



แผนงานวิจัย เรื่อง
การปรับปรุงสมบัติรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน
(An Improvement of Aluminum Alloy Welds by Friction Stir Welding Technology)

โดย

ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์
พ.อ.อ. ศักดิ์ชัย	จันทศรี
นางสาวปรกช	สิริสุวรรณ
ผศ.ไพฑูรย์	ประทีปสุข
ผศ.สุรัตน์	ตรัยวนพงศ์
ผศ.ไพบุลย์	แย้มเพื่อน
นายปราโมทย์	พูนนายม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2553

ผู้วิจัย : ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
พ.อ.อ. ศักดิ์ชัย จันทศรี
นางสาวปรกช สิริสุวรรณ
ผศ.ไพฑูรย์ ประทีปสุข
ผศ.สุรัตน์ ตรีชวนพงศ์
ผศ.ไพบูลย์ เข้มเฟื่อน
นายปราโมทย์ พูนนายม

ชื่องานวิจัย : การปรับปรุงสมบัติรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยการ
เสียดทานแบบกวน

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการเชื่อมโลหะในอุตสาหกรรมการผลิตได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้ปัญหา
ที่มักเกิดขึ้นในการเชื่อมวัสดุถูกแก้ไขปรับปรุง อย่างไรก็ตามการพัฒนาวิธีการเชื่อมรูปแบบใหม่
เป็นสิ่งจำเป็นในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากคาดว่าวิธีการเชื่อมแบบใหม่อาจทำให้เกิดการแก้ปัญหา
ต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมได้ เช่น ปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ที่ต้องการเชื่อมรอยต่อ
วัสดุต่างชนิดที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง หรือในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องกับ
ความร้อนที่อาจเป็นผลต่อสมบัติรอยเชื่อม หรือการใช้รอยต่อที่ผลิตขึ้นจากการขึ้นรูปแตกต่างกัน
 เป็นต้น

การทดลองนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อความ
แข็งแรงดึงรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีด-แผ่นหล่อ อลูมิเนียม 6063-เหล็กกล้าไร้สนิม 430
และการศึกษาอิทธิพลการอบชุบที่มีผลต่อสมบัติของอลูมิเนียม 6063

ผลการทดลองที่ได้ดังนี้ โครงการย่อยที่ 1 พบว่าสภาวะการเชื่อมที่ทำให้โลหะเชื่อมอลูมิ
เนียม 6063 ที่ผ่านการอบอ่อน คือ ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่
แสดงค่าความแรงดึงสูงสุด 185 MPa และการยืดตัว 1.6% ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัว
ของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะเชื่อมผ่านการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 T5 และ T6 ตามลำดับ นอก
จากนั้นเมื่อนำโลหะเชื่อมพักไว้ 1 สัปดาห์เพื่อทำให้เกิดการบ่มแข็งธรรมชาติแล้วนำไปทำการบ่ม
แข็งด้วยวิธี T4 และ T6 พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบชุบทันที
เท่ากับ 25 และ 45% สำหรับการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 T5 และ T6 ตามลำดับ โครงการย่อยที่ 2 พบว่า
การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ความเร็ว

รอบสูง เช่น 2000 rpm ทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีความสมบูรณ์ ความแข็งแรงของรอยต่อที่สมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเกิดขึ้นที่อลูมิเนียมแผ่นหล่อ ค่าความแข็งแรงมีค่ามากกว่าอลูมิเนียมแผ่นหล่อประมาณ 10-15% โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวกันของอลูมิเนียมทั้งสอง เป็นแนวยาวจากด้านล่างสู่บนด้านแผ่นรีด แต่ด้านแผ่นหล่ออินเทอร์เฟซประสานกันโดยการเกิดการอัดแน่นของโลหะทั้งสอง และโครงการย่อยที่ 3 พบว่าสภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 127 MPa คือ ตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 500 rpm ความเร็วเดินของแนวเชื่อมที่ 125 mm/min การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบการรวมตัวกันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ที่ถูกดันเข้าไปแทรกตัวเข้าไปในพื้นที่อลูมิเนียม AA6063 ผลการตรวจสอบส่วนผสมเคมีพบว่าเกิดการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะชนิด FeAl ที่มีความเหนียวและแข็งแรงสูงที่บริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, ตัวกวน, รอยต่อชน, อลูมิเนียม, เหล็กกล้าไร้สนิม, ความแข็งแรงดึง

Name : Assist. Prof. Dr. Kittipong Kimapong
FS1.Sakchai Chantrasri
Miss Poragoch Sirisuwan
Assist. Prof.Paitoon Prateepsuk
Assist. Prof.Paiboon Yampuern
Assist. Prof.Surat Triwanapong
Mr.Pramote Poonnayom

Research Title : An Improvement of Aluminum Alloy Welds by Friction Stir Welding
Technology

หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

Welding technologies in manufacturing processes have been developed and could be solve problems in industries. However, the new welding process is required because it is expected to solved the problems and improve the weld quality in various industries. The example of problems such as how to weld the dissimilar materials in automobile industry that is the key to reduce the total car weight and reserve energy or how to increase the strength and ductility of the stainless steel weld that is the key to prevent a weld failure when the joint is formed.

This experiment aims to, firstly, study an effect of FSW parameters on the tensile strength of the butt joint of as cast-rolled AA6063 aluminum alloy plates and AA6063 aluminum alloy-AISI430 stainless steel. Secondly, to study an effect of post weld heat treatment on the AA6063 aluminum alloy weld properties.

The summarized results are as follows. 1st sub-project: The optimum condition that gave the strength of 185 MPa and the elongation of 1.6% was the rotating speed of 2000 rpm and the travelling speed of 125 mm/min. The tensile strength and the elongation of the welds were increased when the welds were T4 and T5 heat treated, respectively. Furthermore, when the welded specimen was natural aged for 1 week and then, immediately T4, T5 and T6 heat treated. It was found that the tensile strength of the welds was higher than that of no natural aging by 25 and 45% for T4, T5 and T6 heat treatment, respectively. 2nd sub project: The variation of the welding parameters affected to the completion of the joint. The high rotating speed of 2000 rpm could not produce the sound joint and gave the low tensile strength. The proper conditions gave a

sound joint with high tensile strength and had the failure location on the as-cast aluminum base metal. Most of the tensile strengths of the sound joint were 5-10% higher than that of the as-cast aluminum base metal. A microstructure showed the perfect combination of the metals along the weld metal and the as-cast side showed the compaction of the aluminum layer from both aluminum sides. 3rd sub-project: The optimum condition that produced the sound joint of 127 MPa was the screw cone tool, the rotating speed of 500 rpm and the welding speed of 125 mm/min. The microstructure examination results showed the combination between AISI430 stainless steel parts and AA6063 aluminum alloy in aluminum area. The chemical composition examination results showed the formation of FeAl intermetallic compound that is the high ductility and toughness, at the joint interface.

Keywords: friction stir welding, stirrer, butt joint, aluminum, stainless steel, tensile strength

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2553 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำให้การควบคุมการทดลองในกระบวนการเชื่อมเป็นไปได้เป็นอย่างดี

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ศักดิ์ชัย จันทศรี

ปรกช สิริสุวัฒน์

ไพฑูรย์ ประทีปสุข

สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์

ไพบูลย์ แยมเพื่อน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของแผนงานวิจัย	1
1.2 จุดประสงค์ของของแผนงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของของแผนงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของแผนงานวิจัย	6
2.1 การเชื่อมโยงโลหะ	6
2.2 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดวิธีการวิจัย	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	21
3.1 แผนการดำเนินงาน	21
3.2 แผนการทดลอง	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	29
4.1 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 1: อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัตินของโลหะเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมเกรด 6063	29
4.2 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 2: อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 สภาวะหล่อและรีด	31
4.3 ผลการทดลองโครงการย่อยที่ 3: โครงสร้างและความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนตัวกวนรูปร่างต่างๆ	35
4.4 ผลการดำเนินงานเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย	40
4.5 เป้าหมายของผลผลิต (output) และตัวชี้วัด	43
4.6 เป้าหมายของผลลัพธ์ (outcome) และตัวชี้วัด	43

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมจากการตรวจสอบด้วยสายตา	32
4.2	ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่เชื่อม (O = สมบูรณ์ และ X=ไม่สมบูรณ์)	36
4.3	ตารางผลผลิตและตัวชี้วัดของโครงการวิจัย	43
4.4	ตารางผลลัพธ์และตัวชี้วัดของโครงการวิจัย	43

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	6
2.2	รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	7
2.3	การเชื่อมด้วยการเสียดทาน	8
2.4	ขั้นตอนการเชื่อมแบบเสียดทานทั่วไป (ก) ชิ้นงานด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) และชิ้นงานด้านขวาถูกเลื่อนเข้าด้วยแรงจากไฮดรอลิก ; (ข) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดด้วยแรง (F) จนชิ้นงานหลอมละลาย ; (ค) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดจนติดกันอย่างสมบูรณ์กับชิ้นงานด้านซ้าย ชิ้นงานเชื่อมจะหยุดหมุนทันที	9
2.5	การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	10
2.6	กลไกการเกิดแนวเชื่อมแสดงภาคตัดในรูปที่ 2.5	11
2.7	เครื่องมือเชื่อม FSW	14
2.8	เครื่องมือเชื่อมที่ออกแบบสำหรับรอยต่อชนอลูมิเนียม 2014	14
2.9	โครงสร้างมหภาคโลหะเชื่อม	14
2.10	รูปแบบรอยต่อการเชื่อม FSW	15
2.11	(ก) โครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมแผ่นรีด 2024 และ (ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมของอลูมิเนียม 2024	16
2.12	ความแตกต่างของการสอดตัวกวนเข้าสู่รอยต่อชนของการเชื่อมวัสดุเดียวกันและต่างกัน	14
2.13	แผนภาพสมดุลเฟสอลูมิเนียม-ทองแดง ที่แสดงขั้นตอนการบ่มแข็งและรูปแบบโครงสร้างจุลภาค	23
2.14	ตำแหน่งการเริ่มสอดตัวกวนเข้าสู่แนวรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	17
2.15	กลไกการเชื่อมยึดของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	19
3.1	ภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน	21
3.2	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง โครงการย่อยที่ 1	22
3.3	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง โครงการย่อยที่ 2 และ 3	23
3.4	การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O	24
3.5	ขั้นตอนทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่มีความหนา 3 มม. (หน่วยโดยประมาณ: มม.)	24
3.6	รอยต่อชนอลูมิเนียมรีดและหล่อ	25
3.7	ขั้นตอนทดสอบแรงดึงในการทดลอง	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	(ก) การวางแผนวัสดุของรอยต่อชน (ข) ตำแหน่งการขีดกระดาศทราย และ (ค) การสอดตัวกวนเข้าไปในรอยต่อ	26
3.9	รูปร่างตัวกวน (หน่วย: มม.)	27
3.10	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)	27
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการอบคืนไฟ แบบต่างๆ ของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ	28
4.2	ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง	30
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการอบคืนไฟ แบบต่างๆ ของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ	30
4.4	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมบางตัว	31
4.5	โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ	32
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ ความเร็วเดิน และความแข็งแรงดึงของ แนวเชื่อม	33
4.7	ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึง	35
4.8	ผิวหน้าและความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม	37
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อม ความเร็วรอบ และความ แข็งแรงดึงของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก	37
4.10	รอยแตกหักของชิ้นทดสอบแรงดึง	38
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อม ความเร็วรอบ และความ แข็งแรงดึงของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวย	39