

การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

ศุภกิจ เกลิกศิริ¹, อามินท์ หล้าวงศ์^{1,*}, วิษุทธ จันทะรี¹, อุทัย ธารพชรศรี¹, ไทยทัศน์ สุดสวนสี¹ และ ปิยณัฐ โตอ่อน²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

² สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการและเทคโนโลยีขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความฉบับนี้: amin.la@ksu.ac.th โทรศัพท์: 081-799-5035

(รับบทความ: 6 ตุลาคม 2567; แก้ไขบทความ: 17 ตุลาคม 2567; ตอรับบทความ: 23 ตุลาคม 2567)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าแรงดึงของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึง ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้าและระยะการเชื่อมจุดแบบในระนาบ Dy เป็นการทดลองรูปแบบที่ 1 และกระแสไฟฟ้าและระยะการเชื่อมจุดแบบในระนาบ Dx เป็นการทดลองรูปแบบที่ 2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าและระยะการเชื่อมมีผลกระทบต่อค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบและมีความแข็งแรงของจุดเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยการทดสอบความเป็นปกติและการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (Minitab Version 18) และพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้แรงดึงมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รูปแบบที่ 1 มีค่ากระแสไฟฟ้า 600 แอมป์ และระยะเชื่อมที่ 5 มิลลิเมตร มีค่าแรงดึง 72.6852 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และรูปแบบที่ 2 มีค่ากระแสไฟฟ้า 1800 แอมป์ และระยะเชื่อมที่ 15 มิลลิเมตร มีค่าแรงดึง 44.7037 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร วิธีการนี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการหาปัจจัยที่เหมาะสมกรณีที่มีผลตอบสนองเพียงค่าเดียว และช่วยลดการลองผิดลองถูกจากการปรับตั้งค่าของปัจจัย

คำสำคัญ: การเชื่อมความต้านทานแบบจุด เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

การอ้างอิงบทความ: ศุภกิจ เกลิกศิริ, อามินท์ หล้าวงศ์, วิษุทธ จันทะรี, อุทัย ธารพชรศรี, ไทยทัศน์ สุดสวนสี และ ปิยณัฐ โตอ่อน, "การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 2, ฉบับที่ 5, หน้า 34-43, 2567.

Optimization of Tensile Strength in Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheets Using 3^k Factorial Design

Supakit Seksiri¹, Amin Lawong^{1*}, Vichayut Juntaree¹, Uthai Thanphonsri¹,
Thaithat Sudsuansee¹ and Piyanat To-on²

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

² Department of Logistics Engineering and Transportation Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: amin.la@ksu.ac.th, Tel: 081-799-5035

(Received: October 6, 2024; Revised: October 17, 2024; Accepted: October 23, 2024)

Abstract

This research aims to study the optimal factors affecting the tensile strength of resistance spot welding on galvanized steel sheets. A 3^k factorial design experiment was employed to analyze the influence of welding current and spot-welding distance. Two experiment setups were conducted: in Experiment model 1, the factors were welding current and distance along the Dy axis, while in Experiment model 2, the factors were welding current and distance along the Dx axis. The results indicate that both welding current, and distance significantly affect the tensile strength with normality testing and analysis of variance (ANOVA), using the statistical software Minitab (Version 18), and the optimal conditions for average maximum tensile strength were identified. For Experiment model 1, the optimal welding current was 600 amp with a distance of 5 mm, resulting in a tensile strength of 72.6852 kN/mm², and for Experiment model 2, the optimal welding current was 1800 amp with a distance of 15 mm, resulting in a tensile strength of 44.7037 kN/mm². This method can be used as a guideline for finding appropriate factors in cases where there is only one response value. and helps reduce trial and error from adjusting the settings of factors.

Keywords: Resistance Spot Welding, Galvanized Steel Sheets, Experimental Design (3^k Factorial Design)

Please cite this article as: S. Seksiri, A. Lawong, V. Juntaree, U. Thanphonsri, T. Sudsuansee and P. To-on, "Optimization of Tensile Strength in Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheets Using 3^k Factorial Design," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 2, no. 5, pp. 34-43, 2024.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

การประกอบชิ้นส่วนโลหะในอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์เป็นกระบวนการที่สำคัญในสายการผลิตเชื่อมประกอบรถยนต์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการประกอบชิ้นส่วนโลหะ ดังเช่น โครงสร้างตัวถัง แชสซี และส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานในการผลิต ในส่วนกระบวนการเชื่อมที่ใช้ประกอบงาน คือ การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding: RSM) เป็นวิธีการเชื่อมโลหะบางที่ใช้กระแสไฟฟ้าผ่านชิ้นงานโลหะเพื่อทำให้เกิดความร้อนและหลอมรวมโลหะที่ตำแหน่งเฉพาะจุดโดยไม่ต้องใช้วัสดุเชื่อมเสริม เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และสามารถรองรับการผลิตจำนวนมากได้ (Mass Product) วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด อย่างไรก็ตาม กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่ใช้กับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีอาจมีการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในรอยเชื่อม เนื่องจากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์หรือการแตกร้าวในรอยเชื่อมหรือการเกิดออกไซด์ (Oxidation) ซึ่งมาจากการใช้ปัจจัยของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของงานเชื่อมทำให้คุณสมบัติของชิ้นงานไม่สามารถทนต่อการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) เป็นผลให้ชิ้นงานไม่เป็นไปตามความมาตรฐานที่กำหนด

เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพและสามารถรองรับแรงดึงได้อย่างเหมาะสม [1,2] จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าแรงดึงของการเชื่อม RSM และในงานวิจัยนี้จะใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ที่จะช่วยให้สามารถระบุเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อม RSM ที่ใช้วัสดุเหล็กแผ่นเคลือบ

สังกะสี ซึ่งจะส่งผลให้รอยเชื่อมจุดมีคุณภาพดีขึ้น และเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานโดยรวม [3,4]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีนักวิจัยที่ได้ทำการศึกษา เช่น กวิน สนธิเพิ่มพูน และคณะ [5] หาคาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Spot Welding) ในอุตสาหกรรมยานยนต์จากมาตรฐาน JIS Z 3140 โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลระดับ 2^k ให้ $k = 3$ ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม แรงกดกดอิเล็กโทรด และเวลาในการเชื่อม พบว่า คาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมแบบจุด คือ กระแสไฟฟ้าที่ 17.50 กิโลแอมแปร์ เวลา 200 มิลลิวินาที และแรงกดที่หัวอิเล็กโทรด 591.50 เดคานิวตัน ซึ่งได้ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.76 กิโลนิวตัน เป็นค่าที่ทำให้จุดรอยเชื่อมแข็งแรงที่สุด ภูเมศวร์ แสงระยับ และ นิวัฒน์ มูเก็ม [6] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมด้วยความต้านทานแบบจุดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316L หนา 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา คือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า และความดัน จากอิเล็กโทรดกดชิ้นงาน และการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) และ ใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability function) พบว่า เงื่อนไขที่รับแรงเฉือนสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้า 4,500 แอมป์ เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า 2 วินาที และความดันจากอิเล็กโทรดกดชิ้นงาน 0.3 เมกะปาสคาล (MPa) รับแรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 2,679.59 นิวตัน

นอกจากนี้ วรญา วัฒนจิตศิริ และคณะ [7] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเสียดทานกวนแบบจุดที่มีผลต่อการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD การทดลองถูกออกแบบด้วยวิธีทากูชิ พบว่า สภาพการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้มีความแข็งแรงเฉือน 2165 นิวตัน คือความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มิลลิเมตรต่อวินาที และเวลากดแช่ 6 วินาที มูหามัด เต๊ะยอ และคณะ [8] ศึกษา

บทความวิจัย (Research Article)

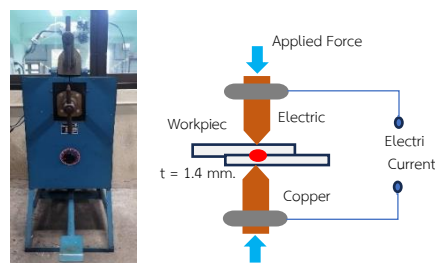
ความแตกต่างของสมบัติทางกลและโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมหล่อทิ้งแข็งสองชนิด คือ SSM356 และ SSM6061 ในสองสถานะ คือ ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 (as-cast และ T6) และผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 โดยใช้วิธีการเชื่อมสามแบบ ได้แก่ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) การเชื่อมทิกแบบเติมลวด และการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวด ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีความหนา 4 มิลลิเมตร พบว่ากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด คือ 168.32 เมกะปาสคาล (MPa) ค่าความแข็งแรงของทุกกระบวนการเชื่อมที่บริเวณตรงกลางแนวเชื่อมจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุด และค่าความแข็งแรงจะค่อย ๆ ลดลงต่ำสุดจนถึงบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน จากงานวิจัยดังกล่าว ในกระบวนการเชื่อมแต่ละประเภทจะใช้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลและทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อม โดยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อที่ได้จากกระบวนการเชื่อม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้วิธีการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าแรงดึงของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ซึ่งเลือกใช้ปัจจัยที่สำคัญคือ กระแสไฟฟ้าและระยะการเชื่อม เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าแรงดึงของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดในระยะแกน Dy และในระยะแกน Dx ต่อค่าแรงดึง กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (KN/mm²) ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design)

เป็นรูปแบบหนึ่งของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลายตัว (Factors) [8,9] โดยที่แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลอง 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ดังรูปที่ 2 โดยแบบที่ 1 มี k = 2 ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า (Amp) ระยะการเชื่อมจุดในแกน Dy และแบบที่ 2 มี k = 2 ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า (Amp) ระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx และผลตอบสนองจะเป็นค่าแรงดึงกิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (KN/mm²) ใช้เวลาในการเชื่อมจุด 11 วินาที [9,10] โดยเครื่องเชื่อมแบบจุด มีพิกัดกำลัง 8 KVA กระแสเชื่อมสูงสุด 6000 Amp มีระดับปรับ 10 ค่า ตั้งแต่เบอร์ 1 – 10 ดังรูปที่ 1 ในงานวิจัยนี้จะปรับค่ากระแสไฟฟ้า เบอร์ 1 (600 Amp) เบอร์ 2 (1200 Amp) และเบอร์ 3 (1800 Amp) และมีระยะการเชื่อมจุดในแกน Dy ทดสอบที่ระยะ 5 10 และ 15 มิลลิเมตร จะได้เป็นการทดลองรูปแบบที่ 1 และปรับค่ากระแสไฟฟ้า เบอร์ 1 (600 Amp) เบอร์ 2 (1200 Amp) และเบอร์ 3 (1800 Amp) และมีระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx ทดสอบที่ระยะ 5, 10 และ 15 มิลลิเมตร จะได้เป็นการทดลองรูปแบบที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดแบบใช้เท้าเหยียบ (Resistance Spot Welding)

บทความวิจัย (Research Article)

3. วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล (3^K)

การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลที่ใช้ปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย ($k=2$) และในแต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับในการทดลองเชื่อมจุด ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบที่ 1

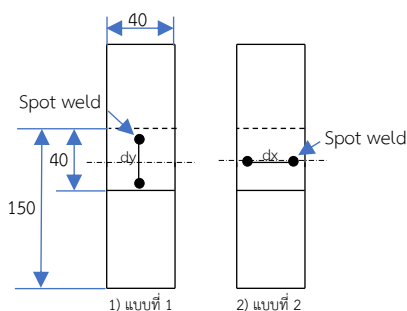
ปัจจัย (k)	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ	กลาง	สูง
กระแสไฟฟ้า (แอมป์: Amp)	600	1200	1800
ระยะเชื่อม Dy (มิลลิเมตร)	5	10	15

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบที่ 2

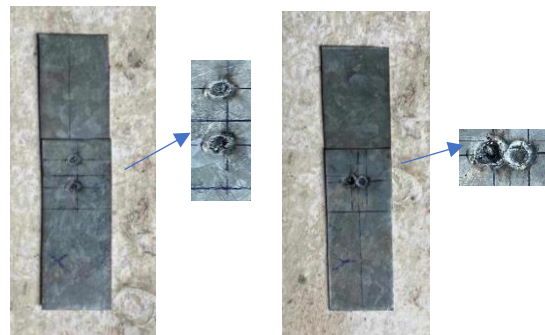
ปัจจัย (k)	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ	กลาง	สูง
กระแสไฟฟ้า (แอมป์: Amp)	600	1200	1800
ระยะเชื่อม Dx (มิลลิเมตร)	5	10	15

3.2 การทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test)

ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลการทดลองแบบที่ 1 และแบบที่ 2 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Response Surface Regression [7] นำมาใช้เป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลการทดลองมีการแจกแจงตามการแจกแจงแบบปกติหรือไม่



รูปที่ 2 ขนาดของรอยต่อเกลยของชิ้นงานทดสอบ
(หน่วย: มิลลิเมตร)



รูปที่ 3 ตัวอย่างการเชื่อมความต้านแบบจุด

3.3 การหาของปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization)

หาของปัจจัยที่เหมาะสมของการทดลองแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ต่อค่าแรงดึงที่สูงสุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดลองแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^K Factorial Design) ของการทดลองแบบที่ 1 ดังรูปที่ 3 โดยใช้ปัจจัยในการทดลอง คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์) ระยะเชื่อม Dy (มิลลิเมตร) และในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ปรับค่าพารามิเตอร์ตามแผนการทดลองไปทดสอบแรงดึง และบันทึกผลข้อมูลในแต่ละการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 3 และ ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^K Factorial Design) ของการทดลองแบบที่ 2 ดังรูปที่ 3 โดยใช้ปัจจัยในการทดลอง คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์) ระยะเชื่อม Dx (มิลลิเมตร) และในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ปรับค่าพารามิเตอร์ตามแผนการทดลองไปทดสอบแรงดึง และบันทึกผลข้อมูลในแต่ละการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 4 และการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ (Minitab Version 18) ในงานวิจัยในครั้งนี้

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3^2 ในแต่ละระดับของปัจจัย

Factor		Tensile Strength		
Amp	Dy	Rep1	Rep2	Rep3
1800	5	22	23	21
1200	5	12	11	10
1200	10	24	25	24
600	15	23	18	22
1200	15	21	18	23
600	10	59	62	61
600	5	68	70	70
1800	10	22	21	24
1800	15	71	68	68

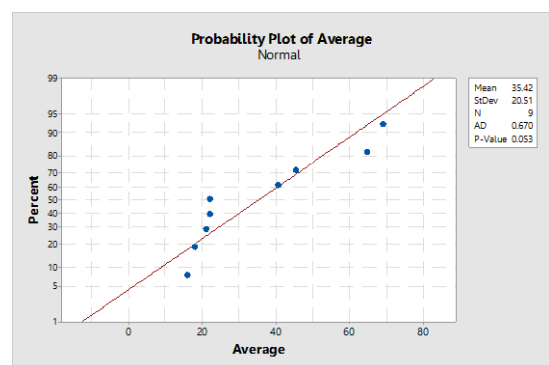
ตารางที่ 4 การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3^2 ในแต่ละระดับของปัจจัย

Factor		Tensile Strength		
Amp	Dx	Rep1	Rep2	Rep3
1200	5	27	26	25
1200	15	26	26	27
1800	10	23	23	23
1800	5	10	12	12
600	5	39	38	40
1200	10	16	17	15
600	15	20	20	20
1800	15	44	45	44
600	10	16	17	17

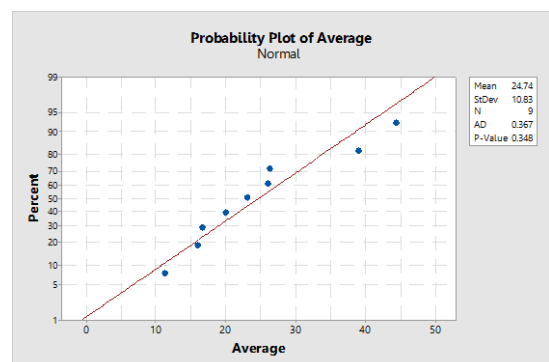
4.1 การทดสอบความเป็นปกติ (Normality Test)

จากผลของการทดลองแบบที่ 1 นำข้อมูลที่ได้มา ตรวจสอบความความเป็นปกติของข้อมูลที่มีการทดลองตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 หากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) มีค่าระดับนัยสำคัญ (p -value > 0.05) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายที่สอดคล้องกับการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานทางสถิติที่แสดงว่าข้อมูลที่ได้มามีความน่าเชื่อถือ และในทางตรงกันข้าม มีค่าระดับนัยสำคัญ

(p -value < 0.05) แสดงว่าข้อมูลไม่มีการกระจายที่สอดคล้องกับการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานทางสถิติที่แสดงว่าข้อมูลที่ได้มามีความน่าเชื่อถือ ในรูปที่ 3 การทดลองแบบที่ 1 มีค่าระดับนัยสำคัญ (p -value > 0.05) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และในรูปที่ 4 การทดลองแบบที่ 2 มีค่าระดับนัยสำคัญ (p -value > 0.05) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

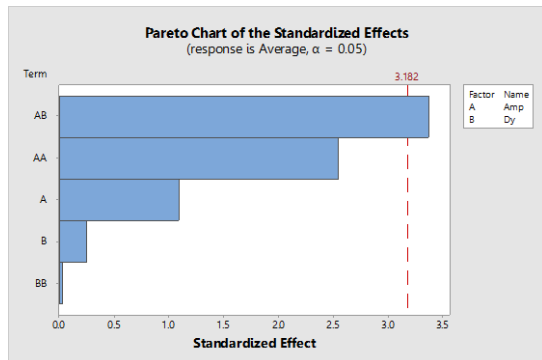


รูปที่ 3 กราฟแสดงการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลแบบที่ 1



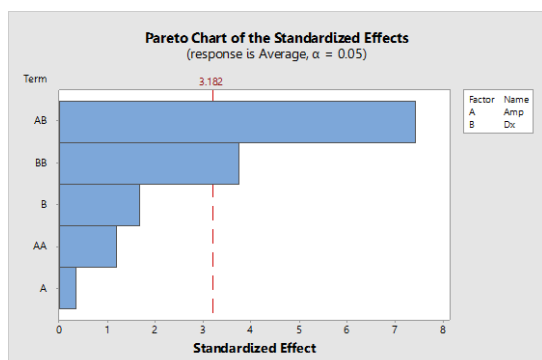
รูปที่ 4 กราฟแสดงการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลแบบที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าการตอบสนองของแรงดึงของข้อมูลแบบที่ 1

จากรูปที่ 5 ปัจจัย A และปัจจัย B (กระแสไฟฟ้า (Amp) กับระยะการเชื่อมจุดในแกน Dy) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่าการตอบสนองของแรงดึงสูงสุด ที่พิจารณาจากเส้นสีแดง (Critical Value Line) ที่ตำแหน่ง 3.182 เป็นค่าเกณฑ์ (Critical Value) ที่ใช้ในการพิจารณาของปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยถ้าขนาดผล (Standardized Effect) ของปัจจัยใดสูงกว่าเส้นนี้ แสดงว่าปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าการตอบสนองของแรงดึงของข้อมูลแบบที่ 2

จากรูปที่ 6 ปัจจัย A และ B (กระแสไฟฟ้า (Amp) กับระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่าการตอบสนองของแรงดึง

สูงสุด และปัจจัย B (ระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่าการตอบสนองของแรงดึงรองลงมา ที่พิจารณาจากเส้นสีแดง (Critical Value Line) ที่ตำแหน่ง 3.182 เป็นค่าเกณฑ์ (Critical Value) ที่ใช้ในการพิจารณาของปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยถ้าขนาดผล (Standardized Effect) ของปัจจัยใดสูงกว่าเส้นนี้ แสดงว่าปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญ

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย (Response Surface Regression)

การทดลองแบบที่ 1 และการทดลองแบบที่ 2 และผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Response Surface Regression แบบที่ 1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	3809.49	761.90	3.80	0.151
Linear	2	248.04	124.02	0.62	0.596
Amp	1	236.46	236.46	1.18	0.357
Dy	1	11.57	11.57	0.06	0.826
Square	2	1289.35	644.67	3.21	0.179
Amp*Amp	1	1289.19	1289.19	6.43	0.085
Dy*Dy	1	0.15	0.15	0.00	0.980
2-Way Interaction	1	2272.11	2272.11	11.33	0.044
Amp*Dy	1	2272.11	2272.11	11.33	0.044
Error	3	601.57	200.52		
Total	8	4411.06			

จากตารางที่ 5 พบว่า ปัจจัยกระแสไฟฟ้ากับระยะการเชื่อมจุดในแกน Dy เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่มีค่า p-Value <0.05 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจของปัจจัยกับค่าผลตอบสนอง (R-sq) แสดงถึงความเชื่อมั่นของข้อมูลมีค่า 86.36% และสมการการถดถอย (Regression Equation) แบบ Uncoded Units แสดงหน่วยจริงของปัจจัย ดังสมการที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)

$$\begin{aligned} \text{Tensile} &= 224.4 - 0.2592 \text{ Amp} - 9.03 \text{ Dy} + 0.000071 \text{ Amp} \cdot \text{Amp} \\ \text{Strength} &- 0.011 \text{ Dy} \cdot \text{Dy} + 0.00794 \text{ Amp} \cdot \text{Dy} \quad (1) \end{aligned}$$

และผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Response Surface Regression แบบที่ 2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	901.235	180.247	14.64	0.026
Linear	2	35.741	17.870	1.45	0.362
Amp	1	1.500	1.500	0.12	0.750
Dx	1	34.241	34.241	2.78	0.194
Square	2	189.494	94.747	7.70	0.066
Amp*Amp	1	17.340	17.340	1.41	0.321
Dx*Dx	1	172.154	172.154	13.98	0.033
2-Way Interaction	1	676.000	676.000	54.90	0.005
Amp*Dx	1	676.000	676.000	54.90	0.005
Error	3	36.938	12.313		
Total	8	938.173			

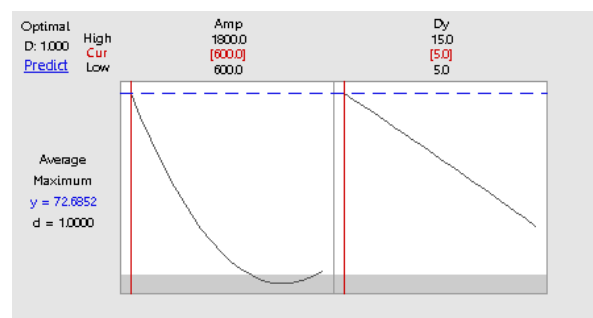
จากตารางที่ 6 พบว่า ปัจจัยกระแสไฟฟ้ากับระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมที่มีค่า p-Value <0.05 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจของปัจจัยกับค่าผลตอบแทน (R-sq) แสดงถึงความเชื่อมั่นของข้อมูลมีค่า 96.06% และสมการการถดถอย (Regression Equation) แบบ Uncoded Units แสดงหน่วยจริงของปัจจัย ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \text{Tensile} &= 111.7 - 0.0621 \text{ Amp} - 12.14 \text{ Dx} + 0.000008 \text{ Amp} \cdot \text{Amp} \\ \text{Strength} &+ 0.3711 \text{ Dx} \cdot \text{Dx} + 0.004333 \text{ Amp} \cdot \text{Dx} \quad (2) \end{aligned}$$

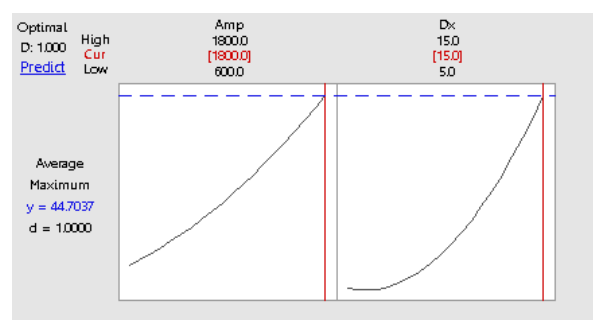
4.3 การหาของปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization)

การทดลองแบบที่ 1 และการทดลองแบบที่ 2 และจากรูปที่ 7 แสดงถึงการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการทดลอง โดยใช้ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง โดยใช้ปัจจัย Amp และ Dy เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าการตอบสนองแรงดึงมีค่าสูงสุด ทำให้ค่าการตอบสนอง (Average) มีค่าสูงสุดที่ 72.6852 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (KN/mm²) โดยค่าของกระแสไฟฟ้าตั้งไว้ที่

600 แอมป์ และ Dy ตั้งไว้ที่ 5 มิลลิเมตร ที่ทำให้มีค่าดัชนีความเหมาะสม (Desirability Index) เท่ากับ 1 ที่มีความเหมาะสมของระดับของปัจจัย



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization plot) [1]



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization plot)

จากรูปที่ 8 แสดงถึงการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการทดลอง โดยใช้ปัจจัยกระแสไฟฟ้า (Amp) และ Dx เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าการตอบสนองแรงดึงมีค่าสูงสุด ทำให้ค่าการตอบสนอง (Average) มีค่าสูงสุดที่ 44.7037 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (KN/mm²) โดยค่าของกระแสไฟฟ้า (Amp) ตั้งไว้ที่ 1800 แอมป์ และ Dy ตั้งไว้ที่ 15 มิลลิเมตร ที่ทำให้มีค่าดัชนีความเหมาะสม (Desirability Index) เท่ากับ 1 ที่มีความเหมาะสมของระดับของปัจจัย

5. สรุปผล

ศุภกิจ เดิกศิริ และ คณะ, การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

บทความวิจัย (Research Article)

ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมกรณีมีผลตอบสนองเพียงค่าเดียว คือกระบวนการที่ต้องการปรับค่าตัวแปรที่ควบคุมได้ (ปัจจัย) เพื่อให้ผลตอบสนองที่สนใจมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด หรือเพื่อให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ ในอุตสาหกรรมยานยนต์จะลดของเสียและเพิ่มคุณภาพในกระบวนการเชื่อมประกอบรถยนต์ [12] และในงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าแรงดึงของการเชื่อมความต้านแบบจุดด้วยการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3^2 ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลอง 2 รูปแบบ สำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี คือ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 โดยแบบที่ 1 มี $k=2$ ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า (Amp) ปรับค่ากระแสไฟฟ้า เบอร์ 1 (600 Amp) เบอร์ 2 (1200 Amp) และเบอร์ 3 (1800 Amp) ระยะการเชื่อมจุดในแกน Dy ทดสอบที่ระยะ 5 10 และ 15 มิลลิเมตร และแบบที่ 2 มี $k=2$ ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า (Amp) ปรับค่ากระแสไฟฟ้า เบอร์ 1 (600 Amp) เบอร์ 2 (1200 Amp) และเบอร์ 3 (1800 A) ระยะการเชื่อมจุดในแกน Dx ทดสอบที่ระยะ 5 10 และ 15 มิลลิเมตร และผลตอบสนองจะเป็นค่าแรงดึงกิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (KN/mm^2) และเมื่อนำชิ้นงานที่ปรับค่าตามแผนการทดลองดังกล่าว ไปทดสอบหาค่าแรงดึง และบันทึกผลข้อมูลในแต่ละการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (Minitab Version 18) จะได้ปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization) ในการทดลองแบบที่ 1 มีค่าผลตอบสนอง (Average) มีค่าสูงสุดที่ $72.6852 \text{ KN}/\text{mm}^2$ โดยค่าของ Amp ตั้งไว้ที่ 600 แอมป์ และ Dy ตั้งไว้ที่ 5 มิลลิเมตร และแบบที่ 2 ค่าผลตอบสนอง (Average) มีค่าสูงสุดที่ $44.7037 \text{ KN}/\text{mm}^2$ โดยค่าของแอมป์ (Amp) ตั้งไว้ที่ 1800 แอมป์ และ Dy ตั้งไว้ที่ 15 มิลลิเมตร ที่ทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุด

งานวิจัยนี้ทำการหาปัจจัยที่เหมาะสมกรณีมีผลตอบสนองเพียงค่าเดียว ซึ่งสามารถนำแนวทางนี้ไป

ใช้กับงานด้านอื่นๆ เช่น การทดสอบแรงกด การวัดความเรียบผิว การทดสอบความแข็งแรง และช่วยลดการลองผิดลองถูก (Trial and Error) จากการปรับตั้งค่าของปัจจัย ในงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยอาจจะพิจารณาผลตอบสนองที่มีหลายค่า (Multi-Response Optimization: MRO) [13] ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและตัดสินใจยุ่งยาก และการหาปัจจัยที่เหมาะสมจึงมีความยากในการหาปัจจัย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้การสนับสนุนบทความวิจัยนี้ รวมถึงผู้ประเมินบทความวิจัยทุกท่านที่สละเวลาให้ข้อเสนอแนะทำให้บทความวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Rajarajan, T. Sonar, P. Sivaraj, S. Raja, and N. Mathiazhagan, "The effect of resistance spot welding parameters on microstructure and strength of DP800 steel joints using response surface methodology," *Advances in Materials Science*, vol. 22, no. 3, Walter de Gruyter GmbH, pp. 53–78, Sep. 01, 2022. doi: 10.2478/adms-2022-0013.
- [2] M. Ramdani, M. Benachour, and M. Rahou, "The effects of resistance spot welding parameters on the mechanical behavior of stainless steel," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 13, no. 2, pp. 10501–10504, Apr. 02, 2023. doi: 10.48084/etasr.5019.
- [3] T. Arunchai, K. Sonthipermpon, P. Apichayakul, and K. Tamee, "Resistance spot welding optimization based on

บทความวิจัย (Research Article)

- artificial neural network," *International Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 2014, Hindawi Limited, pp. 1–6, Nov. 09, 2014. doi: 10.1155/2014/154784.
- [4] Y. He, K. Yang, X. Wang, H. Huang, and J. Chen, "Quality prediction and parameter optimisation of resistance spot welding using machine learning," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 19, MDPI AG, p. 9625, Sep. 25, 2022. doi: 10.3390/app12199625.
- [5] กวิน สนธิเพิ่มพูน, ชลลดา เรือนอินทร์, เดชฤทธิ์ กิตติเดช, และปริญญา ดวงจิตร, "การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมจุดของอลูมิเนียมอัลลอย 6061-T6 ในอุตสาหกรรมยานยนต์," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 96-110, 2566.
- [6] ภูเมศวร์ แสงระยับ และ นิวัฒน์ มุแก้ม, "อิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L," *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 3, หน้า 705-721, 2565.
- [7] วรญา วัฒนจิตศิริ, สุรัตน์ ทรัพย์วนพงศ์, และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, "การหาค่าตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบจุดรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี," *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 4, หน้า 59-68, 2560.
- [8] มุhammad เต๊ะยอ, อามีนา เมฆารัฐ และประภาศ เมืองจันทร์บุรี, "การเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็งระหว่าง SSM356 กับ SSM6061โดยกรรมวิธีการเชื่อมทิกและการเชื่อมเสียดทานแบบกวน," *Naresuan University Journal: Science and Technology*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 26, หน้า 113-132, 2018.
- [9] สิทธิชัย เจริญราช, ยอดเปรม ภูกำเนิด และสุริยา ประสมทอง, "การพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการเชื่อมพอกผิวต่อการต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์คแบบลวดร้อนโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, หน้า 87-102, 2564.
- [10] สุชาดา มะโนชัย และสมเกียรติ จงประสิทธิ์พร, "การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมแบบจุดโดยวิธีการออกแบบการทดลองกรณีศึกษาฐานโซ่คอป," ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555, หน้า 194-202.
- [11] E. Hazir, K. Hüseyin Koc, and S. Hızıroglu, "Optimization of sanding parameters using response surface methodology," *Maderas. Ciencia y tecnología*, no. ahead, Universidad del Bio Bio, pp. 0-0, 2017. doi: 10.4067/s0718-221x2017005000101.
- [12] ณัฐวดี มหานิล, บุญเกื้อ หวังรายกลาง, สมพร จงอร่ามเรือง, วิรัชชัย วินิจฉัย และวัชรินทร์ จัตุกุล, "การประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC ตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียในกระบวนการเชื่อมประกอบรถยนต์," *JSCI-SBU*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 68–81, 2024.
- [13] วราภรณ์ แก้วศิริ, อานุภาพ วงษ์แก้ว, และนรงค์ วิชาพา, "การประยุกต์ใช้วิธี TOPSIS สำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีตอบสนองหลายค่า," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, JEIT*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 4, หน้า 12–21, 2024.