวิเคราะห์ ข้อมูลเชิงสถิติได้มีการนำ

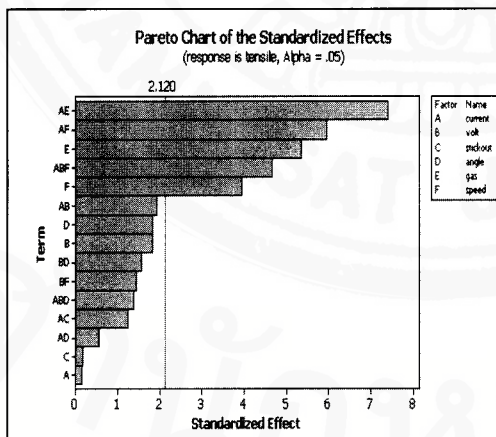
โปรแกรม MINITAB Release 14 มาใช้เป็นเครื่องมือช่วย ในการวิเคราะห์ผลในครั้งนี้

ตารางที่ 2 รูปแบบการทดลองและผลการทดลองความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม

StdOrder	RunOrder	current	volt	speed	stickout	angle	gas	Tensile (kgf)	Tensile (kgf)
1,17	1,17	-1(150)	-1(22)	-1(14)	-1(10)	-1(45)	-1(10)	4800	4680
2,18	2,18	1(250)	-1(22)	-1(14)	-1(10)	1(75)	-1(10)	5220	5580
3,19	3,19	-1(150)	1(32)	-1(14)	-1(10)	1(75)	1(20)	4300	4720
4,20	4,20	1(250)	1(32)	-1(14)	-1(10)	-1(45)	1(20)	3120	2650
5,21	5,21	-1(150)	-1(22)	1(30)	-1(10)	1(75)	1(20)	4580	4120
6,22	6,22	1(250)	-1(22)	1(30)	-1(10)	-1(45)	1(20)	3540	3280
7,23	7,23	-1(150)	1(32)	1(30)	-1(10)	-1(45)	-1(10)	4440	4120
8,24	8,24	1(250)	1(32)	1(30)	-1(10)	1(75)	-1(10)	5320	5720
9,25	9,25	-1(150)	-1(22)	-1(14)	1(20)	-1(45)	1(20)	4820	4360
10,26	10,26	1(250)	-1(22)	-1(14)	1(20)	1(75)	1(20)	5180	5680
11,27	11,27	-1(150)	1(32)	-1(14)	1(20)	1(75)	-1(10)	4120	4560
12,28	12,28	1(250)	1(32)	-1(14)	1(20)	-1(45)	-1(10)	4840	4380
13,29	13,29	-1(150)	-1(22)	1(30)	1(20)	1(75)	-1(10)	4670	4280
14,30	14,30	1(250)	-1(22)	1(30)	1(20)	-1(45)	-1(10)	3920	4350
15,31	15,31	-1(150)	1(32)	1(30)	1(20)	-1(45)	1(20)	4760	5340
16,32	16,32	1(250)	1(32)	1(30)	1(20)	1(75)	1(20)	3820	4280

2.3 ผลการทดลองเบื้องต้น

ตารางที่ 3 ค่า P ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของตะเข็บเชื่อม



Factorial Fit: tensile versus current, volt, speed, stickout, angle, gas						
Estimated Effects and Coefficients for tensile (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		4485.9	52.61	85.26	0.000	
current	-111.9	-55.9	52.61	-1.06	0.303	
volt	-160.6	-80.3	52.61	-1.53	0.146	
speed	-154.4	-77.2	52.61	-1.47	0.162	
stickout	198.1	99.1	52.61	1.88	0.078	
angle	546.9	273.4	52.61	5.20	0.000	
gas	-403.1	-201.6	52.61	-3.83	0.001	
current*volt	-166.9	-83.4	52.61	-1.59	0.132	
current*speed	-148.1	-74.1	52.61	-1.41	0.178	
current*stickout	54.4	27.2	52.61	0.52	0.612	
current*angle	793.1	396.6	52.61	7.54	0.000	
current*gas	-569.4	-284.7	52.61	-5.41	0.000	
volt*stickout	15.6	7.8	52.61	0.15	0.884	
volt*gas	-160.6	-80.3	52.61	-1.53	0.146	
current*volt*stickout	-140.6	-70.3	52.61	-1.34	0.200	
current*volt*gas	-464.4	-232.2	52.61	-4.41	0.000	

S = 297.631 R-Sq = 91.18% R-Sq(adj) = 82.90%

Analysis of Variance for tensile (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	4503869	4503869	750645	8.47	0.000
2-Way Interactions	7	8256197	8256197	1179457	13.31	0.000
3-Way Interactions	2	1883356	1883356	941678	10.63	0.001
Residual Error	16	1417350	1417350	88584		
Pure Error	16	1417350	1417350	88584		
Total	31	16680772				

จากตาราง 3 สังเกต ค่า P-Valueของปัจจัยจะต้อง มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความต้าน แรงดึงของตะเข็บเชื่อมในระดับที่มีนัยสำคัญซึ่งได้ผล ดังนี้

- (1) มุมหัวเชื่อม (angle)
- (2) แก๊ส CO₂ คลุมแนวเชื่อม (gas)

(3) อันตรกิริยาระหว่าง กระแสไฟ กับ มุมหัวเชื่อม (current*angle)

(4) อันตรกิริยาระหว่าง กระแสไฟ กับ แก๊สคลุม แนวเชื่อม (current*gas)

(5) อันตรกิริยาระหว่าง กระแสไฟ กับ แรงดันไฟ
เชื่อม กับ แก๊สคลุมแนวเชื่อม ($\text{current} \cdot \text{volt} \cdot \text{gas}$)

2.4 สรุปผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

เมื่อรวมปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของตะขีบเชื่อม จะได้ปัจจัยหลักที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในขั้นต่อไป ดังนี้

- (1) กระแสไฟ (current)
- (2) แรงดันไฟเชื่อม (volt)
- (3) มุมหัวเชื่อม (angle)

(4) แก๊ส CO_2 คลุมแนวเชื่อม (gas)

2.5 วิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยจากแบบจำลอง

จากตัวแปรที่มีความสำคัญ โดยนำมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ซึ่งทำได้โดยการออกแบบการทดลอง แบบบ็อก - เบนเคน (Box-Behnken Design) โดยการออกแบบการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัย ระดับ ขอบเขตที่ใช้สำหรับการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปัจจัย ระดับ ขอบเขต สำหรับการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์
ในการออกแบบการทดลองแบบบ็อก-เบนเคน

ปัจจัย/หน่วย	ระดับ		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)
1. กระแสไฟเชื่อม (แอมป์)	150	200	250
2. แรงดันไฟเชื่อม (โวลต์)	22	27	32
3. มุมของหัวเชื่อม (องศา)	45	60	75
4. แก๊ส CO_2 คลุมแนวเชื่อม (ลิตรต่อนาที)	10	15	20
ส่วนปัจจัยที่ 5 และ 6 ทำการควบคุมให้อยู่ในระดับกลาง			
5. ความเร็วหัวเชื่อม = 22 นิ้ว/นาที			
6. ระยะโผล่ของลวดเชื่อม = 15 มิลลิเมตร			

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าการเชื่อมขึ้นทดสอบตามการทดลองแบบบ็อก-เบนเคน โดยทดลองซ้ำ (Replicates) จำนวน 2 ครั้ง รวมขึ้นทดสอบเท่ากับ 54 การทดลองและ

นำขึ้นทดสอบไปลดขนาดตามมาตรฐาน ASME Section IX เพื่อหาความต้านแรงดึงของตะขีบเชื่อม ดังตารางที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวผลตอบ

ตารางที่ 5 รูปแบบการทดลองแบบบล็อก-เบนเคน และผลการทดลองความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม

StdOrder	RunOrder	current	volt	angle	gas	Tensile (ข้อ11)	Tensile (ข้อ12)
1	54.32	(-1)150	(-1)22	(0)60	(0)15	5480	5380
2	12.23	(+1)250	(-1)22	(0)60	(0)15	4600	4700
3	27.15	(-1)150	(+1)32	(0)60	(0)15	4380	4540
4	26.18	(+1)250	(+1)32	(0)60	(0)15	5580	5390
5	5.24	(0)200	(0)27	(-1)45	(-1)10	5020	4860
6	38.34	(0)200	(0)27	(-1)45	(+1)20	4920	4920
7	11.22	(0)200	(0)27	(+1)75	(-1)10	5380	5360
8	46.6	(0)200	(0)27	(+1)75	(+1)20	4280	4460
9	53.7	(-1)150	(0)27	(0)60	(-1)10	4480	4600
10	13.45	(+1)250	(0)27	(0)60	(-1)10	5480	5550
11	17.52	(-1)150	(0)27	(0)60	(+1)20	5020	4790
12	14.41	(+1)250	(0)27	(0)60	(+1)20	4120	4170
13	42.36	(0)200	(-1)22	(-1)45	(0)15	5320	5240
14	43.47	(0)200	(+1)32	(-1)45	(0)15	4960	5050
15	1.3	(0)200	(-1)22	(+1)75	(0)15	4990	4990
16	9.35	(0)200	(+1)32	(+1)75	(0)15	5120	4960
17	19.37	(-1)150	(0)27	(-1)45	(0)15	4790	4780
18	20.4	(+1)250	(0)27	(-1)45	(0)15	4880	5120
19	39.8	(-1)150	(0)27	(+1)75	(0)15	4720	4610
20	25.44	(+1)250	(0)27	(+1)75	(0)15	4840	4910
21	30.31	(0)200	(-1)22	(0)60	(-1)10	5100	5120
22	2.40	(0)200	(+1)32	(0)60	(-1)10	5520	5320
23	28.49	(0)200	(-1)22	(0)60	(+1)20	5160	4980
24	29.21	(0)200	(+1)32	(0)60	(+1)20	4420	4520
25	50.48	(0)200	(0)27	(0)60	(0)15	5240	4990
26	16.33	(0)200	(0)27	(0)60	(0)15	5180	4960
27	51.10	(0)200	(0)27	(0)60	(0)15	5140	5020

นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ ที่เรียกว่า แบบจำลองการถดถอยของพื้นผิวผลตอบ ที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าความต้านแรงดึงได้ โดยเลือกใช้ฟังก์ชันออกแบบวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Analyze Response Surface Design) เพื่อใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยในเทอมต่างๆ ไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 6

2.5 สร้างสมการทำนายหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

นำค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆ ทุกเทอมที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึง ของตะเข็บเชื่อม ไปเขียนสมการทำนายเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & -938.800 + 15.0817(\text{current}) - 394.283(\text{volt}) + 300.372 \\
 & (\text{angle}) + 187.917(\text{gas}) - 0.0689167 (\text{current})^2 + 2.88333 \\
 & (\text{volt}) - 0.587963 (\text{angle})^2 - 2.96667 (\text{gas})^2 + 1.80500 \\
 & (\text{current} * \text{volt}) - 0.578333(\text{current} * \text{angle}) - 0.00500000 \\
 & (\text{current} * \text{gas}) + 3.03333(\text{volt} * \text{angle}) + 3.25000(\text{volt} * \text{gas}) \\
 & - 3.26667 (\text{angle} * \text{gas})
 \end{aligned}$$

2.6 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ซึ่งจะได้อาที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อ

ค่าความต้านแรงดึง ของตะเข็บเชื่อม ดังรูปที่ 3

Response Optimization						
Parameter	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
tensile	Target	6300	6400	6500	1	1
Global Solution						
current	= 250.000					
volt	= 32.000					
angle	= 45.640					
gas	= 20.000					
Predicted Responses						
tensile	= 6400, desirability = 1.00000					
Composite Desirability = 1.00000						

รูปที่ 3 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อม

2.7 การทดลองบนค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยเพื่อยืนยันผล

ทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง เป็นการทดลองบนค่าที่เหมาะสมที่สุด ของปัจจัยที่มีผลต่อความ

ต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับ การทดลอง ดังตารางที่ 7

ตาราง 7 การเปรียบเทียบค่าของผลตอบและการยืนยันผล

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย				Response	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง	ทดลอง
กระแสไฟ (แอมป์)	แรงดันไฟ (โวลต์)	มุมลวด เชื่อม (องศา)	แก๊สคลุม (ลิตร นาที)	Optimizer (kgf.)	ครั้งที่ 1 (kgf.)	ครั้งที่ 2 (kgf.)	ครั้งที่ 3 (kgf.)	ครั้งที่ 4 (kgf.)	ครั้งที่ 5 (kgf.)
250	32	45.64	20	6400	6500	6550	6490	6540	6520

3. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการเชื่อมเหล็ก s37 ด้วยการเชื่อมแบบลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากปัจจัย 6 ปัจจัย พบว่า 1) กระแสไฟ

เชื่อม = 250 แอมป์ 2) แรงดันเชื่อม = 32 โวลต์ 3) ความเร็วในการเชื่อม = 22 นิ้ว/นาที 4) ระยะโผล่ของลวดเชื่อม = 15 มิลลิเมตร 5) มุมของลวดเชื่อม = 45.640 องศา 6) แก๊ส CO₂ คลุมแนวเชื่อม = 20 ลิตร/นาที

4. เอกสารอ้างอิง

- [1.] ปารเมศ ชูติมา , การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม ,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;กรุงเทพฯ, 2545.
- [2.] มานะ ศิษฏ์ พิณพัสสาร ,การเชื่อม MIG-MAG, กรุงเทพมหานคร : เอ็มแอนด์อี, 2542.
- [3.] มานพ ดันตระบัณชิตย์, งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น, 2537.
- [4.] American Welding Society , Welding Processes. 8th ed.Florida :American Welding Society, 1991.
- [5.] Douglas C. Montgomery , Design and Analysis of Experiments, America; Arizona State University, 1997.
- [6.] __, MINITAB User's Guide , 2000, chapter 12.
- [7.] Lincoln Electric , The Procedure Handbook of Arc Welding by The Lincoln Electric Company Cleveland, Ohio Thirteenth edition, Martha A. Baker (1995), Flux Cored Arc Welding. Ohio: Hobart Instate of Welding Technology , 1994.