



แผนงานวิจัย เรื่อง

การปรับปรุงสมบัติรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

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

โครงการวิจัย เรื่อง

อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน

อลูมิเนียม เกรด 6063

Effect of Post Weld Heat Treatment on Friction Stir Welds Properties of AA6063 Aluminum

Alloy

โดย

ผศ.ดร.กิตติพงษ์

กิมะพงศ์

ผศ.ไพฑูรย์

ประทีปสุข

ผศ.สุรัตน์

ตรัยวนพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2553

ผู้วิจัย : ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ผศ.ไพฑูรย์ ประทีปสุข

ผศ.สุรัตน์ ตรีวานพวงศ์

ชื่องานวิจัย : อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม เกรด6063

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

รอยเชื่อมอลูมิเนียมมีความสำคัญในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงและน้ำหนักมีค่าสูง อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของรอยเชื่อมอลูมิเนียมมีค่าสูงไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานจึงควรคิดค้นหาวิธีการเพิ่มความแข็งแรงของรอยเชื่อมต่อไป ที่ผ่านมานี้หนึ่งในการเพิ่มความแข็งแรงของอลูมิเนียมสามารถทำได้โดยการอบชุบด้วยความร้อน ดังนั้นหากมีการประยุกต์การอบชุบด้วยความร้อนต่อแนวเชื่อมอาจเป็นการเพิ่มค่าความแข็งแรงได้ ในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์การอบชุบด้วยความร้อนแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวน เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของแนวเชื่อม และศึกษาโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

วัสดุที่ใช้ทำรอยต่อชน คือ แผ่นอลูมิเนียมรีดและหล่อเกรด AA6063 หน้า 6.3 มม. ขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 200 มม. เครื่องมือเชื่อมที่มีตัวกวนทำจากทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ที่มีรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ถูกนำมาทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min จากนั้นทำการอบชุบชิ้นงานด้วยวิธี T4 T5 และ T6 แนวเชื่อมที่ได้ทำการจัดเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ สภาพการเชื่อมที่ทำให้โลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการอบอ่อน คือ ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่แสดงค่าความแรงดึงสูงสุด 185 MPa และการยืดตัว 1.6% ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะเชื่อมผ่านการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 T5 และ T6 ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อนำโลหะเชื่อมพักไว้ 1 สัปดาห์เพื่อทำให้เกิดการบ่มแข็งธรรมชาติแล้วนำไปทำการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบชุบทันทีเท่ากับ 25 และ 45% สำหรับการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 T5 และ T6 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, ตัวกวน, รอยต่อชน, อลูมิเนียม, ความแข็งแรงดึง

Name : Assist. Prof. Dr. Kittipong Kimapong
Assist. Prof.Paitoon Prateepsuk
Assist. Prof.Surat Triwanapong
Research Title : Effect of Post Weld Heat Treatment on Friction Stir Welds Properties
of AA6063 Aluminum Alloy
หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

Aluminum weld is import for the industrial application because the high ratio of strength and weight. However, the aluminum welds strength was not sufficiently for the industrial application and was required to develop for increasing the welds strength. Recently, the increase of the aluminum strength could be achieved when the heat treatment was applied to the aluminum. So, if the heat treatment was introduced to improve the aluminum welds strength, the welds strength might be higher than that of the as weld strength. This research aimed to apply the heat treatment for improving the mechanical properties of the aluminum welds and to investigate the microstructure of the welds aluminum.

The 6063 aluminum alloy plate was the material in this study. The materials dimension was the rectangular shape of 6.3 mm. thick, 75 mm. wide and 200 mm. long. The welding tool that made of tungsten carbide had a shape of screw cylindrical. The welding parameter was the rotating speed of 2000 rpm and a travelling speed of 50-200 mm/min. The T4, T5 and T6 heat treatment were applied to the joint, respectively. The joints that produced by various welding conditions were prepared for the microstructure examination by an optical microscope and the tensile test by tension test machine.

The summarized results are as follows. 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.

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

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2553 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องกลอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำให้การควบคุมการทดลองในกระบวนการเชื่อมเป็นไปได้เป็นอย่างดี

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

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ไพฑูรย์ ประทีปสุข

สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วัสดุ	4
2.2 การเชื่อมโลหะ	10
2.3 การทดสอบสมบัติของวัสดุ	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	31
3.1 แผนการดำเนินงาน	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	38
3.3 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ	43
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล	46
3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	50
4.1 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	50
4.2 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	57
4.3 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	63
4.4 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	81
5.1 สรุปผลการทดลอง	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	4
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	5
2.3	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	5
2.4	อักษรย่อที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	7
2.5	ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.6	สมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.7	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.8	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า SKH57	10
2.9	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	24
2.10	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	25
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	31

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	11
2.2	รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	11
2.3	การเชื่อมด้วยการเสียดทาน	12
2.4	ขั้นตอนการเชื่อมแบบเสียดทานทั่วไป (ก) ชิ้นงานด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) และชิ้นงานด้านขวาถูกเลื่อนเข้าด้วยแรงจากไฮดรอลิก ; (ข) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดด้วยแรง (F) จนชิ้นงานหลอมละลาย ; (ค) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดจนติดกันอย่างสมบูรณ์กับชิ้นงานด้านซ้าย ชิ้นงานเชื่อมจะหยุดหมุนทันที	13
2.5	การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	14
2.6	กลไกการเกิดแนวเชื่อมแสดงภาคตัดในรูปที่ 2.5	15
2.7	เครื่องมือเชื่อม FSW	18
2.8	เครื่องมือเชื่อมที่ออกแบบสำหรับรอยต่อชนอลูมิเนียม 2014	18
2.9	โครงสร้างมหภาคโลหะเชื่อม	18
2.10	รูปแบบรอยต่อการเชื่อม FSW	19
2.11	(ก) โครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมแผ่นรีด 2024 และ (ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมของอลูมิเนียม 2024	20
2.12	ความแตกต่างของการสอดตัวกวนเข้าสู่รอยต่อชนของการเชื่อมวัสดุเดียวกันและต่างกัน	21
2.13	แผนภาพสมดุลเฟสอลูมิเนียม-ทองแดง ที่แสดงขั้นตอนการบ่มแข็งและรูปแบบโครงสร้างจุลภาค	23
2.14	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของโลหะผสม 85%Al-15%Ag ที่แสดงเฟส γ' และพื้นที่ GP กำลังขยาย 40,000 เท่า	24
2.15	ผลของอุณหภูมิต่อเวลาการบ่มแข็งและความแข็งแรงครากของโลหะผสม 96%Al-4%Cu	24
2.16	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในโลหะผสมที่ผ่านการบ่มแข็งขณะทำการเชื่อมแบบหลอมละลาย: (a) โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิสูงสุด และ (b) โครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมหลังจากการเย็นตัวช้ามาที่อุณหภูมิห้อง	26
2.17	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	27
2.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.19	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รูวงกลม และ (ข) รูวงรี	30
3.1	ภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน	36
3.2	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง	37
3.3	มิติแผ่นอลูมิเนียม ($t = 6.3$ มม., หน่วย: มม.)	38
3.4	แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบอุ่น	39
3.5	อุปกรณ์จับยึด	40
3.6	ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน	41
3.7	การขันยึดแน่นชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึด	41
3.8	เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial Gauge)	42
3.9	เครื่องตัดแผ่นโลหะ	42
3.10	เครื่องกลึง (Machine lathe)	43
3.11	เครื่องกัดอัตโนมัติซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)	43
3.12	เครื่องตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	44
3.13	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง	44
3.14	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	42
3.15	ส่วนต่างๆ ของตัวกวน	47
3.16	การขึ้นรูปเครื่องมือเชื่อมด้วยการกลึง	47
3.17	การเตรียมผิวรอยต่อ	47
3.18	การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียม	
3.19	การเคลื่อนที่ลงของรอยเชื่อม	48
3.20	การเดินแนวเชื่อมบนรอยต่ออลูมิเนียมผสม A6063	49
3.21	แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T4	50
3.22	แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T5	50
3.23	แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T6	50
3.24	ใบเครื่องมือตัด	51
3.25	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)	51
3.26	การตัดอลูมิเนียม	52
3.27	ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว	52
3.28	การขัดกระดาษทราย	52
3.29	น้ำยาที่ใช้ในการกัดกรด	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ผิวหน้าแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย	54
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยึดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อมของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวน อลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm	56
4.3	ลักษณะรูปแบบรอยลักษณะของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm: (ก) 50 mm/min (ข) 75 mm/min (ค) 100 mm/min และ (ง) 200 mm/min	57
4.4	โครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm	58
4.5	กลไกการเกิดแนวเชื่อม	59
4.6	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนขวาที่ความเร็วเดิน 125 mm/min	61
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยึดตัว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบคืนไฟทันที	61
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยึดตัว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบคืนไฟหลังบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์	63
4.9	ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่ผ่านการทำ Solution แบบต่างๆ	64
4.10	โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม 6063	65
4.11	โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมที่ทำการอบอ่อน	68
4.12	โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125mm/min สภาวะที่ไม่ได้ผ่านการอบคืนไฟ: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กล และพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ได้บำเครื่องมือเชื่อม	68
4.13	โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาผ่านการทำ Solution แบบ T4 Heat หลังเชื่อม: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ได้บำเครื่องมือเชื่อม	69
4.14	โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์ทำ Solution แบบ T4 : (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ได้บำเครื่องมือเชื่อม	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาผ่านการทำ Solution แบบ T6 Heat หลังเชื่อม: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกว่น (ง) พื้นที่การกว่นรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้ปาเครื่องมือเชื่อม	72
4.16	โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวามัดแข็งแรงธรรมชาติ 1 สัปดาห์ทำ Solution แบบ T6 : (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกว่น (ง) พื้นที่การกว่นรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้ปาเครื่องมือเชื่อม	73
4.17	โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min	61
4.18	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	64
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของรอยต่อและความเร็วเดินแนวต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	65
4.20	ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	67
4.21	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	68
4.22	โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min	70
4.23	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	73
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของรอยต่อและความเร็วเดินแนวต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm	74
4.25	ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	75
4.26	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วย ความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min	78