

ภาคผนวก

1. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ไพฑูรย์ ประทีปสุข, สุรัตน์ ตรีวนพงศ์ และ สมชาย วนไทยสงค์ “อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสม AA6063” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2553, 13-15 ตุลาคม 2553, อุบลราชธานี, แผ่นซีดีรอม.

**อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง
ของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสม AA6063**
EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT ON TENSILE STRENGTH OF AA6063
ALUMINUM ALLOY FRICTION STIR WELDS

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์^ก ไพฑูรย์ ประทีปสุข^ข สุรัตน์ ตรีวัฒนพงศ์^ค สมชาย วนไทยสงค์^ด
ก.ข.ค.ง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110
E-mail: kkimapong@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติของรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสม AA6063 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสม AA6063 ที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อนหลังการเชื่อม แผ่นอลูมิเนียมผสม AA6063 หนา 6.3 มม. กว้าง 75 มม. ยาว 200 มม. ถูกนำไปทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิที่กำหนด และนำมาทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 มม./นาที ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมถูกนำไปทำอบชุบแบบ T4 และ T6 ทำการทดสอบสมบัติของชิ้นงาน ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะเชื่อมผ่านการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อโลหะเชื่อมพักไว้ 1 สัปดาห์เพื่อทำให้เกิดการบ่มแข็งธรรมชาติแล้วนำไปทำการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบชุบทันทีเท่ากับ 25 และ 45% สำหรับการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, การอบชุบหลังการเชื่อม, อลูมิเนียม, โครงสร้างจุลภาค

Abstract

This article aims to study the effect of the post weld heat treatment on friction stir welds properties of AA6063 aluminum alloy and compare the relation between tensile strength and microstructure of the AA6063 aluminum alloy post weld heat treated welds. The plates of AA6063 aluminum alloy that had dimension of 6.3 mm thick, 75 mm. wide and 200 mm. long were annealed at a given temperature and welded by a rotating speed of 2000 rpm and a welding speed of 125 mm/min. The welded specimens were T4 and T5 heat treated and then welds properties tested. The summarized results are as follows. The tensile strength and the elongation of the welds were increased when the welds were T4 and T5 heat treated, respectively. Furthermore, when the welded specimen was natural aged for 1 week and then, immediately T4 and T6 heat treated. It was found that the tensile strength of the welds was higher than that of no natural aging by 25 and 45% for T4 and T6 heat treatment, respectively.

Keywords: Friction stir welding, Post weld heat treatment, Aluminum, Microstructure

1. บทนำ

อลูมิเนียมกลุ่ม 6063 คือ โลหะผสมอลูมิเนียมที่มีธาตุผสมหลัก คือ แมกนีเซียมและซิลิกอน ที่มีสมบัติทางกล

ค่อนข้างดี สามารถทำการอบชุบได้ และสามารถทำการเชื่อมได้ จุดเด่นของอลูมิเนียมเกรด 6063 คือ การที่โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยเฟสเสริมแรงกระจายทั่ว

ทั้งพื้นหลัก (Matrix) ของอลูมิเนียม ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (ASM international, 2000) การใช้งานอลูมิเนียมเกรดนี้ นิยมใช้สำหรับงานโครงสร้างในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ หน้าต่าง ทำบันได ขึ้น ส่วนรถไฟขึ้นส่วนรถยนต์ หรือในอุตสาหกรรมที่ต้องการชิ้นส่วนอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง เป็นต้น (Metal suppliers online, 2008)

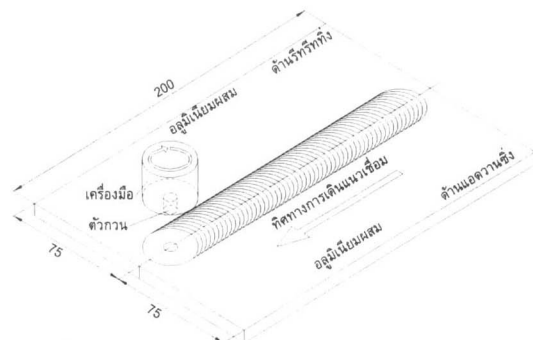
การนำเอาอลูมิเนียมเกรด 6063 มาใช้งานในงานอุตสาหกรรม การเชื่อมต่ออลูมิเนียมเข้ากับโครงสร้างหลักนับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่วิศวกรต้องคำนึง เพื่อทำให้ได้โครงสร้างของชิ้นงานที่มีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอต่อการรับแรงที่กระทำ หนึ่งในกรรมวิธีการต่อโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการต่อวัสดุ คือ การเชื่อม (Welding) ที่โลหะเชื่อมจะเกิดการหลอมละลายติดกันอย่างสมบูรณ์และแสดงความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6063 ด้วยการเชื่อมแบบหลอมละลายนั้นไม่ได้เกิดขึ้นได้ง่ายนัก แม้ว่าอลูมิเนียมเกรดนี้จะมีสามารถในการเชื่อมได้ (ASM international, 2000) เนื่องจากโดยปกติบนผิวอลูมิเนียมจะเกิดฟิล์มบางที่มีสมบัติเป็นฉนวนที่มีจุดหลอมละลายสูงปกคลุมอยู่ ทำให้อลูมิเนียมเกิดการหลอมตัวได้ยาก และเมื่อผิวอลูมิเนียมได้รับอุณหภูมิสูงเกินจุดหลอมเหลวของฟิล์มบาง ทำให้อลูมิเนียมที่ปกติมีจุดหลอมเหลวประมาณ 685°C นั้นเกิดหลอมละลายและระเหยออกจากแนวเชื่อมอย่างรวดเร็ว (Jefferson and Wood, 1990) นอกจากนั้นความร้อนที่เกิดจากการหลอมอลูมิเนียมนี้ยังส่งผลทำให้เฟสเสริมแรงต่าง ๆ ในอลูมิเนียมเกิดการตกผลึกบริเวณขอบเกรนของอลูมิเนียม ลักษณะการเกิดแบบนี้ทำให้อลูมิเนียมเกิดความเปราะและมีค่าความแข็งแรงลดลง (Avner, 1974) นอกจากนั้นการเชื่อมแบบหลอมละลายมักทำให้เกิดโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีความแข็งแรงสูง และเกิดการแยกตัวของส่วนผสมทางเคมีในโครงสร้างจุลภาค (Micro segregation) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในการเชื่อมโลหะ (Thomas *et al.*, 1991)

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Conventional Fusion Welding) เช่น อลูมิเนียมผสม และแสดงการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน รถยนต์ และเรือเดินสมุทร (Thomas and Nicolus, 1997) จากผลของการเชื่อมที่แสดง

ค่าความแข็งแรงของรอยต่ออลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพสูงได้ (Lee *et al.*, 2003) โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ได้จากกระบวนการนี้แสดงให้เห็นการกระจายตัวของเฟสเสริมแรง เช่น การเกิดการตกตะกอนของเฟสเสริมแรงที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 50-75 นาโนเมตร แต่หลังจากให้ความร้อนช้าลงไปในบริเวณแนวเชื่อม พบว่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมสามารถเพิ่มค่าขึ้นได้ (เซวาลิต และคณะ, 2550) ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาการให้ความร้อนต่อแนวเชื่อมตามวิธีการอบคืนไฟในกระบวนการผลิต เพื่อทำการศึกษเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแนวเชื่อม เช่น ค่าความแข็งแรง ความแข็ง หรือการกระจายตัวของเฟสเสริมแรง เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาโลหะเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6063 ให้มีค่าความแข็งแรงสูงต่อไป

2. วิธีการดำเนินการ

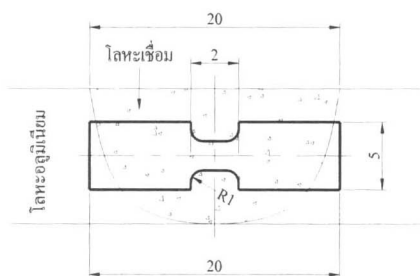
วัสดุในการทดลอง คือ อลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 (94.7%Al-0.4%Mg-0.05%Mn-0.01%Cr-0.02%Cu โดยน้ำหนัก) หนา 6.3 มม. ที่มีความแข็งแรงดึงสูงสุดประมาณ 210 MPa แผ่นอลูมิเนียมถูกเตรียมให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 75 มม. และยาว 200 มม. จากนั้นนำแผ่นอลูมิเนียมที่ได้ไปทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 413 องศาเซลเซียสและปล่อยให้เย็นในเตา



รูปที่ 1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O

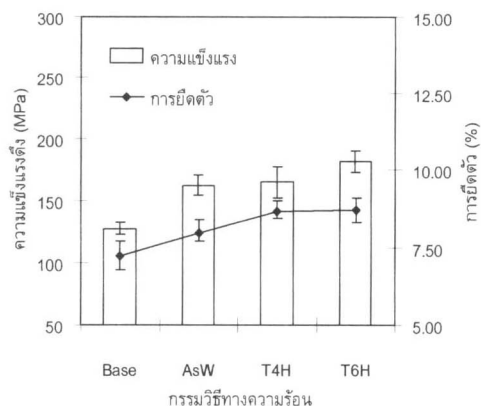
แผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนถูกนำมาทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนดังแสดงในรูปที่ 1 ด้วยเครื่องมือเชื่อมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางปากเครื่องมือเชื่อม 25 มิลลิเมตร ตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวมาตรฐาน M6 ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 มิลลิเมตรต่อนาที ความเอียงของตัวกวน 2 องศา ซึ่งเป็นสภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของรอยเชื่อมเสียดทาน

แบบกานอลูมิเนียมผสม 6063-T1 (กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และคณะ, 2551) ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 หลังจากทำการเชื่อมเสร็จนำไปทำการอบคืนไฟ T4 ที่ 520 องศาเซลเซียส และ T6 ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียสทันที จากนั้นทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงโดยชิ้นงานที่มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2 และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ขณะที่กลุ่มที่ 2 หลังจากทำการเชื่อมเสร็จให้ปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 168 ชั่วโมง หรือ 1 สัปดาห์ จากนั้นทำการอบคืนไฟ T4 ที่ 520 องศาเซลเซียส และ T6 ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนไฟถูกนำไปทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคต่อไป



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่มีความหนา 3 มม. (หน่วยโดยประมาณ: มม.)

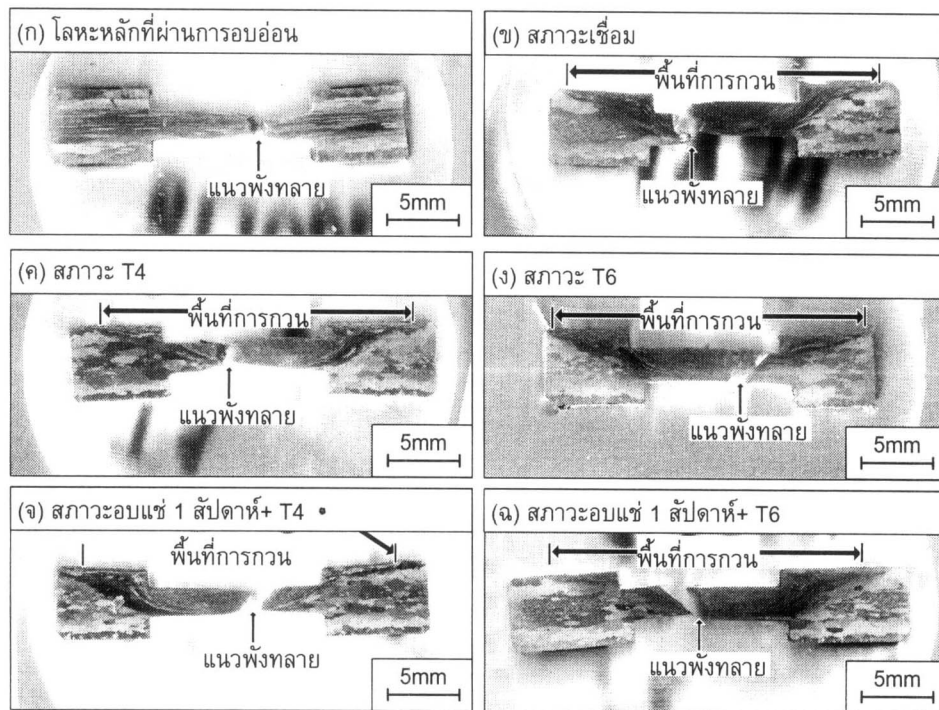
2. ผลการทดลองและการวิจารณ์



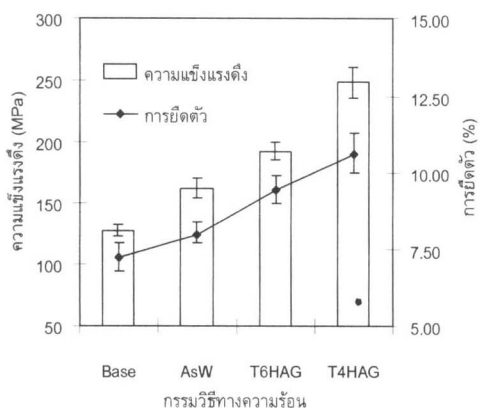
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการอบคืนไฟแบบต่างๆ ของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการอบคืนไฟแบบต่างๆ ของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ ตัวอักษรในแกน X มีความ

หมายดังนี้ Base คือ ความแข็งแรงของอลูมิเนียมหลังจากการอบอ่อน AsW คือ โลหะเชื่อมที่ได้จากการนำเอาอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนไปทำการเชื่อม แต่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนใดๆ T4H คือ โลหะเชื่อมที่ผ่านการอบคืนไฟวิธี T4 และ T6H คือ โลหะเชื่อมที่ผ่านการอบคืนไฟวิธี T6 ผลการทดลองพบว่า อลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 413 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงลดลง 30% เมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมจากห้องตลาด ก่อนการนำมาทำการอบอ่อน อลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนแล้วนำมาทำการเชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่กำหนด พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหลักที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 27% ขณะที่โลหะที่ผ่านการเชื่อมแล้วนำไปทำการอบชุบด้วยกรรมวิธี T4 และ T6 นั้นมีค่าความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมก่อนการเชื่อมที่ค่าประมาณ 30 และ 40% ตามลำดับ ทำการเปรียบเทียบรูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ถึง (ง) พบว่ารูปแบบการพังทลายมีความแตกต่างกัน คือ ชิ้นงานที่ผ่านสภาวะการอบอ่อน สภาวะการเชื่อมที่ไม่ผ่านการอบชุบ และสภาวะการอบชุบ T4 นั้น แนวการพังทลายมีลักษณะการฉีกขาดเป็นกรวยดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ถึง (ค) ขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบ T6 นั้น มีแนวการพังทลายเป็นแนวยาวทำมุมเอียงกับแนวนอนของชิ้นทดสอบที่ค่าประมาณ 40-60 องศา คาดว่ารูปแบบการพังทลายที่แตกต่างนี้ส่งผลให้เกิดความแข็งแรงที่แตกต่าง กล่าวคือ ในสภาวะโลหะอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนและผ่านการเชื่อมนั้นชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงและค่าการยืดตัวที่มีค่าต่ำเนื่องจากการเกิดการพังทลายในรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นการพังทลายแบบถ้วยและกรวย (Cup and cone fracture) (Dieter, 1988) แต่เป็นลักษณะที่คล้ายกับการเกิดเส้นซิกแซกดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ถึง (ค) แนวการพังทลายนี้แตกต่างจากการเกิดการพังทลายในโลหะเชื่อมที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อนตามกรรมวิธี T6 ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง) ที่แสดงการเกิดการพังทลายเอียงทำมุมกับแนวแรงที่แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นการเพิ่มขึ้นนี้คาดว่าเกิดจากการพังทลายที่เกิดขึ้นบนระนาบการเลื่อนไถลซึ่งในวัสดุเหนียวมีค่าทำมุม 45° (Abbaschian *et al.*, 2010) หรืออาจเกิดจากการตกผลึกของอนุภาคบางอย่างในเนื้ออลูมิเนียมซึ่งต้องทำการหาสาเหตุของการเกิดด้วยกล้องกำลังขยายสูง เช่น กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope: TEM) ต่อไป



รูปที่ 4 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง



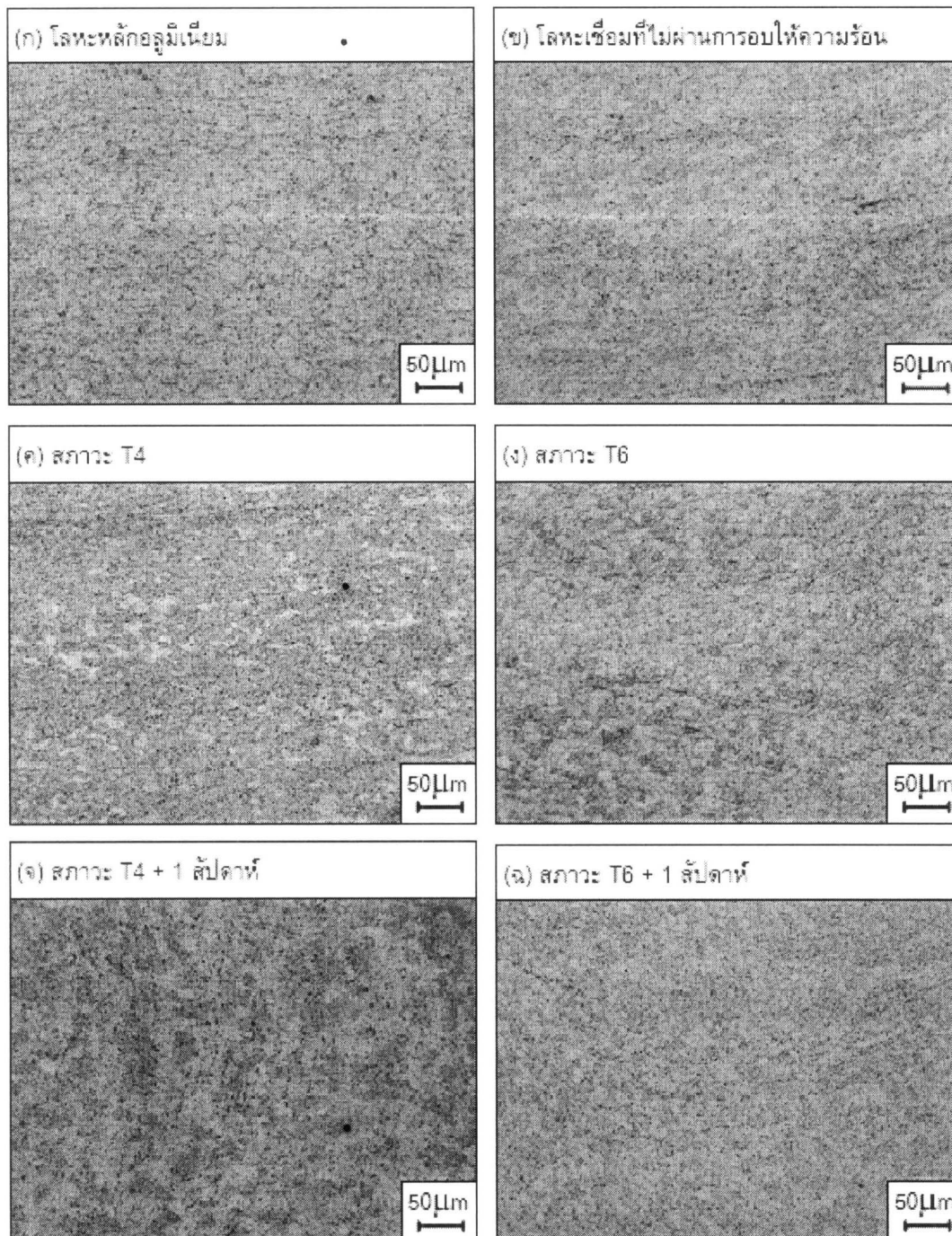
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และการอบคืนไฟแบบต่างๆ ของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของโลหะเชื่อม ที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติเป็นเวลา 168 ชม. หรือ 1 สัปดาห์ พบว่าการบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์ก่อนการอบชุบส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงและการยืดตัวของโลหะเชื่อม กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้นประมาณ 34 และ 49% และมีค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้น 30 และ 47% สำหรับการอบชุบด้วย

วิธี T4 และ T6 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอลูมิเนียมที่ผ่านการอบชุบ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อมที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงกว่าประมาณ 16 และ 37% และมีค่าการยืดตัวที่สูงกว่าประมาณ 10 และ 22% สำหรับการอบชุบด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงในบริเวณโลหะเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4 (จ) และ (ด) มีลักษณะคล้ายกับการเกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่ไม่ได้ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติก่อนการทำการอบชุบแบบ T6 ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง) กล่าวคือ รูปแบบการพังทลายนี้เอียงทำมุมกับแนวแรงหรือแนวขนานตามความยาวของชิ้นงานทดสอบประมาณ 45° ซึ่งคาดว่าเป็นการเกิดการฉีกขาดด้วยเฉือนตามระนาบการลื่นไถลของวัสดุเหนียว (Abbaschian *et al.*, 2010) การเพิ่มความแข็งแรงของโลหะเชื่อมเมื่อทำการบ่มแข็งธรรมชาติไว้ที่ 1 สัปดาห์ก่อนนำไปทำการอบชุบนั้น คาดว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาผลของการบ่มแข็งสองชั้นและทองแดงต่อความแข็งแรงของบริเวณกระแทกความร้อนในการเชื่อม AA6061 (รุ่งอรุณ, 2550) ที่กล่าวว่า การเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงของโลหะเชื่อมและบริเวณพื้นที่กระแทกความร้อนนั้นเกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคอลูมิเนียม-

ทองแดงที่ตกตะกอนในโครงสร้างเข้าไปในพื้นที่จีพี (GP zone) และทำให้ดิสโลเคชันมีการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามคำกล่าวดังกล่าวไม่ได้ทำการศึกษาเพื่อยืนยัน

ในบทความวิจัยนี้ และจำเป็นต้องทำการศึกษาในอนาคตต่อไป



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคบริเวณฟังกหลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ

รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมบริเวณพื้นที่การกววน (Stir zone) ของโลหะเชื่อมที่สภาวะต่างๆ พบว่าที่สภาวะโลหะหลักที่ผ่านการอบอ่อนก่อนการเชื่อม

นั้นโลหะมีเม็ดเกรนที่ใหญ่และกลมมน ทำการวัดขนาดเกรนด้วยวิธีการลากเส้นตัดผ่านเกรน (Linear Interception) ตามมาตรฐาน ASTM E112 (www.metallography.com,

2008) พบว่ามีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 53.99 ไมโครเมตร ขณะที่โลหะเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนั้นมีขนาดเม็ดเกรนที่ลดขนาดลงมาจากขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยประมาณ 25.12 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดที่เล็กกว่าอลูมิเนียมหลักที่ผ่านการอบอ่อนประมาณ 50 % เม็ดเกรนที่มีความละเอียดและรูปร่างที่กลมมนขึ้นนี้เกิดจากกระบวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนนี้ก่อให้เกิดผลึกเกรนใหม่ (Dynamic Re-crystallization) ของอลูมิเนียมขึ้น (Jata and Semiatin, 2000) และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อมเสียดทานอลูมิเนียมผสม AA6063-T1 ที่มีขนาดเกรนเฉลี่ย 24.42 ไมโครเมตร แล้วพบว่าขนาดของเม็ดเกรนของโลหะเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมเดียวกันแต่วัสดุหลักแตกต่างกันสามารถทำให้ได้เม็ดเกรนที่ใกล้เคียงกันได้ (กิตติพงษ์ และ คณะ, 2551) ขนาดของเม็ดเกรนมีการปรับขนาดที่เล็กลงตามลำดับเมื่อทำการนำโลหะเชื่อมมาทำการอบด้วยความร้อนที่สภาวะ T4 และ T6 ดังแสดงในรูปที่ 6 (ค) และ (ง) โดยขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 21.68 และ 19.62 ไมโครเมตร สำหรับสภาวะ T4 และ T6 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสภาวะ T6 มีขนาดเกรนที่กลมมนและเป็นระเบียบมากกว่า การลดขนาดและการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของเม็ดเกรนโลหะนี้ คาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมที่ผ่านการอบให้ความร้อนหลังการเชื่อมมีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 6 (จ) และ (ฉ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่การกวนของโลหะเชื่อมที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติเป็นเวลา 1 สัปดาห์ก่อนนำเอาโลหะเชื่อมไปทำการอบชุบด้วยความร้อนด้วยสภาวะ T4 และ T6 ตามลำดับ ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่า ขนาดเม็ดเกรนของโลหะเชื่อมทั้งสองสภาวะ มีขนาดที่เล็กลงไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ กล่าวคือ ขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยนั้นมีค่าประมาณ 19.23 และ 18.33 ไมโครเมตร สำหรับสภาวะ T4+1 สัปดาห์ และ T6+1 สัปดาห์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นสูงดังแสดงในรูปที่ 5 แล้วเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่ต้องมีการศึกษาต่อไป ในเบื้องต้นการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมนี้คาดว่าเกิดจากการตกผลึกของอนุภาคสารประกอบโลหะ หรือกึ่งโลหะในโครงสร้างอลูมิเนียมทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน จึงส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น (Sato and Kokawa, 2001)

3. สรุปผลการทดลอง

- 3.1 ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโลหะเชื่อมผ่านการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ
- 3.2 เมื่อนำโลหะเชื่อมพักไว้ 1 สัปดาห์เพื่อทำให้เกิดการบ่มแข็งธรรมชาติแล้วนำไปทำการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าวิธีการอบชุบที่เท่ากับ 25 และ 45% สำหรับการบ่มแข็งด้วยวิธี T4 และ T6 ตามลำดับ
- 3.3 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนเมื่อทำการอบคืนไฟด้วยวิธีการ T4 และ T6 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บรรณานุกรม

- กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ นราธิป แสงชัย และสงกรานต์ บางศรีณย์ทิพย์. 2551. อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม AA6063-T1. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 เล่มที่ 17 หน้า 19-25.
- ชาวลิต ลัมมณีวิจิตร รุ่งอรุณ ออมสุวรรณกุล ศุภกิจ เต็กศิริ. 2550. ผลของช่วงเวลาอบที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงที่เกิดขึ้นบริเวณ HAZ ในการเชื่อมอะลูมิเนียมเกรด 6063 การประชุมรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2550. 24-26 ตุลาคม 2550. ภูเก็ต หน้า 887-890.
- พันธุ์พงษ์ คงพันธุ์ บุญส่ง จงกลนี้ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2551. อิทธิพลความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6 8-9 พฤษภาคม 2551 หน้า 561-566.
- รุ่งอรุณ ออมสุวรรณกุล. 2550. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต เรื่อง ผลของการบ่มแข็งสองชั้นและทองแดงต่อความแข็งแรงของบริเวณกระ-

- ทบทวนความร้อนในการเชื่อม AA6061. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Abbaschian R., Abbaschian L, 2010. **Reed-hill R.E. Physical Metallurgy Principles**. USA: Cengage Learning.
- ASM International. 2000. **ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials**. USA: ASM International.
- Avner S.H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. USA: Mc Graw Hill Book Company. p.190.
- Dieter G. 1988. **Mechanical Metallurgy**.
- Groover M.P. 2007. **Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes and Systems**. USA: John Wiley&Sons, Inc.. pp. 112-121.
- Jata, K.V. and Semiatin, S.L. 2000. **Continuous Dynamic Recrystallization during Friction Stir Welding of High Strength Aluminum Alloys**. Scripta Mater. 43: 743-749.
- Jefferson T.B. and Woods G. 1990. **Metals and How to Weld them**. USA: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation. pp. 267-285.
- Lee W.B., Yeon Y.M. and Jung S.B. 2003. **The Improvement of Mechanical Properties of Friction stir welded A356 Al Alloy**. Mater. Sci. and Eng. A. 355: 154-159.
- Metal Suppliers Online. 2008. **Metal Suppliers Online**. <http://www.suppliersonline.com>, 20 August.
- Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Templesmith P. and Dawes C.J. 1991. **Friction Stir Welding**. G.B. Patent Application 1991 No.9125978.8.
- Thomas W.M. and Nicholas E.D. 1997. **Friction Stir Welding for the Transportation Industries**. Materials and Design. 18: 269-273.
- Sato Y.S. and Kokawa H.. 2001. **Distribution on Tensile Property and Microstructure in Friction Stir Weld of 6063 Aluminum**. Metallurgical and Materials Trans. A. 32A: 3023-3031.
- www.metallography.com/grain.htm, January 15, 2008.



เอกสารนี้ มี CD-ROM

ติดต่อบรรณารักษ์

