



การปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 ในโครงสร้าง
รถยนต์ด้วยตัวกวนหลายรูปแบบ

**Improvement of AA6063-T1 Aluminum Friction Stir Weld Quality in Aluminum Structure
using Various Pin Geometries**

โดย

นาย ปราโมทย์	พูนนاعم
นางสาว ปรกช	สิริสุวัฒน์
พ.อ.อ. ศักดิ์ชัย	จันทศรี
ดร. กิตติพงษ์	กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2552

ผู้วิจัย : นาย ปราโมทย์ พูนนายน
นางสาว ประกช สิริสุวณณ์
พ.อ.อ. ศักดิ์ชัย จันทศรี
ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ชื่องานวิจัย : การปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียม
6063-T1 ในโครงสร้างรถยนต์ด้วยตัวกวนหลายรูปแบบ

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีการใช้งานในอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย ขั้นตอนการเชื่อมสำคัญ คือ การสอดตัวกวนที่หมุนด้วยความเร็วสูงลงไปบนรอยต่อของวัสดุ ทำให้เกิดความร้อน การกวน และการประสานกันของวัสดุ ด้วยเหตุนี้รูปร่างของตัวกวนจึงมีความสำคัญและส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของโลหะเชื่อม งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ ในการศึกษาสมบัติของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตัวกวน เพื่อเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้งานในอนาคตต่อไป

วัสดุในการทดลอง คือ อลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 หนา 6.3 มม. ขนาดยาว 140 มม. และกว้าง 75 มม. ตัวกวนทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKD11 ประกอบไปด้วยทรงกระบอกเกลียวขวา ทรงกระบอกเกลียวซ้าย ทรงกรวยเกลียวขวา และทรงกรวยเกลียวขวาซ้าย ตัวแปรการเชื่อมอื่นๆ ประกอบด้วยความเร็วรอบของตัวกวนมีค่า 2000 rpm ความเร็วของการเดินแนวเชื่อม 50 ถึง 150 mm/min ความเอียงของตัวกวน 2° เมื่อทำการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์ ชิ้นงานเชื่อมถูกนำไปทำการตรวจสอบสมบัติต่อไป

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ตัวกวนที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 192 MPa คือ ตัวกวนทรงกระบอกผิวเกลียวขวา ที่ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min และความเอียงของตัวกวน 2 องศา ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงกว่าโลหะอลูมิเนียมที่ค่าประมาณ 1-5% โครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมที่มีวงหวัห้อมตลอดทั้งแนวความหนาของแผ่นอลูมิเนียมแสดงค่าความแข็งแรงสูงกว่าโลหะเชื่อมที่มีวงหวัห้อมบางส่วน ขนาดเกรนอลูมิเนียมมีการลดขนาดในโลหะเชื่อม และทำให้แนวเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าโลหะอลูมิเนียม

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, ตัวกวน, รอยต่อชน, อลูมิเนียม, ความแข็งแรงดึง

Name : Mr. Pramote Poonnayom
Miss Poragoch Sirisuwan
FS1. Sakchai Chantasri
Dr. Kittipong Kimapong

Research Title : Improvement of AA6063-T1 Aluminum Friction Stir Weld Quality in Aluminum Structure using Various Pin Geometries

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

Abstract

Friction Stir Welding has widely applied in an industry for welding the difficult to fusion weld material. The important key process to produce a sound joint was the high speed stirrer insertion into the joint for producing a frictional heat, a stirring and a combination of the materials respectively. Therefore, the stirrer geometries are important and affect directly the welds properties. This research aims to study the properties of AA6063-T1 aluminum weld producing by various stirrer geometries that might be advantage for further application.

A material in this experiment was the AA6063-T1 aluminum alloy that has a length of 140 mm. and a width of 75 mm. The stirrers were made of SKD11 tool steel and had geometries of a right screw cylinder shape, a left screw cylinder shape, a right screw cone shape and a left screw cone shape. Other welding parameters were a rotating speed of 2000 rpm, a welding speed of 50-150 mm/min, and a tool tilt angle of 2 degree. The welded joints were mechanical prepared and investigated.

The summarized results are as follows. The optimum condition could be found when the weld was produced by a right screw cylinder stirrer, a rotating speed of 2000 rpm, a welding speed of 100 mm/min and a tilt angle of 2 degree. The tensile strength of the weld was 1-5% higher than that of the AA6063-T1 aluminum alloy base metal. Microstructure of the weld showed the formation of an onion ring and the reducing of the aluminum grain size that affected to increase the tensile strength of the weld.

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

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2552 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องกััดอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำให้การควบคุมการทดลองในกระบวนการเชื่อมเป็นไปได้ได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสนในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปราโมทย์ พูนนายน

ปรกช สิริสุวรรณ

ศักดิ์ชัย จันทศรี

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การเชื่อม	5
2.2 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	8
2.3 อลูมิเนียม	12
2.4 เหล็กกล้าเครื่องมือ	17
2.5 การทดสอบความแข็งแรงดึง	17
2.6 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค	21
2.7 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	27
3.1 แผนการดำเนินงาน	27
3.2 วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์	28
3.2 กรรมวิธีการเชื่อม	33
3.4 การทดสอบแรงดึง	36
3.5 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	50
4.1 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียววนขวาต่อความแข็งแรงดึง	40
4.2 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายต่อความต้านทานแรงดึง	49
4.3 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวขวาต่อความต้านทานแรงดึง	56
4.4 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวซ้ายต่อความต้านทานแรงดึง	64
4.5 การเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวน 4 รูปแบบ	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	74
5.1 ผลการดำเนินงานวิจัย	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	80

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	12
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	13
2.3	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	13
2.4	อักษรย่อที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	15
2.5	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	19
2.6	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	20
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	29

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	1
2.1	การเชื่อมแบบหลอมละลาย	6
2.2	การเชื่อมด้วยการเสียดทาน	7
2.3	ขั้นตอนการเชื่อมแบบทั่วไป (ก) ชิ้นงานด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) และชิ้นงานด้านขวาถูกเลื่อนเข้าด้วยแรงจากไฮดรอลิก ; (ข) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดด้วยแรง (F) จนชิ้นงานหลอมละลาย ; (ค) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดจนติดกันอย่างสมบูรณ์กับชิ้นงานด้านซ้าย ชิ้นงานเชื่อมจะหยุดหมุนทันที	8
2.4	กรรมวิธีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	9
2.5	กลไกการเกิดแนวเชื่อมแสดงภาคตัดในรูปที่ 2.4	10
2.6	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	18
2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	19
2.8	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รูวงกลม และ (ข) รูวงรี	21
2.9	องค์ประกอบความเข้มข้นของความเค้นทางทฤษฎีสำหรับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ	22
2.10	ชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นเรือนด้วยสารขึ้นเรือนชนิดต่าง ๆ	24
3.1	แผนภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน	27
3.2	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง	28
3.3	มิติแผ่นอลูมิเนียม ($t = 6.3$ มม., หน่วย: มม.)	29
3.4	การเชื่อมฟริกชันสเตอร์รอยต่อชนอลูมิเนียม	29
3.5	อุปกรณ์จับยึด	30
3.6	เครื่องตัดแผ่นโลหะ	30
3.7	เครื่องกลึง (Machine lathe)	31
3.8	เครื่องกัดอัตโนมัติซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)	31
3.9	เครื่องตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	32
3.10	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง	32
3.11	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	32
3.12	ส่วนต่างๆของตัวกวน	33
3.13	รูปร่างของตัวกวนแบบต่างๆ	33
3.14	การขึ้นรูปเครื่องมือเชื่อมด้วยการกลึง	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	ใบเครื่องมือตัด	37
3.16	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)	38
3.17	การตัดอลูมิเนียม	39
3.18	ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว	39
3.19	การขัดกระดาษทราย	39
3.20	น้ำยาที่ใช้ในการกัดกรด	39
3.21	การตรวจสอบมหภาคและจุลภาค	39
4.1	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวาที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า WP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)	41
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา	42
4.3	ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา: (ก) 50 mm/min, (ข) 75 mm/min, (ค) 100 mm/min, (ง) 125 mm/min, (จ) 150 mm/min, (ฉ) 175 mm/min และ (ช) 200 mm/min.	43
4.4	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนเกลียวขวา (RS คือ ด้านรีทริททั้ง AS แสดงด้านแอดวานซ์ ซึ่ง เส้นประแสดงแนวพังทลาย)	44
4.5	ตำแหน่งการวัดขนาดจุดบกพร่องภายใน โครงสร้างมหภาค	45
4.6	ขนาดจุดบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวา	45
4.7	ภาพถ่ายโครงสร้างมหภาคและจุลภาคชิ้นงานเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวา และความเร็วเดินแนว 100 mm/min	47
4.8	การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดเกรนรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวขวา	48
4.9	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า WP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)	60
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวน ทรงกระบอกเกลียวซ้าย: (ก) 50 mm/min, (ข) 75 mm/min, (ค) 100 mm/min, (ง) 125 mm/min, (จ) 150 mm/min, (ฉ) 175 mm/min และ (ช) 200 mm/min,	52
4.12	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ของตัวกวน ทรงกระบอกเกลียวซ้าย (RS คือ ด้านรีทรีททั้ง AS แสดงด้านแอดวานซ์ เส้นประแสดงแนวพังทลาย)	53
4.13	โครงสร้างแนวเชื่อมตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและ พื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวน (จ) พื้นที่นักเกต (ฉ) พื้นที่ได้ปากเครื่องมือ เชื่อม	55
4.14	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวาที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า SP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วย สเกล: ซม.)	57
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และความเร็วเดิน แนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา	58
4.16	ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรง กรวยเกลียวขวา	59
4.17	โครงสร้างมหภาคของชั้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวาที่ ความเร็วในการเชื่อมต่างๆ	60
4.18	สมมติฐานการไหลวนของอูมิเนียมภายใต้เครื่องมือเชื่อมตัวกวนทรงกรวย	61
4.19	รูปร่างโครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกันของตัวกวนทรงกระบอกเกลียวและ ทรงกรวยเกลียวขวา	61
4.20	โครงสร้างมหภาคและจุลภาคชิ้นงานเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา และความเร็วเดินแนว 150 mm/min	62
4.21	ผิวหน้ารอยเชื่อมตัวกวนทรงกรวยเกลียวซ้ายที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย (หน่วยสเกล: ซม.)	65
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และความเร็วเดิน แนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวซ้าย	66
4.23	ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรง กรวยเกลียวซ้าย	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	โครงสร้างมหภาคของขึ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวซ้ายที่ ความเร็วในการเชื่อมต่างๆ	67
4.25	โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวซ้ายที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min	68
4.26	มิติของขึ้นทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)	70
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความเร็วเดินแนวเชื่อม และรูปแบบ ตัวกวน	70
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดตัว ความเร็วเดินแนวเชื่อม และรูปแบบ ตัวกวน	71
4.29	โครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนต่างๆ ที่ความเร็วเดิน แนว 100 mm/min	72