



โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาสมบัติรอยเชื่อมต้านทานแบบจุด
ระหว่างอลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD
A Study of Resistant Spot Welds Properties between AA1100
Aluminum Alloy and SGACD Zinc Coated Steel

โดย

พ.อ.อ.ศักดิ์ชัย	จันทศรี
ผศ.ไพบุลย์	แย้มเผื่อน
ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

ผู้วิจัย : พ.อ.อ. ศักดิ์ชัย จันทศรี
ผศ.ไพบุลย์ แยมเนียน
ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ชื่องานวิจัย : การศึกษาสมบัติรอยเชื่อมต้านทานแบบจุดระหว่างอลูมิเนียม AA1100 และ เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

รอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้ามีความยากลำบากในการเชื่อมหลอมละลาย เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติวัสดุ อย่างไรก็ตามการใช้งานรอยต่อนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะรอยต่อชนิดนี้สามารถร่นน้ำหนักรวมของรถยนต์และส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานได้ ดังนั้นหากมีการเชื่อมรอยต่อชนิดนี้ให้มีความสมบูรณ์แล้วอาจทำให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมต้านทาน แลลดจุดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้า และทำการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อลูมิเนียมผสมเกรด AA1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี SGACD ที่มีขนาดหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร ในการทดลองใช้การเชื่อมต้านทานแบบจุดในการเชื่อมรอยต่อโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสไฟเชื่อม เวลากดแช่ และแรงกดปลายอิเล็กโทรด รอยต่อที่ได้จากการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดถูกนำไปทำการตรวจสอบสมบัติของรอยต่อต่อไป

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้ความแข็งแรงเฉือนถึง 2200 N คือ กระแสไฟเชื่อม 95 kA เวลากดแช่ 10 cycle และแรงกดปลายอิเล็กโทรด 0.10 MPa กระแสไฟเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเพิ่มขึ้น และทำให้เพิ่มการกระจายตัวของอลูมิเนียมบริเวณผิวสัมผัสของรอยต่อ เวลากดแช่อิเล็กโทรดที่เพิ่มขึ้นทำให้ส่งผลทำให้การเกาะยึดของโลหะเพิ่มขึ้นและทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น เวลากดแช่และแรงกดอิเล็กโทรดที่สูงทำให้โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อเสียหายและทำให้การเกาะยึดของวัสดุที่ผิวสัมผัสลดลง รอยเชื่อมต่อง่ายที่กำหนดให้เหล็กอยู่ด้านบนอลูมิเนียมมีความแข็งแรงเฉือนสูงกว่ารอยเชื่อมต่อง่ายที่กำหนดให้อลูมิเนียมอยู่ด้านบนเหล็ก โครงสร้างมหภาคของรอยต่ออยู่ในระดับ C ของมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS Z31339 สามารถนำไปใช้ในงานการผลิตรถยนต์ได้

คำสำคัญ : อลูมิเนียม, เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี, การเชื่อมต้านทานแบบจุด, ความแข็งแรง

Name : FS1.Sakchai Chantasri
Assist. Prof. Paiboon Yampuern
Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.
Research : A Study of Resistant Spot Welds Properties between AA1100
Title Aluminum Alloy and SGACD Zinc Coated Steel
หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

A joint of aluminum alloy and carbon steel is difficult to fusion weld because of the difference in the materials properties. However, this joint application was continuously increased in an automobile industry because this joint could reduce the gross automobile weight and directly affect to reserve the energy. Therefore, if the joint could perfectly produce, a joint application could be affect to develop the automobile industry. This research work aims to effect study of resistance spot welding parameters on the aluminum and steel joint strength and to comparative study of joint strength and joint microstructure.

The materials in this experimental were AA1100 aluminum alloys and SGACD zinc coated steel with the dimension of 1 mm. thick, 25 mm. wide and 100 mm. wide. The resistance spot welding was performed to produce the lap joint using various welding process parameters such as a welding current, a holding time, and a electrode tip pressure. The lap joint that was produced by a given welding process parameter was investigated for the joint properties.

The summarized experimental results are as follows. An optimum welding parameters that produced maximum tensile shear strength of 2200 N was a welding current of 95 kA, a holding time of 10 cycles, and a welding pressure of 0.10 MPa. Increasing of welding current affected to increase tensile shear strength of the joint and increase the amount of aluminum dispersion at the joint interface. Increasing of a holding time affected to increase the bonging between the materials and joint tensile shear strength. A holding time and an electrode pressure that was high deteriorated the joint macrostructure and microstructure and also decreased the bonging between the materials. A lap joint that was set the steel over the aluminum showed the higher joint tensile shear strength than a lap joint that was set the aluminum over the steel. Macrostructure profile showed that the joints was within the class C of JIS Z31339 and also could apply in automobile industry.

Keywords : aluminum , zinc coated steel, resistance spot welding, strength,

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2555 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสนำมาทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศักดิ์ชัย จันทศรี
ไพบุลย์ แยมเพื่อน
กิตติพงษ์ กิมาพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วัสดุ	3
2.2 การเชื่อมโลหะ	11
2.3 การทดสอบสมบัติโลหะเชื่อม	20
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	24
3.1 วัสดุทดลอง	29
3.2 การเชื่อม	31
3.3 การทดสอบสมบัติรอยต่อ	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 อิทธิพลกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงเหนือนดึงของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นเหล็กไว้ด้านบนและแผ่นอลูมิเนียมไว้ด้านล่าง	44
4.2 อิทธิพลกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงเหนือนดึงของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมไว้ด้านบนและแผ่นเหล็กไว้ด้านล่าง	50
4.3 อิทธิพลของเวลาบัดกรีต่อความแข็งแรงเหนือนดึงของรอยต่อ	57
4.4 อิทธิพลของแรงกดอิลเลกโทรดต่อความแข็งแรงเหนือนดึงของรอยต่อ	67
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	3
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	4
2.3	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	4
2.4	อักษรห้อยท้ายที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	6
2.5	เกรดและสัญลักษณ์สำหรับเหล็กรีดเย็นทั้งประเภทเหล็กแผ่นและเหล็กม้วน	9
2.6	ประเภทของเหล็กเคลือบสังกะสีเคลือบสีด้วยเรซินสังเคราะห์	9
2.7	สัญลักษณ์ของมวลสังกะสีที่เคลือบ และความหนาของสังกะสีที่เคลือบเทียบเท่า	10
2.8	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	23
2.9	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	24
2.10	ตัวอย่างการแสดงค่าความแข็ง	28
2.11	ตัวอย่างค่าความแข็งของโลหะและเซรามิกส์บางชนิด	28
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง	32
4.1	ค่าระดับคุณภาพของรอยเชื่อมต้านทานแบบจุด JIS Z31339	47
4.2	ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อเกยแบบที่ 1 ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยเวลากดแช่ ต่างๆ	60
4.3	ผลการเกาะยึดของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยแรงกดต่างๆ	67

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	11
2.2	รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	12
2.3	การเกิดความต้านทานในการเชื่อมต้านทานแบบจุด	13
2.4	รอบเวลาการเชื่อมต้านทานแบบจุด	15
2.5	รูปร่างมาตรฐานของอิเล็กโทรด	17
2.6	แผนภาพสมดุลเฟสอลูมิเนียมและเหล็ก	18
2.7	ตัวอย่างรูปแบบของแรงกระทำ	19
2.8	ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	21
2.9	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	21
2.10	เส้นโค้งการทดสอบแรงดึง	22
2.11	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รวงกลม และ (ข) รวงรี	25
2.12	องค์ประกอบความเข้มข้นของความเค้นทางทฤษฎีสำหรับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ	25
2.13	การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส์	27
2.14	การทดสอบความแข็งแบบนูนูป	27
2.15	กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	29
3.1	มิติชิ้นงานเชื่อม (หน่วย: มิลลิเมตร)	31
3.2	เครื่องเชื่อมต้านทานแบบจุด	32
3.3	ลักษณะของอิเล็กโทรดทูป	32
3.4	อุปกรณ์การจับยึดชิ้นงาน	33
3.5	การยึดอุปกรณ์การจับยึดในเครื่องเชื่อมต้านทานแบบจุด	33
3.6	การวางตำแหน่งชิ้นงาน	34
3.7	การกำหนดระยะของอุปกรณ์จับยึด	34
3.8	การล็อกชิ้นงาน	34
3.9	การลบคมของชิ้นงานขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 250	35
3.10	การติดตั้งอุปกรณ์จับยึด (jig) กับเครื่องเชื่อมต้านทานแบบจุด	36
3.11	การวางแผ่นวัสดุลงบนอุปกรณ์จับยึด	36
3.12	การตั้งค่าตัวแปรการเชื่อม	37
3.17	การเชื่อม	37
3.18	เครื่องทดสอบแรงดึงเฉือน GOTECH รุ่น GT-7001-LA-C50	38
3.19	เครื่องตัดชิ้นงานแบบละเอียด	39
3.20	เครื่องขัดผิวโครงสร้างงานขัดหุ้มด้วยผ้าสักหลาด	40
3.21	กล้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชนิดสะท้อนแสง (Optical Microscope)	40
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความแข็งแรงเหนือนดึง และการยึดตัวของรอยต่อ เกยที่วางแผ่นเหล็กไว้ด้านบน	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 85 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม	43
4.3	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 90 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม	44
4.4	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 95 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม	45
4.5	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 100 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม	46
4.6	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 105 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม	47
4.7	ตำแหน่งและระยะการวัดรอยกด	47
4.8	ความลึกของรอยกดอิลคโทรดของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นเหล็กอยู่ด้านบน	48
4.9	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยที่กำหนดให้แผ่นเหล็กอยู่ด้านบนต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่กระแสไฟต่างๆ	49
4.10	รอยต่อเกยแบบที่ 2 ที่กำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบนแผ่นเหล็ก	50
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความแข็งแรงเฉือนดึง และการยึดตัวของรอยต่อเกยที่วางแผ่นอลูมิเนียมไว้ด้านบน	51
4.12	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 85 kA และแผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบน: (ก) แผ่นอลูมิเนียม และ (ข) แผ่นเหล็ก	51
4.13	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 90 kA และแผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบน: (ก) แผ่นอลูมิเนียม และ (ข) แผ่นเหล็ก	52
4.14	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 95 kA และแผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบน: (ก) แผ่นอลูมิเนียม และ (ข) แผ่นเหล็ก	52
4.15	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 100 kA และแผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบน: (ก) แผ่นอลูมิเนียม และ (ข) แผ่นเหล็ก	53
4.16	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 105 kA และแผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบน: (ก) แผ่นอลูมิเนียม และ (ข) แผ่นเหล็ก	54
4.17	ความลึกของรอยกดอิลคโทรดของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบนที่กระแสต่างๆ	55
4.18	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยที่กำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมอยู่ด้านบนต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่กระแสไฟต่างๆ	56
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงเฉือนดึง การยึดตัวของรอยต่อเกยที่วางแผ่นอลูมิเนียมไว้ด้านบน และเวลากดแช่	57
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างการยึดตัว รูปแบบรอยต่อ และเวลากดแช่ต่างๆ	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงของรอยต่อเกย 2 แบบ ที่เชื่อมด้วยเวลากดแช่ 1 cycle	59
4.23	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงของรอยต่อเกย 2 แบบ ที่เชื่อมด้วยเวลากดแช่ 5 cycle	60
4.24	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงของรอยต่อเกย 2 แบบ ที่เชื่อมด้วยเวลากดแช่ 15 cycle	61
4.25	ความลึกของรอยกดอิลีกโทรดของรอยต่อเกยแบบที่ 1 ที่เวลากดแช่ต่างๆ	64
4.26	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยแบบที่ 1 ต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่เวลากดแช่ต่างๆ	65
4.27	ความลึกของรอยกดอิลีกโทรดของรอยต่อเกยแบบที่ 2 ที่เวลากดแช่ต่างๆ	65
4.28	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยแบบที่ 2 ต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่เวลากดแช่ต่างๆ	66
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงเฉือนดึง การยึดตัวของรอยต่อเกยแบบที่ 1 และแรงกด	68
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงเฉือนดึง การยึดตัวของรอยต่อเกยแบบที่ 2 และแรงกด	68
4.31	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยแรงกด 0.15 MPa	69
4.32	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยแรงกด 0.20 MPa	70
4.33	รูปแบบการพังทลายของชั้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยแรงกด 0.25 MPa	72
4.34	ความลึกของรอยกดอิลีกโทรดของรอยต่อเกยแบบที่ 1 ที่แรงกดต่างๆ	73
4.35	ผิวสัมผัสของรอยต่อที่เชื่อมด้วยแรงกดอิลีกโทรด 0.25 MPa ถูกกดลงด้านล่าง	73
4.36	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยแบบที่ 1 ต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่แรงกดต่างๆ	74
4.37	ความลึกของรอยกดอิลีกโทรดของรอยต่อเกยแบบที่ 1 ที่แรงกดต่างๆ	75
4.38	อัตราส่วนความลึกของรอยกดบนผิวรอยต่อเกยแบบที่ 2 ต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่แรงกดต่างๆ	75