การประเมินค่าตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่เหมาะสมของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD ด้วยวิธีการทากูชิ

Optimization of Process Parameters for Friction Spot Joining of AA5052 Aluminum and SGACD Zinc coated-Steel Joint by Taguchi Method

โดย

ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2554

ผู้วิจัย : ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ชื่องานวิจัย : การประเมินค่าตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่เหมาะสมของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD ด้วยวิธีการทากูชิ
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

วัสดุต่างชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ มีข้อดีในการเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงสร้างในการรับแรง และลดน้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน ในปัจจุบันการเชื่อมวัสดุต่างชนิดเป็นวิธีการที่มีการปรับปรุงเพื่อให้ได้รอยต่อที่สมบูรณ์ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแรงเสียดทานแบบจุดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACD และศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACD ที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมต่างๆ

การทดลองเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป15 เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรการเชื่อม และเปรียบเทียบกับการทดลองเชื่อมที่ช้วัสดุในการทดลอง คือ แผ่นอลูมิเนียม AA1100 และแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD หนา 1 มม. กว้าง 25 มม. ยาว 100 มม. ประกอบกันเป็นรอยต่อเกยและยึดแน่นบนแท่นเครื่องกัด ทำการเชื่อมโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรประกอบไปด้วย ความเร็วรอบ ความเร็วการสอดตัวกวน และเวลากดแช่ ชิ้นงานที่ได้ถูกนำไปทำการตรวจสอบสมบัติต่างๆ

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเชื่อมเสียดทานแบบจุดสามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมผสม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ดีที่สุด 2323 นิวตัน คือ ความเร็วรอบ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลากดแช่ 2 วินาที และความเร็วนการสอดตัวกวน 6 มม./นาที ความเร็วรอบที่ต่างกันทำให้พื้นที่การเชื่อมยึดของบริเวณอินเตอร์เฟสมีความแตกต่างกัน โดยที่ความเร็วรอบที่ต่ำขนาดของพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดก็จะต่ำไปด้วย อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบตัวกวน ระยะเวลาในการกดแช่ และความเร็วในการสอดตัวกวนมีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนที่ระดับ α=0.05 และ 90.32% ปัจจัยอื่นที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมมีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนที่ 9.68%

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบจุด, อลูมิเนียม, เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี, ความแข็งแรงดึงเฉือน

Name : Assist. Prof. Surat Traiwanapong
Assist. Prof. Kittipong Kimapong (Ph.D.)
Research Title : Optimization of Process Parameters for Friction Spot Joining of AA5052 Aluminum and SGACD Zinc coated-Steel Joint by Taguchi Method
หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

Dissimilar materials joint that applied in industries such as an automobile industry has an advantage for improving the structure flexibility when the load was applied. The joint also decreases the ratio of strength and weight of the structure that directly affected to energy preservation. Recently, the joining of the dissimilar materials joint is continuously improved the joining process for the sound weld of the joint. So, this article aims to study of the effect of the friction spot joining parameters on 1100 aluminum alloy and SGACD steel lap joint strength. The article also aims to comparative study of the relation of the microstructure and the tensile shear strength of 1100 aluminum alloy and SGACD steel lap joint strength.

The experiment was started using MINITAB15 to design of the experiment (DOE) and then find the relation between the friction spot joint parameters. The DOE results that obtained from MINITAB15 were also compared to the real experimental results. The materials for the real experimental results were AA1100 aluminum alloys and SGACD zinc coated steel with the dimension of 1 mm. thick, 25 mm. wide and 100 mm. wide. The friction spot joining was carried out to produce the joint by varying various welding process parameters such as a rotating speed, an insert pin speed, and a holding time. The lap joint that was produced by a given welding process parameter was investigated for the joint properties.

The experimental results are as following. The friction spot joining could successively produce the lap joint of AA1100 aluminum alloy and SGACD zinc coated steel. The optimum condition that gave the tensile shear strength of 2323N was the rotating speed of 4500 rpm, the pin insert speed of 6 mm/min and the holding time of 2 s. The bonding of the materials at the joint interface was directly increased with the increase of the rotating speed. The interaction of the rotating speed, the pin insert speed and the holding time on the tensile shear strength was about α=0.05 และ 90.32%. The uncontrollable parameter affected to the tensile shear strength of 9.68%.

Keywords: friction spot joining, aluminum, zinc coated steel, shear tensile strength

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ประจำปี 2554 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ดังที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ คุณสุทธิพร คงเพชร วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี คุณสุริยา ประสมทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานเครื่องมือ และเครื่องมือทดสอบอื่นๆ ทำให้การควบคุมการทดลองในกระบวนการเชื่อมเป็นไปได้อย่างราบรื่น

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

ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์
ผศ.ดร.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	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง	**4**
2.1 วัสดุการทดลอง	4
2.2 การออกแบบการทดลอง	12
2.3 การเชื่อม	18
2.4 การทดสอบวัสดุ	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	**34**
3.1 แผนการดำเนินงาน	34
3.2 การออกแบบการทดลอง / เครื่องมือ	35
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานเชื่อม	39
3.4 วิธีการทดสอบ / วิธีการวัดผล	35
3.5 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)และการทดสอบเพื่อยืนยันผล	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	**52**
4.1 ตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของรอยต่อโดยการเชื่อมแรงเสียดทานแบบจุดที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACD จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab 15	52
4.2 อิทธิพลของความเร็วรอบของตัวกวน ระยะเวลาการกดแช่ และความเร็วในการสอดตัวกวน ที่มีผลต่อต่อความความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบ 3500 รอบ/นาที	60
4.3 อิทธิพลของความเร็วรอบของตัวกวน ระยะเวลาการกดแช่ ความเร็วในการสอดตัวกวนที่มีผลต่อต่อความความแข็งแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที	66
4.4 อิทธิพลของความเร็วรอบของตัวกวน ระยะเวลาการกดแช่ ความเร็วในการสอดตัวกวนที่มีผลต่อต่อความความแข็งแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 4500 รอบ/นาที	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	**80**
5.1 ผลการดำเนินงานวิจัย	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม	82

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	สมบัติทางกายรูปของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	4
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	5
2.3	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	5
2.4	อักษรห้อยท้ายที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	6
2.5	เกรดและสัญลักษณ์สำหรับเหล็กรีดเย็นทั้งประเภทเหล็กแผ่นและเหล็กม้วน	10
2.6	ประเภทของเหล็กเคลือบสังกะสีเคลือบสีด้วยเรซิ่นสังเคราะห์	10
2.7	สัญลักษณ์ของมวลสังกะสีที่เคลือบ และความหนาของสังกะสีที่เคลือบเทียบเท่า	11
3.1	การเลือกใช้วัสดุสำหรับการเชื่อมแบบจุด	35
3.2	การทดลองการตั้งค่าเงื่อนไขในการเชื่อม	43
4.1	ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนของชิ้นทดสอบ	53
4.2	การคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab 15	54
4.3	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบของตัวกวน 3,500 รอบ/นาที	60
4.4	ตารางค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนจากการคำนวน	61
4.5	ตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนซ้ำ เปรียบเทียบจากการคำนวน	62
4.6	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบของตัวกวน 4,000 รอบ/นาที	66
4.7	ตารางค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนจากการคำนวน	67
4.8	ตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนซ้ำ เปรียบเทียบจากการคำนวน	67
4.9	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบของตัวกวน 4,500 รอบ/นาที	71
4.10	ตารางค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนจากการคำนวน	72
4.11	ตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนซ้ำ เปรียบเทียบจากการคำนวน	73
4.12		

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	กรรมวิธีการเชื่อมแรงเสียดทานแบบจุด	1
2.1	แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีแบบ Normal Spangle (HDG)	9
2.2	เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แบบ Galvanneal (IZ)	10
2.3	โครงสร้างทางสถิติที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	13
2.4	ค่าวิกฤติ พื้นที่วิกฤติ ระดับนัยสำคัญ และค่าพี-แวลู่	14
2.5	พื้นที่ใต้โค้งด้านขวาการแจกแจงเอฟ	15
2.6	หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	18
2.7	รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	19
2.8	การเชื่อมด้วยการเสียดทาน	20
2.9	ขั้นตอนการเชื่อมแบบทั่วไป (ก) ชิ้นงานด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) และชิ้นงานด้านขวาถูกเลื่อนเข้าด้วยแรงจากไฮดรอลิก ; (ข) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดด้วยแรง (F_l) จนชิ้นงานหลอมละลาย ; (ค) ชิ้นงานด้านขวาถูกอัดจนติดกันอย่างสมบูรณ์กับชิ้นงานด้านซ้าย ชิ้นงานเชื่อมจะหยุดหมุนทันที	21
2.10	กรรมวิธีการเชื่อมแรงเสียดทานแบบจุด	22
2.11	กลไกการเชื่อมยึดของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	22
2.12	ตัวอย่างรูปแบบของแรงกระทำ	23
2.13	ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	24
2.14	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	25
2.15	เส้นโค้งการทดสอบแรงดึง	25
2.16	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รูวงกลม และ (ข) รูวงรี	27
2.17	องค์ประกอบความเข้มข้นของความเค้นทางทฤษฎีสำหรับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ	28
2.18	การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอรส์	30
2.19	การทดสอบความแข็งแบบนู๊ป	30
2.20	กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	31
3.1	แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำการทดลอง	34
3.2	อลูมิเนียมผสม AA 1100	36
3.3	เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD	36
3.4	แบบการวางชิ้นงานก่อนการเชื่อม	36
3.5	อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	37
3.6	ตัวกวน	38
3.7	ขนาดและของรูปทรงตัวกวน	38
3.8	เครื่องตัดเหล็ก	40
3.9	การขัดลบคม และกำจัดครีบที่เกิดจากการตัดเตรียมชิ้นงาน	40
3.10	เครื่องกัดอัตโนมัติแนวดิ่ง	40
3.11	การประกอบตัวกวนและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	แกะฟิล์มพลาสติกบนผิวหน้าอลูมิเนียม	41
3.13	การขัดอลูมิเนียมและการแช่ด้วยอะซิโตน	41
3.14	การขัดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีและการแช่ด้วยอะซิโตน	41
3.15	การวางชิ้นทดสอบลงบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	42
3.16	การตั้งโปรแกรมการเดินเครื่องกัดอัตโนมัติ	42
3.17	ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม	45
3.18	เครื่องทดสอบแรงดึง	46
3.19	อุปกรณ์หล่อเรซิ่น	48
3.20	ชิ้นงานหลังจากการหล่อเรซิ่น	48
3.21	การขัดชิ้นงานด้วยกระทราย	49
3.22	เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบ	49
3.23	บีกเกอร์ตวงน้ำกรด	49
3.24	กรดที่ใช้ในการกรดดูโครงสร้าง	50
3.25	กล้องจุลทรรศน์เพื่อส่องดูโครงสร้างจุลภาค	50
3.26	ลักษณะรอยฉีกขาดบนผิวของเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี	50
3.27	ลักษณะรอยฉีกขาดบนผิวด้านหน้าและด้านหลังของอลูมิเนียม	51
4.1	กราฟทดสอบความพอเพียงของแบบจำลอง	56
4.2	อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนของชิ้นทดสอบ	58
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของตัวกวนกับระยะเวลาในการกดแช่	60
4.4	ชิ้นทดสอบเพื่อหาความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 3,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	63
4.5	โครงสร้างมหภาคและ (ข) โครงสร้างจุลภาคตำแหน่ง I และ (ค) โครงสร้างจุลภาคตำแหน่ง III ในรูปที่ 4.5 (ก) ของรอยต่อที่ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 3,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	64
4.6	(ก) โครงสร้างบริเวณอินเตอร์เฟสตำแหน่งที่ II ในรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) โครงสร้างมหภาคบริเวณการเชื่อมยึดของรอยต่อที่ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 3,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	65
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของตัวกวนกับระยะเวลาในการกดแช่	66
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากดแช่ 6 วินาที กับ ความเร็วในการสอดตัวกวน	67
4.9	ชิ้นทดสอบเพื่อหาความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,000 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,000 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	69
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของตัวกวนกับระยะเวลาในการกดแช่	71
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากดแช่ 2 วินาที กับ ความเร็วในการสอดตัวกวน	72
4.13	ชิ้นทดสอบเพื่อหาความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 2 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	73
4.14	โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	75
4.15	ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวกวน 3500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	76
4.16	ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวกวน 4,000 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	77
4.17	ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวกวน 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 2 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที	78
4.18	โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบ: (ก) 3,500 รอบ/นาที (ข) 4,000 รอบ/นาที และ (ค) 4,500 รอบ/นาที	78