

คุณภาพงานเชื่อมความต้านทานแบบจุดของเหล็กกล้าไร้สนิม กับอลูมิเนียม เกรด 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304

Quality of Resistance Spot Welding Joints of Galvanized Steel With Aluminum 5052 and Stainless Steel 304

ณัฐกฤต แสงสว่าง^{1*} จริยาภรณ์ อุ่นวงศ์²

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

E-mail: ie.natagrit@gmail.com^{*}

Natagrit Saengsawang^{1*} Jariyaporn Ounwong²

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,

Ubonratchathani 34190

E-mail: ie.natagrit@gmail.com^{*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพงานเชื่อมของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่น เกรด 304 และอลูมิเนียมแผ่น เกรด 5052 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร การเชื่อมต่อแยก ภายใต้ 3 ปัจจัย คือ แรงกดของหัวอิเล็กโทรด 2 ระดับ 1,500 และ 2,000 นิวตัน กระแสไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม 3 ระดับ 7,000, 9,000 และ 11,000 แอมแปร์ และระยะเวลาในการเชื่อม 4 ระดับ 9, 11, 13 และ 15 รอบ เตรียมชิ้นงานและการทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z3136-1978 ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB V.16 แบบ General Full Factorial Design โดยการทวนซ้ำ 3 รอบ ชิ้นงานทดลอง 3 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 216 คู่ คุณภาพการเชื่อมที่นักเกดประกอบด้วย (1) สภาพของผิวหน้ารอยเชื่อม (2) ขนาดของนักเกด (3) คุณสมบัติทางกล ด้านแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อม (4) โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อม (5) การแยกตัวของชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ 1 (กัลป์วาไนซ์กับกัลป์วาไนซ์) เมื่อทดสอบแรงดึงเฉือนเกิดการฉีกขาดที่บริเวณ Heat Affect Zone การแยกตัวของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมมีมุมบิดที่มาก ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน กระแสไฟฟ้า 9,000 แอมแปร์ และเวลาในการเชื่อม 15 รอบ กลุ่มที่ 2 (กัลป์วาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม) มีค่าแรงดึงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่ม ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน กระแสไฟฟ้า 9,000 แอมแปร์ และเวลาในการเชื่อม 11 รอบ และกลุ่มที่ 3 (กัลป์วาไนซ์กับอลูมิเนียม) เกิดการฉีกขาดที่นักเกด ทุกชิ้นทดลอง มีมุมบิดที่น้อยมาก มีค่าแรงดึงเฉือนต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่ม ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน กระแสไฟฟ้า 9,000 แอมแปร์ และเวลาในการเชื่อม 11 รอบ การทดลองยังพบว่าเมื่อ กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาเชื่อมมากจนเกินไปทำให้เกิดสะเก็ดไฟรอบรอยเชื่อม บริเวณผิวหน้ามีรอยไหม้ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่าภายในนักเกดแตกกร้าว แรงดึงลดลง แรงกดหัวอิเล็กโทรดทำให้ผิวหน้าเกิดการยุบตัว ขนาดของนักเกดที่ขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ดีกว่านักเกดที่ขนาดเล็ก ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงเฉือนและขนาดนักเกดเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

คำหลัก คุณภาพงานเชื่อม การเชื่อมความต้านทานแบบจุด ขนาดนักเกด เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ อลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

The objective of this research is to study the quality of galvanized steel with stainless steel 304 and aluminum 5052 by using resistance spot welding. The specimens were prepared according to standard JIS Z3136-1978 with 1 mm. thick. Two level of compression force 1,500N, 2,000 N, 3 levels of weld current 7,000 A, 9,000 A, 11,000 A and 4 levels of weld time 9, 11, 13, and 15 cycles were employed by MINITAB V.16 using full factorial design with a total of 216 pairs. The nugget quality was measure indicators include: (1) Surface Appearance (2) Nugget Size (3) Mechanical properties and shear strength of the weld (4) Microstructure at the weld interface (5) Sheet Separation. The results showed that the specimens of group 1 (Galvanize with galvanize) tear at the heat affect zone. The highest shear strength was found at compress force 1500 N, weld current 9000 A, and 15 cycles of weld time. Group 2 (Galvanize with stainless) provide the maximum shear strength 1500 N of compress force, weld current 9000 A, and 15 cycles of weld time. The tear position was heat affected zone. Group 3 (Galvanize with aluminum) showed tear at the weld line. The highest shear strength found at 1500 N of compress force, weld current 9000 A, and 11 cycles of weld time. Welding of galvanized with aluminum obtained the lowest shear strength among three groups of study. Furthermore, the results also showed that the high current and long weld time causes surface burn, micro-cracks, and reduce tensile strength. The larger sizes of the nugget have better tensile strength than the small nugget. The compression force, weld current and weld time were co-factors which contribute to shear strength and nugget size at 0.01 level of statistically significant.

Keywords: Weld quality, Resistance Spot Welding, Nugget size, Galvanized Steel, Aluminium, Stainless Steel.

1. บทนำ

การเชื่อมความต้านทานแบบจุด มีความนิยมมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ สำหรับการเชื่อมประกอบตัวถังโครงสร้าง เพราะสามารถเชื่อมประกอบชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วทำให้มีอัตราการผลิตสูง มีผลกระทบทางความร้อนต่อการผิดรูปของชิ้นงานน้อย ไม่ต้องใช้วัสดุประสานมีค่าใช้จ่ายน้อย สามารถเชื่อมวัสดุได้หลากหลาย ผิวงานหลังการเชื่อมเนียนเรียบ และมีความแข็งแรงต่อจุดเพียงพอในการรับแรง [1] การเชื่อมเกิดขึ้นได้จากการทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสมของความร้อน แรงกด ชิ้นงาน และเวลาเชื่อม เพื่อประสานผิวหน้าชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกัน โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นมีแรงเคลื่อนต่ำและกระแสไฟฟ้าสูง [2] ปริมาณความร้อนที่ได้ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 อย่าง คือกระแส ความต้านทานของชิ้นงานและเวลาที่กระแสไหลผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [3]

$$Q = I^2 R t \quad (1)$$

โดยที่ Q คือความร้อนที่เกิดขึ้น (จูล) I คือกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) R คือความต้านทานของชิ้นงาน (โอห์ม) t คือเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (วินาที)

ภายหลังจากการเชื่อมจะมีตัวบ่งชี้ว่ารอยเชื่อมนั้นมีคุณภาพหรือไม่ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือบ่งชี้คุณภาพของรอยเชื่อม [4] การเพื่อนำมาวิเคราะห์การทดสอบแรงดึง เนื้อของรอยเชื่อม และขนาดนักเกิดของชิ้นงานเชื่อม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงกดชิ้นงาน และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม ให้เกิดความเหมาะสม คุณภาพของการเชื่อมจึงมีความสำคัญต่อความเชื่อมั่นและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการเชื่อมความต้านทานแบบจุด เช่นการศึกษาผลของปัจจัยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างอุณหภูมิเนื้อมกับเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมอยู่ระหว่าง 7,000-

10,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อมอยู่ระหว่าง 8-14 รอบ ใช้แรงกด 0.1 MPa พบว่า ที่กระแสไฟฟ้า 10,000 แอมแปร์ และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 14 รอบ เป็นสภาวะที่ให้ขนาดของรอยเชื่อมโตที่สุด และให้แรงดึงเฉือนที่ดีที่สุด แนวโน้มของขนาดรอยเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม แต่หากเพิ่มกระแสไฟฟ้าหรือเวลาในการเชื่อมมากเกินไปก็จะทำให้แรงดึงเฉือนลดลง [5] การศึกษาโครงสร้างจุลภาคการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างอลูมิเนียม เกรด 5052 กับเหล็กเหนียว [6] การศึกษาความสามารถการเชื่อมด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม 304 กับอลูมิเนียม เกรด 5052 [7] การศึกษาความสามารถการเชื่อมด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 316L กับเหล็กกล้า DIN EN 10130-99 [8] ศึกษาความเสียหายของโครงสร้างจุลภาคโลหะ ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม ความหนา 1.1 มิลลิเมตร กับเหล็กกล้าไร้สนิมความหนา 1.2 มิลลิเมตร ใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมอยู่ระหว่าง 7,000-13,000 แอมแปร์ พบว่า ที่กระแสไฟฟ้า 13,000 แอมแปร์ และระยะเวลาเชื่อม 11 รอบ ให้สามารถรับแรงดึงทางเฉือนสูงสุด กระแสไฟฟ้าเชื่อม ระยะเวลาเชื่อม และแรงกดต่ออิเล็กโทรด ส่งผลต่อคุณภาพการเชื่อม [9] การศึกษาความสามารถการเชื่อมด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ผ่านมายังมีงานวิจัยจำนวนน้อย เพื่อให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือมากขึ้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

งานวิจัยนี้จึงใช้การเชื่อมความต้านทานแบบจุดเพื่อศึกษาความเหมาะสมของกระแสไฟฟ้า แรงกดชิ้นงาน และระยะเวลาเชื่อม ของเหล็กกัลวาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 และอลูมิเนียม เกรด 5052 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด วัสดุมีความหนา 1 มิลลิเมตร ควบคุมการเตรียมชิ้นงานเชื่อม และการทดสอบแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน JIS Z 3136-1978 ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB V.16 แบบ General Full Factorial Design นำชิ้นงานการทดลองมาตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมแบบต่อเกลียว ด้วยการทดสอบแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อม ตรวจสอบขนาด

นักเกตของชิ้นงานเชื่อม และศึกษาโครงสร้างมหภาค, โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม หาปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมยานยนต์

2. จุดประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรของการเชื่อมของเหล็กกัลวาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 และอลูมิเนียม เกรด 5052 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของการเชื่อมของเหล็กกัลวาไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 และอลูมิเนียม เกรด 5052 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด
3. เพื่อศึกษาขนาดนักเกตของการเชื่อมของเหล็กกัลวาไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 และอลูมิเนียม เกรด 5052 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด
4. เพื่อศึกษาโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมต่อเกลียว

ขอบเขตของงานวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลการทดสอบแรงดึงเฉือนของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า มี 4 ระดับ ได้แก่ 8, 9, 10 และ 11 รอบ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม มี 4 ระดับ ได้แก่ 8,000, 9,000, 10,000 และ 11,000 แอมแปร์ พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าเชื่อมมีผลกระทบร่วมต่อค่าแรงดึงเฉือนปัจจัยที่ทำให้มีค่าแรงดึงเฉือนมีค่าสูงสุดที่ คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 11,000 แอมแปร์ ระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟฟ้า 10 รอบ [10] ศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลการทดสอบแรงดึงของเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ใช้เหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ความหนา 1.2 มิลลิเมตรระยะเวลาในการเชื่อม 5, 10, 12 และ 15 รอบ กระแสไฟฟ้า 4,000 ถึง 12,000 แอมแปร์ โดยเพิ่มกระแสไฟฟ้าครั้งละ 1,000 แอมแปร์ ใช้แรงกดต่ออิเล็กโทรด 6,000 นิวตัน พบว่า ปัจจัย

ที่ทำให้มีค่าแรงดึงเฉือนมีค่าสูงสุดที่ คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 10,000 แอมแปร์ ระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟ 15 รอบ [11] ศึกษาความสามารถการเชื่อมของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ใช้เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ความหนา 1.03 มิลลิเมตร เหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีความหนา 0.9 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการเชื่อม 15 รอบ กระแสไฟฟ้า 5,500 ถึง 13,000 แอมแปร์ เพิ่มกระแสไฟฟ้าครั้งละ 500 แอมแปร์ ใช้แรงกดอเล็กโทรด 3,400 นิวตัน พบว่า ปัจจัยที่ทำให้มีค่าแรงดึงเฉือนมีค่าสูงสุดที่ คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 10,000 แอมแปร์ ระยะเวลาการปล่อยกระแสไฟ 11 รอบ [12] จากการศึกษางานวิจัยจึงกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1. แรงกดชิ้นงาน มี 2 ระดับ ได้แก่ 1,500 และ 2,000 นิวตัน
2. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม มี 3 ระดับ ได้แก่ 7,000, 9,000 และ 11,000 แอมแปร์
3. ระยะเวลาในการเชื่อม มี 4 ระดับ ได้แก่ 9, 11, 13 และ 15 รอบ

ตัวแปรตาม

1. คุณสมบัติทางกลด้านแรงดึงเฉือน
2. สภาพของผิวหน้ารอยเชื่อม
3. ขนาดของนิกเกิล
4. การแยกตัวของชิ้นงาน
5. โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

3. วิธีดำเนินการ

การเชื่อมแบ่งออก 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์เชื่อมกับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กลุ่มที่ 2 เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์เชื่อมกับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 และกลุ่มที่ 3 เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์เชื่อมกับอลูมิเนียม เกรด 5052 แต่ละชนิดหนา 1 mm. ทำการตรวจสอบส่วนผสมของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ด้วยเครื่อง Emission Spectrometer ดังรูปที่ 1

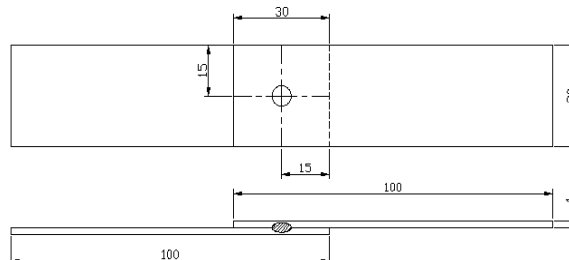


รูปที่ 1 ตรวจสอบส่วนผสมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

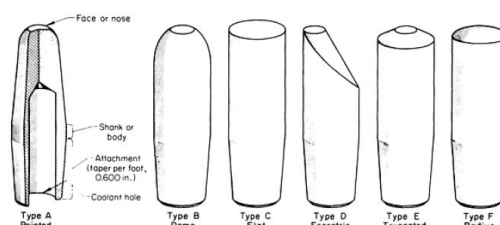
C	Si	S	P	Mn	Ni
0.065	0.012	0.018	0.018	0.421	0.042
Cr	Mo	Cu	Nb	Fe	
0.013	0.005	0.058	0.003	99.34	

เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS Z 3136-1978 ความกว้าง 30 mm. และความยาว 100 mm. ความหนา 1 mm. ระยะที่ขึ้นงานต่อเกยกัน 30 mm. [13] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การเตรียมชิ้นงานทดลองตามมาตรฐาน JIS Z 3136-1978

ใช้อิเล็กโทรดทิว Copper-Chromium alloy ปลายตัด Truncated (ชนิด E) ขนาด $\varnothing$ 5 mm. [14] ดังรูปที่ 4

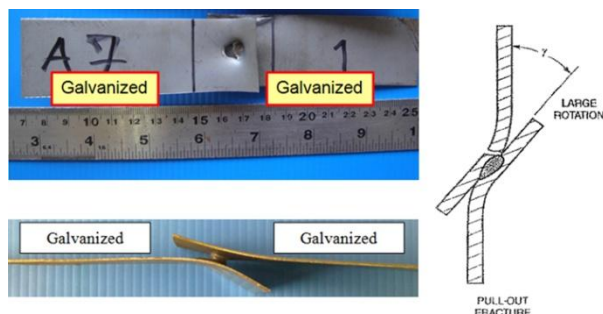


รูปที่ 3 รูปแบบของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการเชื่อม [15]

4. ผลการทดลอง

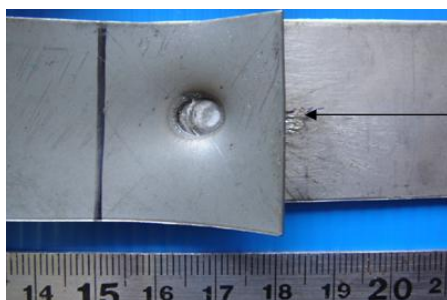
4.1 ผลการทดลองแรงดึงเฉือน

ปัจจัยที่ทำการเชื่อม คือ แรงกดขึ้นงาน มี 2 ระดับ ได้แก่ 1,500 และ 2,000 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม มี 3 ระดับ ได้แก่ 7,000, 9,000 และ 11,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม มี 4 ระดับ ได้แก่ 9, 11, 13 และ 15 รอบ (Cycle) ทดสอบหาค่าแรงดึงเฉือนแต่ละกลุ่ม ดังรูปที่ 4-8



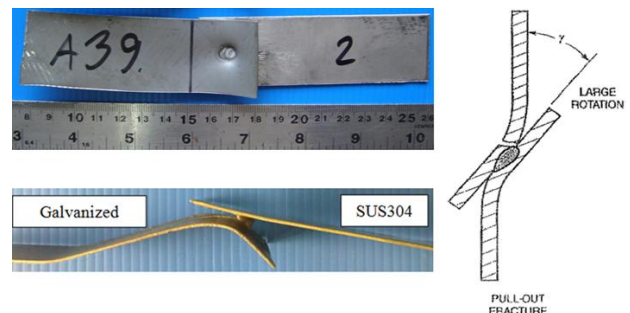
รูปที่ 4 มุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์กับเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 7,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle)

จากรูปที่ 4 เป็นมุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือนในกลุ่มที่ 1 สังเกตพบว่า เกิดการฉีกขาดที่บริเวณรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ และมีมุมบิตที่มาก เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการเชื่อมมากขึ้น จะทำให้เกิดสะเก็ดไฟจากการเชื่อมที่บริเวณรอยเชื่อม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเกิดสะเก็ดไฟที่มีสาเหตุมาจากการเพิ่มกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการเชื่อมมากขึ้น ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 2,000 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 1,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม 15 รอบ (Cycle)

มุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือนในกลุ่มที่ 2 สังเกตพบว่า เกิดการฉีกขาดที่บริเวณรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ทุกชิ้นงานทดสอบ เพราะเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 มีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์ และมีมุมบิตที่มาก มีค่าแรงดึงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 มุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 7,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle)

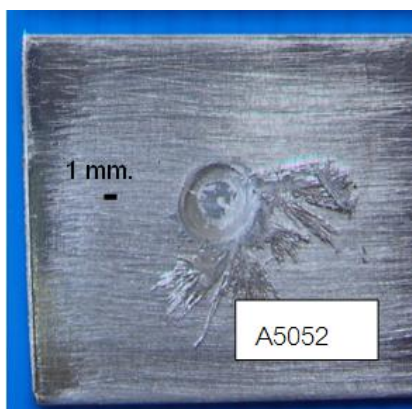
มุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือนในกลุ่มที่ 3 พบว่า เกิดการฉีกขาดที่มักเกิดทุกชิ้นทดลอง และสังเกตว่ามีมุมบิตที่น้อยมาก มีค่าแรงดึงเฉือนต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 มุมบิตของชิ้นงานทดสอบแรงดึงเหล็กแผ่นกัลวาไนซ์กับอลูมิเนียม เกรด 5052 ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 7,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle)

กระแสไฟฟ้า แรงกด และเวลาในการปล่อยกระแสไฟส่งผลต่อความแข็งแรงเฉือนของรอยเชื่อม หากเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมากขึ้นจะทำให้บริเวณอิทธิพลความร้อนกว้างจากปริมาณความร้อน และมีอัตราการหลอมละลายของรอย

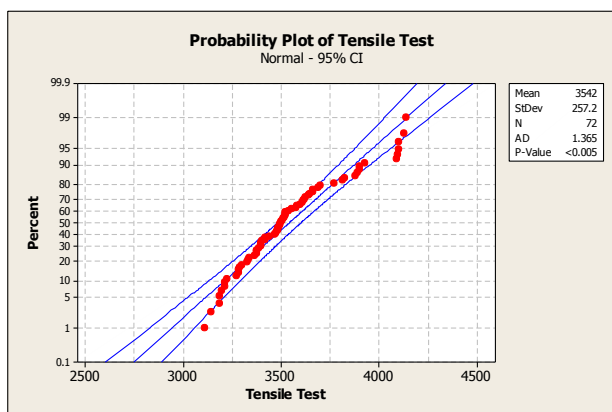
เชื่อมที่สูงและมีการสูญเสียเนื้อโลหะมากเช่นกันจากการเกิดสะเก็ดไฟ (Explosion) [13] ดังรูปที่ 8



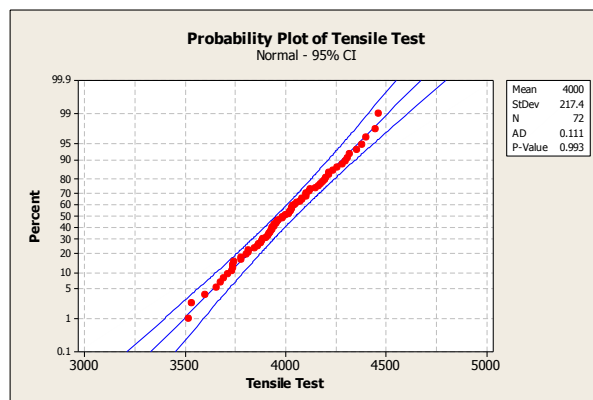
รูปที่ 8 การเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะ จากการเกิดสะเก็ดไฟของอลูมิเนียม เกรด 5052 ที่ค่าแรงกดชิ้นงาน 2,000 นิวตัน (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 11,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาในการเชื่อม 15 รอบ (Cycle)

4.2 ผลการทดลองแรงดึงเฉือน

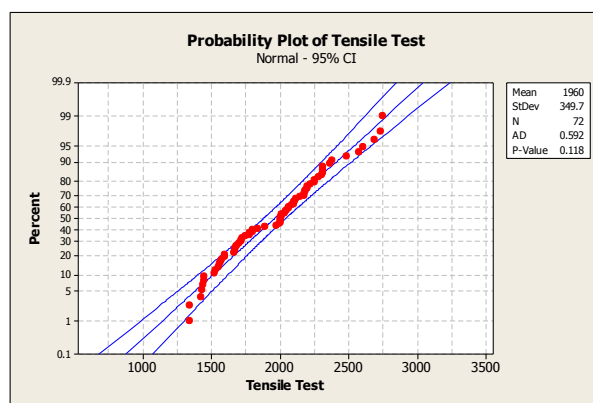
การทดสอบการแตกหักปกติของการทดสอบแรงดึงเฉือน การทดลอง พบว่าข้อมูลเป็นการแตกหักแบบปกติ ผลการทดสอบการแตกหักปกติของการทดสอบ ค่าแรงดึงเฉือนแต่ละกลุ่มที่วิเคราะห์แบบ General Full Factorial Design ดังแสดงในภาพที่ 9-11



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการแตกหักปกติของการทดสอบค่าแรงดึงเฉือนกลุ่มที่ 1 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ ค่า P-Value < 0.005



รูปที่ 10 ผลการทดสอบการแตกหักปกติของการทดสอบค่าแรงดึงเฉือนกลุ่มที่ 2 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ค่า P-Value = 0.993



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการแตกหักปกติของการทดสอบค่าแรงดึงเฉือนกลุ่มที่ 3 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับอลูมิเนียม เกรด 5052 ค่า P-Value = 0.118

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงเฉือน

ทดสอบค่าแรงดึงเฉือนชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามการออกแบบการทดลอง แบบ General Full Factorial Design แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ละกลุ่มการทดลอง

General Linear Model ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสภาวะที่ใช้ในการเชื่อมกับความแข็งแรงทางเฉือนของรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ สามารถอธิบายความผันแปรของปัจจัยตอบสนองตามค่าแรงดึงเฉือนได้ 98.22% เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ DOE แบบ Analyze Factorial Design นำผลที่ได้มาทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงเฉือนเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ

เชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึง
เฉือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 ดังรูปที่ 12

General Linear Model: Tensile Test versus Pressure, Current, Weld time

Factor	Type	Levels	Values
Pressure	fixed	2	1500, 2000
Current	fixed	3	7000, 9000, 11000
Weld time	fixed	4	9, 11, 13, 15

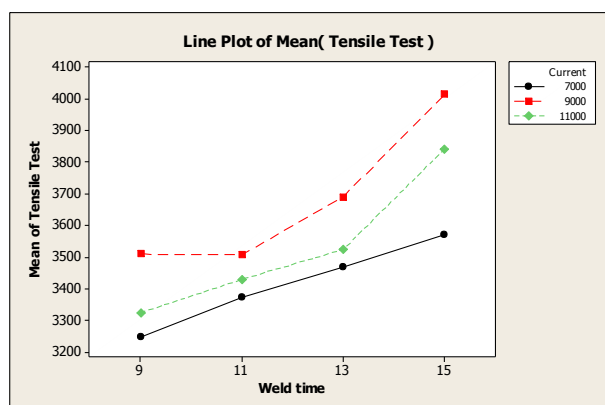
Analysis of Variance for Tensile Test, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pressure	1	192303	192303	192303	163.03	0.000
Current	2	853925	853925	426963	361.96	0.000
Weld time	3	2080899	2080899	693633	588.03	0.000
Pressure*Current	2	208328	208328	104164	88.31	0.000
Pressure*Weld time	3	219571	219571	73190	62.05	0.000
Current*Weld time	6	185834	185834	30972	26.26	0.000
Pressure*Current*Weld time	6	898213	898213	149702	126.91	0.000
Error	48	56620	56620	1180		
Total	71	4695695				

S = 34.3451 R-Sq = 98.79% R-Sq(adj) = 98.22%

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปร
ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน กลุ่มที่ 1 เหล็กกล้าปิวไนซ์ เชื่อมกับ
เหล็กกล้าปิวไนซ์

ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการเชื่อม กลุ่มที่ 1 พบว่า
ค่าแรงดึงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาใน
การเชื่อม กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมสูงขึ้น แยก
ตามระดับของระยะเวลาในการเชื่อม และของระดับ
กระแสไฟฟ้า จะพบค่ากระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟ 9,000
แอมแปร์ (A) ระยะเวลาในการเชื่อม 15 รอบ (Cycle) มี
ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุด และกระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟ
7,000 แอมแปร์ ระยะเวลาในการเชื่อม 9 รอบ (Cycle) มี
ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยต่ำสุด ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาในการเชื่อม กับ
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่อค่าแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเหล็ก
แผ่นกล้าปิวไนซ์ กับเหล็กแผ่นกล้าปิวไนซ์

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสภาวะที่ใช้ใน
การเชื่อมกับความแข็งแรงทางเฉือนของรอยเชื่อมเหล็ก

แผ่นกล้าปิวไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ปัจจัย
ตอบ ส น อ ง ตาม ค่า แรง ดึง เฉือน ได้ ที่ 95.21%
ความสัมพันธ์ ของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ
เชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อ
ค่าแรงดึงเฉือนเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม
ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
ระดับ .01 ดังรูปที่ 14

General Linear Model: Tensile Test versus Pressure, Current, Weld time

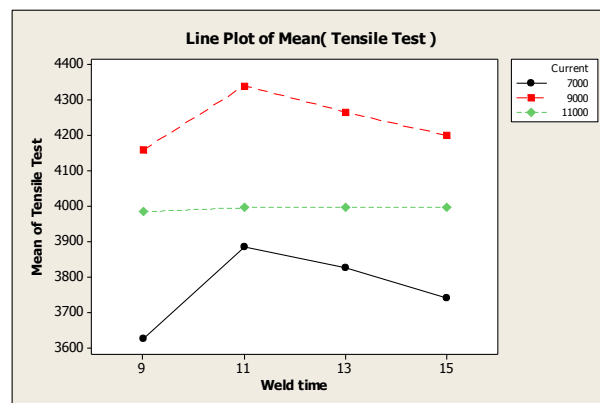
Factor	Type	Levels	Values
Pressure	fixed	2	1500, 2000
Current	fixed	3	7000, 9000, 11000
Weld time	fixed	4	9, 11, 13, 15

Analysis of Variance for Tensile Test, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pressure	1	13972	13972	13972	6.17	0.017
Current	2	2668709	2668709	1334355	589.38	0.000
Weld time	3	229230	229230	76410	33.75	0.000
Pressure*Current	2	109228	109228	54614	24.12	0.000
Pressure*Weld time	3	68403	68403	22801	10.07	0.000
Current*Weld time	6	115901	115901	19317	8.53	0.000
Pressure*Current*Weld time	6	42455	42455	7076	3.13	0.011
Error	48	108672	108672	2264		
Total	71	3356571				

S = 47.5815 R-Sq = 96.76% R-Sq(adj) = 95.21%

รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปร
ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน กลุ่มที่ 2 เหล็กกล้าปิวไนซ์เชื่อมกับ
เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304



รูปที่ 15 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเชื่อมกับ
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม ต่อค่าแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมเหล็ก
แผ่นกล้าปิวไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304

จากรูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการเชื่อม
กลุ่มที่ 2 พบค่ากระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟ 9,000 แอมแปร์ (A)
กับระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle) มีค่าแรงดึง
เฉือนเฉลี่ยสูงสุด และกระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟ 7,000
แอมแปร์ กับระยะเวลาในการเชื่อม 9 รอบ (Cycle) มี
ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยต่ำสุด

General Linear Model ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสภาวะที่ใช้ในการเชื่อมกับความแข็งแรงทางเค้นของรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับอลูมิเนียม เกรด 5052 สามารถอธิบายความผันแปรของปัจจัยตอบสนองตามค่าแรงดึงเค้นได้ที่ 97.71%

ความสัมพันธ์ของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงเค้นเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเค้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังรูปที่ 16

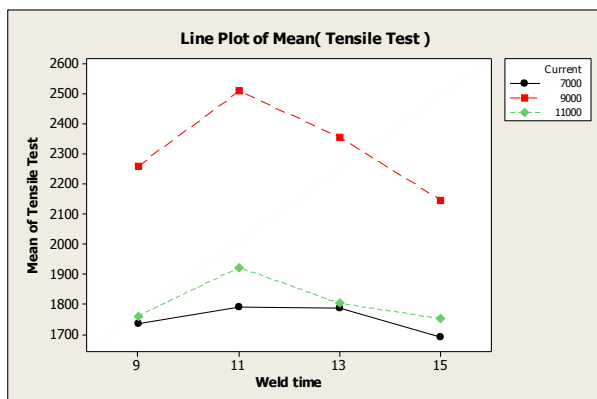
General Linear Model: Tensile Test versus Pressure, Current, Weld time

Factor	Type	Levels	Values
Pressure	fixed	2	1500, 2000
Current	fixed	3	7000, 9000, 11000
Weld time	fixed	4	9, 11, 13, 15

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pressure	1	2109116	2109116	2109116	752.67	0.000
Current	2	4685444	4685444	2342722	836.04	0.000
Weld time	3	443053	443053	147684	52.70	0.000
Pressure*Current	2	519691	519691	259846	92.73	0.000
Pressure*Weld time	3	128464	128464	42821	15.28	0.000
Current*Weld time	6	135967	135967	22661	8.09	0.000
Pressure*Current*Weld time	6	527768	527768	87961	31.39	0.000
Error	48	134505	134505	2802		
Total	71	8684007				

S = 52.9356 R-Sq = 98.45% R-Sq(adj) = 97.71%

รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเค้น กลุ่มที่ 3 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับอลูมิเนียม เกรด 5052



รูปที่ 17 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเชื่อมกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่อค่าแรงดึงเค้นของรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับอลูมิเนียม เกรด 5052

จากรูปที่ 17 ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการเชื่อม กลุ่มที่ 3 พบค่ากระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟ 9,000 แอมแปร์ (A) กับระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle) มีค่าแรงดึง

เค้นเฉลี่ยสูงสุด และกระแสไฟที่กระแสไฟ 7,000 แอมแปร์ กับระยะเวลาในการเชื่อม 15 รอบ (Cycle) มีค่าแรงดึงเค้นเฉลี่ยต่ำสุด

4.4 ผลการวิเคราะห์ขนาดหักเห

ทดสอบขนาดหักเหภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามการออกแบบการทดลอง แบบ General Full Factorial Design แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ละกลุ่มการทดลอง

General Linear Model ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสภาวะที่ใช้ในการเชื่อมกับขนาดหักเหของรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ ความผันแปรของปัจจัยตอบสนองที่ 97.94% เมื่อพิจารณาค่าจากผลการวิเคราะห์ DOE แบบ Analyze Factorial Design นำผลที่ได้มาทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดหักเหเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเค้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 ดังรูปที่ 18

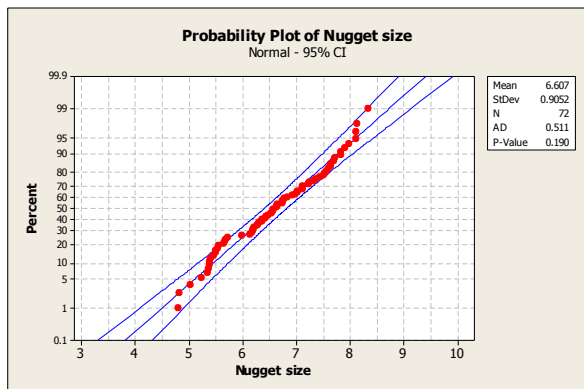
General Linear Model: Nugget size versus Pressure, Current, Weld time

Factor	Type	Levels	Values
Pressure	fixed	2	1500, 2000
Current	fixed	3	7000, 9000, 11000
Weld time	fixed	4	9, 11, 13, 15

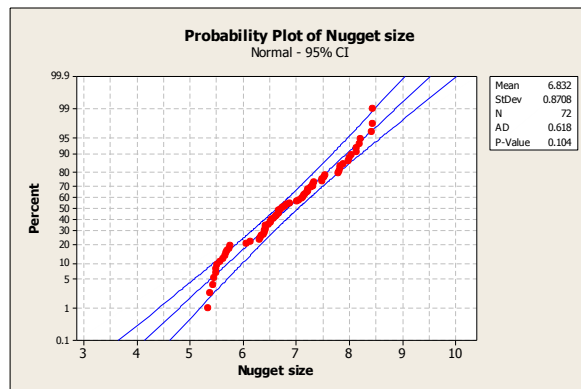
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pressure	1	0.7917	0.7917	0.7917	46.99	0.000
Current	2	19.2563	19.2563	9.6282	571.50	0.000
Weld time	3	36.3555	36.3555	12.1185	719.32	0.000
Pressure*Current	2	0.0175	0.0175	0.0088	0.52	0.597
Pressure*Weld time	3	0.1627	0.1627	0.0542	3.22	0.031
Current*Weld time	6	0.5297	0.5297	0.0883	5.24	0.000
Pressure*Current*Weld time	6	0.2534	0.2534	0.0422	2.51	0.034
Error	48	0.8087	0.8087	0.0168		
Total	71	58.1756				

S = 0.129797 R-Sq = 98.61% R-Sq(adj) = 97.94%

รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อขนาดหักเห กลุ่มที่ 1 เหล็กกัลป์วาไนซ์ เชื่อมกับเหล็กกัลป์วาไนซ์



รูปที่ 19 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดสอบค่าแรงดึง
เงื่อนไขกลุ่มที่ 1 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กแผ่นกัลป์วา
ไนซ์ ค่า P-Value = 0.190



รูปที่ 21 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของการทดสอบค่าแรงดึง
เงื่อนไขกลุ่มที่ 2 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม
เกรด 304 ค่า P-Value = 0.104

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสภาวะที่ใช้ในการเชื่อมกับขนาดนักเกต กลุ่มที่ 2 ความผันแปรของปัจจัยตอบสนองที่ 97.76% เมื่อพิจารณาค่าจากผลการวิเคราะห์ DOE แบบ Analyze Factorial Design นำผลที่ได้มาทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ ของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดนักเกตเป็นปัจจัยร่วมของแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเงินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01 ดังรูปที่ 20

General Linear Model: Nugget size versus Pressure, Current, Weld time

Factor	Type	Levels	Values
Pressure	fixed	2	1500, 2000
Current	fixed	3	7000, 9000, 11000
Weld time	fixed	4	9, 11, 13, 15

Analysis of Variance for Nugget size, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pressure	1	0.2167	0.2167	0.2167	12.78	0.001
Current	2	12.9298	12.9298	6.4649	381.32	0.000
Weld time	3	36.9826	36.9826	12.3275	727.11	0.000
Pressure*Current	2	0.9660	0.9660	0.4830	28.49	0.000
Pressure*Weld time	3	0.1769	0.1769	0.0590	3.48	0.023
Current*Weld time	6	0.8071	0.8071	0.1345	7.93	0.000
Pressure*Current*Weld time	6	0.9496	0.9496	0.1583	9.33	0.000
Error	48	0.8138	0.8138	0.0170		
Total	71	53.8425				

S = 0.130208 R-Sq = 98.49% R-Sq(adj) = 97.76%

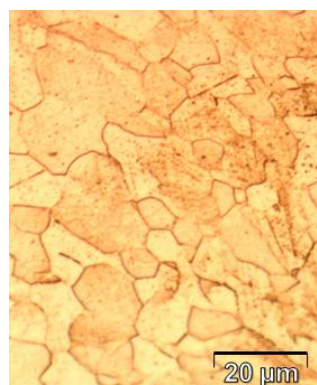
รูปที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปร
ที่มีอิทธิพลต่อขนาดนักเกต กลุ่มที่ 2 เหล็กกัลป์วาไนซ์ เชื่อมกับ
เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304

4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

จากการทดลองพบว่า ค่าแรงกดชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม ส่งผลกระทบบต่อค่าแรงดึงเงิน รวมทั้งทำการศึกษ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม แล้วนำมาวิเคราะห์ทาง โลหะวิทยาการเชื่อม แต่ละกลุ่มการทดลอง ตาม โครงสร้างจุลภาคก่อนการเชื่อม และโครงสร้างจุลภาค ของรอยเชื่อมหลังการเชื่อม รายละเอียดดังนี้

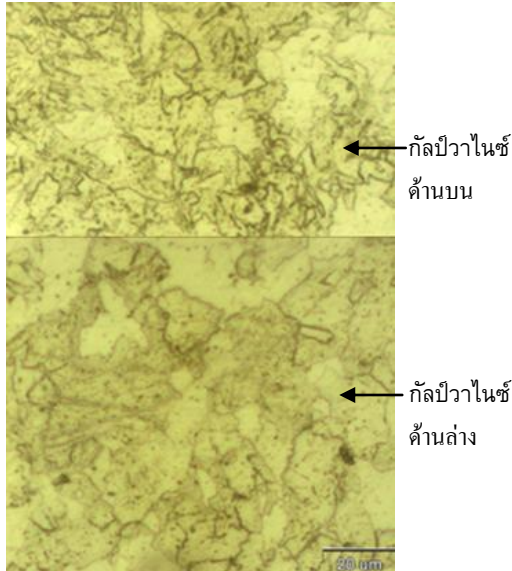
โครงสร้างจุลภาคก่อนและหลังการเชื่อม

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ พบว่า โครงสร้างของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ก่อนการเชื่อม เป็น โครงสร้าง Ferrite เป็นเม็ดเกรนสีขาว (สว่าง) และขอบ เกรนเป็นสีดำ ดังรูปที่ 22



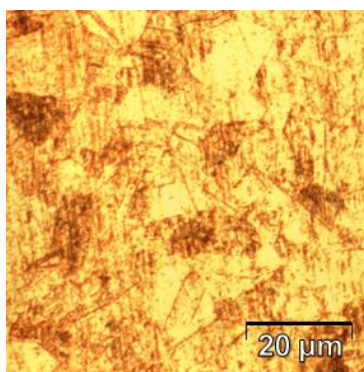
รูปที่ 22 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ก่อนการเชื่อม
กำลังขยาย 20 μm

โครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์
 กับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์หลังการเชื่อม มีการ
 เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคจาก Ferrite เป็นโครงสร้าง
 Ferrite+ Pearlite ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 โครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ด้านบน
 กับเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ล่างที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน (N)
 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 9,000 แอมแปร์ (A) และระยะเวลาใน
 การเชื่อม 11 รอบ (Cycle) กำลังขยาย 20 μm

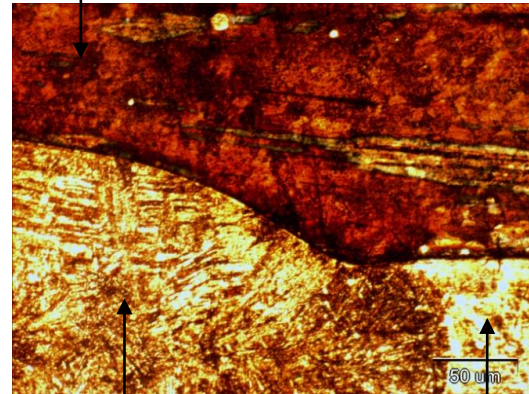
โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
 พบว่าโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ก่อนการ
 เชื่อม เป็นโครงสร้าง Austenite + Ferrite ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304
 กำลังขยาย 20 μm

โครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับ
 เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 ดังรูปที่ 25

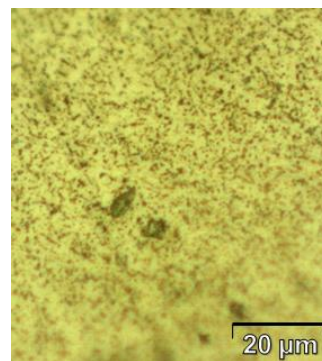
โครงสร้างจุลภาคเดิมของกัลป์วาไนซ์



นักเกิด บริเวณ Heat Affect Zone
 รูปที่ 25 รอยเชื่อมของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์กับเหล็กกล้าไร้สนิม
 เกรด 304 กำลังขยาย 50 μm ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน
 (N) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 9,000 แอมแปร์ (A) และ
 ระยะเวลาในการเชื่อม 11 รอบ (Cycle)

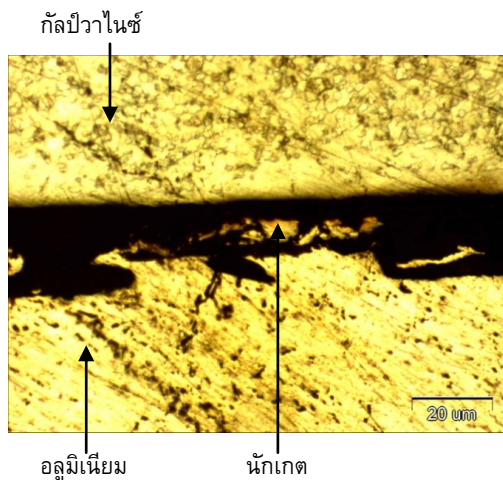
จากรูปที่ 25 เป็นตัวอย่างโครงสร้างจุลภาครอย
 เชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด
 304 ที่ผ่านการเชื่อม รอยเชื่อมระหว่างเป็นโครงสร้าง
 เหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 มี
 โครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมเป็น Martensite

โครงสร้างจุลภาคของแผ่นอลูมิเนียม เกรด 5052
 พบว่าโครงสร้างของแผ่นอลูมิเนียม เกรด 5052 ก่อนการ
 เชื่อม เป็นโครงสร้าง Pearlite สีดำสลับบนพื้นสีขาวคือ
 SiAl_2 (สว่าง) จุดสีดำคือ Mg_2Si (มืด) ซึ่งไม่สามารถ
 ละลายในอลูมิเนียมได้ ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 โครงสร้างจุลภาคของแผ่นอลูมิเนียม เกรด 5052
 กำลังขยาย 20 μm

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับ
แผ่นอลูมิเนียมเกรด 5052 ที่ผ่านการเชื่อม ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 โครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์ กับแผ่น
อลูมิเนียม เกรด 5052 ที่ค่าแรงกดขึ้นงาน 1,500 นิวตัน (N)
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 9,000 แอมแปร์ และระยะเวลาใน
การเชื่อม 11 รอบ (Cycle) กำลังขยาย 20 μm

จากรูปที่ 27 เป็นรอยเชื่อมเหล็กแผ่นกัลป์วาไนซ์
กับแผ่นอลูมิเนียม เกรด 5052 กลุ่มที่ 3 เมื่อวัสดุทั้งสองมี
การหลอมละลายติดกันเพียงเล็กน้อย ทำให้อายุเชื่อมมี
แรงดึงเฉือนน้อยลง

5. สรุป

ผลการทดลองแรงดึงเฉือน พบว่า กลุ่มที่ 1 เกิดการ
ฉีกขาดที่บริเวณ Heat Affect Zone การแยกตัวของ
ชิ้นงานเหล็กกัลป์วาไนซ์มีมุมบิดที่มาก ค่าแรงดึงเฉือน
เฉลี่ยสูงสุดที่ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน กระแสไฟฟ้า 9,000
แอมแปร์ และเวลาในการเชื่อม 15 รอบ กลุ่มที่ 2 มี
ค่าแรงดึงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่ม ค่าแรง
ดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน
กระแสไฟฟ้า 9,000 แอมแปร์ และเวลาในการเชื่อม 11
รอบ และกลุ่มที่ 3 เกิดการฉีกขาดที่นิกเกิลทุกชิ้นทดลอง
มีมุมบิดที่น้อยมาก มีค่าแรงดึงเฉือนต่ำสุดเมื่อ
เปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่ม ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดที่
ค่าแรงกด 1,500 นิวตัน กระแสไฟฟ้า 9,000 แอมแปร์
และเวลาในการเชื่อม 11 รอบ

การเพิ่มกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาเชื่อมมาก

จนเกินไปทำให้เกิดสะเก็ดไฟรอบรอยเชื่อม บริเวณ
ผิวหน้ามีรอยไหม้ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่า
ภายในนิกเกิลแตกกร้าว แรงดึงลดลง แรงกดหัวอิเล็กโทรด
ทำให้ผิวหน้าเกิดการยุบตัว ขนาดของนิกเกิลที่ขนาดใหญ่
จะมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ดีกว่านิกเกิลที่ขนาด
เล็ก ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงเฉือนและขนาดนิกเกิลเป็น
ปัจจัยร่วมของแรงกดขึ้นงาน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ
เชื่อม และระยะเวลาในการเชื่อม อย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติที่ระดับ .01

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไพฑูรย์ วชิรวงศ์ภิญโญ. 2551.การศึกษาปัจจัยที่
ส่งผลต่อการเชื่อมความต้านทานชนิดจุดของเหล็ก
เหนียวรีดเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] Mahmoud El-Banna, Dimitar Filev and Ratna
Babu Chinnam. Automotive Manufacturing:
Intelligent Resistance Welding. D. Prokhorov
(Ed.): Comput. Intel. in Automotive Applications,
SCI 132, University of Jordan, Amman, Jordan:
2008; pp. 291–313.
- [3] Dent, P., Bohr, C.J. Gasser, G.R., Gerken, M.J.,
Hallum, L.D., Lee, W.J., McCauley, B.R., Orts,
H.D., Oyler, W.G., Shieh, T.W. and Wu, C.K.,
1991, Spot, Seam and Projection Welding.
American Welding Society, Welding
Handbook, 8th ed., Vol.2, pp.532-543.
- [4] Bogomolny M. A shape optimization study for tool
design in resistance welding Structure Multidisc
Optimal. 2009; 38:185–194.
- [5] ปริญญวัตร ทินบุตรและ เชาวลิธ ลิ้มมณีวิจิตร.
2552. ผลของปัจจัยการเชื่อมความต้านทานชนิดจุด
ระหว่างอลูมิเนียมกับเหล็กกล้าสเตนเลสต่อความ

แข็งแรงทางเฉือน.ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี

- [6] Ranfeng Qiu and Satonaka. Interfacial microstructure and strength of Steel/aluminum alloy joint welded by resistance spot welding with cover plate. Journal of Material Processing Technology Vol. 209, 2009; pp.4186-4193.
- [7] Ranfeng Qiu, Shinobu Satonaka and Chihiro Iwamoto. Effect of interfacial reaction layer continuity on the tensile strength of resistance spot welded joints between aluminum alloy and steels. Materials and Design 30, 2009; 3686–3689.
- [8] Ahmet Hasanbas. Resistance spot weldability of dissimilar materials (AISI 316L–DIN EN 10130-99 steels) Department of Metal Education, ZKU, Karabuk Technical Faculty, Karabuk, Turkey Materials and Design, 2007; 28: 1794–1800
- [9] Marashi P. Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steel. Materials Science and Engineering A 2008; pp.175–180.
- [10] ปรัชญา เพ็ญสุระ.2550 “การหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปล่อยกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุด โดยการทดสอบสมบัติทางกลและโลหะวิทยา”, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์, 10(1):ET01-1 - ET01-7.
- [11] Aslanlar S. and et al. Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromized steel sheets in electrical resistance spot welding. Mater Des 2007; 28:2–7.
- [12] Murat Vural. On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets. Journal of Materials Processing Technology, 2005; pp.153–154.
- [13] Japanese Industrial Standard 1995, Method of Tension Shear Test for Spot Welded Joint, Japanese Standard Association, JIS Z 3136-1978, Japan,pp.637-639.
- [14] Via Grieco. S.p.A 25/27-40024 Castel S. Pietro Terme-Bologna ITALY. TECNIA Handbook.
- [15] Neville, T. Williams, 1993, “Resistance Spot Welding”, ASM Metal Handbook, 10th ed., Vol. 6, pp. 688-689.