

การประชุมวิชาการทางวิชาวารกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9
2-3 พฤษภาคม 2554

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมต้านทานแบบจุดอ่อนมิเนียมและเหล็กกล้า
เคลือบสังกะสี

Feasibility Study of Resistance Spot Welding

Aluminum Alloy to Galvanized Steel

กิตติพงษ์ กิมพงศ์¹ สมชาย วนไพบูลย์²

^{1,2}ภาควิชาการรัฐศาสตร์ คณะวิชาการรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนบุรี อ.รัตนบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: kkimapong@gmail.com*

Kittipong Kimapong¹* Somchai Wonthaisong²

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Thanyaburi, Pathumthani, 12110

E-mail: kkimapong@gmail.com*

นกคัดย่อ

บทความนิมีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการทบทวนการประยุกต์ใช้การเชื่อมต้านทานแบบบุคคลในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้า ผลการศึกษาพบว่า การเชื่อมต้านทานแบบบุคคลสามารถใช้ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้าได้ แต่ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมต้องทำการพิจารณาต่อไป การก่อตัวของสารประกอบกบก์โลหะบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากความหนาและชนิดของสารประกอบกบก์โลหะส่งผลโดยตรงต่อกลางความแข็งแรงของรอยต่อ การวิจัยและพัฒนาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้า ควรมีการคำนึงถึงการต่อไปเพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานอุดสาหร่ายต่อไป

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบบุคคล, อุณหภูมิเนียม, เหล็กกล้า,

Abstract

This article aims to review an application of a resistance spot welding to produce a joint between aluminum alloy and steel. It was found that the resistance spot welding could produce the aluminum alloy and steel joint but the optimum welding process parameters of the materials couple should be further studied. The formation of an intermetallic compound on the joint interface should be carefully considered because this intermetallic compound affects directly the joint strength. The research and development for the optimum process parameters of aluminum alloy and steel joint should be further conducted.

Keywords: resistance spot welding, aluminum alloy, steel,

1. บทนำ

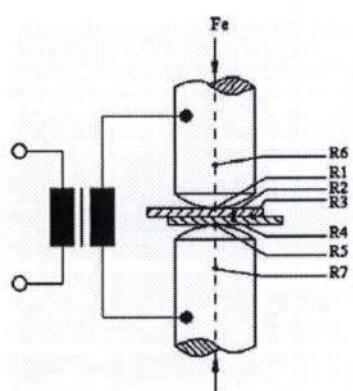
การเชื่อมด้านท่านแบบจุด (Resistance Spot Welding: RSW) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลายที่อาศัยความร้อนที่เกิดจากการต้านทานการไหลของกระแสผ่านพื้นที่รอยต่อในการหลอมวัสดุและกดให้ติดกันด้วยแรงดันจากอิเล็กโทรดทั้งสองข้างให้ติดกัน กระบวนการเชื่อมนี้เป็นวิธีการสำคัญที่ใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ดังเห็นได้จากรถยนต์หนึ่งคันที่มีปริมาณการต่ออยู่ด้วยการเชื่อมด้านท่านแบบจุดของชิ้นส่วนระหว่างวัสดุเดียวกัน วัสดุต่างชาตินิ หรือวัสดุที่มีความหนาแตกต่างกัน ในปริมาณมากกว่าหนึ่งพันจุด [1] หนึ่งในข้อดีของการเชื่อมด้านท่านแบบจุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมทิก คือ รอยเชื่อมของ การเชื่อมด้านท่านแบบจุดนั้นเกิดขึ้นด้านในของรอยต่อ ขณะที่รอยเชื่อมของการเชื่อมทิกเกิดขึ้นด้านนอก ลักษณะเช่นนี้ทำให้รอยเชื่อมของ การเชื่อมทิกนั้นมีความปั่นป่ายต่อการทดสอบแต่มากกว่า [2]

ขณะเดียวกันในมุมมองของอุตสาหกรรมการผลิตกระถินต์ในปัจจุบันที่มุ่งเน้นในการผลิตกระถินต์ที่มีการใช้น้ำมันอย่างประหยัด เพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมยานยนต์ได้พยายามคิดค้นให้มีวิธีการในการลดการใช้น้ำมันของรถถินต์ด้วยวิธีการต่างๆ หนึ่งในวิธีการที่มีการใช้งานในปัจจุบัน คือ การทำให้น้ำหนักโดยรวมของรถถินต์ลดลง ซึ่งทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อหน้าหนักสูง เช่น เหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (High strength low alloy: HSLA) วัสดุประกอบ (Composite materials) หรืออลูมิเนียมผสมเข้ามาแทนที่ชิ้นส่วนที่ผลิตจากเหล็กกล้าที่มีน้ำหนักสูงกว่า [3] วัสดุน้ำหนักเบาที่นิยมนำมาใช้งานเพิ่มขึ้นในการทดสอบเหล็กกล้า

ในปัจจุบัน คือ ออสูมิเนียม เนื่องจากอสูมิเนียมเป็นโลหะที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงและน้ำหนักสูงกว่าเหล็กประมาณ 2 เท่า [4] อย่างไรก็ตามในการเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอยต่อระหว่างเหล็กและอสูมิเนียมนั้นมีความยากลำบากในการเชื่อมเพื่อให้ได้รอยต่อที่มีประสิทธิภาพสูง และวัสดุบางตัวที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย คือ รอยต่อเกยราระหว่างเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD และอสูมิเนียม AA1100 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้งานมากในการผลิตตัวถังของรถยนต์นั่นไม่มีการรายงานไว้ ถังนี้หากมีการทำการทดสอบเพื่อเตรียมข้อมูลไว้ อาจทำให้เกิดประโยชน์สูงในอนาคตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยต่อไป

2. พื้นฐานการเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอย

การเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอย คือ การมิวิธีการประสานวัสดุที่ผิวน้ำสัมผัสของรอยต่อด้วยความร้อนที่เกิดจากความด้านการไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าร้อยต่อที่ถูกกดแผ่นด้วยแรงกดจากอิเล็กโทรด (F_e) ดังแสดงในรูปที่ 1 ผิวน้ำสัมผัสในพื้นที่ที่กระแสเข้ามีความร้อนเพิ่มขึ้นโดยความต่างศักย์ที่มีค่าต่ำและกระแสที่ค่าสูงในช่วงพลังสั่งสั่นๆ เพื่อที่ทำให้เกิดการหลอมละลายของโลหะเชื่อม เมื่อกระแสเดินทางผ่านตัวและแข็งตัว และปล่อยแรงกดออกเมื่อแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างสั้น



รูปที่ 1 การเกิดความด้านท่านในการเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอย [5]

ค่าความด้านท่านที่เกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมขึ้นงานดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยความด้านท่านหั้นหมุด 7 จุด ดังนี้

- ค่าความด้านท่าน R_1 คือ ความด้านท่านของผิวชั้นทดสอบด้านบน (Upper specimen resistance)
- ค่าความด้านท่าน R_2 คือ ความด้านท่านระหว่างผิวของชั้นทดสอบด้านบน (Upper specimen resistance) และผิวของอิเล็กโทรดด้านบน (Upper electrode contact resistance)
- ค่าความด้านท่าน R_3 คือ ความด้านท่านระหว่างผิวของชั้นทดสอบด้านบน (Upper specimen resistance) และผิวของชั้นทดสอบด้านล่าง (Lower specimen resistance)

- ค่าความด้านท่าน R_4 คือ ความด้านท่านของผิวชั้นทดสอบด้านล่าง (Lower specimen resistance)
- ค่าความด้านท่าน R_5 คือ ความด้านท่านระหว่างผิวของชั้นทดสอบด้านล่าง (Lower specimen resistance) และผิวของอิเล็กโทรดด้านล่าง (Lower electrode contact resistance)
- ค่าความด้านท่าน R_6 คือ ความด้านท่านของอิเล็กโทรดด้านบน (Upper electrode resistance)
- ค่าความด้านท่าน R_7 คือ ความด้านท่านของอิเล็กโทรดด้านล่าง (Lower electrode resistance)

Aslanlar [5] ได้สรุปค่าความด้านท่านโดยรวมของการเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอยว่าสามารถหาค่าได้ ตามสมการที่ 1 คือ

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (1)$$

เมื่อค่าความด้านท่านประกอบด้วยสองส่วน คือ ความด้านท่านของวัสดุ (R_1, R_2, R_3, R_7) และความด้านท่านที่ผิวน้ำสัมผัสรอยต่อชั้นงานกับอิเล็กโทรด (R_4, R_5) ความด้านท่านของวัสดุขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของชั้นงาน (R_1, R_2) และอิเล็กโทรด (R_3, R_7) ค่าต่างๆ เหล่านี้ไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะทำการเชื่อม ขณะเดียวกันค่าความด้านท่านที่จุดสัมผัสนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพของปลายอิเล็กโทรด ค่าความด้านท่านที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมเกิดขึ้นจากค่าความด้านท่าน R_3 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิดความร้อนสูงสุดในรอยต่อเกย ค่าความร้อนที่มีค่าสูงนี้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของของโลหะที่ใช้เชื่อม แรงกดกระแสและเวลาเชื่อม

นอกจากนี้หากพิจารณาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นแล้ว ค่าความด้านท่านโดยรวมขึ้นอยู่กับความต้านทานที่ผิวน้ำสัมผัสด้าน R_1, R_3 และ R_7 ที่อินแทกซ์เฟสระหว่างชั้นงาน การให้ความร้อนเพื่อสัมผัสร R และ R_3 ที่ถูกต้องต้องมีการซัดแซคค่าอุณหภูมิและรักษาอุณหภูมิของอิเล็กโทรดให้มีค่าต่ำ ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ได้ค่าความร้อนที่ถูกต้อง คือ อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติการนำความร้อนที่ดี มีผิวที่ละเอียดและสะอาดจากสิ่งปฏิกูล เช่น ครบท่านมัน หรือสารบี [5]

การเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอยนี้ นิยมในการนำไปใช้ในการเชื่อมประกอบโลหะแผ่นบาง เช่น โครงสร้างรถยกน้ำหนัก เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ สิ่งก่อสร้าง ชิ้นส่วนเครื่องบิน เป็นต้น ข้อดีของการเชื่อมด้านท่านแบบบุกรอยที่เห็นได้เด่นชัด คือ ความเร็วในการเชื่อมมีค่าสูง และมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตแบบอัตโนมัติ สามารถนำเข้าไปร่วมในการผลิตแบบอัตโนมัติในสายการผลิตรวมกับเครื่องจักรต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ทำให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทำซังผู้มีในการปฏิบัติการได้อย่างดีเยี่ยม [6]

3. ตัวแปรการเชื่อม

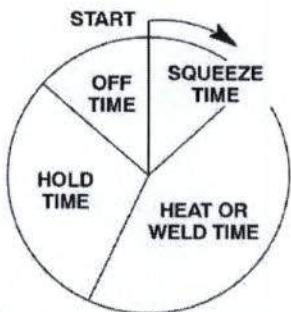
3.1 การเกิดความร้อน (Heat generation)

การประยุกต์ใช้กับของอิ่มตัวเมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำ ความด้านท่านไฟฟ้าที่ยังยังการไฟฟ้าผ่านของกระแสจะทำให้เกิดความ

ร้อน (H) ที่สัมพันธ์กับกระแสเชื่อม (I) และความด้านทาน (R) โดย เป็นไปตามสูตรพื้นฐาน [2] ดังนี้

$$H = I^2 R \quad (2)$$

3.2 เวลา (Time) [2]



รูปที่ 2 ร่องเวลาการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค [2]

การเชื่อมด้านทานแบบบุ๊คเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้น โดยทั่วไป กระแสที่ใช้ในการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค มีค่าที่ 60 ไซเคิล (Cycle) โดยที่ 60 ไซเคิล มีค่าเท่ากับ 1 วินาที เวลาในการเชื่อมด้านทาน แบบบุ๊คแสดงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยเวลาหลัก 4 ส่วน และ นิวัลวน คุณภาพส์ [7] ได้ได้ค่า niymam ต่างๆ ที่น่าสนใจดังนี้

- เวลากด (Squeeze time) คือ เวลาที่เริ่มต้นเข้ามาของสัญญาณ เชื่อมและกระแสเชื่อมในครั้งแรกเป็นเวลาที่อิเล็กโทรดสัมผัสกับชิ้นงานและมีแรงกดเพียงพอ ก่อนที่กระแสจะถูกปล่อยออกจากชิ้นงาน
- เวลาเชื่อม (Weld time) คือ เวลาที่กระแสเชื่อมถูกปล่อยออกจากชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม ในช่วงลักษณะการเชื่อมหนึ่งครั้ง
- เวลากดค้าง (Hold time) คือ ช่วงเวลาที่แรงกดจากหัวอิเล็กโทรด ที่ยังคงทำต่อชิ้นงานหลังจากการเชื่อมในช่วงเวลาท้ายสุดสิ้นสุด ลง ช่วงเวลาโน้นเป็นช่วงเวลาที่ปล่อยให้รอยเชื่อมมีเวลาแข็งตัว ที่มากเพียงพอที่จะสร้างความแข็งแรงขึ้นในรอยเชื่อมจนสามารถยกยับรับได้
- เวลาเย็นตัว (Off time) คือ ช่วงเวลาระหว่างเวลาที่หัวอิเล็กโทรด เสร็จสิ้นการทำงาน ณ ตำแหน่งที่ทำการเชื่อมและการเคลื่อนที่ไปทำการเชื่อมที่ตำแหน่งที่ต้องการต่อไป เป็นลักษณะการเชื่อม ซึ่งรอบการเชื่อมเดิม (กระแสเชื่อม และเวลาเชื่อมยังคงเดิม)

ด้วยเหตุนี้ เมื่อทำการพิจารณาค่าเวลาการเชื่อมเข้ามา เกี่ยวข้องแล้ว สมการการเกิดความร้อนสมการที่ 2 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้สมการการเกิดความร้อน (H) จากการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค [2] ที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า (I) ความด้านทาน (R) เวลาเชื่อม (t) และการสูญเสียความร้อน (K) ดังนี้

$$H = I^2 RTK \quad (3)$$

เวลาการเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค ถ้าเวลาในการเชื่อมยาวนานเกินไปแล้วอาจทำให้โลหะเชื่อมเกิดการหลอมละลายได้ และอาจส่งผลทำให้เกิดโครงสร้างภายในได้ นอกจากนั้น อาจทำให้เกิดการตึงເเอโลหะหลอมเหลวออกจากพื้นที่การเชื่อมซึ่งทำให้เกิดการลดพื้นที่หน้าตัดลงได้ เวลาการเชื่อมที่สั้นเกินไปนั้นทำให้การถ่ายเทความร้อน เป็นไปได้ล้าบากในโลหะเชื่อม ไม่เกิดการบิดเบี้ยว พื้นที่ผลกระทบความร้อนรอบๆ รอยนักเกิดมีขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตามสมการความร้อนที่แสดงในสมการที่ 3 ไม่นิยมนำมาใช้มากนัก เนื่องจากค่าสูญเสียความร้อนนั้นมีค่าที่สามารถวัดได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการประยุกต์ใช้สมการความร้อน (Q) ที่ก่อตัวในแนวเชื่อม [5,7-8] ที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า (I) ความด้านทาน (R) และเวลาเชื่อม (t) ดังต่อไปนี้

$$Q = I^2 Rt \quad (4)$$

3.3 แรงกด (Pressure)

จุดประสงค์ของการใช้แรงกดคือ การกดยืดชิ้นงานสองชิ้นเข้าด้วยกันในชั้นตอนเริ่มต้นการเชื่อมเพื่อกำหนดความด้านทานไฟฟ้าและการนำไฟฟ้าที่จุดที่ต้องการเชื่อม ไม่ได้มีหน้าที่ในการจับยืดชิ้นงานให้แน่นเข้าหากัน ด้วยเหตุนี้ในการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค ชิ้นงานต้องใช้เครื่องมืออื่นๆ เช่น อุปกรณ์จับยืด ในการจับยืดชิ้นงานให้แน่นและอยู่ในตำแหน่งการเชื่อมก่อนการกดของอิเล็กโทรดเสมอ

ค่าแรงกดที่มีค่ามากจะทำให้ความด้านทานที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเชื่อมนั้นมีค่าลดลง ที่จุดสัมผัสระหว่างปลายอิเล็กโทรดและผิวชิ้นงาน ค่าแรงกดที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการนำความร้อนจากโลหะเชื่อม ค่ากระแสไฟฟ้าสูงนั้นจึงเป็นต้องใช้ค่าแรงกดที่มีค่ามากขึ้นที่แรงกดน้อยต้องการค่ากระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อย ดังนั้นในการใช้งานเครื่องเชื่อมจึงควรมีการใช้งานอย่างระมัดระวัง

3.4 หัวอิเล็กโทรด (Electrode tip)

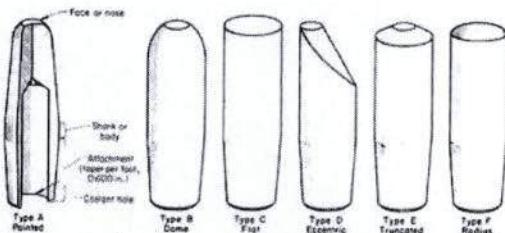
ทองแดง คือ โลหะที่นิยมนำมาทำเป็นอิเล็กโทรดการเชื่อมด้านทานแบบบุ๊ค จุดประสงค์หลักในการใช้อิเล็กโทรด คือ เพื่อเป็นตัวนำกระแสการเชื่อมสู่ชิ้นงาน บริเวณจุดที่มีแรงกดกระทำ เพื่อนำความร้อนออกจากผิวหน้าชิ้นงาน และเพื่อรักษาคุณลักษณะของความร้อนและกระแสไฟฟ้าการเชื่อมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมขณะทำการเชื่อม

ปลายอิเล็กโทรดทำจากทองแดงผสมหรือวัสดุอื่นๆ โดยสมาคมผู้ผลิตเครื่องเชื่อมด้านทาน (The Resistance Welders Manufacturing Association: RWMA) ได้แบ่งกลุ่มปลายอิเล็กโทรดออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- กลุ่ม A ทองแดงผสม (Copper based alloy) และมีการแบ่งกลุ่ม ย่อยโดยใช้เลขโรมัน I-V โดยกลุ่ม I นั้นเป็นกลุ่มที่มีส่วนผสมเคลือบกั่งกับทองแดงบริสุทธิ์มากที่สุด เมื่อตัวเลขแบ่งกลุ่มเพิ่มขึ้น

ความแข็งและอุณหภูมิการยอมรับอ่อนจะเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าการนำความร้อนและการนำไฟฟ้าลดลง

- กลุ่ม B โลหะที่ความร้อนสูง (Refractory metal) เป็นโลหะผงชั้นรูป ยกตัวอย่างเช่น ของสมรรถห่วงทองแดงและไททาเนียม ที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการเกิดการสึกกร่อนและความด้านทานการกรัดดัดที่อุณหภูมิสูง ในกลุ่มนี้มีการแบ่งกลุ่มย่อยออกเป็นระดับ 10 11 12 13 และ 14 ยกตัวอย่างเช่น กลุ่ม 10 หมายถึง ค่าสมบัติการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 40 ของทองแดง ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อจำนวนตัวเลขเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 รูปร่างมาตรฐานของอิเล็กโทรด [6]

รูปที่ 3 แสดงรูปแบบของอิเล็กโทรดมาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตเครื่องเชื่อมด้านทาน 6 รูปแบบแสดงด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษรตั้งแต่ A ถึง F อิเล็กโทรด A แบบจุด (Type A Pointed) ใช้สำหรับงานที่ต้องการค่าความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางนักเก็ตสูง อิเล็กโทรด D แบบรูปร่างผิดปกติ (Eccentric type) ใช้กับพื้นที่แคบๆ หรือมุมอับ เป็นต้น

พิจารณาขั้นตอนการเชื่อมด้านทานแบบจุด พบร่องรอยของนักเกดันสามารถควบคุมได้ด้วยขนาดของปลายอิเล็กโทรด [2] โดยปกติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนักเกดต่อคราวมีขนาดที่เล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางปลายอิเล็กโทรดเล็กน้อย ถ้าปลายอิเล็กโทรดมีค่าน้อยจะส่งผลทำให้นักเกดมีขนาดที่เล็กและไม่แข็งแรง แต่ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดันมีขนาดที่ใหญ่เกินไป จะส่งผลทำให้นักเกดมีขนาดใหญ่ และทำให้แนวเชื่อมเกิดพรุนได้

การหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรดของการเชื่อมอิเล็กโทรด [2] สามารถหาค่าได้โดยการใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางปลายอิเล็กโทรด} = 0.100'' + 2t \quad (5)$$

เมื่อ t คือ ความหนาของวัสดุหน่วยเป็นนิ้ว สมการนี้สามารถใช้กับการเชื่อมโลหะที่มีความหนาต่างกันได้ อย่างไรก็ตาม สมการที่ 5 นี้แตกต่างจากสมการที่เสนอโดยสมาคมโลหะอะเมริกา [6] ที่แสดงสมการสำหรับค่านวนหนาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดสำหรับแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่เกิน 3 มม. (1/8 นิ้ว) เมื่อใช้อิเล็กโทรดแบบ F ที่แสดงในรูปที่ 3 สามารถหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดที่มีค่าดังสมการที่ 6 ดังนี้

$$D_2 = \sqrt{t} \quad (6)$$

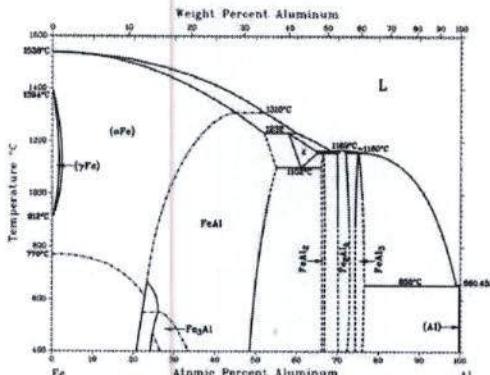
เมื่อ D_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดในหน่วย มม. และ t คือ ความหนาของแผ่นวัสดุ โดยเมื่อใช้อิเล็กโทรดแบบ F แล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางนักเก็ต หรืออาจมีค่าเท่ากับ

$$D = D_2 = 5\sqrt{t} \quad (7)$$

เมื่อทำการเชื่อมวัสดุที่มีความหนาต่างกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดและเส้นผ่านศูนย์กลางนักเก็ตต้องมีค่าเหมาะสมอ้างอิงตามแฟ้มงำนงว่าเป็นหลัก หรือหากทำการเชื่อมโลหะสามแฟ้มเข้าด้วยกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดและเส้นผ่านศูนย์กลางนักเก็ตต้องมีค่าเหมาะสมอ้างอิงตามแฟ้มที่สอง

หากใช้อิเล็กโทรดแบบ A หรือ B สมการที่ 5 อาจไม่สามารถใช้ได้ ขนาดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดจะขึ้นอยู่กับความกว้างของแผ่นประจำซึ่งอาจสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 6 นอก จำกันนี้เมื่อพิจารณาการใช้งานจากสภาพการใช้งานจริงแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจึงต้องมีการปรับปรุงให้มีขนาดที่ยอมรับได้เสมอ ซึ่งขนาดที่สามารถยอมรับได้ต้องมีค่าไม่เกิน 30% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายอิเล็กโทรดเริ่มต้น

4. โลหะวิทยาการรวมตัวระหว่างอลูминีเนียมและเหล็ก



รูปที่ 4 แผนภาพสมดุลเฟลโซลูมิเนียมและเหล็ก [8]

รูปที่ 4 แสดงแผนภาพสมดุลเฟลโซลูมิเนียมและเหล็กและอลูมิเนียมที่ใช้ในการพยากรณ์เฟลที่มีเกิดขึ้นในการรวมตัวของอลูมิเนียมและเหล็ก พบร่วมมีการรวมตัวของอลูมิเนียมและเหล็กด้วยวิธีการใดๆ ก็ตาม สารประกอบกึ่งโลหะรูปแบบต่างๆ จะเกิดขึ้น และสามารถแบ่งกลุ่มของสารประกอบกึ่งโลหะออกได้เป็น 5 ชนิด คือ เฟส Fe_3Al FeAl FeAl_2 , Fe_2Al_5 และ FeAl_3

เพื่อความเข้าใจที่ง่ายยิ่งนั้น Kobayashi and Yakou [9] ได้แบ่งกลุ่มของสารประกอบกึ่งโลหะออกเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณของชาตุผลในสารประกอบกึ่งโลหะ คือ สารประกอบกึ่งโลหะที่มีปริมาณของอลูมิเนียมผสมสูง สารประกอบกึ่งโลหะกลุ่มนี้มีสมบัติ

คือ แข็งและเปราะ ซึ่งหากนำไปทำการรับแรงแล้วจะทำให้เกิดการพังทลายได้ง่ายเนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่ำ และสารประกอบก็จะโดยที่มีปริมาณของเหล็กผสมสูง สารประกอบก็จะหลอกลุ่มนี้มีสมบัติ คือ มีความต้านทานการสึกกร่อน (Wear Resistance) ดี มีความต้านทานการเกิดออกไซด์ (Oxide Resistance) สูง และมีความต้านการแตกหัก (Fracture Strength) ดี

ด้วยเหตุนี้ในการเชื่อมต้านทานแบบบุรุอยู่ต่อวัสดุต่างชนิด โดยเฉพาะอยู่ต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก ควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้สมบัติทางกลตามท้องการ ในเมืองตันหากพิจารณาสมบัติของสารประกอบก็จะหละทั้งสองแบบนั้น พนว่าสารประกอบที่มีปริมาณของเหล็กสูง คาดว่าจะทำให้รอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กนั้นมีความแข็งแรงเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานมากกว่า

อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักเกิดขึ้นในการเชื่อมยึดรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กที่พบในอดีต คือ การเกิดการแพร่ของอะตอมของธาตุทั้งสองเข้าหากัน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) ของเหล็กสู่อลูมิเนียมมีค่า $53 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่ $793-922\text{K}$ และมีค่ามากกว่าการแพร่ของอลูมิเนียมสู่เหล็กที่มีค่า $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่ $1003-1673\text{K}$ [9] ค่าต่างๆ เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแพร่ของอลูมิเนียมเข้าสู่เหล็กได้ง่ายกว่า

5. รอยต่อวัสดุต่างชนิดที่ผ่านการเชื่อมต้านทานแบบบุรุ

แบบจุด

- การเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด A5052 เข้ากันผ่านเหล็กวีดเย็น SPCC และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องสว่าง ความแข็งแรงของรอยต่อทำการศึกษาด้วยการทดสอบแรงดึงแบบจุลภาค และทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อโดยการตัดตัวอย่างมาสังเคราะห์เพื่อการเชื่อมที่เหมาะสม คาดว่าจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่สมบัติเป็นไปตามต้องการได้ และความสามารถพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้อย่างมีค่าต่อ

- รอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม AA5182-O และเหล็กกล้า SAE 1008 โดยมีแผ่นสอดระหว่างแผ่นทั้งสอง คือ แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี SAE 1006 และแผ่นอลูมิเนียมผสม AA1050 พนพื้นที่การหลอมละลายแปลงออกเป็นสองส่วน นักเก็ตต้านของแผ่นเหล็กมีรูปร่างปกติเหมือนตั้งการเชื่อมตัวไป คือ มีรูปร่างวงรีคล้ายไข่ครึ่งใบที่ประกอบด้วยโครงสร้างเด่นๆ ภายในนักเก็ต และต้านของอลูมิเนียมมีรูปร่างวงรีครึ่งใบประกอบด้วยแกนบางตามอินเทอร์เฟซของรอยต่อ ความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าที่สามารถเทียบเท่ากับระดับความแข็งแรงของรอยต่อที่มีค่าเพิ่มขึ้น [10]

- รอยต่อระหว่างอลูมิเนียม A5052 และเหล็กกล้าวีดเย็น SPCC ที่มีความหนา 1.0 mm. โดยทำการเชื่อมต้านทานแบบบุรุและเปลี่ยน

แปลงกระแสการเชื่อมจาก 5-12 kVA ที่เวลาการเชื่อม 0.2 วินาที และแรงกด 2kN ชิ้นงานที่ได้ถูกนำมาทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและทำการทดสอบความแข็งแรงแบบจุลภาค พนว่าความหนาของชั้นการเกิดปฏิกิริยานั้นมีความบางและมีขนาดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อม นอกจากนั้นเกิดการขยายตัวของ การแตกหักที่ร่องๆ แนวเชื่อมและเคลื่อนที่เข้าสู่กึ่งกลางของชั้นปฏิกิริยา ชั้นการเกิดปฏิกิริยาส่งผลต่อการลดค่าความแข็งแรงอย่างต่อในกรณีที่มีความหนามากกว่า 1.5 mm. [11]

- รอยต่อระหว่างอลูมิเนียม A5052 และเหล็กกล้าวีดเย็น SPCC รอยต่อระหว่างอลูมิเนียม A5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม A5052 ที่ทำการเชื่อมต้านทานแบบบุรุที่มีแผ่นครอบต้านบนรอยเชื่อม พนว่า เมื่อใช้แผ่นครอบต้านบนการเชื่อมทำให้ได้นักเก็ตที่มีขนาดใหญ่ถึงแม้ว่าใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเพิ่มขึ้น สารประกอบก็จะหลอมไม่มีผลต่อรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม A5052/เหล็กกล้าไร้สนิม 304 [12]

6. การพัฒนากระบวนการเชื่อมต้านทานแบบบุรุ รอยต่ออลูมิเนียมและเหล็ก

การเชื่อมต้านทานแบบบุรุเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีข้อดีและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตอยู่แล้ว นอกจากนั้นจากผลกระทบดังในอดีต พนว่าการเชื่อมต้านทานแบบบุรุนี้ สามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กได้ ในเมืองตันคาดว่าหากมีการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสม คาดว่าจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่สมบัติเป็นไปตามต้องการได้ และความสามารถพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้อย่างมีค่าต่อ

- การเลือกตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อทำการการประยุกต์ใช้ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3 โดยจุดประสงค์หลักที่ต้องการคือ ตัวแปรการเชื่อมใดที่ทำให้รอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กแสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด

- โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ ในการเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันนั้น รูปร่างของนักเก็ตของรอยเชื่อม คือ สิ่งสำคัญที่แสดงความสามารถหลอมละลายเข้ากันของวัสดุ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของรอยต่อ อย่างไรก็ตามในกรณีของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กนั้น ในเมืองตันรูปร่างนักเก็ตอาจไม่ใช้สิ่งที่บ่งชี้ถึงความแข็งแรงของรอยต่อ เนื่องจากรูปร่างของนักเก็ตที่ดีหมายถึงความสามารถในการรวมตัวของวัสดุรอบๆ แนวเชื่อมที่ดีและอาจปัจจัยที่ก่อให้เกิดความไม่สงบของนักเก็ต เช่น ความหนาของวัสดุที่เพิ่มขึ้น ในกรณีของรอยต่อระหว่างเหล็กและอลูมิเนียม โครงสร้างอินเทอร์เฟซ (Interface structure) เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเป็นพิเศษ เนื่องจากการก่อตัวของสารประกอบก็จะหลอมก่อตัวขึ้นที่บริเวณนี้ และเป็นบริ

เวนที่รับแรงโดยตรง เมื่อรอยต่อการเชื่อมด้านท่านแบบบุคคลก้าวไปใช้งาน การทดสอบทำการเชื่อมเพื่อให้ได้ขั้นของสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความบางที่สุด หรือเป็นสารประกอบที่มีปริมาณของเหล็กผสมอยู่สูงเป็นความคาดหวังทางจินตภาพ ณ ปัจจุบันเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความแข็งแรงต่อไป

- อุณหภูมิของรอยต่อแมร์พันตรงกับกระแส เวลาเชื่อม และแรงกดดังแสดงในสมการที่ 4 การท่าให้เกิดรอยต่อที่อุณหภูมิต่ำสุดเท่าที่เป็นไปได้เป็นวิธีการในการหลักเลี้ยงชั้นสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความหนาและเบา [9] ดังนั้นการควบคุมความร้อนเพื่อหลักเลี้ยงการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง
- การทดสอบสมบัติทางกลอื่นๆ ของรอยต่อโดยรวมอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้าควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการน้ำรอยต่อไปใช้งาน ผลการทดสอบที่ผ่านมานั้นการทดสอบสมบัติทางกลได้จากการทดสอบหาตัวแรงเนื่องด้วยวิธีค้างๆ เช่น วิธีการดึงเฉือน (Tensile shear strength) การทดสอบแบบดึงกากบาท (Cross tension test) และการลอกผิว (Peel test) เป็นหลัก หากมีการทดสอบความลักษณะของรอยต่อโดยจะทำให้คาดการณ์ถึงอายุการใช้งานในอนาคตได้
- เมื่อจากรอยต่อโดยรวมห่วงอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้าเป็นการต่อวัสดุแบบกัลวาโนนิก (Galvanic couple) และเป็นการต่อโดยที่มีมุ่งอับเกิดขึ้น ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาความด้านท่านต่อการกัดกร่อนของรอยต่อ ความมีการศึกษาต่อไป

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้การเชื่อมด้านท่านแบบบุคคลในการเชื่อมอุณหภูมิเนียมเข้ากับเหล็กกล้า พับข้อมูลที่ได้มาในด้านนี้

- 7.1 การเชื่อมด้านท่านแบบบุคคลสามารถใช้ในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้าได้ แต่ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมต้องทำการพิจารณาต่อไป
- 7.2 การก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เมื่อจากความหนาและชนิดของสารประกอบกึ่งโลหะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของรอยต่อ
- 7.3 การวิจัยและพัฒนาสมบัติของรอยต่อ เพื่อหาตัวที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอุณหภูมิเนียมและเหล็กกล้า ควรมีการดำเนินการต่อไปในก่อตุ้นของวัสดุที่มีการใช้งานในงานอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vural, M., Akkus, A. and Eryurek, B. 2006. Effect of Welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets. J. of Materials Processing Technology, 176: 127-132.
- [2] <http://www.millerwelds.com/pdf/Resistance.pdf>, August 4, 2010.
- [3] Qiu, R., Shi, H., Zhang, K., Tu, Y., Iwamoto, C. and Satonaka, S. 2010. Interfacial characterization of joint between mild steel and aluminum alloy welded by resistance spot welding. Materials Characterization, 61: 684-688.
- [4] Askeland, D.A. and Phule, P.P. 2006. The Science and Engineering of Materials. Singapore, Thomson Learning.
- [5] Aslanlar, A., Qgur, A., Ozasrac, U., Ilhan, E. and Demir, Z. 2007. Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding. Materials and Design, 28: 2-7.
- [6] ASM International. 2000. ASM Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering. Ohio, ASM International.
- [7] นิวัฒน์ คุณวงศ์. 2551. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา เรื่อง การศึกษาผลกระทบของรอยเชื่อมเมื่อจากการเตรียมสภาพผิวน้ำของอุณหภูมิเนียมผสมในการเชื่อมด้วยความด้านท่านชนิดบุคคล. กรุงเทพ มหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [8] Kattner, U.R. and Massalski, T.B. 1990. Binary Alloy Phase Diagrams. ASM International, Material Park, OH, P.147.
- [9] S. Kobayashi and T. Yakou. 2002. Control of Intermetallic Compound Layers at Interface between Steel and Aluminum by diffusion-treatment. Mater. Sci. and Eng. A, 338:44-53.
- [10] Sun, X., Stephens, E.V., Khaleel, M.A., Shao, H. and Kimchi, M. 2004. Resistance Spot Welding of Aluminum Alloy to Steel with Transition Materials – From Process to Performance – Part I: Experimental Study. Welding Journal, 84-6: 188s-195s.
- [11] Qiu, R., Iwamoto, C. and Satonaka, S. 2009. The Influence of reaction layer on the strength of aluminum/steel joint welded by resistance spot welding. Materials Characterization, 60: 156-159.
- [12] Qiu, R., Iwamoto, C. and Satonaka, S. 2009. Interfacial microstructure and strength of steel/aluminum alloy joints welded by resistance spot welding with cover plate. J. of Materials Processing Technology, 209: 4186-4193.