



## โครงการวิจัย เรื่อง

การปรับปรุงพื้นผิวอลูมิเนียม 6063 ด้วยการเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบหมุนวนอิเล็กโทรด  
A Surface Treatment of AA 6063 Aluminum Alloy by TIG Welding using Rotated  
Electrode

โดย

นาย ปราโมทย์	พูนนายม
ผศ.ไพบุลย์	แย้มเฟื่อน
ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
งบประมาณประจำปี 2554

ผู้วิจัย : นายปราโมทย์ พูนนายม  
ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน  
ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ชื่องานวิจัย : การปรับปรุงพื้นผิวอลูมิเนียม 6063 ด้วยการเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทคัดย่อ

การปรับปรุงพื้นผิวเป็นวิธีการหนึ่งที่จะเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับพื้นผิวอลูมิเนียม จะช่วยให้อลูมิเนียมสามารถนำมาใช้ได้อย่างกว้างขวางและมากขึ้นกว่าเดิม ที่ผ่านมามีเทคนิคที่สามารถทำให้ผิวของอลูมิเนียมมีสมบัติดีขึ้น เช่น การเพิ่มธาตุบางชนิดเข้าไปที่บริเวณผิว การอบชุบ การกวนอลูมิเนียมหลอมเหลวจึงถูกนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวอลูมิเนียม 6063 ด้วยการประยุกต์กระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ที่มีผลต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของพื้นผิวเชื่อม

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ แผ่นอลูมิเนียมรีดเกรด AA6063 หนา 6.3 มม. ขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. แผ่นอลูมิเนียมถูกเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวแปรการเชื่อมที่ประกอบด้วยความเร็วรอบการหมุน กระแสไฟฟ้าการเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม หลังจากนั้นชิ้นงานถูกเตรียมเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็งแรงของโลหะเชื่อมต่อไป

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของพื้นผิวเชื่อมมีค่ามากขึ้นและขนาดของเกรนย่อยมีความละเอียดขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของพื้นผิวเชื่อมมีค่าลดลงและขนาดของเกรนย่อยมีความละเอียดลดลง ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของพื้นผิวเชื่อมมีค่ามากขึ้นและขนาดของเกรนย่อยมีความละเอียดขึ้น และความสัมพันธ์ที่ว่าขนาดของเกรนย่อยที่มีความละเอียดมากขึ้นจะเป็นผลทำให้ความแข็งแรงของพื้นผิวมีค่ามากขึ้น การเชื่อมด้วยความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ 250 รอบต่อนาที กระแสไฟฟ้า 50 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.40 เมตรต่อนาที ให้ค่าความแข็งแรงพื้นผิวเชื่อมสูงสุดประมาณ 51.8 HV

คำสำคัญ : อลูมิเนียม การเชื่อมทิก การหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างจุลภาค

Name : Mr.Pramote Poonnayom  
Assist. Paiboon Yampuern  
Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.  
Research : A Surface Treatment of AA 6063 Aluminum Alloy by TIG Welding  
Title using Rotated Electrode  
หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

### Abstract

A surface treatment was the one of the method for increasing hardness property of aluminum surface and made aluminum could be widely used in industries. Recently, many techniques could successfully produce the better properties of the aluminum surface such as an addition of the element to aluminum, a heat treatment of the aluminum, a stirring of a melting aluminum, etc. So, this study aimed to modify the 6063 aluminum surface using a rotating electrode Tungsten Inert Gas (TIG) techniques and study of welding parameters that could affect a microstructure and mechanical property of the aluminum surface.

Material in this experiment was AA6063 aluminum alloy rolled plate that had a dimension of 6.3 mm thick, 75 mm wide and 150 mm long. The plate was the rotating electrode tungsten inert gas welded using the various welding parameters such as the rotating speed, the welding current and the welding speeds. After the welding was completed, the specimens were mechanically prepared for microstructure investigation and hardness test.

The summarized results were as follows. Increasing of the rotating speed affected to increase the surface hardness and decrease the sub grain dimension. Increasing of the welding speed also affected to increase the surface hardness and decrease the sub grain dimension. The optimum welding condition the produced the surface hardness of 51.8HV was the rotating speed of 250 rpm, welding current of 50A and the welding speed of 0.40 m/min.

Keywords : aluminium , TIG welding, rotating electrode, microstructure

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2554 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปราโมทย์ พูนนายม

ไพบูลย์ แยมเพื่อน

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขต	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	5
2.3 การเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	11
2.4 การเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตน	14
2.5 การตัด	25
2.6 การขึ้นเรือน	27
2.7 การขัดผิว	27
2.8 การกัดขึ้นรอย	31
2.9 การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	37
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2 เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์การเชื่อม	38
3.3 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการเชื่อม	41
3.4 เชื่อมอลูมิเนียม 6063 ด้วยเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบหมุนวน อิเล็กโทรด	42
3.5 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	44
3.6 การทดสอบความแข็ง	47
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	48

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	50
4.1 อิทธิพลของความเร็วรอบการหมุนอิเล็กทรอนิกส์ต่อโครงสร้างของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063	52
4.2 อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าต่อโครงสร้างของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063	61
4.3 อิทธิพลของความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อโครงสร้างของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	79
5.1 สรุปผลการทดลอง	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	82

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การแบ่งกลุ่มของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน (Aluminum association)	6
2.1	การแบ่งกลุ่มของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน (Aluminum association)	6
2.2	สัญลักษณ์ที่กำหนดกรรมวิธีทางความร้อนของอลูมิเนียม	8
2.3	ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมผสม 6063	9
2.4	สมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสม 6063	9
2.5	การเตรียมผิวรอยต่อก่อนเชื่อม	12
2.6	การแบ่งลวดทั้งสแตนเลสและส่วนผสมทางเคมีของลวดทั้งสแตนเลส	23
2.7	ขนาดกระแสเชื่อมและลวดเชื่อมที่สัมพันธ์กัน	24
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม เกรด 6063	37
3.3	เงื่อนไขในการทดสอบ	43
4.1	ค่าความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบต่างๆ แบบวิกเกอร์ (Vickers) แรงกด 200 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที	59
4.2	ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที	60
4.3	ค่าความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ แบบวิกเกอร์ (Vickers) แรงกด 200 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที	66
4.4	ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสไฟฟ้า 50 แอมแปร์	68
4.5	ค่าความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ แบบวิกเกอร์ (Vickers) แรงกด 200 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที	76
4.6	ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.40 เมตร/นาที	76

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบที่สำคัญในบริเวณอาร์คของการเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตน	2
2.2	ส่วนประกอบที่สำคัญในบริเวณอาร์คของการเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตน	13
2.3	เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์การเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตน	15
2.4	เครื่องเชื่อมอินเวอเทอร์	16
2.5	ส่วนประกอบภายในหัวเชื่อมทิก	18
2.6	ลักษณะของกระแสไฟฟ้าและวงจรการทำงานของ DCEN	18
2.7	ลักษณะของกระแสไฟฟ้าและวงจรการทำงานของ DCEP	21
2.8	ลักษณะปลายลวดทั้งสแตน : (A) ปลายจุดแหลม (B) ปลายกลม (C) ปลายลวดเรียว และกลมเล็ก	22
2.9	ลวดเชื่อมทั้งสแตนที่ใช้สีเป็นบาร์โค้ด	24
2.10	ตัวอย่างใบตัดอะแบรซีฟ	26
2.11	ลักษณะการยึดเกาะของเม็ดขัดบนเส้นใยผ้า	29
2.12	กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง	33
2.13	ตำแหน่งทดสอบความแข็งจุลภาคงานเชื่อม	34
2.14	หัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส	36
3.1	ลักษณะการแบ่งชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบ	37
3.2	เครื่องหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์	38
3.3	เครื่องเชื่อมอาร์คแบบอินเวอเทอร์	39
3.4	ลักษณะกระแสไฟตรงขั้ว (DCEN)	39
3.5	มาตรวัดความดันแก๊ส	40
3.6	ลวดเชื่อมทั้งสแตนบริสุทธิ์ชนิดสีเขียว	40
3.7	ลักษณะปลายลวดทั้งสแตนที่ใช้ในการทดลอง	41
3.8	ขนาดชิ้นงานที่จะใช้ในการเชื่อม	42
3.9	ลักษณะการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ	43
3.10	เครื่องตัดชิ้นทดสอบหล่อเย็นด้วยน้ำ	44
3.11	ลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากหล่อตัวเรือน	44
3.12	เครื่องขัดดูโครงสร้าง	45
3.13	ผ้าสักหลาดที่ใช้ขัดชิ้นงานด้วยผงเพชร	46
3.14	เครื่องอบชิ้นงาน	46
3.15	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	47

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.16	เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส	47
3.17	ตำแหน่งในการวัดค่าความแข็ง	48
4.1	ลักษณะการวัดความกว้างของแนวเชื่อมด้านผิวหน้า	50
4.2	ลักษณะการวัดความกว้างและการซึมลึกของแนวเชื่อมด้านซึมลึก	50
4.3	บริเวณของแนวเชื่อมที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (ก) แนวเชื่อมด้านผิวหน้า (ข) แนวเชื่อมด้านซึมลึก	51
4.4	พื้นผิวของอลูมิเนียม 6063 ที่กำลังขยาย X100 : (ก) ก่อนเชื่อม (ข) หลังเชื่อม	52
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับความกว้างของแนวเชื่อม	53
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับการซึมลึกของแนวเชื่อม	53
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับขนาดของเกรน (Sub grain) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม	54
4.8	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ : (ก) ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที (ข) ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที (ค) ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที	55
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณระหว่างกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อม	56
4.10	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ : (ก) ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที (ข) ความเร็วรอบ 250 รอบต่อ (ค) ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที	57
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณขอบแนวเชื่อม	58
4.12	โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ : (ก) ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที (ข) ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที (ค) ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที	58
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรดกับค่าความแข็ง	59
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ทำการวัดบนแนวเชื่อมกับค่าความแข็ง	60
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความกว้างของแนวเชื่อม	60
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อม	62

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม	62
4.18 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ : (ก) กระแสไฟฟ้า 50 แอมแปร์ (ข) กระแสไฟฟ้า 90 แอมแปร์ (ค) กระแสไฟฟ้า 150 แอมแปร์	63
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อม	63
4.20 โครงสร้างจุลภาคบริเวณระหว่างกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ : (ก) กระแสไฟฟ้า 50 แอมแปร์ (ข) กระแสไฟฟ้า 90 แอมแปร์ (ค) กระแสไฟฟ้า 150 แอมแปร์	64
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณขอบแนวเชื่อม	65
4.22 โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ: (ก) กระแสไฟฟ้า 50 แอมแปร์ (ข) กระแสไฟฟ้า 90 แอมแปร์ (ค) กระแสไฟฟ้า 150 แอมแปร์	66
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความแข็งของแนวเชื่อม	67
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับตำแหน่งที่ทำการวัดบนแนวเชื่อม	68
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับความกว้างของแนวเชื่อม	69
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับการซึมลึกของแนวเชื่อม	70
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม	70
4.28 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X200 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ : (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.12 เมตร/นาที (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.21 เมตร/นาที (ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.40 เมตร/นาที	71
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณระหว่างกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อม	72
4.30 โครงสร้างจุลภาคบริเวณระหว่างกึ่งกลางกับขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ : (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.12 เมตร/นาที (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.21 เมตร/นาที (ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม	73

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับขนาดของเกรนย่อย (Sub grain) บริเวณขอบแนวเชื่อม	73
4.32	โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบแนวเชื่อมที่กำลังขยาย X100 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่าง ๆ : (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.12 เมตร/นาที่ (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.21 เมตร/นาที่ (ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 0.40 เมตร/นาที่	75
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมกับค่าความแข็ง	75
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ทำการวัดบนแนวเชื่อมกับค่าความแข็ง	77