

## การพัฒนาเครื่องเชื่อมอลูมิเนียมแบบขัดสีเชิงเส้น ด้วยระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบปิด

### The Developments of polished aluminum linear welding machines by closed-loop motor speed control system

สุขใจ พรหมประสานสุข<sup>1</sup>, บรรพต พวงประเสริฐ<sup>1</sup>, เจนณรงค์ คุ่มญาติ<sup>1</sup>, ปรัชญาพร ดวงคำ<sup>1</sup> และ วิกร ธนรัตน์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 140 หมู่ 4 ถนน ดิวานนท์ ตำบล บ้านกลาง อำเภอเมือง มหาสารคาม 17000 \*โทรศัพท์: +6629756967 หรือ E-mail: psookjai@ptu.ac.th

#### บทคัดย่อ

เทคนิคการเชื่อมแบบการขัดสีเชิงเส้นเป็นเทคนิคการเชื่อมแบบเสียดทานที่สามารถสร้างรอยเชื่อมที่มีความแข็งแรง โดยใช้กระบวนการขัดสีที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ไปกลับ ซึ่งควบคุมด้วยไฟฟ้า ระยะการขัดสี และความถี่ของหัว สันความเสียดทาน เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ระหว่างสองส่วน โดยส่วนหนึ่งคงที่ และส่วนอีกส่วนหนึ่งจะตอบสนองที่แอมพลิจูดและความถี่ที่ควบคุมได้ในขณะที่ถูกจับภายใต้ความกดดัน ทำให้เกิดการหลอมที่บริเวณรอยต่อของส่วนข้อต่อของ ชิ้นส่วนอลูมิเนียม โดยงานวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบเครื่องขัดสีเชิงเส้น พบว่า ความเร็วรอบที่ 1050-1575 RPM เป็นช่วงการทำงานที่เหมาะสม และใช้แรงที่กดกับชิ้นงานอลูมิเนียมทดสอบเป็นสัดส่วนต่อเวลาคือ 7.1342 N/m<sup>2</sup> ต่อ 1 นาที ทำให้อลูมิเนียมที่เชื่อมด้วยการขัดสีเชิงเส้นมีความแข็งแรงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ASTM B209M พบความแข็งแรงต่างกัน ร้อยละ 27 ซึ่งเป็นผลให้ชิ้นงานเชื่อมด้วยการขัดสีเชิงเส้นมีคุณภาพแข็งแรงน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานจากการทดสอบการดึงด้วยเครื่อง Universal Tensile Testers-CY-6040A4 อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นทางเลือกหนึ่งในการเชื่อมอลูมิเนียม ด้วยเทคนิคการเชื่อมแบบเสียดทาน ยังประโยชน์ให้กับการนำกลับมาใช้งานได้ใหม่สำหรับชิ้นงานที่สั้น คำหลัก: คุณสมบัติอลูมิเนียม, ระบบควบคุม พีไอดี, การขัดสี, การเสียดสี, การทดสอบการดึง

#### Abstract

Linear attrition welding technique is a friction welding technique can create strong welds using the polishing process occurs from the reverse movement by electricity controlled, the attrition distance and the frequency of the vibrating head from the movement between cause by two parts give on part is fixed and the other part responds to the amplitude and frequency can be controlled while being captured under pressure will get melting at surface to surface of aluminum parts. This research test of the linear polishing machine was found appropriate working range that the speed at 1050-1575 RPM, and the force applied to the aluminum work piece is tested at a time ratio of 7.1342 N / m<sup>2</sup> per 1 minute, resulting in a welded aluminum with linear abrasion strength compared to the ASTM B209M standard. 27% different strength. The results in welded parts with linear abrasion with less quality compared to the standard value from the Universal Tensile Testers-CY-6040A4 pull test, however this research is an alternative to aluminum welding with friction welding techniques useful for reuse for short work pieces

Keywords: aluminum properties, PID control system, attrition, friction, tensile testing

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีการเชื่อมเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีอิทธิพลและมีความสำคัญ เป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมในประเทศไทย และประเทศที่กำลังพัฒนา กระบวนการเชื่อมชิ้นงานให้ติดกันโดยอาศัยหลักการของแรงเสียดทาน ซึ่งสามารถเชื่อมชิ้นงานให้ติดกันได้ทั่วหน้าสัมผัส และรอยเชื่อมมีความแข็งแรงและโครงสร้างจุลภาค [1] ความแข็งแรงของรอยต่อจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการหลอมวัสดุเข้าด้วยกัน [2] และองค์ประกอบหลายอื่น เช่น ปริมาณความร้อน ค่าการนำความร้อนของวัสดุ และคุณสมบัติทางกลที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของวัสดุงาน นั้นหมายถึง การควบคุมความเร็วและแรงกดอัดในขณะที่เชื่อมซึ่งเป็นผลให้แนวเชื่อมมีลักษณะแตกต่างกัน [3] โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมแบบขัดสีเชิงเส้น สำหรับงานเชื่อมต่างๆ ที่มีลักษณะของชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลมหรือหน้าตัดเหลี่ยมมุมได้และมีราคาไม่สูง

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้การขัดสีเชิงเส้น ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบปิด

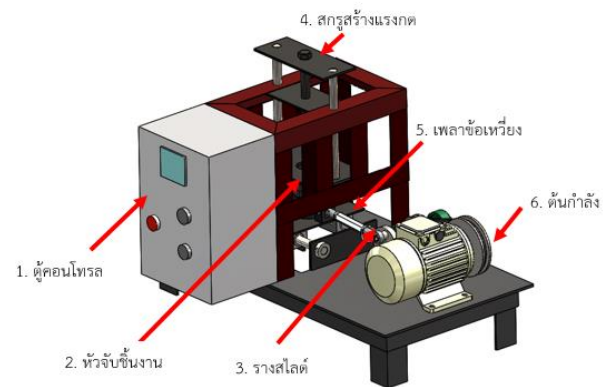
## 3. ขอบเขตและเงื่อนไขของการวิจัย

วัสดุอลูมิเนียม AL1100-H14H, ใช้ชุดมอเตอร์ 2 แรงม้า 3 เฟส เข้ากับอินเวอร์เตอร์รุ่น FR-A520 3.7K, ขนาดชิ้นงานอลูมิเนียมตามมาตรฐาน ASTM B209M หนา 6 มิลลิเมตร, ความถี่ที่ใช้ 10, 15, 20, 25 และ 30 เฮิร์ต (Hz)

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมแบบขัดสีเชิงเส้น หัวจับชิ้นงานสร้างจากวัสดุทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62.5 มิลลิเมตร และความยาว 90 มิลลิเมตร เพื่อจับชิ้นงานที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยใช้สกรูสร้างแรงกด ใช้สำหรับสร้างแรงกดให้กับชิ้นงานเพื่อให้มีแรงกดที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการเสียดสีที่มากขึ้น ซึ่งเพลาค้อนเหวี่ยงแบบหนีศูนย์กลางทำให้การเคลื่อนที่เป็นวงกลมและสามารถปรับระยะชักให้มากหรือน้อยได้ มีความกว้าง 100 มิลลิเมตร เจาะรูสไลด์ขนาด 17 มิลลิเมตร ส่งผลให้ราง

สไลด์ใช้สำหรับเปลี่ยนจากการเคลื่อนที่แบบวงกลมให้เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โดยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 380 โวลต์ เป็นต้นกำลังของเครื่องเชื่อมอลูมิเนียมแบบขัดสีเชิงเส้นและอินเวอร์เตอร์ รุ่น FR-A520 3.7 K สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่เราต้องการทดสอบดังแสดงรูปที่ 1



รูปที่ 1 ออกแบบชุดทดสอบการเชื่อมด้วยการขัดสีเชิงเส้น

4.2 ทดสอบความเร็วรอบมอเตอร์เนื่องจากการเปลี่ยนความถี่

คำนวณความเร็วเชิงมุมเป็นความเร็วเชิงเส้น คือ

$$v = r \times \omega \quad (1)$$

เมื่อ  $v$  คือความเร็วเชิงเส้น (เมตร/วินาที)

$r$  คือ รัศมี (เมตร)

$\omega$  คือความเร็วเชิงมุม (เรเดียน/วินาที)

คำนวณความเร็วรอบเป็นความเร็วเชิงเส้น คือ

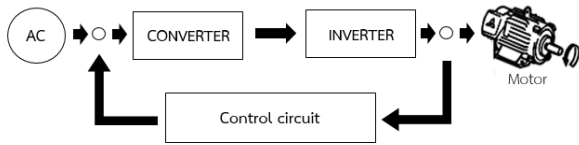
$$v = r \times \text{RPM} \times 0.10472 \quad (2)$$

เมื่อ  $v$  คือความเร็วเชิงเส้น (เมตร/วินาที)

$r$  คือ รัศมี (เมตร)

RPM คือความเร็วเชิงมุม (รอบ/นาที)

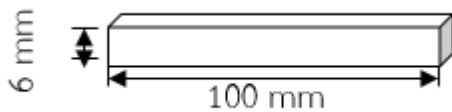
1 RPM มีค่าเท่ากับ 0.10472 rad/sec



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุม  
ความเร็วรอบมอเตอร์แบบปิด

จากรูปที่ 2 แสดงการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบปิด โดยการปรับระดับความถี่ที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 Hz ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเร็วรอบเป็นความเร็วเชิงเส้นได้ดังสมการที่ (1) และ (2)

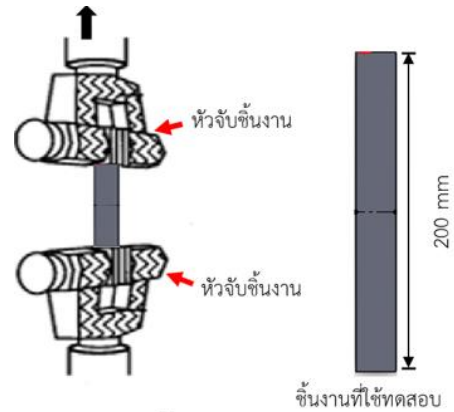
4.3 การทดสอบการเชื่อมอลูมิเนียมแบบขัดสีเชิงเส้น ทำการเตรียมชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น ขัดผิวหน้าเรียบ และล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงาน ดังภาพที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุม  
ความเร็วรอบมอเตอร์แบบปิด

จากรูปที่ 3 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานก่อนเข้าสู่กระบวนการเชื่อมแบบขัดสีเชิงเส้น จากนั้นชิ้นงานตัวอย่างใส่บริเวณตัวจับชิ้นงาน โดยให้ชิ้นงานทั้งสองชิ้นตรงกัน เปิดเครื่องเชื่อมอลูมิเนียมแบบขัดสีเชิงเส้นปรับรอบความถี่ที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 Hz จากนั้นนำเครื่องมือวัดความเร็วรอบมาวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาวัดบริเวณบนผิวของชิ้นงาน จากนั้นใช้ประแจขันปอนด์ค่อยๆ อ้นสกรูกดชิ้นงาน จากนั้นอ่านค่าแรงอัดที่ประแจขันปอนด์ อัดแรงกดจนกว่าชิ้นงานจะหลอมติดกัน แล้วอ่านค่าที่เข็มมิเตอร์

4.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึง ในการทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเชื่อมจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตั้งค่าเครื่องทดสอบแรงดึง

จากรูปที่ 4 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง Universal Tensile Testers-CY-6040A4 กำหนดอัตราความเร็วในการดึงเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งในการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงบริเวณรอย

## 5. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมแบบขัดสีเชิงเส้น



รูปที่ 5 เครื่องเชื่อมแบบขัดสีเชิงเส้น

จากรูปที่ 5 เครื่องเชื่อมอลูมิเนียมแบบขัดสีเชิงเส้น ที่ทำการออกแบบและสร้างได้สำเร็จ และถูกนำมาใช้ในการทดสอบ

5.2 ผลการทดสอบความเร็วรอบมอเตอร์เนื่องจากการเปลี่ยนความถี่

ตารางที่ 1 แสดงการคำนวณค่าความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เมื่อทำการปรับค่าความถี่

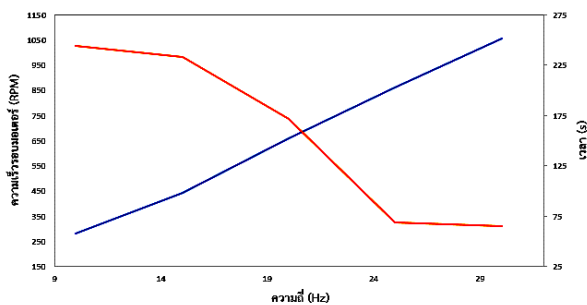
ความถี่ (Hz)	RPM(รอบ/นาที) แกนมอเตอร์	RPM(รอบ/นาที) ของงาน 1:3.5
10	300	1050
15	450	1575
20	600	2100
25	750	2625
30	900	3150

จากตารางที่ 1 แสดงการคำนวณค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่สัมพันธ์กับความถี่ในของเครื่องเชื่อมแบบขั้วตีเชิงเส้น พบว่าหลังจากความเร็วรอบการทอที่ 1:3.5 ทำให้ได้ความเร็วรอบที่สูงขึ้น ในการเพิ่มระยะการขีดที่สามารถปรับแต่ได้ตามแต่ละขนาดวัสดุที่นำมาใช้

5.3 ผลการทดสอบการเชื่อมอลูมิเนียมแบบขั้วตีเชิงเส้น ชิ้นงานอลูมิเนียม AL1100-H14H หนา 6 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 100 ชิ้น แล้วนำมา ขัดผิวหน้าทีผ่านตัดให้เรียบ เพื่อนำมาทำการทดสอบการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมอลูมิเนียมแบบขั้วตีที่ปรับรอบความถี่ต่าง ๆ ที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 Hz



รูปที่ 6 ผลการทดสอบการเชื่อมแบบขั้วตีเชิงเส้น



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ ความเร็วรอบมอเตอร์ และเวลาที่ใช้ในการขีดตีชิ้นงาน

จากรูปที่ 6 แสดงผลการการเชื่อมแบบขั้วตีเชิงเส้นพบว่า บริเวณรอยต่อภายนอกไม่เกิดการหลุดเนื่องจากบริเวณผิวภายนอกเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม (secondary dimension) แต่บริเวณที่อยู่จุดศูนย์กลางจะเกิดความร้อนสะสม จนเกิดการหลอมละลายที่ในช่วงเวลาประมาณ 65-245 วินาที ซึ่งความเร็วรอบในการหมุน จะลดลงตามจำนวนการทอรอบที่อัตราส่วน 1:3.5 ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นชิ้นงานจะหลอมติดกัน ทำให้เครื่องหยุดการทำงาน นำชิ้นงานที่ได้ทดสอบความแข็งแรง ด้วยการทดสอบแรงดึง Universal Tensile Testers-CY-6040A4

5.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Tensile Testers-CY-6040A4 จากการทดสอบแรงดึง พบว่า ความเค้นและความเครียด ณ จุดคราก (Stress and strain at yield)

ความเค้นและความเครียด ณ จุดคราก แสดงค่าความเค้นและความเครียดของวัสดุ ณ จุดที่เปลี่ยนสมบัติจากช่วงอีลาสติกไปเป็นพลาสติก หรืออีกนัยหนึ่งหมายความว่าวัสดุชิ้นนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อย่างถาวรเมื่อความเค้นหรือความเครียดมีค่ามากกว่านี้ ซึ่งพบว่า ค่าความของกำลังที่ใช้เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานมีเปอร์เซ็นต์ความต่างประมาณร้อยละ 27 แสดงให้เห็นว่ามีความแข็งแรงน้อยกว่าอลูมิเนียมที่ไม่เชื่อม ซึ่งอาจเกิดจากการหลอมที่ไม่สมบูรณ์ และมีคาร์บูรอน (Porosity) ภายในขณะที่แข็งตัว จะทำให้ค่า strength ลดลง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation (%Strain) ) ซึ่งเปอร์เซ็นต์การยืดตัว แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึงเมื่อเทียบกับระยะการวัด (gage length) ของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อน (ductile) ของวัสดุ จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่างกันร้อยละ 33

## 6. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบเครื่องขั้วตีเชิงเส้นพบว่า ความเร็วรอบที่ 1050-1575 RPM เป็นช่วงการ ทำให้อลูมิเนียมที่เชื่อมด้วยการขั้วตีเชิงเส้นมีความแข็งแรงต่างจากมาตรฐานร้อยละ 27 เมื่อดูจากค่ากำลังที่ใช้ในการดึงจากเครื่องทดสอบ แสดงให้เห็นว่ามีความแข็งแรงน้อยกว่าอลูมิเนียมที่ไม่เชื่อม ซึ่งอาจเกิดจากการหลอมที่



ไม่สมบูรณ์ และมีค่ารูดรอนภายในขณะที่แข็งตัว ซึ่งทำให้ค่า strength ลดลง ซึ่งเป็นผลให้ชิ้นงานเชื่อมด้วยการขัดสีเชิงเส้นมีคุณภาพแข็งแรงกว่า ร้อยละ 73 ซึ่งคุณภาพงานเชื่อมยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพพื้นผิวหน้าชิ้นงาน สภาพแวดล้อม อากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการขัดสี เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังนำซึ่งประโยชน์กับการเกษตรและงานเชื่อมอื่นๆ ได้หลากหลาย โดยอาจประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์เข้ากับรูปแบบที่ได้ทำการออกแบบ ซึ่งเป็นทางเลือกในการเชื่อมได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างของ ค่า Peak , Break Load YieldYs

	Load (kgf)		
	ไม่เชื่อม	เชื่อม	%ความต่าง
Peak	1876.5	1360.7	27.4873
Break	1398.6	1112.5	20.4561
YieldYs	1471.6	1035.4	29.6412

ตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างของ ค่า Peak , Break Load YieldYs

	Elongation (mm)		
	ไม่เชื่อม	เชื่อม	%ความต่าง
Peak	5.52	3.92	28.9855
Break	6.96	4.68	32.7586
YieldYs	2.78	1.85	33.4532

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างของ ค่า Peak , Break Load YieldYs

	Stress (kgf/mm <sup>2</sup> )		
	ไม่เชื่อม	เชื่อม	%ความต่าง
Peak	15.01	17.32	-15.3897
Break	11.19	14.16	-26.5416
YieldYs	11.77	7.54	35.9388

ตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความต่างของ ค่า Peak , Break Load YieldYs

	Strain (%)		
	ไม่เชื่อม	เชื่อม	%ความต่าง
Peak	2.76	1.96	28.9855
Break	3.48	2.34	32.7586
YieldYs	1.39	0.93	33.0935

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] อติศักดิ์ วรรณะวัลย์, วิศวกรรมการเชื่อม. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 2, 2521
- [2] ศุภชัย ชัยณรงค์, ชัยยุทธ์ มิ่งงาม กลไกการเชื่อมโดยการแพร่ของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง ระหว่าง เกรด 356 กับ 7075 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา พ.ศ. 2559
- [3] วิชัย พุ่มจันทร์, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ 2551 การเชื่อมอลูมิเนียม 6063 และอลูมิเนียม 7075 โดยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม จังหวัดขอนแก่น, ประเทศไทย, 21-22 ตุลาคม 2552
- [4] เชษฐา สุเพ็งคำ, เครื่องเชื่อมแรงเสียดทาน ปริญญา นิพนธ์ ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง คณะอุตสาหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546
- [5] สุรสิงห์ อารยางค์กูร และคณะภาควิชาวิศวกรรมสาขาเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- [6] Mumin SaHinTrakya University Faculty of Eng. and Arch. Dept. Mech. Eng. 22180, Edirne-Turkey INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 19-20 November 2010



[7] เจนณรงค์ นาคเทวัญ, การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมกึ่งของแข็งเกรด 7075 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา วิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555

[8] Sahin, A.Z., Yibas, B.S., Ahmed, M., Nickel, J., Analysis of friction welding process in relation to the welding of copper and steel bars, Journal of Materials processing Technology 82, pp.127-136, 1998

[9] Seli, H., Ismail, A.I., Rachman, E., Ahmad, Z.A., mechanical evaluation and thermal modelling of friction welding of mild steel and aluminum, journal of Materials Processing Technology 210, pp.1209-1216., 2010

[10] Huang Y, Ridley N, Humphreys F.J & Cui J.Z (1999) Diffusion Bonding of Superplastic 7075 Aluminum Alloy