

## การเลือกใช้อิเล็กโทรดล่างสำหรับการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับ

## ท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC

## Selection of Lower Electrode for Single-Sided Resistance Spot Welding of

## Carbon Steel Tube STKM 13A and Cold Rolled Carbon Steel Sheet SPCC

ธีรวัฒน์ เชื้อนแก้ว<sup>1</sup> ฐิติ หมอรักษา<sup>1</sup> ประจักษ์ จัตกุล<sup>1\*</sup> ธัญญลักษณ์ มะปะเข<sup>1</sup> สุริยศรี แสงสว่าง<sup>1</sup>เกริกฤทธิ์ ถาวรศิริ<sup>1</sup> และวิทยา อินทร์สอน<sup>2</sup><sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

วิทยาเขตจันทบุรีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

<sup>2</sup> แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

E-mail: prajak\_ja@rmutto.ac.th\*

Teerawut Khuenkaew<sup>1</sup> Thiti Mhoraksa<sup>1</sup> Prajak Jattakul<sup>1\*</sup> Thunyalak Mapakhe<sup>1</sup>Suriyate Saengsawang<sup>1</sup> Kreakrit Thawornsiri<sup>1</sup> and Withaya Insorn<sup>2</sup><sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology, Chanthaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi<sup>2</sup> Department of Welding, Surin Technical College

E-mail: prajak\_ja@rmutto.ac.th\*

(Received: November 21, 2022; Revised: December 19, 2022; Accepted: December 20, 2022)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปร่างของอิเล็กโทรดด้านล่างในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความหนา 1.4 มิลลิเมตร และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC ความหนา 1.2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดกระแสสลับค่าพิกัดกำลัง 50 กิโลวัตต์แอมแปร์ 50 เฮิร์ตคุณภาพของรอยเชื่อมผ่านการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจจากลักษณะทางกายภาพทั้งบริเวณรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็ก SPCC และผิวด้านล่างของท่อเหล็ก รวมทั้งพิจารณาขนาดของรอยเชื่อม จากผลการทดลองพบว่าการใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 3 ซึ่งมีพื้นที่ส่วนโค้งของอิเล็กโทรดเป็นพื้นที่รองรับท่อขณะเชื่อม ทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดโดยไม่ปรากฏร่องรอยของการอาร์กบนผิวท่อ ขนาดของรอยเชื่อมมีค่าเฉลี่ย 6.018 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน JIS Z3140

**คำหลัก:** การเชื่อมความต้านทานแบบจุดบนท่อเหล็ก รูปร่างอิเล็กโทรด ขนาดของรอยเชื่อม**Abstract**

The objective of this research is to select the geometry of the lower electrode tip used in the single-sided resistance spot welding of weldments between carbon steel tube STKM 13A with a 12.7 mm outer diameter and 1.4 mm of thickness and cold rolled carbon steel sheet SPCC with 1.2 mm of thickness. The spot

was welded using a 50 kVA AC, 50 Hz RSW machine, while the quality of the weld was assessed by considering the weldment visual examination and nugget diameter. The results of the study explained the weldment appearance of both the top surfaces of SPCC and the surface of the tube STKM 13A. The electrode geometry type 3 is where the arc area of the electrode is the support area for the pipe during welding. optimal physical appearance without arcing on the pipe surface. The average nugget diameter was 6.018 mm, which meets the JIS Z3140 standard.

**Keywords:** Single-sided resistance spot welding, Electrode geometry, Nugget diameter

## 1. บทนำ

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในภาคการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีวัฏจักรการเชื่อมสั้น และสามารถประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์งานเชื่อม [1-2] ดังเห็นได้จากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีการประสานชิ้นส่วนให้ติดกันมากกว่าหนึ่งพันจุด ชิ้นส่วนรถยนต์โดยส่วนมากจะใช้กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเพื่อประสานชิ้นงานแผ่นเรียบ 2 แผ่นหรือมากกว่าโดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านพื้นที่รอยต่อจนเกิดการหลอมวัสดุและประสานให้ติดกันด้วยแรงดันจากอิเล็กโทรดทั้งสองข้าง [3] แต่ยังมีชิ้นส่วนรถยนต์บางชิ้นส่วนใช้กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเชื่อมชิ้นงานให้ติดกันบนผิวโค้งของท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยม เช่น ท่อไอเสียของระบบ Exhaust Gas Recirculation (EGR) หรือ โครงเบาะรถยนต์ กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเชื่อมบนผิวโค้งของชิ้นงาน มีการควบคุมคุณภาพที่มีความเข้มงวดมากกว่าการเชื่อมชิ้นงานแผ่นเรียบ เช่น การเสียรูปของท่อหลังการเชื่อมไม่เกิน 20 % ของขนาดท่อเดิม พื้นที่ภายในท่อหลังจากการเชื่อมต้องมีย่านค่ามากกว่า 88 % ของพื้นที่เดิม หรือต้องไม่มีรอยเชื่อมที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของเหลวหรือแก๊สที่ไหลผ่าน เป็นต้น

จากการศึกษาวรรณกรรมเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดบนผิวโค้งของชิ้นงาน การศึกษาพฤติกรรม การเกิดรอยเชื่อม รวมถึงกำหนดปัจจัยการเชื่อมที่เหมาะสมยังมีการศึกษาของนักวิจัยจำนวนน้อย เนื่องจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเชื่อมบนผิวโค้งมีปัจจัยการเชื่อมที่ควบคุมได้ยากทั้งนี้รวมถึงการออกแบบเพื่อกำหนดรูปร่างของอิเล็กโทรดให้มีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการเชื่อมมีความยากเช่นกัน งานวิจัยของ H.G. Yang และคณะ [4] ทำเชื่อมแผ่นเหล็กคาร์บอนหนา 1.5 มิลลิเมตร บนท่อเหล็กคาร์บอนทรงสี่เหลี่ยมหนา 2.0 มิลลิเมตร ด้วยกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด งานวิจัยสรุปว่า แรงกดอิเล็กโทรดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ระยะการกดลึกเพิ่มมากขึ้นแต่จะทำให้ทนแรงดึงได้ต่ำลงควรใช้แรงกดระดับ 2.4 ถึง 2.6 กิโลนิวตัน (kN) ส่วนกระแสไฟฟ้าเชื่อมควรใช้ระดับ 14 ถึง 15 กิโลแอมแปร์ (kA) เวลาการเชื่อมควรใช้ระดับ 13 ถึง 15 ไซเคิล (Cycle) การใช้ปัจจัยการเชื่อมทั้งสองในระดับสูงขึ้นจะทำให้ระยะการกดลึกและค่าทนแรงดึงเพิ่มมากขึ้น M. Najuch และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของแผ่นชิ้นงาน DC01(SPCC) หนา 1.5 มิลลิเมตร บนท่อกลม 26MnB5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 55 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร แล้วใช้ Copper Solder เป็นตัวประสานการเชื่อม งานวิจัยบางส่วนสรุปผลได้ว่า การเพิ่มแรงกดอิเล็กโทรดทำให้เพิ่มพื้นที่การกดระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน การเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อม เวลาเชื่อมจะทำให้ความร้อนในการเชื่อมและแรงการยึดติดของรอยเชื่อมสูงขึ้น จากการศึกษาวรรณกรรมจะเห็นได้ว่านักวิจัยจะทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยการเชื่อมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการเลือกรูปร่างของอิเล็กโทรดให้มีความเหมาะสมกับลักษณะชิ้นงานเชื่อม เนื่องจากอิเล็กโทรดเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเชื่อมเพื่อให้เกิดวัฏจักรการเชื่อม ดังนั้นรูปร่างอิเล็กโทรดที่มีความเหมาะสมจะมีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกลของรอยเชื่อม

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ทำร่วมกับโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ซึ่งเป็นการนำเสนอกระบวนการใหม่ของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดบนท่อเหล็กโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการเลือกใช้อิเล็กโทรดล่างในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้อิเล็กโทรดด้านล่าง 3 รูปแบบ จากการเชื่อมด้วยปัจจัยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดแบบคงที่ ผลการทดลองที่นำมาพิจารณาได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังผ่านการเชื่อม และขนาดของรอยเชื่อม (Nugget size)

## 2. วิธีการดำเนินงานและอุปกรณ์การทดลอง

### 2.1 วัสดุและวิธีการทดลอง

ชิ้นงานเชื่อมประกอบด้วยท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ความหนา 1.4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS G3445 และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC ความหนา 1.2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS G3141 มีส่วนประกอบทางเคมี และมีคุณสมบัติทางกล ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC (wt%)

| สัญลักษณ์/วัสดุ | ท่อเหล็กคาร์บอน<br>STKM 13A | เหล็กกล้าคาร์บอนรีด<br>เย็น SPCC |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| C               | สูงสุด 0.25                 | สูงสุด 0.12                      |
| Mn              | 0.30-0.90                   | สูงสุด 0.50                      |
| P               | สูงสุด 0.04                 | สูงสุด 0.04                      |
| S               | สูงสุด 0.04                 | สูงสุด 0.04                      |
| Si              | สูงสุด 0.35                 | -                                |

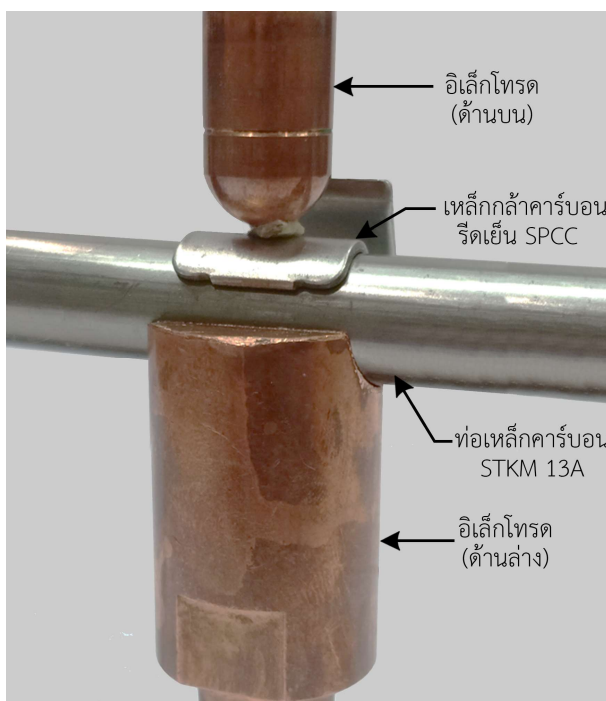
ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของวัสดุท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC

| สมบัติทางกล            | ท่อเหล็กคาร์บอน<br>STKM 13A | เหล็กกล้าคาร์บอนรีด<br>เย็น SPCC |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Tensile Strength (MPa) | ต่ำสุด 370                  | ต่ำสุด 270                       |
| Yield Point (MPa)      | ต่ำสุด 215                  | สูงสุด 205                       |
| Elongation (%)         | ต่ำสุด 30                   | ต่ำสุด 37                        |

ทำการเชื่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด PANASONIC รุ่น YR500-CM2 มีพิกัดกำลัง 50 กิโลวัตต์แอมแปร์ (kVA), 50 Hz ผู้วิจัยทำการปรับตั้งค่าปัจจัยการเชื่อมโดยกำหนดเป็นค่าคงที่ตามตารางที่ 3 ซึ่งอ้างอิงจากคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด ทำการจัดเตรียมชิ้นงาน อุปกรณ์ และองค์ประกอบของการเชื่อมเสมือนการผลิตจริงในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ตามรูปที่ 1 โดยก่อนการเชื่อมชิ้นงานทำการเช็ดทำความสะอาดผิวชิ้นทดสอบด้วยเมทานอล (Methanol)

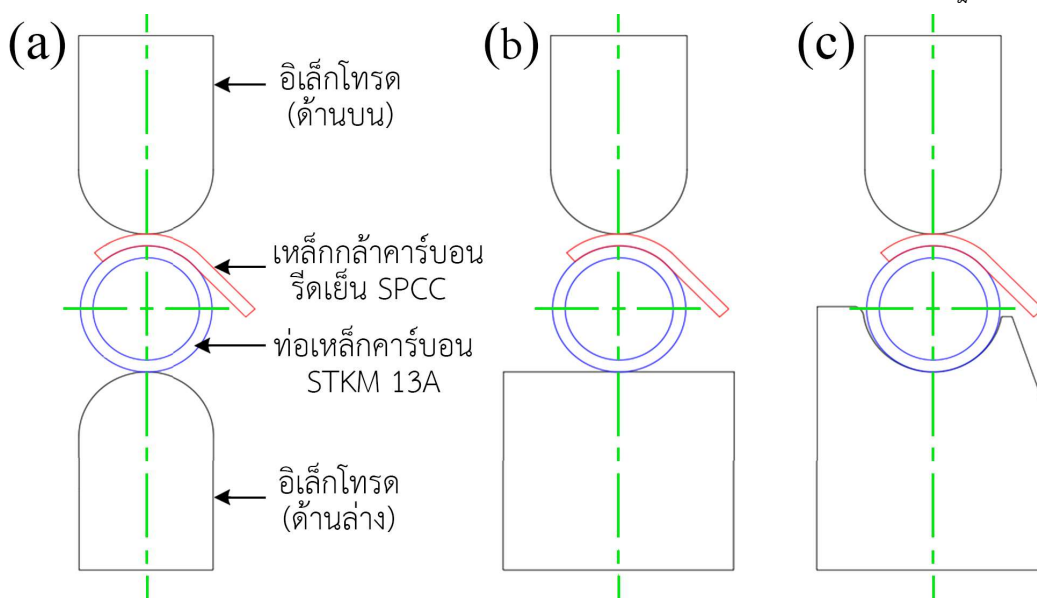
### ตารางที่ 3 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

| ปัจจัยการเชื่อม                                | ค่าปัจจัย | หน่วย           |
|------------------------------------------------|-----------|-----------------|
| แรงกดอิเล็กโทรด                                | 1.0       | กิโลนิวตัน (kN) |
| กระแสไฟฟ้าเชื่อม                               | 10,000    | แอมแปร์ (A)     |
| เวลาเชื่อม                                     | 15        | ไซเคิล (Cycle)  |
| หมายเหตุ: 1 ไซเคิล (Cycle) เท่ากับ 0.02 วินาที |           |                 |



รูปที่ 1 การวางตำแหน่งชิ้นงานในการเชื่อม

โดยในการศึกษานี้ได้ทำการเลือกใช้อิเล็กโทรดด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 13 มิลลิเมตร โดยมีรูปร่างด้านปลายเป็นลักษณะแบบโดม (DOME) ที่มีขนาดรัศมี 6.5 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุที่มีส่วนผสมของ ทองแดง โคโรเนียม และเซอร์โคเนียม (CuCrZr) ส่วนอิเล็กโทรดด้านล่าง 3 รูปแบบทำจากวัสดุ CuCrZr เช่นเดียวกัน โดยรูปแบบที่ 1 เป็นลักษณะ DOME รัศมี 6.5 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 2 (a) รูปแบบที่ 2 เป็นชนิดแบนเรียบเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 22 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 2 (b) และรูปแบบที่ 3 เป็นชนิดออกแบบพิเศษ โดยให้มีส่วนโค้งของอิเล็กโทรดเป็นพื้นที่รองรับท่อขณะเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 22 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 (c) ซึ่งเป็นลักษณะการกดของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเชื่อม



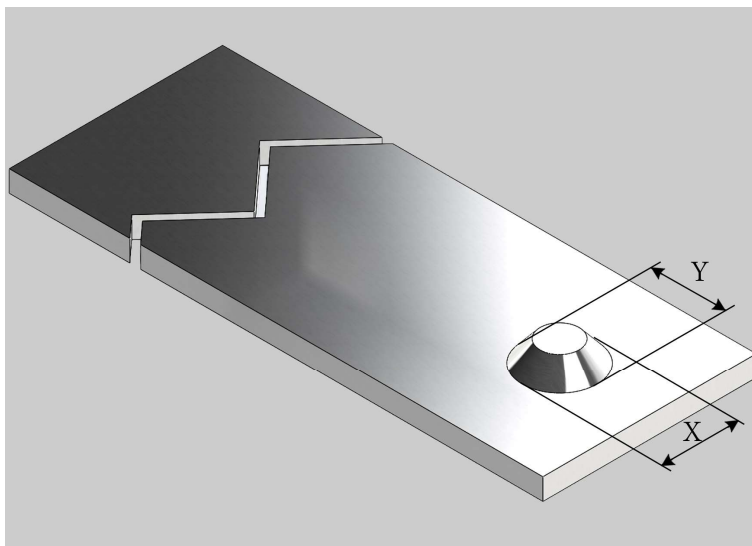
รูปที่ 2 ลักษณะการกดของอิเล็กโทรดกับชิ้นงานเชื่อม (a): แบบที่ 1 (b): แบบที่ 2 และ (c): แบบที่ 3

## 2.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม

ลักษณะทางกายภาพ (Appearance) ของรอยเชื่อมถูกตรวจด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเพื่อตรวจหาจุดบกพร่องของรอยเชื่อมที่อาจเกิดขึ้นด้วยสายตา เป็นการตรวจคุณภาพรอยเชื่อมเบื้องต้นว่า รอยเชื่อมมีจุดบกพร่องหรือมีคุณภาพที่ดี เช่น รอยเชื่อมจะต้องมีความเรียบปราศจากการแตกร้าว หลุม โพลง ไม่มีร่องรอยของเศษโลหะที่เกิดจากการแตกกระจายของน้ำโลหะ [6] ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการตรวจสอบบริเวณรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็ก SPCC และผิวด้านล่างของท่อเหล็ก เนื่องจากตำแหน่งการกดของอิเล็กโทรดด้านล่างทั้ง 3 รูปแบบมีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2

## 2.3 การตรวจสอบขนาดของรอยเชื่อม

รอยเชื่อมจะถูกทดสอบแบบทำลายโดยการตอกส่วหรือลิ้มเข้าไปในตะเข็บระหว่างจุดเชื่อมสองจุด (Chisel test) โดยอ้างอิงตามมาตรฐานและข้อกำหนดของลูกค้า โดยส่วหรือลิ้มจะทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุที่ใช้เชื่อมบริเวณรอบๆ แล้วทำการวัดขนาดของรอยเชื่อม การตอกส่วหรือลิ้มเข้าไปในตะเข็บระหว่างจุดเชื่อมยังเป็นการทดสอบว่าชิ้นงานเชื่อมมีความแข็งแรงหรือไม่ สำหรับขนาดของรอยเชื่อมจะคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดรอยเชื่อมตามแนวแกน X และ Y หรือ  $(X+Y)/2$  ตามลักษณะการฉีกของรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 3 การตรวจสอบขนาดรอยเชื่อมในงานวิจัยนี้ใช้กล้อง Macro Scope รุ่น SK-Measure กำลังขยาย 30 เท่าโดยวางชิ้นงานให้อยู่ตรงกลางบริเวณที่แสงผ่านและให้ลำกล้องเลื่อนมาอยู่ใกล้ชิ้นงานมากที่สุดและทำการถ่ายภาพ แล้ววัดขนาดรอยเชื่อมโดยใช้เครื่องมือวัดที่อยู่ในโปรแกรมสำเร็จรูป SK-Measure

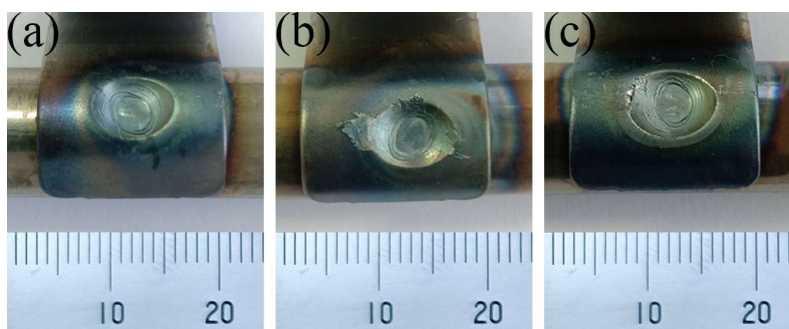


รูปที่ 3 ลักษณะการฉีกของรอยเชื่อม

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

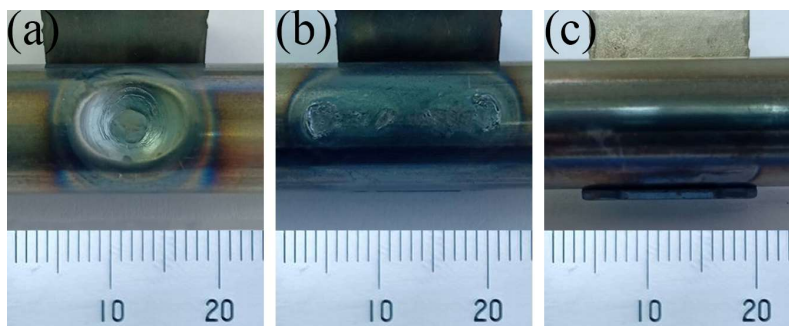
#### 3.1 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม

จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจจะเห็นว่า รอยเชื่อมบนแผ่นเหล็ก SPCC มีรูปร่างคล้ายกัน โดยปรากฏรอยกดลึกบริเวณผิวบนของแผ่นงานเชื่อมตามรูปที่ 4 (a), (b) และ (c) จะสังเกตได้ว่าจะปรากฏร่องรอยการแตกของน้ำโลหะ (Expulsion) แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่มีค่าสูงบริเวณจุดเชื่อม [7] การใช้อิเล็กโทรดแบบที่ 2 ตามรูปที่ 4 (b) จะเกิดมากที่สุด การใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 2 จะปรากฏร่องรอยการอาร์กบนผิวท่อตลอดทั้งแนวตามพื้นที่ของอิเล็กโทรดด้านล่าง ตามรูปที่ 5 (b) ส่วนการใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 3 ไม่พบร่องรอยการอาร์ก ดังนั้นรูปร่างและขนาดของอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับการเชื่อมความต้านทานแบบจุดบนท่อเหล็กมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง จำเป็นต้องทำการออกแบบอิเล็กโทรดให้มีความสัมพันธ์กับท่อเหล็กดังกล่าว



รูปที่ 4 รอยเชื่อมบนแผ่นเหล็ก SPCC จากการใช้อิเล็กโทรด (a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 และ (c) แบบที่ 3

สำหรับบริเวณผิวด้านล่างของท่อเหล็กมีรอยการอาร์ก เนื่องจากรูปร่างของอิเล็กโทรดที่ใช้มีความแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 1 ปรากฏระยะการกดลึกอย่างชัดเจนตามรูปที่ 5 (a)



รูปที่ 5 รอยเชื่อมผิวด้านล่างของท่อเหล็ก จากการใช้อิเล็กโทรด (a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 และ (c) แบบที่ 3

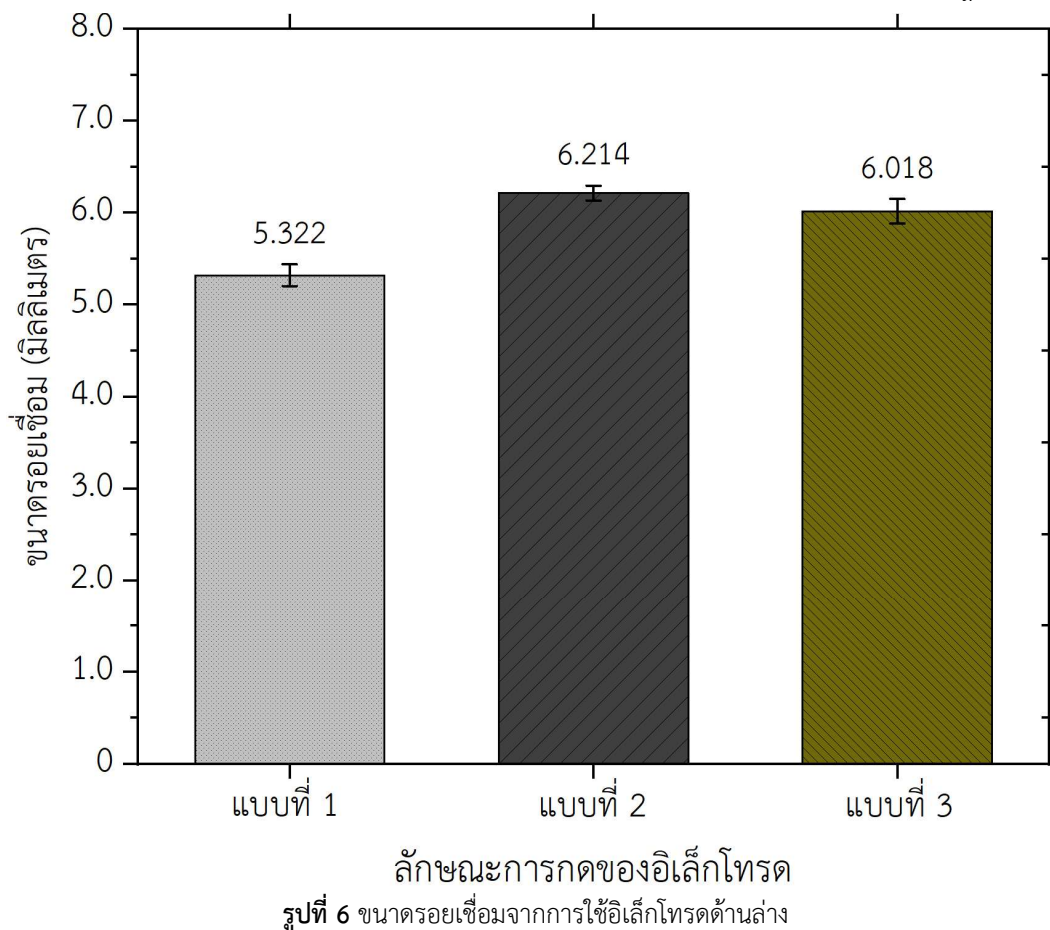
### 3.2 ขนาดของรอยเชื่อม

ขนาดของรอยเชื่อมมีความสำคัญต่อความแข็งแรงรอยเชื่อมโดยจะทำให้ชิ้นงานเชื่อมมีสมบัติทางกลที่ดีสามารถต้านทานแรงที่มากระทำโดยไม่เกิดการเสียหายขณะใช้งาน [8] โดยขนาดของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z3140 ระดับความเข้มงวดคลาส C ของแผ่นงานเชื่อมความหนา 1.2 มิลลิเมตร ขนาดรอยเชื่อมต้องมีค่ามากกว่า 3.8 มิลลิเมตร โดยขนาดของรอยเชื่อมจากการใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 แสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 6 จากผลการทดลองแสดงให้เห็น รอยเชื่อมมีขนาดเล็กที่สุดเกิดจากการใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 1 รองลงมาคือ แบบที่ 3 และแบบที่ 2 ตามลำดับ การใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 2 จะมีขนาดรอยเชื่อมใหญ่ที่สุด เนื่องจากอิเล็กโทรดดังกล่าวมีพื้นที่สัมผัสกับท่อเหล็กมากที่สุดซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นจุดที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขณะเกิดวัฏจักรการเชื่อมการเกิดความร้อนจะเริ่มจากจุดสัมผัสของอิเล็กโทรดแล้วขยายออกเป็นพื้นที่ที่ได้รับความร้อนระหว่างวัสดุ เมื่อความร้อนในระบบมีค่าสูงขึ้นโดยเฉพาะบริเวณตรงกลางของอิเล็กโทรดที่เป็นจุดสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะและประสานให้ติดกันด้วยแรงดันจากอิเล็กโทรดทั้งสองข้างทำให้เกิดรอยเชื่อม ดังนั้นพื้นที่การกดหรือบริเวณจุดสัมผัสที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ดี และเกิดความร้อนในระบบที่สูงเช่นกัน [9] หากพิจารณาขนาดของรอยเชื่อมร่วมกับลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมแล้ว การใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 3 จะได้คุณภาพรอยเชื่อมที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4 ขนาดรอยเชื่อมจากการใช้อิเล็กโทรดด้านล่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

| ชิ้นงานทดลอง        | แบบที่ 1 | แบบที่ 2 | แบบที่ 3 |
|---------------------|----------|----------|----------|
| 1                   | 5.360    | 6.200    | 5.870    |
| 2                   | 5.420    | 6.170    | 6.260    |
| 3                   | 5.090    | 6.360    | 6.040    |
| 4                   | 5.390    | 6.120    | 5.940    |
| 5                   | 5.350    | 6.220    | 5.980    |
| ค่าเฉลี่ย           | 5.322    | 6.214    | 6.018    |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.119    | 0.080    | 0.133    |





#### 4. สรุป

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยขนาดของรอยเชื่อมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน JIS Z3140 ผิวท่อด้านล่างไม่พบร่องรอยการอาร์กที่อาจเป็นจุดบกพร่องจากการเชื่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้อิเล็กโทรดด้านล่างแบบที่ 3 ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับท่อเหล็กคาร์บอน STKM 13A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 12.7 มิลลิเมตร ความหนา 1.4 มิลลิเมตร และเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC ความหนา 1.2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด PANASONIC รุ่น YR500-CM2 พิกัดกำลัง 50 kVA, 50 Hz

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสรีจสมบุรณ์ ต้องขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่ได้อนุญาตให้คณะวิจัยเข้าศึกษาวิจัย ให้ข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าต่อไป ขอขอบคุณพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งขอขอบพระคุณ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตบูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการศึกษานี้



## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdulkarim A., Muhammed E. and Bilge D., “RSW Junctions of Advanced Automotive Sheet Steel by Using Different Electrode Pressures”, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 8, no. 5, pp. 3492-3495, 2018.
- [2] Vivek D. Kalyankar, and Gautam P. Chudasama, “Influence of electrode tip diameter on metallurgical and mechanical aspects of spot welded duplex stainless steel”, *High Temperature Materials and Processes*, vol. 39, pp. 317–327, 2020.
- [3] Sakchai Ch., Paiboon Y. and Kittipong K., “Effect of resistance spot welding current on lap joints properties between aluminum alloy and zinc-coated steel”, *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 28, no. 1, pp. 37–46, 2017. (In Thai)
- [4] H. G. Yang, S. J. Hu, Y. S. Zhang, Y. B. Li and X. M. Lai, “Experimental study of single sided sheet to tube resistance spot welding”, vol. 6, pp. 530–535, 2007.
- [5] M. Najuch, S. Jüttner and D. Schmicker, “Simulative and experimental investigations on the influence of force during single-sided resistance brazing on sheet metal tube connections as an alternative to single-sided resistance spot welding”, *Journal of Advanced Joining Processes*, vol. 2, no. 100031, 2020.
- [6] Teerawut Kh and Kannachai K., “Resistance spot welding of SUS316L austenitic/SUS425 ferritic stainless steels: weldment characteristics, mechanical properties, phase transformation and solidification”, *Materials*, vol. 9, no. 6, 2019.
- [7] Hayat F., “The effects of the welding current on heat input, nugget geometry, and the mechanical and fractural properties of resistance spot welding on Mg/Al dissimilar materials”, *Materials & Design*, vol. 32, no. 4, pp. 2476–2484, 2011.
- [8] Teerawut Kh., Thiti M., Pannawit P. and Sathaphon S., “Selection of upper electrode tips for the resistance projection welding of M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet”, *The journal of Manufacturing and Management Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 78-85. 2022. (In Thai)
- [9] W. Mazur., A. Kyriakopoulos, N. Bott and D. West, “Use of modified electrode caps for surface quality welds in resistance spot welding”, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 22, pp. 60-73, 2016.