

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

โดยวิธีการทากูชิที่การหลอมละลายแนวเชื่อม

Parametric Optimization of Shield Metal – Arc Welding Process by Taguchi Method on Weld Dilution

สุรพงศ์ บางพาน* พิรพันธ์ บางพาน เจษฎา แก้วสุใจ และ พงศ์นรินทร์ กิ่งอุโมงค์

Surapong Bangphan* Phiraphan Bangphan Jedsada Kaewsujai and Pongnarin Kienguomong

*สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 128 หมู่ 1 ถ.ห้วยแก้ว

ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุม (Shielded Metal Arc Welding (SMAW)) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายของกระบวนการเชื่อมในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพราะว่า การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุม (Shielded Metal Arc Welding (SMAW)) นั้นจะมีต้นทุนที่ต่ำ ในส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุม (Shielded Metal Arc Welding (SMAW)) เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพการเพิ่มผลผลิตและต้นทุนในการเชื่อม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการพัฒนาพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุม (Shielded Metal Arc Welding (SMAW)) ตลอดจนได้ทำการวางแผนการเพื่อเตรียมงานอย่างต่อเนื่องและตรวจดูการหลอมละลายแนวเชื่อมจากการทดสอบรอยเชื่อมต่อการซึมลึกในเหล็กทรงที่มีขนาดความกว้าง 4x4 นิ้ว และความหนา 4 มิลลิเมตรในระหว่างกระบวนการทดสอบนั้นได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญประกอบด้วย กระแสไฟฟ้า มุมของการเชื่อมและฐานช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมของตำแหน่งที่ทำการเชื่อม ตามที่ได้ทำการคัดเลือกตัวแปรของค่าพารามิเตอร์ซึ่งมีจำนวนอย่างเพียงพอต่อการทดลองเพราะว่าได้ดำเนินการทดลองด้วยวิธีการทากูชิเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด สำหรับแต่ละลำดับของปัจจัยที่ดีที่สุดจะกำหนดเป็นค่าคงที่ นอกจากนี้แล้วลำดับของการทดลองจะถูกแยกเป็น 3 ระดับ ดังนั้นการทดลองนี้ จะมี 3 ปัจจัยกับ 3 ระดับ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบการจัดวางลำดับแบบแนวฉาก (Orthogonal Array, OA) ชนิด L9 ทำการทดลองจะดำเนินการด้วยการจัดวางลำดับแบบแนวฉาก (Orthogonal Array, OA) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองประกอบด้วยการปรับกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 90 แอมแปร์ มุมของการเชื่อมเท่ากับ 10 องศาและฐานช่องว่างระหว่างชิ้นงานเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าปัจจัยที่สำคัญต่อการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุม ในการหลอมละลายของการซึมลึกแนวเชื่อมอยู่ในระดับที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: วิธีการทากูชิ การจัดวางลำดับแนวฉาก Orthogonal Array การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การหลอมละลาย

ABSTRACT

The Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is the most widely used welding process in small scale industries, because of its low cost. The SMAW welding parameters are the most important factors affecting the quality, productivity and cost of welding. Then, The objective of this research is to develop the parameters for Shielded Metal Arc Welding (SMAW) to provide continuous and weld dilution of deeply penetrate proof joints in 4x4 inch² width steel rails with 4 millimeter thickness during the process. The selected important welding parameter, like welding current, angle of electrode and root gap were considered with sufficient number of trail runs by Taguchi method to get optimal value. Three factor, welding current, angle of electrode and root gap, each at three levels were selected under an Orthogonal Array (OA) of L9. The experiment result indicated that welding current (90 Amp), angle of electrode (10 degree) and root gap (3 mm.) were the important factors for shielded metal arc welding on deep penetration weld dilution at the optimal levels.

KEYWORDS: Taguchi method, Orthogonal array, Shielded metal arc welding (SMAW), Dilution

1. บทนำ

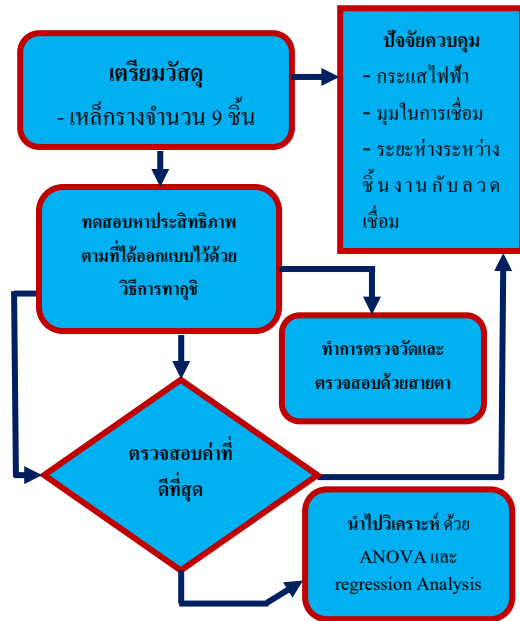
การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม (Shielded Metal Arc Welding (SMAW)) จะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์กโลหะงานทำให้เกิดความร้อนสูง จนกระทั่งโลหะงานหลอมละลายในขณะเดียวกันความร้อนที่ได้จากการอาร์กจะหลอมละลายตัวมันเองด้วย และหยดลงเติมลงในบ่อหลอมละลาย เมื่อเย็นตัวลงจะกลายเป็นแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์หรือสารพอกหุ้ม เมื่อได้รับความร้อนก็จะหลอมละลายเกิดเป็นควันปกคลุมแนวเชื่อม เพื่อไม่ให้ออกซิเจนในอากาศเข้าไปรวมตัวกับน้ำโลหะเหลว และฟลักซ์ที่หลอมละลายลงในบ่อหลอมละลายยังช่วยให้สารมลทินหรือสิ่งสกปรกลอยขึ้นมาจากน้ำโลหะ เมื่อเย็นตัวลงจะกลายเป็นสแลก (Slag) พอกหุ้มแนวเชื่อมให้แนวเชื่อมเย็นตัวอย่างช้า ๆ จากการที่แนวเชื่อมเกิดควันปกคลุมขณะทำการเชื่อม ควันจะเป็นเกราะป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าร่วมตัวกับแนวเชื่อม จึงเรียกการเชื่อมแบบนี้ว่า Shield Metal – Arc Welding, SMAW สำหรับพื้นฐานการเชื่อม โดยทั่วไปจำเป็นต้องมีทักษะ มีสมาธิที่ดี อดทนอดทน และมีความตั้งใจพอสมควรต่อการเชื่อม เพราะว่าการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ค่อนข้างจะใช้ทักษะในการเชื่อมสูง เพราะฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเรียนรู้หลักการทางทฤษฎีพอสมควร จึงจะทำงานที่ได้นั้นมีคุณภาพ

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการนำเอาเทคนิควิธีการทากุชิมาร่วมในการวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจสอบการเชื่อมไฟฟ้า

ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal – Arc Welding) เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดโดยปัจจัยที่ทำการควบคุมได้แก่ กระแสไฟฟ้า มุมในการเชื่อม และระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม โดยทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลกับกระบวนการเชื่อมด้วยชิ้นทดสอบเหล็กทรง ขนาด 4x4 นิ้ว ความหนาเท่ากับ 4 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้นการออกแบบการทดลองโดยวิธีทากุชิ จึงเป็นการประยุกต์การออกแบบการทดลอง จะประกอบด้วยปัจจัยควบคุม (Control Factor) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) หรือ Noise Factor ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะกำจัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของวิธีทากุชิ คือการลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ โดยทำการเลือกปรับปัจจัยควบคุม (Control Factor) ผลการทดลองข้อมูลดิบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Small – the – Better Type Problem , Nominal – the – Best – Type Problem และ Larger – the – Better Type Problem และประโยชน์ที่ได้จากวิธีการทากุชิเป็นการช่วยลดจำนวนของการทดลอง ทำให้ประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการทดลอง ช่วยทำให้การทดลองง่ายสะดวกยิ่งขึ้น และทำให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าเชื่อถือได้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเชื่อมั่นมากขึ้น [1-2]

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบการเชื่อมเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

2.1.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

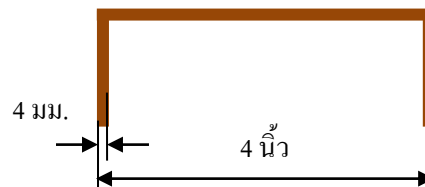
เมื่อผู้ออกแบบการทดลองทราบจำนวนของปัจจัยควบคุม (Control Factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (Control Factor Level) ที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือกใช้ชนิด Orthogonal Array การใช้ Orthogonal Array ซึ่งจะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีหลายปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้ใน Orthogonal Array อย่างเหมาะสม ดังขั้นตอนต่อไปนี้ [1-2]

พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการกระบวนเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ตัวแปร 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุดเช่น ความชื้นสัมพัทธ์ สถานที่ทำการทดลองและผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น [1-2]

ตารางที่ 1 ปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยควบคุม	ระดับการทดลอง			การหลอมละลาย
	1	2	3	
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	80	90	100	-
มุมในการเชื่อม (องศา)	5	10	15	-
ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม (มิลลิเมตร)	2.6	2.8	3.0	-

หมายเหตุ : ระดับการทดลองได้กำหนดไว้ที่ 3 ระดับ และ 3 ปัจจัยจะประกอบด้วย กระแสไฟฟ้า ระดับที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 80, 90 และ 100 แอมป์ (กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 80 ถึง 100 แอมป์), มุมองศาในการเชื่อมระดับที่ 1, 2 และ 3 คือ 5, 10 และ 15 องศา (โดยปกติมุมในการเชื่อมที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 10 องศา) ส่วนระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม ระดับที่ 1, 2 และ 3 เป็น 2.6, 2.8 และ 3.0 มิลลิเมตร (ในการทดลองได้กำหนดขนาดชิ้นงานเป็นเหล็กทรงขนาด 4x4 นิ้ว ความหนาเท่ากับ 4 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบชิ้นงานที่จะนำมาทำการทดสอบ

2.2 การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางสถิติ

วิธีการทางสถิติมีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ

1. กำหนดปัญหา
2. วางแผนการทดลอง
3. วิเคราะห์ผลลัพธ์
4. ทดลองเพื่อยืนยันผล

2.2.1 วิธีการทากุชิ

วิธีทางวิศวกรรมคุณภาพเสนอโดย ทากุชิ คือเทคนิคที่มีการเตรียมการของวิธีการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีระบบแบบแผนสำหรับทำการศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ข้อกำหนดของทากุชิคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาของสัปดาห์ของเสียโดยผลิตภัณฑ์ บางสิ่งบางอย่างที่สูญเสียซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้จนถึงความเบี่ยงเบนสำหรับคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นความต้องการสำหรับค่าเป้าหมายของวิธีการทากุชิและถูกเรียกว่าความสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จนถึงค่าที่เบี่ยงเบน ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายนั้นๆ จึงถูกเรียกว่าปัจจัย Noise ที่มีอยู่ภายในและภายนอก ซึ่งสามารถทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยเดียวจะอยู่ภายใต้ผลลัพธ์จากการที่รวมเข้ากับปัจจัยหลายๆปัจจัยที่ดีที่สุดจึงถูกนำมาพิจารณา [3]

ทากุชิได้เสนอ 8 ขั้นตอนมาตรฐาน ดังนี้

1. กำหนดการดำเนินงานหลัก ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อข้างเคียงและโหมดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น
2. กำหนดปัจจัย Noise ภายในได้เงื่อนไขของการทดสอบ และลักษณะเฉพาะของคุณภาพ
3. กำหนดเป้าหมายของการดำเนินงานจนได้ค่าที่ดีที่สุด
4. กำหนดปัจจัยควบคุมและระดับต่างๆ
5. เลือกการทดลองเมตริกส์แบบ Orthogonal Array
6. ดำเนินการทดลองแบบเมตริกส์
7. วิเคราะห์ข้อมูล ทำนายผลในระดับที่คาดหวัง และสมรรถนะขบวนการที่ดีที่สุด
8. ดำเนินการทดลองเพื่อพิสูจน์ความจริงและวางแผนการดำเนินงานในอนาคต [4]

2.2.2 นิยามของวิธีการทากุชิ (Definition Taguchi Method)

วิธีการทากุชิเป็นการดำเนินการการออกแบบทดลอง ซึ่งเป็นพื้นฐานการแนะนำในข้อจำกัดที่ดีวิธีการทากุชิใช้การจัดลำดับแบบพิเศษเรียกว่า ลำดับของ Orthogonal

มาตรฐานการจัดลำดับเป็นการกำหนดที่เป็นแนวทางการดำเนินงานของจำนวนตัวเลขที่มีค่าน้อยสุดสำหรับการทดลองซึ่งสามารถกำหนดให้ข้อมูลมีความละเอียดมากที่สุดของปัจจัยทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น จุดสำคัญของวิธีการจัดวางลำดับแบบ Orthogonal ที่อาจไม่เป็นความจริงต่อการเลือกในระดับการรวมกันของตัวแปรที่ทำการออกแบบที่ได้ผลลัพธ์สำหรับของแต่ละการทดลอง [5]

2.3 การคำนวณ

หลังจากเลือกข้อมูลทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยสำหรับการคำนวณด้วยอัตราส่วน S/N อัตราส่วน S/N เป็นความเข้าใจของคุณภาพมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบสำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในสมรรถนะของกระบวนการหรือผลผลิตที่ได้จากการประเมิน โดยทั่ว ๆ ไปการได้รับค่า S ที่ดีกว่าเมื่อค่า N ที่ได้ น้อยกว่ามาก ดังนั้น ผลของอัตราส่วน S/N ที่มีขนาดมากกว่าจะดีกว่าผลลัพธ์ที่ได้ในช่วงสุดท้ายของค่าเฉลี่ยความแตกต่างสำหรับผลลัพธ์สุดท้ายจะกลายมาเป็นค่าที่น้อยที่สุดของอัตราส่วน S/N ซึ่งคุณลักษณะของอัตราส่วน S/N ที่แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้ [1-3]

ปัญหาชนิด Smaller – is – Better

เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N ของค่าเป้าหมายนั้น ๆ สำหรับผลตอบที่เป็นศูนย์และเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อแสดงรายละเอียดเพียงเพื่อหาค่าพิถีพิถันเพื่อจำกัดด้านบนหาได้จากสูตรดังนี้

$$S/N_s = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

เป้าหมายของการทดลองสำหรับสถานการณ์ Smaller-is-Better คือน้อยสุด $\sum y_i^2$ เมื่อค่า n คือจำนวนค่าที่ได้จากการวัดในการทดลอง และค่า y_i นั้น เป้าหมายสูงสุดหาได้จาก

$$-10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

ปัญหาชนิด Larger-is-Better

เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N เป้าหมายคือค่าสูงสุดของผลตอบและเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อแสดงรายการเพียงเพื่อหาค่าพิสัยความเพื่อจำกัดด้านล่างหาได้จากสูตรดังนี้

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

อนึ่ง เป้าหมายของการทดลองสำหรับสถานการณ์ Larger-is-Better คือค่ามากที่สุดของผลตอบ (ผลตอบของกระบวนการ) แต่ค่า y มากที่สุดคือน้อยที่สุดของ 1/y และค่า 1/y นั้น เป้าหมายสูงสุดหาได้จาก

$$-10 \log \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right)$$

ปัญหาชนิด Nominal – the – Best

เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N นั้น ให้ค่าเป้าหมายคือดีที่สุดและเป็นค่าเหมาะสมเมื่อค่านี้เป็นค่าเป้าหมายกับค่าพิสัยความเพื่อจำกัดด้านบนและด้านล่างหาได้จากสูตรดังนี้

$$S/N_N = 10 \log \left(y^2 / S^2 \right) \quad (3)$$

เป้าหมายของการทดลองสำหรับสถานการณ์ Target-Value-is-Best คือความแปรปรวนลดลงรอบๆค่าเป้าหมายเฉพาะ เมื่อความแปรปรวนของผลตอบลดลงจะมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยผลตอบ ทำให้ S/N_N เพิ่มขึ้นหลังจากได้ค่าคำนวณจากสมการทั้งสามดังกล่าวแล้วทำการวิเคราะห์ผลตอบต่อไปด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนหาอิทธิพลของ Noise และวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการ

2.3.1 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal – Arc Welding) โดยวิธีการทากุชิ

การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Taguchi ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ใช้ Orthogonal array (OAs) แบบ L-9 (3³) ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลองประกอบด้วยจำนวนการทดลองที่ขึ้นอยู่กับระดับของ

ปัจจัยที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงการจัดวางลำดับแบบ Orthogonal L-9 (3³) Array ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ [1-2]

ตารางที่ 2 L-9 (3³) Orthogonal Array

ลำดับทดลอง	ปัจจัย			การหลอมละลาย
1	1	1	1	-
2	1	2	2	-
3	1	3	3	-
4	2	1	2	-
5	2	2	3	-
6	2	3	1	-
7	3	1	3	-
8	3	2	1	-
9	3	3	2	-

3. ผลการทดลอง

3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal – Arc Welding) โดยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เมื่อทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal – Arc Welding) โดยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าและนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพของการหลอมละลายการเชื่อมเพื่อตรวจสอบการซึมลึกของรอยเชื่อมตามสภาวะที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีการทากุชิทั้ง 9 การทดลองแล้ว และจากการวิเคราะห์พบว่า การทดลองที่ทำให้ได้ค่าการหลอมละลายมากที่สุด คือ การทดลองที่ 5 รองลงมา คือ การทดลองที่ 4 และ 6 ตามลำดับ โดยมีปัจจัยที่หนึ่งได้แก่กระแสไฟฟ้าที่ 90 แอมป์ มุมในการเชื่อมเท่ากับ 10 องศา และระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมเป็น 3.0 มิลลิเมตร ได้การหลอมละลายแนวเชื่อมเท่ากับ 4.50, 4.30 และ 4.20 มิลลิเมตร (การซึมลึกรอยเชื่อม) ตามลำดับ ส่วนการหลอมละลายแนวเชื่อมน้อยที่สุดอยู่ที่ลำดับการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับได้การหลอมละลายแนวเชื่อมที่ 3.51, 3.41 และ 3.35 มิลลิเมตร ที่กระแสไฟฟ้าที่ 80 แอมป์ มุมในการเชื่อมเท่ากับ 5 องศา และระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมเป็น 2.6

มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนลำดับการทดลองที่เหลือของแต่ละปัจจัยแต่ละระดับแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าที่ได้จากการเชื่อม

ลำดับ	กระแสไฟฟ้า	มุมในการเชื่อม	ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม	ผลตอบ (บนหลอมละลายการเชื่อม)
1	80	5	2.6	3.51
2	80	10	2.8	3.41
3	80	15	3.0	3.35
4	90	5	2.8	4.30
5	90	10	3.0	4.50
6	90	15	2.6	4.20
7	100	5	3.0	3.90
8	100	10	2.6	3.80
9	100	15	2.8	3.00

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเชื่อม โดยทำการศึกษาที่การหลอมละลายทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นใช้วิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราส่วน S/N แบบค่าที่มากกว่าให้ผลดีกว่า (Larger- the - Better -Type) เนื่องจากการหลอมละลายต้องการซึมลึก (รอยเชื่อมที่ซึมลึกจะทำให้ชิ้นงานยึดติดกันแน่น) มากที่สุดของชิ้นงานที่ต้องการ ดังนั้นจำนวนการหลอมละลายการเชื่อมที่ได้ทั้งหมดจึงควรมีค่าสูง เมื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการเชื่อมทั้งหมด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อการเชื่อมและผลกระทบต่อค่าตัวแปรที่ป้อนข้อมูลบนอัตราส่วน S/N ที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่เริ่มต้นแสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ คือปัจจัยที่อยู่ในสภาวะเหมาะสมที่สุด และได้ทำการทดลองซ้ำการทดลองครั้งที่สองเป็นการทดลองซ้ำกับปัจจัยเดิมด้วยการดำเนินการตามขั้นตอนเดิมแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำจากการเชื่อม

ลำดับ	กระแสไฟฟ้า	มุมในการเชื่อม	ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม	ผลตอบ (บนหลอมละลายการเชื่อม)
1	80	5	2.6	3.50
2	80	10	2.8	3.39
3	80	15	3.0	3.34
4	90	5	2.8	4.31
5	90	10	3.0	4.51
6	90	15	2.6	4.19
7	100	5	3.0	3.88
8	100	10	2.6	3.79
9	100	15	2.8	2.99

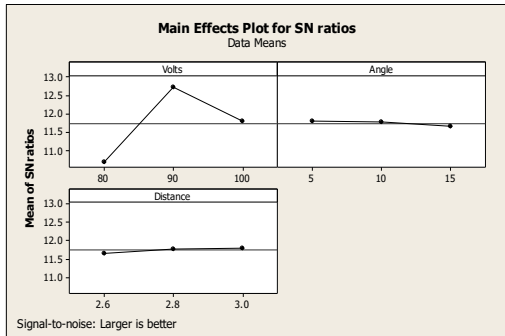
จากตารางที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองซ้ำมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยสำหรับกระบวนการเชื่อม ทั้งนี้อาจเกิดจากควบคุมกระบวนการเชื่อมและตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและผู้ปฏิบัติงานจึงทำให้ค่าที่ได้มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยเฉพาะตำแหน่งท่าเชื่อมซึ่งต้องทำมุมในระหว่างการเชื่อมได้ทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อประครองแนวให้อยู่ในระดับมุมมองสายตาที่ต้องการจะทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และตัวอย่างชิ้นงานเหล็กทรงที่นำมาทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3



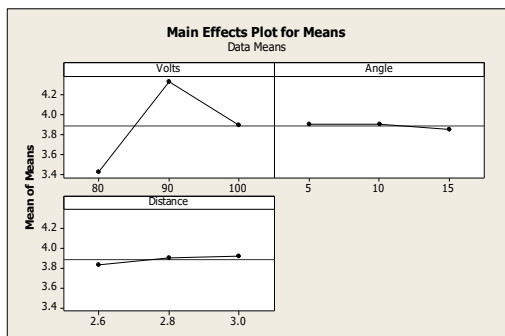
รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบตัวอย่างหลังจากทำการเชื่อม

ในวิธีการทากูชิ อัตราส่วน Signal-to-Noise Ratios ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยดังกล่าว รูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N แสดงดังตารางที่ 5

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอัตราส่วน S/N แสดงดังตารางที่ 6 รูปแบบการประมาณค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 7 ผลตอบสำหรับ Signal to Noise Ratios Larger is Better แสดงดังตารางที่ 8 และผลตอบค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 9



รูปที่ 4 Main effects plot for S/N ปัจจัยทั้งสาม



รูปที่ 5 Main Effects plot for Means ปัจจัยทั้งสาม

ตารางที่ 5 Estimated Model Coefficients for S/N Ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	11.7441	0.1274	92.206	0.000
Volts 80	-1.0568	0.1801	-5.867	0.028
Volts 90	0.9887	0.1801	5.489	0.032
Angle 5	0.0548	0.1801	0.304	0.790
Angle 10	0.0275	0.1801	0.153	0.893
Distance 2.6	-0.0885	0.1801	-0.491	0.672
Distance 2.8	0.0372	0.1801	0.206	0.856

S = 0.3821 R-Sq = 95.6% R-Sq(adj) = 82.5%

ตารางที่ 6 Analysis of Variance for S/N Ratios

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Volts	2	6.29688	3.14844	21.56	0.044
Angle	2	0.03163	0.01582	0.11	0.902
Distance	2	0.03557	0.01778	0.12	0.891

ตารางที่ 6 (ต่อ) Analysis of Variance for S/N Ratios

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Residual	2	0.29201	0.29201	0.14600	
Error					
Total	8	6.65608			

ตารางที่ 7 Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.88444	0.05807	66.898	0.000
Volts 80	-0.46111	0.08212	-5.615	0.030
Volts 90	0.44889	0.08212	5.466	0.032
Angle 5	0.01889	0.08212	0.230	0.839
Angle 10	0.01889	0.08212	0.230	0.839
Distance 2.6	-0.04778	0.08212	-0.582	0.620
Distance 2.8	0.01556	0.08212	0.189	0.867

S = 0.1742 R-Sq = 95.4% R-Sq(adj) = 81.6%

ตารางที่ 8 Response Table for Signal to Noise Ratios Larger is better

Level	Volts	Angle	Distance
1	10.69	11.80	11.66
2	12.73	11.77	11.78
3	11.81	11.66	11.80
Delta	2.05	0.14	0.14
Rank	1	3	2

ตารางที่ 9 Response Table for Means

Level	Volts	Angle	Distance
1	3.423	3.903	3.837
2	4.333	3.903	3.900
3	3.897	3.847	3.917
Delta	0.910	0.057	0.080
Rank	1	3	2

และผลที่ได้จากการทำนายสำหรับค่าอัตราส่วน S/N และ ค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลที่ได้จากการทำนายสำหรับค่าอัตราส่วน S/N และ ค่าเฉลี่ย

Order	S/N Ratio	Mean
1	11.2041	3.61444
2	10.4769	3.34778
3	10.3812	3.30778
4	12.5496	4.25778
5	13.3622	4.60444
6	12.2868	4.13778
7	11.6431	3.83778
8	11.4759	3.75778
9	9.8404	3.10444

จากตารางผลที่ได้จากการทำนายพบว่าทั้ง 9 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณดังตารางที่ 5 สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของค่า S/N ในส่วนของค่าคงที่ (constant) มีค่าเท่ากับ 11.7441 และการประมาณค่าหุนจำลองสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ยในส่วนของค่าคงที่ (constant) เท่ากับ 3.8844 ในตารางที่ 7 ซึ่งมีความแม่นยำค่อนข้างจะไปในแนวทางที่ตีระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายแสดงว่าได้สภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการเชื่อมทำให้มีความเชื่อมั่นที่ดีสำหรับการออกแบบทดลองด้วยวิธีการทากุชิ

3.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

จากค่า p-value ในตารางที่ 5 ผลลัพธ์สัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N ของกระบวนการเชื่อมที่ระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) คือ ปัจจัยที่ 1 (Volts 80 และ 90) ผลลัพธ์การประมาณค่าหุนจำลองสัมประสิทธิ์ของค่า S/N ซึ่งมีค่า p-value ที่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) สรุปว่ามีผลต่อค่า S/N (มีนัยสำคัญ) ส่วนปัจจัยที่ 2 (Angle 5 และ 10) และปัจจัยที่ 3 (Distance 2.6 และ 2.8) ผลลัพธ์ของหุนจำลองสัมประสิทธิ์ของค่า S/N ซึ่งมีค่า p-value ที่เกินระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) สรุปว่าไม่มีผลต่อค่า S/N (ไม่มีนัยสำคัญ) ในส่วนตารางที่ 6 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า S/N ซึ่งมีค่า p-value ที่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) คือปัจจัยที่ 1 (Volts) มีผลต่อค่า S/N (มีนัยสำคัญ) และปัจจัยที่ 2 และ 3 (Angle และ Distance) ทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อค่า S/N (ไม่มีนัยสำคัญ) รูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ยในตารางที่ 7 ค่าคงที่ซึ่งมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 โดยมีปัจจัยที่ 1 (Volts 80 และ 90) มีค่า p-value เท่ากับ 0.030 และ 0.032 ตามลำดับที่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) สรุปว่ามีผลต่อค่ารูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ย (มีนัยสำคัญ) ส่วนปัจจัยที่ 2 และ 3 (Angle 5 และ 10, Distance 2.6 และ 2.8) มีค่า p-value เท่ากับ 0.839, 0.839, 0.620 และ 0.0867 ตามลำดับ มีค่าเกินระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) สรุปว่าไม่มีผลต่อค่ารูปแบบ

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ย (ไม่มีนัยสำคัญ) และการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 82.5% รูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ยได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 81.6 % ส่วนสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับอัตราส่วน S/N การหลอมละลายการเชื่อม เพื่อตรวจสอบการชิมลิกดังสมการที่ 4 คือ

$$\begin{aligned} & \text{สมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับอัตราส่วน S/N} \\ & = 11.7441 + 1.0568(\text{volts}80) + 0.9887(\text{volts}90) \\ & + 0.0548(\text{angle}5) + 0.0275(\text{volts}10) \\ & - 0.885(\text{distance}2.6) + 0.0372(\text{distance}2.8) \quad (4) \end{aligned}$$

และสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 5 คือ

$$\begin{aligned} & = 3.8844 - 0.4611(\text{volts}80) + 0.4489(\text{volts}90) \\ & + 0.0189(\text{angle}5) + 0.0189(\text{angle}10) \\ & - 0.0478(\text{distance}2.6) + 0.0156(\text{distance}2.8) \\ & - 0.885(\text{distance}2.6) + 0.0372(\text{distance}2.8) \quad (5) \end{aligned}$$

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการตรวจสอบการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้วิธีการทากุชินั้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการปรับกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 90 แอมป์ มุมในการวางท่าเชื่อม 10 องศาและระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมเท่ากับ 3.0 มิลลิเมตรทำให้ได้การหลอมละลาย (การชิมลิกรอยเชื่อม) เฉลี่ยอยู่ที่ 4.50 มิลลิเมตร การทดลองเพื่อยืนยันผลมีค่ามากกว่าผลจากการคำนวณ โดยวิธีการทากุชิ ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ยอมรับได้ กล่าวคือค่าที่ได้จากการทดลองในครั้งแรกกับทำการทดลองซ้ำพบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นวิธีการทากุชิสามารถนำมาออกแบบกระบวนการเชื่อมลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และสภาวะดังกล่าวจะถูกนำไปเพื่อใช้ในกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าเป็นหลักซึ่งมีผลต่อการหลอมละลาย (การซึมลึกรอยเชื่อม) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงจำนวนปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อกระบวนการโดยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าพบว่าปัจจัยทั้งสามทั้งมีและไม่มีนัยสำคัญต่อกระบวนการ กล่าวคือ การปรับกระแสไฟฟ้าที่มากกว่าในรายงานจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการเชื่อม มุมในการเชื่อมและระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมต่ำหรือสูงขึ้นจะมีผลต่อการซึมลึกแนวเชื่อมหมายความว่า จะได้ การซึมลึกแนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอรอยซึมลึกตื้นทำให้ชิ้นงานไม่มีความคงทน เพราะฉะนั้นปัจจัยทั้งสามที่ได้กำหนดและค่าที่เหมาะสมที่สุดจะช่วยให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าทำให้อรอยซึมลึกมีความเหมาะสมและมีความแข็งแรงต่อการนำไปใช้

งานต่อไป ส่วนลวดเชื่อม เครื่องเชื่อมไฟฟ้า ตัว ผู้ปฏิบัติงานตลอดจนสภาวะแวดล้อมในการทำงานและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปัจจัยในกระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องนำพิจารณา

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณ โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประจำปี 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการนำเสนอผลงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรพงศ์ บางพาน, พิรพันธ์ บางพานและชิติกานต์ บุญแข็ง. การประยุกต์วิธีการทาคุชิสำหรับค่าที่ดีที่สุดโดยศึกษาของกระบวนการกะเทาะข้าวกลิ้งด้วยลูกยางกะเทาะเปลือก. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2557; 22: 59-67.
- [2] สุรพงศ์ บางพาน. การประยุกต์วิธีการทาคุชิสำหรับกระบวนการกลึงที่ดีที่สุดโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 2557; 7: 104-112.
- [3] Krishankant, Jatin Taneja, Mohit Bector, Rajesh Kumar. (2012). Application of taguchi method for optimizing turning process by the effects of machining parameters, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2012; 2(1).
- [4] Roy, R. K. Design of experiments using the taguchi approach. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.
- [5] Roy, R.K. A primer on the Taguchi competitive manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [6] Umass. 2014. Available [Online]: <http://www.ecs.umass.edu/mie/labs/fea/Access>.
- [7] Randhir Kujar and Hatia, Ranchi. Application of taguchi method for process parameters optimization in semi-solid forging of A356 Al-Alloy. *Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, 2014; 2(4): 800-805.