

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียม
ด้วยวิธีการเชื่อมทิก
Dissimilar Metals Joining Between Mild Steel and Magnesium Alloy
by TIG Welding

ชาวิณี โพธิ์ทอง¹ และ รัตน์ บริสุทธิ์กุล^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

* ผู้ติดต่อ: E-mail: rattana@g.sut.ac.th เบอร์โทรศัพท์: 044-224-487, เบอร์โทรสาร: 044-224-482

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการเชื่อมทิกด้วยเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมในการเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร ถูกดำเนินการ โดยลักษณะการวางชิ้นงานเป็นแบบซ้อนเกยให้เหล็กกล้าแผ่นเป็นโลหะด้านบน ในการทดลองใช้ความเร็วในการเชื่อม 0.60 เมตรต่อนาที ระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน 2.4 มิลลิเมตร และกระแสไฟฟ้าที่ให้อยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดแบบการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม จากการทดลองพบว่าสามารถเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมได้ด้วยเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมที่ปริมาณความร้อนลงสู่ชิ้นงานที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดและไม่เกิดการทะลุระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมอยู่ในช่วงประมาณ 24 - 31 กิโลจูล จากผลการทดสอบแรงดึงแบบเฉือนของชิ้นงานเชื่อมพบว่ารอยเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึงได้ในช่วงประมาณ 450 - 1250 นิวตัน นอกจากนี้เมื่อปริมาณความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะทำได้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมสูงขึ้น

คำหลัก: เหล็กกล้าแผ่น, โลหะผสมแมกนีเซียม, การเชื่อมโลหะต่างชนิด, ทิกเวลดิง, บัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม

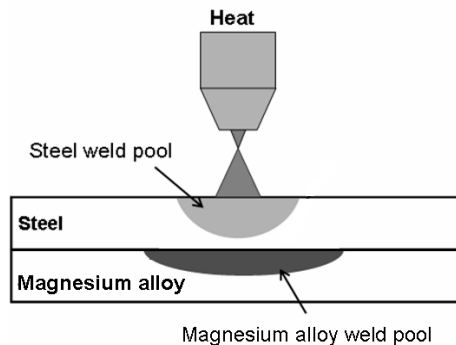
Abstract

In the present study, the feasibility of using TIG welding with self-brazing technique process in the dissimilar metals joining between mild steel and magnesium alloy was carried out. A lap joint configuration with steel sheet on the top was used. In the experiment, the welding speed and the arc distance were 0.6 m/min and 2.4 mm, respectively. According to results, it was found that the dissimilar metals joints between mild steel and magnesium alloy could be successfully obtained by TIG welding process as self-brazing technique with heat input between 24 to 31 kJ. Based on tensile shear testing result, the load resistances of the joints were in the range of 450 - 1250 N. Moreover, when the heat input was increased, the load resistance of the joint was increased.

Keywords: Dissimilar metals joining, Magnesium alloy, Mild steel, TIG welding, self-brazing technique

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีการแข่งขันทางการตลาดที่สูง ผู้ประกอบการจึงพยายามคิดค้นและนำนวัตกรรมใหม่ๆ มาใช้ในการผลิตเพื่อดึงดูดใจผู้บริโภค ทั้งในเรื่องของสมรรถนะ และรูปลักษณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อให้สอดคล้องกับกระแสวิกฤตการณ์โลกร้อนในปัจจุบัน การผลิตรถยนต์ประหยัดเชื้อเพลิงถือเป็นจุดขายหนึ่งที่สำคัญในการผลิตรถยนต์ประหยัดเชื้อเพลิงวิธีการที่ผู้ผลิตนิยมใช้ คือ การลดน้ำหนักของรถยนต์ลงโดยใช้โลหะเบา อาทิเช่น โลหะผสมแมกนีเซียม ฯลฯ ทดแทนเหล็กกล้าดังจะเห็นจากวัสดุตกแต่งภายในรถยนต์ หรือโครงสร้างประตูรถยนต์ที่ทำจากโลหะผสมแมกนีเซียมเป็นต้น อย่างไรก็ตามผู้ผลิตรถยนต์ก็ยังไม่สามารถใช้โลหะผสมแมกนีเซียมอย่างเดียวในการผลิตรถยนต์ได้ ดังนั้นการผลิตรถยนต์จึงมีการใช้วัสดุร่วมกันระหว่างเหล็กกล้ากับโลหะผสมแมกนีเซียม ทำให้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมเป็นสิ่งจำเป็น และเพื่อให้ได้เทคโนโลยีดังกล่าวจึงมีการคิดค้นและพัฒนากระบวนการเชื่อมต่างๆ เพื่อนำมาใช้เชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีการเชื่อมหลายกระบวนการที่สามารถเชื่อมโลหะต่างชนิดกันได้ เช่น การเชื่อมด้วยวิธี Friction stir welding [1] วิธีการนี้ให้ชิ้นงานเชื่อมที่มีความแข็งแรงดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดชิ้นงานคือไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีลักษณะแคบและบางได้เนื่องจากหัวเชื่อมมีขนาดใหญ่ วิธีการนี้จึงยังไม่เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ที่ชิ้นส่วนบางชนิดมีลักษณะแคบและบาง หรือการเชื่อมด้วยวิธี Laser-GTA hybrid welding [2] วิธีการนี้ใช้เชื่อมชิ้นงานขนาดเล็กได้ แต่รอยเชื่อมที่ได้มีผิวไม่สวยงามนัก และชิ้นงานยังมีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ดังนั้นงานวิจัยขณะนี้จึงมีความพยายามในการหาวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน



รูปที่ 1 แสดงการจัดวางชิ้นงานเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียม

2. การเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมด้วยเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม

เนื่องจากเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่างกัน และจุดเดือดของโลหะผสมแมกนีเซียมยังต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเหล็กกล้า ยิ่งไปกว่านั้นโลหะทั้งสองยังไม่สามารถผสมกันได้ในสถานะของเหลวที่สภาวะความดันบรรยากาศ และไม่สามารถทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันได้ [3] ทำให้ผู้วิจัยเชื่อว่ากระบวนการเชื่อมแบบ fusion welding ที่ทำการเชื่อมติดด้วยการทำให้โลหะทั้งสองชนิดหลอมรวมกันไม่สามารถนำมาใช้กับการเชื่อมโลหะต่างชนิดกันได้ จึงต้องอาศัยเทคนิคอื่นแทน เช่น เทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม เป็นการทำให้โลหะเกิดการหลอมเหลวในบางส่วน และไม่มีการหลอมเหลวมาผสมกันของโลหะทั้งสอง ซึ่งโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าจะเกิดการหลอมเหลวแล้วเกิดการบัดกรีแข็งบนโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าซึ่งยังคงอยู่ในสถานะของแข็งแสดงดังรูปที่ 1 ด้วยเทคนิคดังกล่าวถ้าอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของแผ่นเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมไม่สูงกว่าจุดเดือดแล้วการเชื่อมน่าจะดำเนินไปได้ ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากเทคนิคนี้ใช้อุณหภูมิในการเชื่อมที่ต่ำกว่ากระบวนการ fusion welding มาก การเกิดสนิมของแมกนีเซียมจึงน้อยกว่า ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมั่นใจว่าน่าจะใช้เทคนิคนี้ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดกันนี้ได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่ง

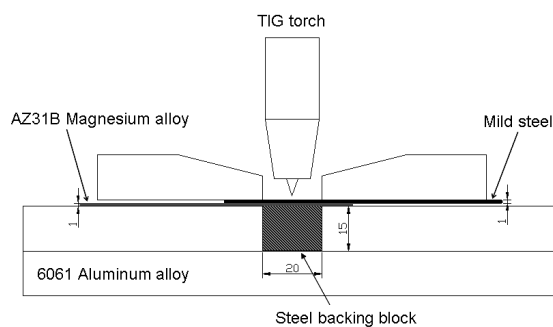
ศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าแผ่นและโลหะผสมแมกนีเซียมแผ่น โดยใช้กระบวนการเชื่อมทิกออคัสเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะแผ่น

Materials	Chemical composition (wt %)					
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
Mild steel	0.05	0.016	Bal.	< 0.005	0.277	0.001
AZ31B Mg alloy	2.5-3.5	0.1	< 0.40	< 0.10	0.35	Bal.

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของโลหะแผ่น

Materials	Mechanical properties		
	Yield Strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Mild steel	275	380	21
AZ31B Mg alloy	165	257	20

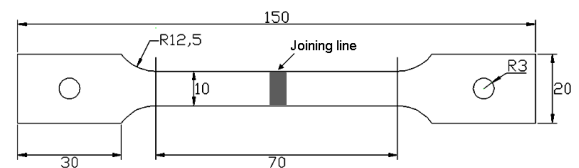


รูปที่ 2 แสดงลักษณะการวางและการจับยึดชิ้นงานในขณะทำการเชื่อม

3. วัสดุและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการเชื่อมทิก ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าแผ่น Mild steel และโลหะผสมแมกนีเซียมแผ่นเกรด AZ31B ขนาด 1 x 65 x 125 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ลักษณะการวางชิ้นงานเชื่อมเป็นแบบซ้อนเกย มีโลหะแผ่นบนเป็นเหล็กกล้าดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติเชิงกลของโลหะแผ่นที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ภายใต้สภาวะการเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 0.60 เมตรต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดแบบบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม อิเล็กโทรดที่ใช้คือชนิด

EWTh-2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน 2.4 มิลลิเมตร มุมปลายอิเล็กโทรด 60° และใช้แก๊สอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที เพื่อปกคลุมบ่อหลอมระหว่างการเชื่อม ภายหลังจากการเชื่อมทำการตรวจสอบคุณภาพผิวและลักษณะของรอยเชื่อมด้วยตาเปล่า ต่อมานำชิ้นงานมาเตรียมให้มีรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อทดสอบความแข็งแรงของ รอยเชื่อมด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงแบบเนื่อน หลังจากนั้นทำการเตรียมผิวชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคในทิศทางตัดขวางรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และตรวจสอบรอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึงแบบเนื่อน



รูปที่ 3 แสดงลักษณะและขนาดของชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงแบบเนื่อน

4. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

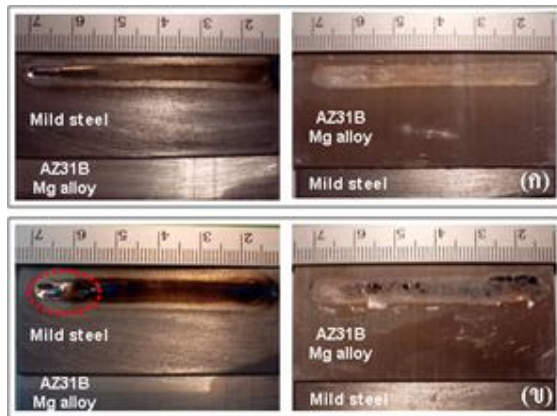
4.1 การตรวจสอบผิวของรอยเชื่อมด้วยตาเปล่า

เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการเชื่อมทิกสามารถใช้ในการเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมได้คุณภาพผิวที่สวยงาม ผู้วิจัยจึงดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของผิวรอยเชื่อมด้านบนและด้านล่างด้วยตาเปล่า พบว่าชิ้นงานเกิดการเชื่อมติดที่ปริมาณความร้อนสูงชิ้นงานในช่วงประมาณ 24 - 31 กิโลจูล โดยปริมาณความร้อนที่ส่งสู่ชิ้นงานสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$q = \frac{IVs}{v} \quad (1)$$

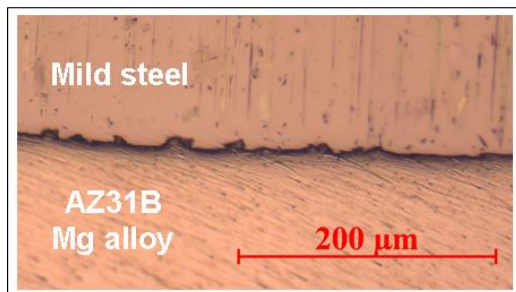
เมื่อ q (W) คือ ปริมาณความร้อนที่ส่งสู่ชิ้นงาน
 I (A) คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม
 V (V) คือ ความต่างศักย์ของเครื่องเชื่อม
 s (m) คือ ความยาวของระยะการเชื่อม
 v (m/s) คือ ความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม

และรอยเชื่อมด้านบนมีผิวที่เรียบและสม่ำเสมอตลอดแนวการเชื่อม โดยลักษณะผิวด้านบนและด้านล่างแสดงดังรูปที่ 4 (ก) และพบอีกว่าถ้าปริมาณความร้อนลงสู่ชิ้นงานมากเกินไป ผิวด้านบนของรอยเชื่อมจะมีลักษณะไม่เรียบและไม่มีความสม่ำเสมอ ส่วนผิวด้านล่างจะเกิดการทะลุแสดงดังรูปที่ 4 (ข)



รูปที่ 4 แสดงรอยเชื่อมจากการใช้ความเร็วในการเชื่อม 0.6 เมตรต่อนาที และกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (ก) 120 แอมแปร์ และ (ข) 150 แอมแปร์

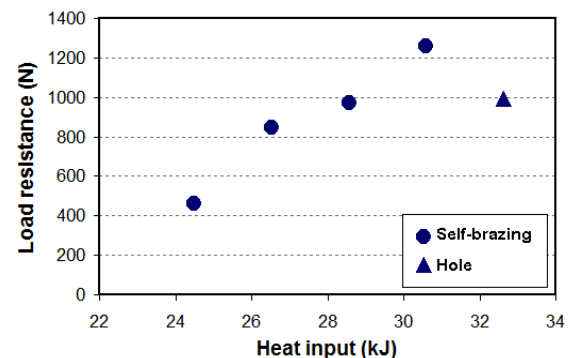
จากรูปที่ 4 (ข) แสดงรอยเชื่อมที่เกิดการทะลุขึ้นเนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานมากเกินไป ทำให้เหล็กกล้าแผ่นด้านบนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ยังผลให้อุณหภูมิบริเวณรอยต่อของเหล็กกล้ากับโลหะผสมแมกนีเซียมสูงจนถึงจุดเดือดของโลหะผสมแมกนีเซียม และโลหะผสมแมกนีเซียมจะเกิดการเดือดและดันเนื้อโลหะขึ้น เมื่อเย็นตัวจึงเกิดรูที่ด้านล่างของชิ้นงานเชื่อมดังรูป



รูปที่ 5 ภาพแสดงโครงสร้างทางจุลภาคในแนวตัดขวางรอยเชื่อม

4.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

ภายหลังจากการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมบริเวณผิวด้านบนและด้านล่างด้วยตาเปล่าแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในแนวตัดขวางรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงตกกระทบ พบว่าชิ้นงานทั้งสองเกิดการเชื่อมติดแบบบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม กล่าวคือไม่มีการหลอมผสมกันของโลหะทั้งสอง จากรูปที่ 5 โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานแสดงให้เห็นส่วนที่เป็นเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมแยกกันอย่างชัดเจน เป็นการยืนยันว่าโลหะทั้งสองชนิดไม่มีการหลอมผสมกัน ดังนั้นกระบวนการเชื่อมทิกด้วยเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมสามารถใช้เชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมได้

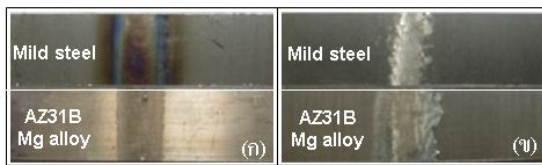


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงาน กับความสามารถในการต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม

4.3 การทดสอบแรงดึงแบบเฉือน

หลังจากการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมด้วยตาเปล่าและตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคแล้วพบว่า กระบวนการเชื่อมทิกด้วยเทคนิคการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมสามารถเชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียมได้จริง และเพื่อเป็นการยืนยันว่ารอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแรงดึงแบบเฉือนของชิ้นงาน พบว่ารอยเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึงสูงสุดได้ในช่วงประมาณ 450 - 1250 นิวตัน ที่ปริมาณความร้อนลงสู่ชิ้นงานที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดระหว่าง

เหล็กกล้าแผ่นและโลหะผสมแมกนีเซียมแผ่นแบบการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมอยู่ในช่วงประมาณ 24 - 31 กิโลจูล และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเชื่อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 และชิ้นงานเกิดการแตกหักเสียหายบริเวณรอยเชื่อมของโลหะทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 7 และความสามารถในการต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมจะลดลงเมื่อชิ้นงานเชื่อมเกิดการทะลุ



รูปที่ 7 ภาพแสดงการแตกหักของชิ้นงานที่กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 150 แอมแปร์ (ก) บริเวณผิวชิ้นงานเชื่อม และ (ข) บริเวณด้านในรอยเชื่อม

5. สรุปผลการทดลอง

กระบวนการเชื่อมทิกแบบการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 0.60 เมตรต่อนาที กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงที่ทำให้เกิดการเชื่อมติดแบบการบัดกรีแข็งด้วยโลหะเชื่อม สามารถใช้เชื่อมโลหะแผ่นต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าและโลหะผสมแมกนีเซียม ที่ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ได้ ซึ่งชิ้นงานเชื่อมมีรอยเชื่อมที่เรียบสม่ำเสมอ มีความแข็งแรงดี รอยเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึงได้ในช่วงประมาณ 450 - 1250 นิวตัน และเกิดการแตกหักเสียหายบริเวณรอยเชื่อมของโลหะทั้งสอง โดยความสามารถในการต้านทานแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความร้อนที่ลงสู่ชิ้นงานเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อชิ้นงานเชื่อมเกิดการทะลุ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศ.ดร.โยชิฮารุ มูโต้ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีแห่งนางาโอกะ ที่ได้เอื้อเฟื้อโลหะผสมแมกนีเซียมสำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.C. Chen *, K. Nakata (2009). Effect of tool geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir lap welded magnesium alloy and steel, *Materials and Design*, vol. 30, October 2009, pp. 3913-3919
- [2] L.M. Liu, X. Zhao (2008). Study on the weld joint of Mg alloy and steel by laser-GTA hybrid welding, *Materials Characterization*, vol. 59, September 2008, pp. 1279-1284
- [3] Mao HK, Bell PM. (1979). Equations of state of MgO and Fe under static pressure conditions, *J Geophys Res*, vol. 84, October 1979, pp. 4533-4536
- [4] A. A. Nayeb-Hashemi, J. B. Clark and L. J. Swartzendruber, University of Missouri-Rolla (1983). The Fe-Mg (Iron-Magnesium) System, *Journal of Phase Equilibria*, Vol. 6, No. 3, pp. 235-238
- [5] Mordike BL, Ebert T (2001). Magnesium properties-applications-potential, *Mater Sci Eng*, vol. 302, April 2001, pp.37-45