

**การเลือกใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนของการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน
สำหรับท่อน M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร**
**Selection of upper electrode tips for the resistance projection welding of
M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet**

ธีรวุฒิ เขื่อนแก้ว ฐิติ หมอรักษา* ปณณวิชัย พรพัฒนานันต์ และสถาพร ศิริแพทย์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอเขาชะเมา จันทบุรี 22210
Teerawut Khuenkaew, Thiti Mhoraksa*, Pannawit Phonwatthanaanan, Sathaphon Siriphaet
Department of Industrial Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology,
Chanthaburi campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Khao Kitchakut, Chanthaburi, 22210

*Corresponding author Email: thiti_mh@rmutto.ac.th

(Received: June 22, 2022; Accepted: June 26, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปร่างของหัวอิเล็กโทรดด้านบนในการเชื่อมความต้านทานแบบป้อนสำหรับท่อน M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบป้อน กระแสสลับค่าพิกัดกำลัง 50 กิโลวัตต์แอมแปร์ 50 เฮิร์ต คุณภาพของรอยเชื่อมผ่านการตรวจสอบโดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ และค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม ผลการทดลองได้อธิบายลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมทั้งบนพื้นผิวด้านบนของท่อน และบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ส่วนค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมมีผลการทดลองที่ต่างกันเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมต่างกัน การใช้หัวอิเล็กโทรดแบบที่ 3 ถูกเลือกเพื่อใช้ในการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน เนื่องจากทำให้รอยเชื่อมเกิดลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมที่ดี ให้ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้า

คำสำคัญ: กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบป้อน รูปร่างหัวอิเล็กโทรด ค่าแรงกดสูงสุด

Abstract

The objective of this research is to select the geometry of the upper electrode tip used in the resistance projection welding (RJW) of weldment between M12 T-shape weld nut and SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet. The projection welding was performed using a 50 kVA AC device and a 50 Hz RJW machine, while the quality of the weld was assessed by considering the weldment appearance and maximum compression force. The results of the study explained the weldment appearance of both the M12 T-shape weld nut and the surface of the SGHC Hot-dip zinc-coated steel sheet and the maximum compression force for all welds with the various different heat inputs. The electrode geometry type 3 achieved acceptable weld quality and the

maximum compression force is able to achieve the desired quality requirements in the projection welding process.

Keywords: Resistance projection welding, Electrode geometry, Maximum compression force

1. บทนำ

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุม (Resistance projection welding) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมากในการประสานโบลท์หรือทำให้ติดกับแผ่นงาน เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีความรวดเร็ว แม่นยำ และสามารถประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์งานเชื่อมอัตโนมัติได้ ลักษณะของการเชื่อมความต้านทานแบบปุมจะประกอบด้วยชิ้นงานที่มีปุมเล็ก ๆ (Projection) 3 ถึง 4 ปุม โดยปุมนี้จะเป็นจุดสัมผัสที่จะทำให้เกิดความร้อน และหลอมละลายให้ติดกันกับแผ่นงานเชื่อมด้วยแรงกดจากหัวอิเล็กโทรด [1] การเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับนิตแต่ละขนาดกับแผ่นงานเชื่อมแต่ละชนิดต้องมีการปรับตั้งปัจจัยการเชื่อมให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้ชิ้นงานหลังการเชื่อมมีสมบัติทางกลที่สามารถที่ต้านทานแรงที่มากกระทำโดยไม่เกิดการเสียหายระหว่างการประกอบในสายการผลิตรถยนต์ [2]

จากการศึกษาวรรณกรรมทั้งภายในและนอกประเทศพบว่า มีนักวิจัยหลาย ๆ ท่านทำการศึกษาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบปุม เช่น โยธิน จันทรทอง และกรณชัย กัลยาศิริ [3] ได้สรุปผลการศึกษาเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับการเชื่อมเนื้อขนาด M8 กับเหล็กแผ่นรีดร้อนเกรด SPHC270 ความหนา 2.9 มิลลิเมตร โดยค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแรงกดหัวอิเล็กโทรดเท่ากับ 2.93 kN กระแสไฟฟ้าเชื่อมเท่ากับ 10.5 kA และเวลาในการเชื่อมเท่ากับ 13 Cycles ให้ค่าแรงบิดสูงสุดเฉลี่ย 134.2 N.m Zygmunt Mikno และคณะ [4] ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของรอยเชื่อมจากการเชื่อมความต้านทานแบบปุมของเหล็ก DX53 ความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแรงกด และการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดที่ควบคุมด้วยระบบนิวเมติก(classical) และการควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดด้วยระบบหวั้ขับไฟฟ้า (Electric actuator) ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การควบคุมแรงกดและการเคลื่อนที่ของหัวอิเล็กโทรดด้วยระบบหวั้ขับไฟฟ้าทำให้บริเวณผลกระทบจากความร้อน (Heat affect zone) มีขนาดเล็ก คุณภาพรอยเชื่อมดีกว่าการควบคุมด้วยระบบนิวเมติก

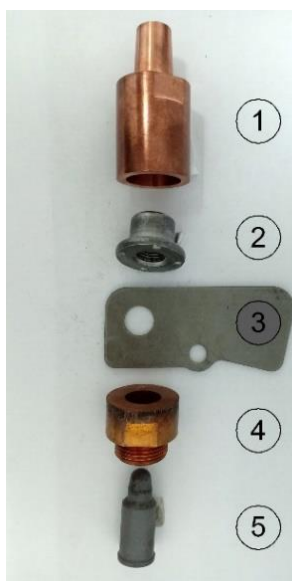
จากการศึกษาการเชื่อมความต้านทานแบบปุม นักวิจัยมุ่งเน้นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยการเชื่อมได้แก่ แรงกด หัวอิเล็กโทรด กระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อม แต่การที่จะได้มาซึ่งปัจจัยที่เหมาะสมแท้จริงแล้วยังมีปัจจัยการเชื่อมอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม โดยเฉพาะลักษณะรูปร่างของหัวอิเล็กโทรด (Electrode geometry) ซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกใช้ตามคำแนะนำจากคู่มือการใช้งานจากผู้ผลิตเครื่องเชื่อม โดยการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความหนาของชิ้นงานเชื่อม สารเคลือบผิวของวัสดุที่ใช้ในการเชื่อม [5] ดังนั้นเพื่อให้ได้คุณภาพของรอยเชื่อมที่ดีจึงมีการศึกษาเรื่องผลกระทบที่เกิดจากลักษณะรูปร่างของหัวอิเล็กโทรด [6]

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ทำร่วมกับโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกรูปร่างของหัวอิเล็กโทรดด้านบนในการเชื่อมความต้านทานแบบปุมสำหรับนิต M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน 3 รูปแบบ จากการเชื่อมด้วยปัจจัยการเชื่อมความต้านทานแบบปุมแบบคงที่ ผลการทดลองที่นำมาพิจารณาได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังผ่านการเชื่อม และค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Compression Force)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและวิธีการทดลอง

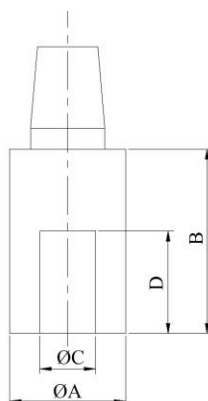
ชิ้นงานเชื่อมประกอบด้วยท่อน้ำ M12 ตามมาตรฐาน JIS B 1196 กับเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS G 3302 ทำการเชื่อมโดยใช้เครื่องเชื่อมความดันแบบปั๊ม PANASONIC รุ่น YR500-CM2 มีพิกัดกำลัง 50 kVA, 50 Hz ผู้วิจัยทำการปรับตั้งค่าปัจจัยการเชื่อม เตรียมชิ้นงาน อุปกรณ์ และองค์ประกอบของการเชื่อม ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของการเชื่อม

(1) หัวอิเล็กโทรดด้านบน (2) ท่อน้ำ M12 (3) เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC (4) หัวอิเล็กโทรดด้านล่าง (5) ไกด์พิน

โดยใช้หัวอิเล็กโทรดด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 30 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุ CuCrZr และมีไกด์พินทำจากวัสดุ KCF เป็นตัวประคองท่อน้ำ M12 ส่วนหัวอิเล็กโทรดด้านบน 3 รูปแบบทำจากวัสดุ CuCrZr มีรูปร่าง มีขนาดตามรูปที่ 2 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 2 รูปร่างหัวอิเล็กโทรดด้านบน

ตารางที่ 1 ขนาดของหัวอิเล็กโทรดด้านบน

ขนาด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
เส้นผ่านศูนย์กลาง A	25	25	30
ระยะ B	45	45	45
เส้นผ่านศูนย์กลาง C	ไม่มี	12	23
ระยะ D	ไม่มี	25	25

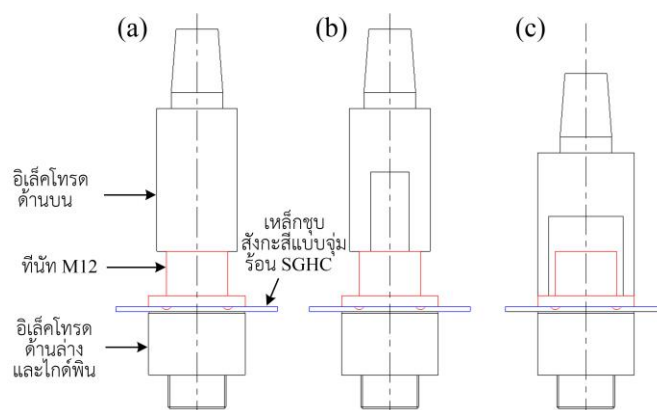
จากนั้นทำการเชื่อมชิ้นงานจำนวน 15 ชิ้นงาน หลังการเชื่อมเสร็จจะนำไปตรวจสอบทางกายภาพ และทำการทดสอบค่าแรงกดสูงสุด แล้วบันทึกผลการทดลอง สำหรับระดับปัจจัยการเชื่อมได้กำหนดเป็นค่าคงที่ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

ปัจจัยการเชื่อม	ค่าปัจจัย	หน่วย
แรงกดหัวอิเล็กโทรด	7.0	กิโลนิวตัน
กระแสไฟฟ้าเชื่อม	10,800	แอมแปร์
เวลาเชื่อม	15	ไซเคิล

2.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม

คุณลักษณะของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปั๊มที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือลักษณะทางกายภาพ (Appearance) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นว่ารอยเชื่อมมีจุดบกพร่องหรือมีคุณภาพที่ดี [7] ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการพิจารณาสภาพภายนอกที่เกิดจากการเชื่อมบริเวณที่นัท และรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC เนื่องจากตำแหน่งการกดของหัวอิเล็กโทรดด้านบนทั้ง 3 รูปแบบมีความแตกต่างกันตามรูปที่ 3 จากรูปจะเห็นว่า หัวอิเล็กโทรดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีตำแหน่งการกดบริเวณผิวด้านบนของที่นัท ส่วนแบบที่ 3 มีตำแหน่งการกดบริเวณผิวล่างของที่นัท

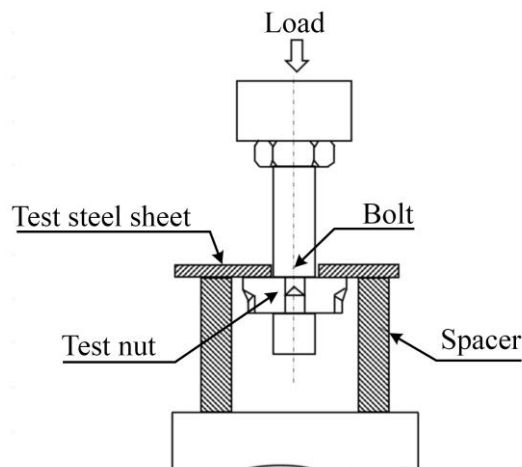


รูปที่ 3 ลักษณะการกดหัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

2.3 การทดสอบเพื่อหาค่าแรงกดสูงสุด

การทดสอบเพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดจะต้องมีโบลท์ขันเกลียวผ่านทึนท โดยมีอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 4 การทดสอบจะใช้แรงกดที่หัวของโบลท์ให้ตรงกับแกนกลางรู หลังจากนั้นทำการวัดแรงกดที่ทำให้ทึนทหลุดออกจากแผ่นเหล็ก

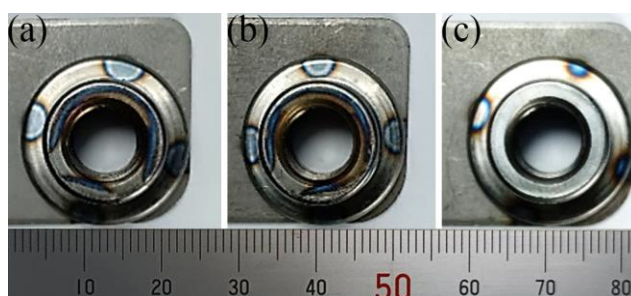


รูปที่ 4 การทดสอบหาค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อม

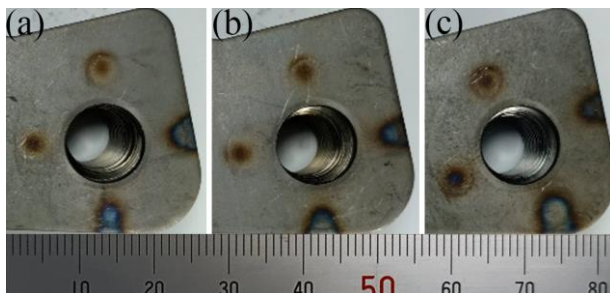
จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมด้วยสายตาจะเห็นได้ว่า บนพื้นผิวบริเวณจุดสัมผัสของหัวอิเล็กโทรดกับทึนท มีร่องรอยการอาร์คของกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่ส่งผ่านทึนทไปสู่ปุ่มด้านล่างตามรูปที่ 5 (a) และ (b) ซึ่งเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามลำดับ ส่วนการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 3 ไม่ปรากฏร่องรอยการอาร์คตามรูปที่ 5 (c) ลักษณะรอยอาร์คที่เกิดขึ้นรูปที่ 5 (a) และ (b) เป็นจุดบกพร่องจากการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มหากใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมที่สูงจนทำให้ยอดเกลียวของทึนทเกิดการเสียรูปหรือเกิดการระเบิดของน้ำโลหะ (Expulsion) บริเวณรอยเชื่อมเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมมากเกินไป [8] แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบโดยใช้ Thread Plug Gauge M12 ขันผ่านเกลียวของทึนท พบว่าชิ้นงานทดสอบทั้งหมดไม่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของทึนทจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสี แบบจุ่มร้อน SGHC พบว่ารอยเชื่อมบริเวณปุ่ม (Projection) จะมีความเข้มสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนที่แตกต่างกันโดยใช้แบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะมีความเข้มสีของรอยเชื่อมใกล้เคียงกัน ดังแสดงตามรูปที่ 6 (a) และ (b) ส่วนการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 3 มีความเข้มสีของรอยเชื่อมสูงที่สุดดังแสดงตามรูปที่ 6 (c)



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของรอยเชื่อมบนแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC จากการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบน

(a) แบบที่ 1 (b) แบบที่ 2 (c) แบบที่ 3

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มหากใช้ปัจจัยการเชื่อมกระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันจะทำให้สีของรอยเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [9] เมื่อปัจจัยการเชื่อมอยู่ในระดับที่สูง สีของรอยเชื่อมจะมีสีเหลืองเข้มเนื่องจากเกิดค่าความร้อนสูงที่กระจายตัวภายในเนื้อวัสดุจนเกิดการหลอมละลายเนื้อโลหะบริเวณรอยเชื่อม ค่าความร้อนที่ต้องการในการเชื่อมจะแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสไฟฟ้าเชื่อม เวลาเชื่อม และผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้าตามสมการที่ 1 [10]

$$H = I^2 \times R_T \times t \quad (1)$$

เมื่อ H คือ ค่าความร้อนที่ได้ (จูล)
I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเชื่อม (แอมแปร์)
 R_T คือ ผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)
t คือ เวลาเชื่อม (วินาที)

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการคงที่ระดับของปัจจัยกระแสไฟฟ้าเชื่อม และเวลาเชื่อมจากสมการที่ 1 ค่าความร้อนจะขึ้นอยู่กับผลรวมค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อมีการเชื่อมเกิดขึ้นในระบบกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะไหลผ่านหัวอิเล็กโทรดด้านบน ผ่านที่หนีต ผ่านแผ่นงานเชื่อม และผ่านหัวอิเล็กโทรดด้านล่างจนเป็นวัฏจักรของการเชื่อม ดังนั้นการใช้หัวอิเล็กโทรดด้านบนแบบที่ 1 และ 2 ผลรวมของค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงค่าสูงกว่าแบบที่ 3 ดังนั้นค่าความร้อนที่ต้องการให้เกิดการหลอมละลายของโลหะจะมีค่าสูงกว่าแบบที่ 3 ด้วยเช่นกัน

3.2 ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อม

เพื่อให้สอดคล้องกับการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ ค่าแรงกดสูงสุดภายใต้มาตรฐาน TSB 1503G ที่นั้ตต้องต้านทานแรงกดสูงสุดมากกว่า 5,685 นิวตัน การทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมถูกกำหนดในข้อตกลงเรื่องการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน หัวข้อการทดสอบแบบทำลาย การทดสอบจะใช้แรงกดกระทำในทิศทางตั้งฉากกับที่นั้ตแล้วทำการกดจนที่นั้ตหลุดออกจากแผ่นงานเชื่อม ทำการบันทึกค่าแรงกดสูงสุด งานวิจัยนี้ทำการเชื่อมชิ้นงาน จำนวน 15 ชิ้นงานทดสอบ โดยมีผลการทดลองจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนทั้ง 3 แบบ แบบละ 5 ชิ้นงานทดลอง สำหรับผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดเรียงลำดับจากน้อยไปหามากเกิดจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 2 แบบที่ 1 และแบบที่ 3 โดยมีค่าโดยเฉลี่ย 4,873 นิวตัน 5,595 นิวตัน และ 8,222 นิวตันตามลำดับ และมีเพียงแค่การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่ลูกค้ากำหนด

ตารางที่ 3 ค่าแรงกดสูงสุดของรอยเชื่อมจากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบต่าง ๆ (หน่วย : นิวตัน)

ชิ้นงานทดลอง	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1	5,660	4,894	7,915
2	5,548	4,957	8,253
3	5,677	4,894	8,568
4	5,578	4,832	8,126
5	5,512	4,788	8,248
ค่าเฉลี่ย	5,595	4,873	8,222

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากค่าความร้อนในการเชื่อมมีค่าไม่เท่ากัน จะเห็นได้จากการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 1 แบบที่ 2 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมมีค่าต่ำ เนื่องจากระบบมีความต้านทานไฟฟ้ารวมที่มากจึงทำให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมไหลผ่านที่นั้ตจากจุดบนสุดถึงจุดที่ต่ำที่สุด(บริเวณปุ่ม) ได้น้อย และมีปริมาณน้อย ส่วนการใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมมีค่าสูงกว่า เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้ารวมมีค่าน้อยจึงทำให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมไหลผ่านได้ดี หากเปรียบเทียบการไหลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมผ่านตัวของที่นั้ต การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 การไหลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะสูงกว่าแบบอื่น เนื่องจากการตำแหน่งการกดของอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 กับที่นั้ตจะกดบริเวณผิวด้านล่าง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าเชื่อมจะไม่ไหลผ่านที่นั้ตทั้งชิ้นงาน แต่จะเป็นการไหลไปสู่บริเวณปุ่มของที่นั้ตโดยตรง จึงทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าที่สูง หากช่วงเวลาของวัฏจักรการเชื่อมมีความเหมาะสมจะทำให้เกิดรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ รอยเชื่อมมีความแข็งแรง

4. สรุป

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ไม่ทำให้เกิดร่องรอยจากการอาร์คที่อาจเป็นจุดบกพร่องจากการเชื่อม อีกทั้งชิ้นงานเชื่อมมีค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้หัวอิเล็กโตรดด้านบนแบบที่ 3 ในการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มสำหรับที่นั้ต M12 กับ เหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน SGHC ความหนา 1.6 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบปุ่ม PANASONIC รุ่น YR500-CM2 พิกัดกำลัง 50 kVA, 50 Hz

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสร็จสมบูรณ์ ต้องขอขอบพระคุณบริษัทกรณิศศึกษา ที่ได้อนุญาตให้คณะวิจัยเข้าศึกษาวิจัย ให้ข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Wiangkaew and C. Laprangsirat, Steel Quick Reference, SE-ED Book Center, Bangkok, pp. 104-105, 2011. (In Thai)
- [2] F. Valdir, S. Danilo, F. Gilmar and R. Fernando, “Inspection of projection welded automotive nuts through B-scan ultrasonic acoustic imaging”, *18th World Conference on Nondestructive Testing*, Durban, South Africa, 2012, pp. 1-10.
- [3] Y. Janthong and K. Kanlayasiri, “Optimization on Resistance Projection Welding Variables for M8 Nuts and SPHC270 Hot-Rolled Mild Steel Plates Welding”, *The 39th Conference of Industrial Engineering Network 2013*, Chonburi, Thailand, October 16-18, 2013. (In Thai)
- [4] Z. Mikno, M. Stepień and W.P. Grzesik, “Optimization of resistance welding by using electric servo actuator”, *Weld World*, Vol. 61, 2017, pp. 453-462.
- [5] O. Annette, AWS welding handbook welding processes part2, 9th ED. USA, American Welding Society. 2007.
- [6] Y. Li, Z. Wei, Y. Li, Q. Shen and Z. Lin, “Effects of cone angle of truncated electrode on heat and mass transfer in resistance spot welding”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, 2013, pp. 400–408.
- [7] T. Khuenkaew. “Resistance spot welding of SUS316L and SUS425 stainless steels”, Ph.D. dissertation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Industrial Engineering, 2019. (In Thai)
- [8] Y. Luo, W. Rui, X. Xie. and Y. Zhu, “Study on the nugget growth in single-phase AC resistance spot welding based on the calculation of dynamic resistance”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 229, 2016, pp. 492–500.
- [9] B. Kocabekir, R. Kaçar, S. Gündüz and F. Hayat, “An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weld ability of 316L austenitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 195, 2008, pp. 327–335.
- [10] M.H. Bina, M. Jamali, M. Shamanian and H. Sabet, “Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 75, 2014, pp. 1371–1379.