สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อเกย
ระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430
(Friction Stir Welding of AA6063 Aluminum Alloy and 430 Stainless Steel Lap Joint)

ลงทะเบียนวันที่ 11 ก.พ. 2552
เลขทะเบียน 099477
เลขหมู่ วพ TS 228.2
หัวเรื่อง ก674ก การเชื่อม

โดย

นายกิตติพงษ์ กิมะพงศ์
นายอนินท์ มีมนต์
นายบุญส่ง จงกลณี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2551

ชื่อ : นาย กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
นาย อนินท์ มีมนต์
นาย บุญส่ง จงกลณี
ชื่องานวิจัย : การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

รอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีที่สามารถลดน้ำหนักโครงสร้างได้ อย่างไรก็ตามการต่อเชื่อมรอยต่อระหว่างเหล็กและอลูมิเนียมนั้นยังคงเป็นปัญหาในงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้รอยต่อที่แข็งแรง ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันจึงมีการค้นหาวิธีการเชื่อมอื่นๆ เพื่อใช้เชื่อมรอยต่อให้มีความแข็งแรงสูงอย่างต่อเนื่อง รายงานฉบับนี้มีจุดประสงค์ เพื่อประยุกต์การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมเกรด AA6063 เหล็กกล้าไร้สนิม 430 และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนของรอยต่อ

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมส่งผลต่อคุณภาพและความแข็งแรงเฉือนดึงของรอยต่อเกยอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูงสุด คือ ความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50 mm/min ความลึกของตัวกวน 3.1 มม. และความเอียงของตัวกวน 2° ที่แสดงความแข็งแรงเฉือนดึงที่มีค่าประมาณ 11871N และมีค่าสูงกว่าอลูมิเนียมหลัก ความเร็วรอบที่ต่ำทำให้ความแข็งแรงเฉือนดึงของรอยต่อเพิ่มขึ้น ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าที่เพิ่มขึ้น ความลึกของตัวกวนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความเอียงของตัวกวนที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกด อัด และกวนให้เศษเหล็กดันขึ้นไปยึดกับอลูมิเนียมมีค่ามากขึ้น ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อได้ โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อแสดงการเกิดเกรนใหม่ที่มีรูปร่างที่กลมมนและมีขนาดเล็กบริเวณด้านอลูมิเนียม ขณะเดียวกันที่อินเทอร์เฟสระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กนั้นแสดงการเกาะยึดกันแน่นของชั้นการอัดตัวแน่นระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก และเกิดส่วนของเหล็กถูกดันขึ้นไปยึดเนื้ออลูมิเนียมในพื้นที่การกวน

คำสำคัญ: การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน, ตัวกวน, รอยต่อเกย, อลูมิเนียม, เหล็กกล้าไร้สนิม

Name : Mr. Kittipong Kimapong
Mr. Anin Memon
Mr. Boonsong Chongkolnee

Research Title : Friction Stir Welding of AA6063 Aluminum Alloy and 430 Stainless Steel Lap Joint

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

Abstract

A joint of aluminum and steel is increasingly applied in various industries because the joint has a good advantage for reducing the weight of structures. However, the welding process that could successfully produce a higher strength of a joint between aluminum and steel is still a problem in an industry. Therefore, in a present day, the welding process that could give a higher joint strength is continuously discovered to solve a problem. This research work aims to apply a friction stir welding to weld a lap joint between AA6063 and AISI 430 stainless steel and vary a welding parameter that influences the tensile shear strength of a joint.

The result was found that a variation of the welding parameter influenced the quality and the tensile shear strength of the joint between AA6063 and AISI430 stainless steel. The welding parameter that gave a maximum strength was a rotating speed of 250 rpm, a welding speed of 50 mm/min, a pin depth of 3.1 mm and a tool tilt angle of 2° and showed a tensile shear strength of 11871 N that was stronger that that of aluminum base metal. Decreasing of the rotating speed, increasing of the welding speed and increasing of the pin depth could effectively increase a joint strength. However, if the pin depth was too high, the joint strength was decreased because the defect was produced along the joint interface. Increasing of the tool tilt angle also increased the joint strength because it increased a force to compress, rub and stir the steel part to combine aluminum and steel. Microstructure of the joint showed a re-crystallization grain that has a round and small shape at the aluminum side and show a good combination between aluminum and steel on the joint interface. Some steel part was pushed to aluminum side and bonded with a stirred aluminum in a stir zone.

Keywords: friction stir welding, stirrer, lap joint, aluminum, stainless steel

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2551 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ดังที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องกัดอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำให้การควบคุมการทดลองในกระบวนการเชื่อมเป็นไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
อนินท์ มีมนต์
บุญส่ง จงกลณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง	**5**
2.1 หลักการพื้นฐานการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	5
2.2 กลไกสำคัญในการเชื่อมยึดอลูมิเนียมและเหล็ก	8
2.3 ตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน	10
2.4 โลหะวิทยาพื้นฐานของอลูมิเนียมและเหล็กกล้า	11
2.5 การทดสอบสมบัติทางกล	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	**39**
3.1 แผนการดำเนินงาน	39
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	**50**
4.1 อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกของตัวกวน 3.0 มม. ต่อความแข็งแรงของรอยต่อ	50
4.2 อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกของตัวกวน 3.1 มม. ต่อความแข็งแรงของรอยต่อ	60
4.3 อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกของตัวกวน 3.2 มม. ต่อความแข็งแรงของรอยต่อ	71
4.4 อิทธิพลความเร็วรอบและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกของตัวกวน 3.3 มม. ต่อความแข็งแรงของรอยต่อ	75
4.5 อิทธิพลความเอียงของตัวกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อ	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	**83**
5.1 ผลการดำเนินงานวิจัย	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	12
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	12
2.3	อักษรห้อยท้ายที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	12
2.4	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	13
2.5	ส่วนผสมทางเคมีและกลสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม	15
2.6	ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลเหล็กกล้าไร้สนิมเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก	16
2.7	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	19
2.8	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	20
2.9	รูปแบบเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด แรงกด และวัสดุทดสอบตาม JIS-Z2243	30
2.10	สเกลความแข็ง	32
2.11	ตัวอย่างค่าความแข็งร็อกเวล	33
2.12	ตัวอย่างการแสดงค่าความแข็ง	35
2.13	ตัวอย่างค่าความแข็งของโลหะบางชนิด	36
3.1	แผนการดำเนินงานของโครงงานการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA6063 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติค 430	39
3.2	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	41

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพสมดุลเฟสของอลูมิเนียมและเหล็ก	2
2.1	ภาพรวมกระบวนการ FSW	5
2.2	กลไกการเกิดการรวมตัวของวัสดุของ FSW	6
2.3	ผิวแนวเชื่อมของรอยต่อชนอลูมิเนียมและเหล็กที่ไม่มีฟลั๊กซ์ปกคลุมแนวเชื่อม	7
2.4	ตำแหน่งการเริ่มสอดตัวกวนเข้าสู่แนวรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	9
2.5	กลไกการเชื่อมยึดของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	10
2.6	ตัวอย่างรูปแบบของแรงกระทำ	17
2.7	ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	17
2.8	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	18
2.9	เส้นโค้งการทดสอบแรงดึง	19
2.10	การทดสอบหาความเค้นอัด: (ก) แรงกดที่กระทำ และ (ข) เครื่องทดสอบการกด	21
2.11	ความสัมพันธ์ของความเค้นกดและความเครียดกด	22
2.12	การดัดโค้งชิ้นงานพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม: (ก) แรงเริ่มต้นกระทำ (ข) ความเค้นกดและความเครียดบนชิ้นงาน และ (ค) ชิ้นงานที่ดัดถาวร	23
2.13	รูปแบบการเฉือน: (ก) ความเค้นเฉือน และ (ข) ความเครียดเฉือน	24
2.14	การทดสอบแรงบิด	25
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเฉือน	25
2.16	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รูวงกลม และ (ข) รูวงรี	27
2.17	องค์ประกอบความเข้มข้นของความเค้นทางทฤษฎีสำหรับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ	28
2.18	การทดสอบแบบบริเนล	30
2.19	การทดสอบความแข็งร็อกเวล	32
2.20	การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอรส์	33
2.21	การทดสอบความแข็งแบบนู๊ป	34
3.1	แผนภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง	41
3.3	มิติของแผ่นวัสดุและรอยต่อเกย	42
3.4	อุปกรณ์จับยึด	43
3.5	เครื่องกัดอัตโนมัติ	44
3.6	แผงควบคุมของเครื่อง	45
3.7	การจับยึดชิ้นงานในอุปกรณ์การจับยึด	45
3.8	มิติเครื่องมือเชื่อม (หน่วย มม.)	46
3.9	การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียมและเหล็ก	48
3.10	ตำแหน่งการตัดชิ้นงานเชื่อมเพื่อทำชิ้นทดสอบแรงดึงแบบเฉือน (หน่วย: มม.)	48
3.11	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)	49
3.12	ตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามแนวขวาง (ก) และตามแนวขนาน (ข) ทิศทางการเดินแนวเชื่อม	49
4.1	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.0 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	51
4.2	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.0 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	52
4.3	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.0 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	52
4.4	รอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เกิดการพังทลายในขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ	54
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงพังทลาย ความเร็วรอบ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกตัวกวน 3.0 มม.	55
4.6	(ก) อินเทอร์เฟสที่ไม่เกิดการเชื่อมยึด และ (ข) อินเทอร์เฟสที่เกิดการเชื่อมยึด	55
4.7	ผิวการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 500 rpm และความลึกของตัวกวน 3.0 มม ที่แสดงค่าแรงพังทลายต่ำสุดและสูงสุด	56
4.8	ผิวการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 750 rpm และความลึกของตัวกวน 3.0 มม ที่แสดงค่าแรงพังทลายต่ำสุดและสูงสุด	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	โครงสร้างรอยต่อเกยที่ระดับความลึกตัวกวน 3.0 มม. ที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดและต่ำสุด	59
4.10	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.1 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	61
4.11	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.1 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	62
4.12	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.1 มม. (AS= ด้านแอดวานซิ่ง และ RS= ด้านรีทรีทิ่ง)	62
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงพังทลาย ความเร็วรอบ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกตัวกวน 3.1 มม.	63
4.14	ผิวการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 250 rpm และความลึกของตัวกวน 3.1 มม ที่แสดงค่าแรงพังทลายต่ำสุดและสูงสุด	64
4.15	ผิวการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 500 rpm และความลึกของตัวกวน 3.1 มม ที่แสดงค่าแรงพังทลายต่ำสุดและสูงสุด	65
4.16	ผิวการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 750 rpm และความลึกของตัวกวน 3.1 มม ที่แสดงค่าแรงพังทลายต่ำสุดและสูงสุด	67
4.17	โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm: (ก) ความเร็วเดิน 50 mm/min และ (ข) 25 mm/min	68
4.18	โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm: (ก) ความเร็วเดิน 75 mm/min และ (ข) 175 mm/min	69
4.19	โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm: (ก) ความเร็วเดิน 150 mm/min และ (ข) 25 mm/min	70
4.20	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.2 มม.	72
4.21	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.2 มม.	72
4.22	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความลึก 3.2 มม.	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงพังทลาย ความเร็วรอบ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกตัวกวน 3.2 มม.	73
4.24	โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm-50 mm/min (ก) และความเร็วรอบ 500 rpm-175 mm/min (ข) ที่ความลึก 3.2 มม.	75
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงพังทลาย ความเร็วรอบ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ความลึกตัวกวน 3.3 มม.	76
4.26	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดิน 75 mm/min ที่ระดับความลึก 3.3 มม.	77
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงพังทลาย และความเอียงของตัวกวน	78
4.28	การพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเฉือนของชิ้นทดสอบที่ตัวกวนเอียง 2 และ 3°	79
4.29	โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50 mm/min ความลึกตัวกวน 3.2 มม. ความเอียง 2°	80