

การเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 หล่อทิ้งของแข็งโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ในสภาพของกระบวนการทางความร้อน T6

วรพงศ์ บุญช่วยแทน¹⁾ ธเนศ รัตนวิไล²⁾ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี³⁾ และกนิษฐ ตะปะสะ⁴⁾

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการเชื่อมแบบต่อชนอะลูมิเนียมหล่อทิ้งแข็ง SSM 356 (Semi-Solid Metal 356) ด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding, FSW) ในสภาวะทางความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม (T6) โดยทำการเชื่อมที่ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม (Welding speed) 160 mm/min มุมเอียงของ Tool 3° และใช้หัวพิน (Pin) แบบทรงกระบอก (Straight Cylindrical) โดยมีปัจจัยในการเชื่อมคือ ความเร็วรอบการหมุนของ Tool (Rotation speed) ที่ใช้ 1320, 1750 rpm และสภาวะทางความร้อน (T6) ที่กำหนดคือ (1) As welded (AW) joints, (2) T6 Weld (TW) joints, (3) Weld T6 (WT) joints, (4) T6 Weld T6 (TWT) joints, (5) Solution treated Weld Artificially aged (SWA) joints and (6) Weld Artificially aged (WA) joints และใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส ตรวจสอบแนวเชื่อม ความเร็วรอบและสภาวะทางความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม (T6) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างทางมหภาค จุลภาค และสมบัติทางกลของรอยเชื่อม การเพิ่มความเร็วยรอบของตัวกวนและสภาวะทางความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลถึงความแตกต่างของค่าความแข็งแรงดึงเนื่องจากจะทำให้เกิดจุดบกพร่องที่บริเวณรอยต่อชน ค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดจากการทดลอง คือ รอยต่อชนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1,320 rpm. ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min สภาวะกระบวนการทางความร้อน Weld T6 (WT) ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 228.92 MPa ผลการตรวจสอบรอยบกพร่องมีความถูกต้องและแม่นยำ ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนก่อนและหลังเชื่อม (TWT) พบว่ารอยบกพร่องมีความลึกจากผิวงานด้านที่ตรวจลงไปประมาณ 0.93 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน โลหะกึ่งของแข็ง 356 กระบวนการทางความร้อน T6 การตรวจสอบอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส

¹⁾ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90110
อีเมลล์: b_ieeng@hotmail.com

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110
อีเมลล์: thanate.r@psu.ac.th

³⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องแม่เหล็กและวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110
อีเมลล์ : mprapas@psu.ac.th

⁴⁾ นักวิทยาศาสตร์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140
อีเมลล์ : kanit@dss.go.th

* Corresponding Author

Friction Stir Welded of SSM Cast 356 Aluminium Alloys with T6 Heat Treatment

Worapong Boonchouytan ¹⁾ Thanate Ratanawilai ²⁾ Prapas Muangjunburee ^{*3)} and Kanit Tapasa ⁴⁾

Abstract

The butt joints of semi solid 356 were produced in as cast conditions by friction stir welding process (FSW). This experiment studied in pre/post heat treatment (T6) using the welding speed 160 mm / min with tilt angle tool at 3 degree and straight cylindrical tool pin. The factors of welding were rotating speed rates at 1320, 1750 rpm and heat treatment conditions. They were divided into (1) As welded (AW) joints, (2) T6 Weld (TW) joints, (3) Weld T6 (WT) joints, (4) T6 Weld T6 (TWT) joints, (5) Solution treated Weld Artificially aged (SWA) joints and (6) Weld Artificially aged (WA) joints. Non Destructive Inspection (NDT) using Phased Arrays Ultrasonic inspection was applied after welding. Rotating speed and heat treatment (T6) condition were an important factor to micro, macro structure of metal and mechanical properties of the weld. Increasing rotating speed and different heat treatment condition impacted onto tensile strength due to the defects on joints. Therefore the optimum welding parameter on joint was a rotating speed 1320 rpm, the welding speed 160 mm/min, heat treatment condition of Weld T6 (WT) which obtained the highest tensile strength 228.92 MPa In addition, the rotation speed 1,750 rpm, welding speed 160 mm / min and the condition of heat treatment before and after welding (TWT) indicated the depth of weld defect 0.93 mm from surface.

Keywords: friction stir welding, semi–solid metal 356, heat treatment T6, phased arrays ultrasonic testing

¹⁾ Lecturer, Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90110, E-mail: b_ieeng@hotmail.com

²⁾ Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Email: thanate.r@psu.ac.th

³⁾ Assistant Professor, Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, E-mail: mrapas@psu.ac.th

⁴⁾ Scientist, Department of Science Service, Ministry of Science and Technology, Bangkok, 10140
E-mail: kanit@dss.go.th

* Corresponding Author

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่หล่อด้วยกระบวนการไดคาสติง (Die Casting) ในอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ รวมถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอากาศยาน อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดน้ำหนักและการใช้พลังงาน ดังนั้น จึงมีการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีการหล่ออะลูมิเนียมที่หล่อด้วยกระบวนการไดคาสติง (Die Casting) กันอย่างกว้างขวางเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพในการผลิต

เทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการหล่อ Die Casting ในปัจจุบัน คือ กรรมวิธีการหล่อโลหะกึ่งของแข็ง (Semi Solid Metal: SSM) ที่มีเทคโนโลยีการฟุ้งฟองแก๊สในน้ำโลหะ (Gas Induced Semi Solid: GISS) (Wannasin 2006) เป็นกระบวนการสร้างโลหะกึ่งของแข็งที่คล้ายกับกรรมวิธี Rheocasting แบบใหม่โดยการปล่อยแก๊สเฉื่อย (แก๊สอาร์กอน หรือไนโตรเจน) ผ่านแท่งกราฟไฟต์ในปริมาณที่น้อยมาก ทำให้เกิดการไหลเคลื่อนที่ของน้ำโลหะในขณะที่แข็งตัวและได้โครงสร้างเกรนเป็นแบบก้อนกลม (Spheroidal Grain) การนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมภายในประเทศนั้น โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูป (Materials Forming) และการซ่อม (Repairing) อะลูมิเนียมหล่อก็จะมี การเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อในกลุ่มเดียวกัน (Similar Joint) และการเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกับโลหะชนิดอื่น (Dissimilar Joint) (Kimapong et al., 2007) อีกทั้งการเชื่อมก็มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตในด้านการประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีงานเชื่อมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมให้เหมาะสมกับสภาพของงานและข้อจำกัดในการเชื่อมที่จะส่งผลกระทบต่อในด้านต่างๆ ของรอยเชื่อม

กระบวนการเชื่อมมีอยู่หลายวิธี ในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตในงานอุตสาหกรรมนั้นๆ การเชื่อมที่ใช้ความร้อนจาก

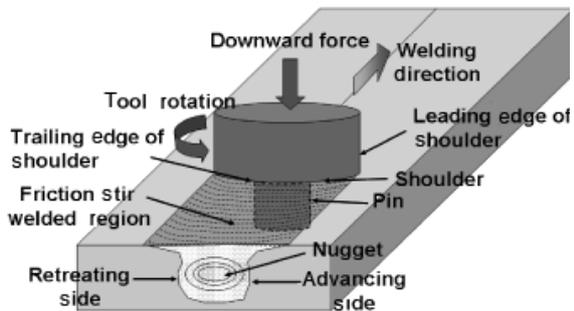
การอาร์คเรียกว่า การเชื่อมแบบหลอมละลาย ซึ่งจะมีการแพร่ความร้อนที่ได้จากการอาร์คจะทำให้เกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันของเนื้อโลหะบริเวณบ่อหลอม การหลอมละลายของเนื้อโลหะหลังจากการเชื่อม เมื่อโลหะแข็งตัวจะเกิดโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งโครงสร้างใหม่นี้ อาจจะไม่เหมือนกับโครงสร้างเดิมของโลหะนั้น ซึ่งจะมีความเค้นตกค้าง (Residual Stress) การบิดงอ (Distortion) การแตกร้าวของรอยเชื่อม (Welding Crack) ในระหว่างการแข็งตัวจากการหลอมละลายและมีปัญหาการเกิดโพรงอากาศ (Porosity) นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการเชื่อมอะลูมิเนียม คือ การรักษาสมบัติทางกลของบริเวณรอยเชื่อมให้ใกล้เคียงกับเนื้อเดิมมากที่สุด การเชื่อมโดยการหลอมละลายก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Changes) (Muangjunburee 2007) ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อม (Welding Region) มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมลดลงตามไปด้วย

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding; FSW) เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งที่คิดค้นโดยสถาบันการเชื่อมอังกฤษ (The Welding Institute; TWI) แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมแบบด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย เช่น อะลูมิเนียมผสมเกรดต่างๆ มากมาย (Thomas et al., 1991, 1997) กระบวนการ FSW ทำให้เกิดโครงสร้างของแนวเชื่อมที่มีเกรนเล็กละเอียด สามารถรับแรงได้สูง ซึ่งการเชื่อมแบบหลอมละลายไม่สามารถทำได้ (Mishra and Ma, 2005) แต่การเชื่อมเสียดทานแบบกวนก็จะมีโอกาสที่เกิดจุดบกพร่องในแนวเชื่อมสูงเช่นกัน เนื่องจากมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแนวเชื่อมหลายปัจจัย เช่น ความเร็วรอบของตัวกวน ความเร็วเดินเชื่อม รูปแบบหัวกวนและการเชื่อมในสภาวะที่ต่างๆ กัน ซึ่งจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอาจมีหลากหลายรูปแบบและขนาดที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดรอยร้าวเล็กๆ (Crack) ช่องว่างจากการเชื่อม (Void) เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัย การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสม SSM 356 พบว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถเพิ่มสมบัติทางกลของแนว

เชื่อมดีกว่าเนื้อโลหะเดิม (Binraheem et al., 2008; Kruepue and Muangjunburee, 2008) และเมื่อไม่นานมานี้มีผู้ทำการทดลองปรับปรุงสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน คือ การนำชิ้นงานไปอบละลายแล้วนำไปชุบน้ำ จากนั้นจึงนำไปทำการบ่มแข็งเทียม เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวให้สูงขึ้น (Akhter R. et al., 2007; Moller H., et al., n.d.) เช่น 2219-O (Chen Y.C. et al., 2005) แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางกลของแนวเชื่อมสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวให้สูงขึ้นได้ ทำให้การนำไปใช้งานเหมาะสมที่สุดกับงานที่ต้องการความทนทานต่อการผุกร่อนและความแข็งแรงสูง แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนของการเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง SSM 356 ซึ่งเป็นวัสดุใหม่ที่มีโครงสร้างเกรนแบบก่อนกลมนั้น ยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่มาก

การตรวจหาสิ่งบกพร่องในแนวเชื่อมมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การทดสอบโดยใช้ภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing) การทดสอบโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic Testing) การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing) เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing : NDT) การตรวจสอบด้วยวิธีอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส (Phased Arrays Ultrasonic) ก็เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างประเทศทั้งในด้านประกันคุณภาพการผลิต การซ่อมบำรุง รวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต สำหรับในประเทศไทยนั้นยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่อยู่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ปัญหาสำคัญในการใช้วิธีอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟสคือ การประเมินหาขนาด รูปร่าง และชนิดของสิ่งบกพร่อง ต้องขึ้นกับความสามารถของผู้ปฏิบัติการ ความน่าเชื่อถือต่อผลการตรวจสอบมีน้อย เมื่อเทียบกับการถ่ายภาพรังสีซึ่งสามารถมองเห็นขนาดและรูปร่างของสิ่งบกพร่องจากฟิล์มถ่ายภาพโดยตรงซึ่งนับว่าฟิล์มเป็นเอกสารอ้างอิงที่น่าเชื่อถือ และเป็นข้อดีของการถ่ายภาพรังสี ขณะเดียวกันข้อเสียของการถ่ายภาพรังสี

คืออันตรายจากรังสีที่ใช้ ซึ่งเครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส ไม่มีปัญหาดังกล่าว ในระยะหลังเครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส ได้ถูกพัฒนาจึงทำให้ข้อมูลต่างๆ สามารถส่งถ่ายต่อไปยังคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้สามารถที่จะพัฒนาการประเมินผลได้รวดเร็วและแม่นยำขึ้น โดยนำเอาข้อมูลของตำแหน่ง หัวตรวจสอด (Probe) ซึ่งสแกนไปบนผิวของชิ้นงานและตำแหน่งความลึกของสิ่งบกพร่องในแต่ละจุดมาประมวลให้เห็นรูปร่างและขนาดของสิ่งบกพร่องได้อย่างชัดเจนขึ้น



รูปที่ 1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Rajiv and Murray, 2007)

ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนก่อนและหลังการเชื่อมอะลูมิเนียมผสม SSM 356 ด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของแนวเชื่อมที่เหมาะสมและการตรวจหาสิ่งบกพร่องในแนวเชื่อมด้วยวิธีอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและตัวแปรในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เป็นอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 356 (SSM 356) กัดและตัดให้ได้ขนาด 100 x 50 x 4 mm. ส่วนผสมทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1 เชื่อมต่อชนในท่าราบบนเครื่องกัดแนวตั้งจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึด ใช้เครื่องมือ ทรงกระบอกรวม มุมเครื่องมือเอียง 3 องศา บ่า (Shoulder Diameter) ขนาด \varnothing 20 mm. และตัวถวน

(Pin) มีขนาด \varnothing 5 mm. ความยาว 3.2 mm. ทำจากวัสดุ JIS SKH 57

โดยการทดลองครั้งนี้การเชื่อมจะถูกเชื่อมด้วยเครื่องกัดแนวตั้ง ตัวกวนจะถูกสอดเข้าตรงกลางของรอยเชื่อม โดยห่างจากขอบชิ้นงาน 10 มม.จนกระทั่งได้ความลึกและป่าของตัวกวนสัมผัสกับผิวชิ้นงาน ตัวกวนจะหมุนอยู่กับที่ ณ จุดเริ่มต้นเป็นเวลา 45 วินาที เพื่อเป็นการกระจายความร้อนให้แนวเชื่อมเกิดการอ่อนตัว (Plastic Deformation) และเริ่มเดินเชื่อมบนชิ้นทดสอบตามตัวแปรที่กำหนดโดยอัตโนมัติ เมื่อถึงปลายแนวเชื่อมตัวกวนก็จะหมุนอยู่กับที่ 10 วินาที ก่อนจะยกตัวกวนออกจากแนวเชื่อม

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมี SSM 356 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

Elements	SSM 356
Si	7.74
Fe	0.57
Cu	0.05
Mn	0.06
Mg	0.32
Zn	0.01
Ti	0.05
Cr	0.02
Ni	0.01
Al	Bal.

สำหรับตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมที่ใช้ในการทดลองความเร็วเดินแนวเชื่อม คือ 160 mm/min และการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องมือคือ 1,320 และ 1,750 rpm การศึกษาสภาวะทางความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม (T6) ที่มีผลต่อสมบัติทางกล สามารถแบ่งของรอยต่อชนเป็น 6 แบบ แสดงดังตารางที่ 2

โดยกระบวนการทางความร้อน (T6) คือการนำวัสดุหลอมผ่านกระบวนการอบละลาย (Solution Treatment) ที่อุณหภูมิ 540°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และชุบ (Quenching) ในน้ำ หลังจากนั้นบ่มเทียม (Artificial

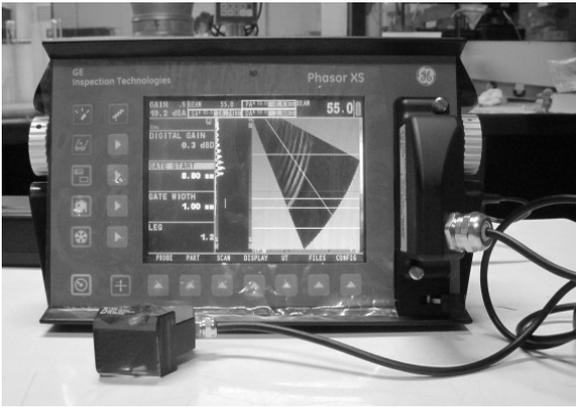
aging) ที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและชุบ (Quenching) ในน้ำหลังจากการบ่มเทียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว (Kuntongkum S., et al., 2006)

ตารางที่ 2 แสดงรูปแบบของรอยต่อชนทั้ง 6 แบบ

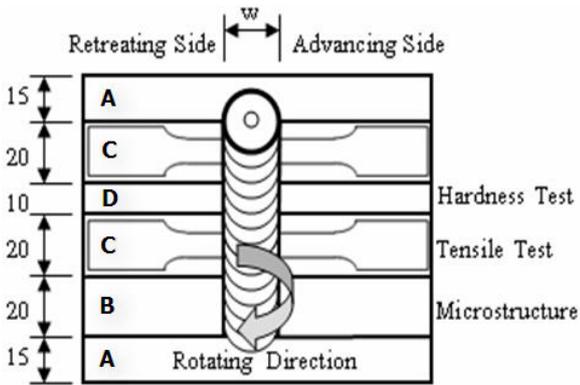
Joints	Pre Weld HT		Post Weld HT	
	T6	ST	T6	A
AW	-	-	-	-
TW	√	-	-	-
WT	-	-	√	-
TWT	√	-	√	-
SWA	-	√	-	√
WA	-	-	-	√

* AW: As welded joints, TW: T6 Weld joints, WT: Weld T6 joints, TWT: T6 Weld T6 joints, SWA: Solution treated Weld Artificially aged joints Weld, WA: Artificially aged joints, HT: Heat treatment ST: Solution treated and A: Artificially aged.

เมื่อเชื่อมเสร็จนำชิ้นงานทดลองมาตรวจสอบหารอยบกพร่องในแนวเชื่อมด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส ยี่ห้อ GE Inspection Technologies รุ่น Phasor XS หัวตรวจสอบ (Wedges) มีจำนวนผลึก 16 Element มุมที่ใช้ในการตรวจสอบตั้งแต่ 30-75 องศา ความถี่คลื่นเสียงที่ใช้ 14-17 dBA และตัวนำส่งสัญญาณ (Coupling) แสดงดังรูปที่ 2 จากนั้นนำชิ้นงานทดลองตัดขวางแนวเชื่อม (Cross-Section) ด้วยเครื่องเลื่อยสายพานแนวนอนแสดงดังรูปที่ 3 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางมหภาคและจุลภาคของรอยเชื่อม โดยใช้สารละลายเจือจาง Keller's reagent (กรดไฮโดรฟลูออริก 2 ml กรดไฮโดรคลอริก 3 ml. กรดไนตริก 5 ml และน้ำ 190 ml) การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Test) หาค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมที่อุณหภูมิห้อง เตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM-E8M ความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} mm/s ตามมาตรฐาน ASTM-E8M



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟส (Phase Array Ultrasonic)



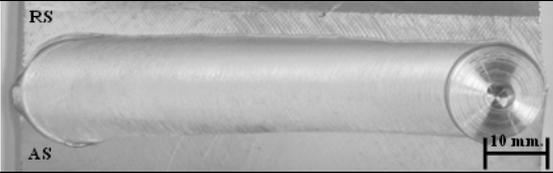
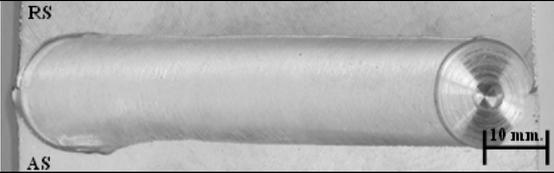
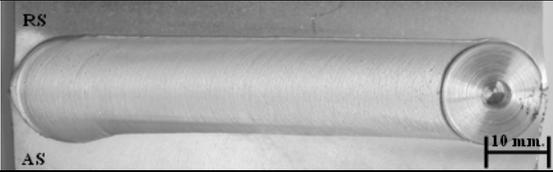
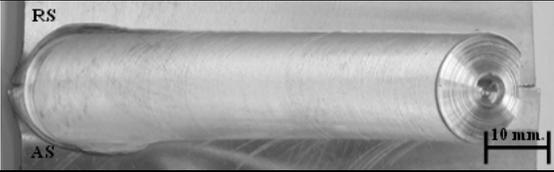
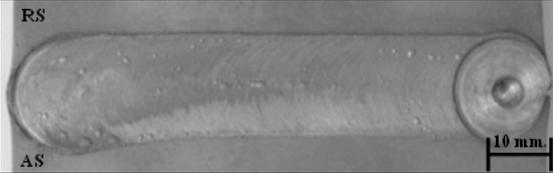
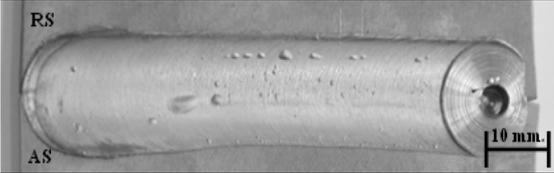
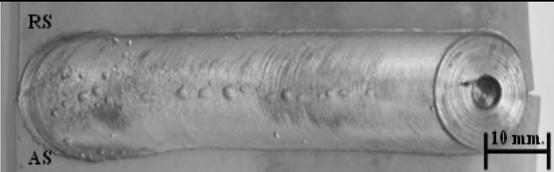
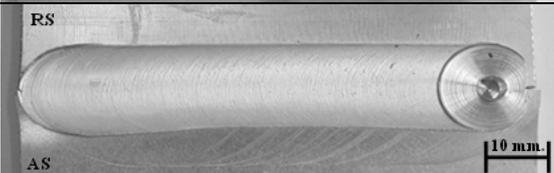
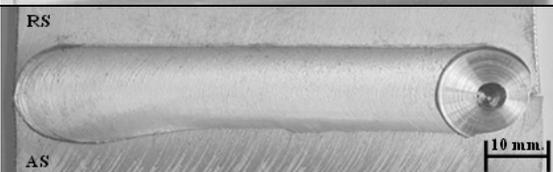
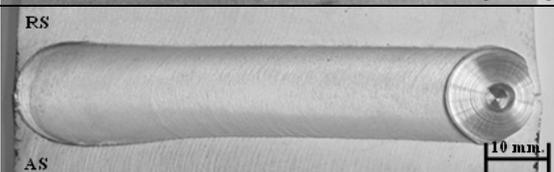
รูปที่ 3 แสดงภาพประกอบงานเชื่อม FSW (A) ตำแหน่งเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดรอยเชื่อม ตัดออกข้างละ 15 mm. (B) ตรวจสอบโครงสร้าง (C) ทดสอบแรงดึงและ (D) ทดสอบความแข็ง ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อม

รูปที่ 4 แสดงผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อมโดยมี (RS) Retreating Side, (AS) Advancing Side พบว่าผิวหน้ารอยเชื่อมของทั้งสองแบบมีลักษณะเรียบและสะอาด ที่ความเร็วในการเดินเชื่อมสูง 160 mm/min (Zhao et al., 2005) อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมยังน้อยที่จะทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติก และที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) มีลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมที่ขรุขระเป็นรอยที่เกิดจากบ่าของ Tool อีกทั้งเกิดครีบเล็กน้อยของด้าน Retreating Side อันเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมในรอยเชื่อมมีมากพอที่จะ

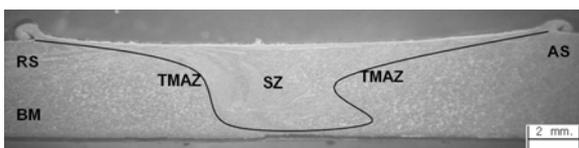
ทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการเคลื่อนตัวของเนื้ออะลูมิเนียมได้สะดวกลื่นออกจากบ่าของ Tool เกิดเป็นครีบด้าน Retreating Side เพราะว่าด้าน Retreating Side เป็นด้านที่ทิศทางการหมุนของ Tool สวนทางกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม (Kim et al., 2005) พบว่าบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อมของแนวเชื่อมทั้งสองแบบเกิดการประสานกันที่ดีของรอยเชื่อมต่อชน และบริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดี ไม่พบรอยแยกที่ไม่ประสานกันของรอยเชื่อม แต่จะเกิดรูบริเวณจุดสิ้นสุดของรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากปลายของหัวพิน แต่อย่างไรก็ตามลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมความเร็วหมุนของหัวพินสูง จะเกิดครีบมากกว่าความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ อีกทั้งรอยบ่าของ Tool ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) จะหยาบกว่ารอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) อันเนื่องมาจากความเร็วหมุนของหัวพินสูงขณะเดินแนวเชื่อมมีความร้อนสะสมมากกว่าความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ จึงทำให้เนื้อของอะลูมิเนียมเกิดความต้านทานภายในเนื้อของอะลูมิเนียมมากกว่าความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ และทำให้เกิดความร้อนมากกว่าอีกด้วย ทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกมากพอที่จะทำให้เกิดครีบลื่นออกจาก Tool มากกว่าและเกิดรอยบนผิวหน้ารอยเชื่อมมากกว่าความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ นอกจากนี้บริเวณรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม (WT และ TWT) จะเกิดการพองบริเวณผิวแนวเชื่อม อันเนื่องมาจากการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงและเป็นเวลานาน ทำให้รูพองที่มีอากาศอยู่ใต้ผิวงานเกิดการดันตัวและพองออกมานอกผิวงานในที่สุดแต่สามารถหลีกเลี่ยงการพองของผิวงานได้ด้วยวิธีการกระบวนการทางความร้อนที่ใช้เวลาสั้นอุณหภูมิต่ำ (Lumley et al., 2007) อีกทั้งปริมาณการพองของรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) มีมากกว่าแนวเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) แต่ในขณะที่บริเวณรอยเชื่อมที่ผ่านการบ่มเทียม (Artificial aging) หลังการเชื่อม (SWA และ WA) จะไม่เกิดการพองของผิวหน้ารอยเชื่อม

Condition	1,320 rpm, 160 mm/min	1,750 rpm, 160 mm/min
AW		
TW		
WT		
TWT		
SWA		
WA		

AW: As welded joints, TW: T6 Weld joints, WT: Weld T6 joints, TWT: T6 Weld T6 joints, SWA: Solution treated Weld Artificially aged joints Weld and WA: Artificially aged joints

รูปที่ 4 แสดงผิวหน้าด้านบนรอยเชื่อม (RS) Retreating Side, (AS) Advancing Side

3.2 ลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา

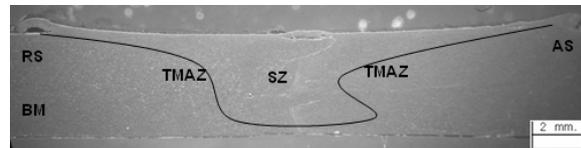


รูปที่ 5 แสดงภาพหน้าตัดของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวน

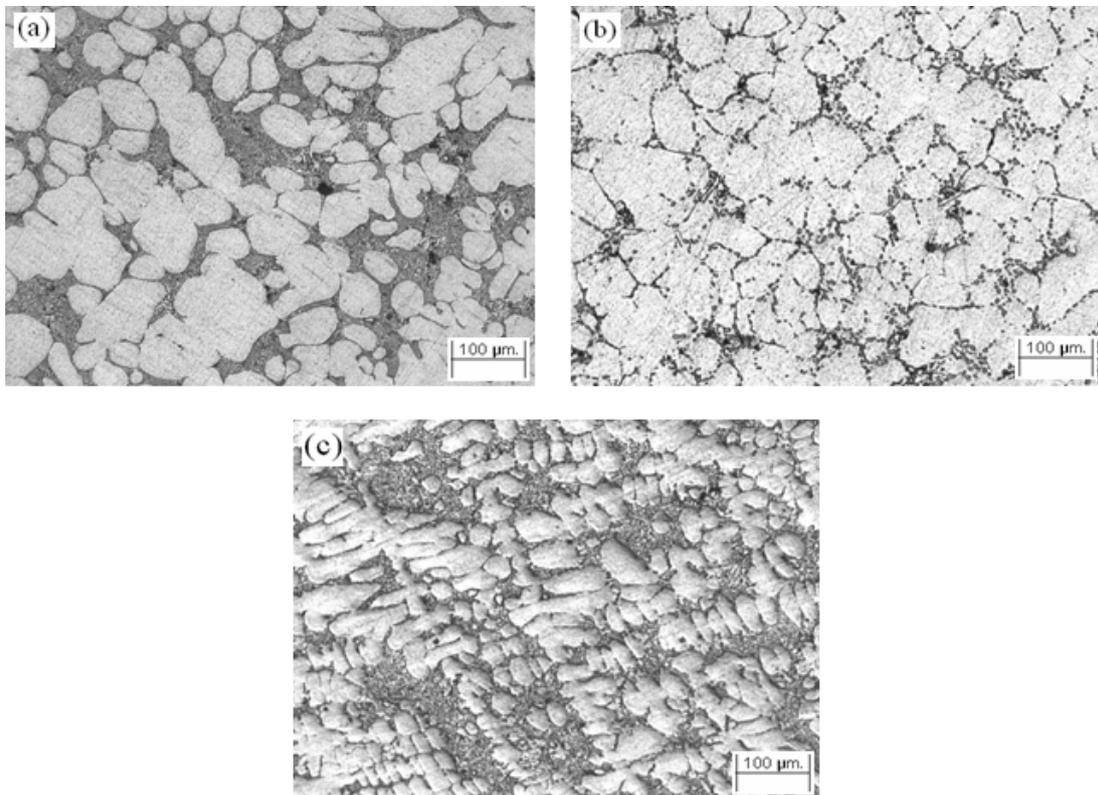
3.2.1 ลักษณะโครงสร้างทางมหภาค ผลจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนลักษณะโครงสร้างทางมหภาครอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อทิ้งแข็ง 356 ที่ความเร็วรอบ 1,320 และ 1,750 rpm ความเร็วในการเดินเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อน (T6) ที่ต่างกัน พบว่าบริเวณที่รอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนก่อนการเชื่อมและรอยเชื่อมที่ผ่านการบ่มเทียมน หลังการเชื่อม (AW, TW, SWA และ WA) แสดงดังรูปที่ 5 ไม่มีข้อบกพร่องใดๆ เกิดขึ้นกับรอยเชื่อม รอยเชื่อมมีลักษณะที่ประสานเข้าด้วยกันเป็นอย่างดีของทั้งสองชิ้น ความร้อน

จะเกิดการสะสมในรอยเชื่อมอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการไหลวนรอบ ๆ ตัวกวน เมื่ออะลูมิเนียมเกิดการแข็งตัวโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมจะมีลักษณะภาพร่างคล้ายกับหัวหอมรีที่มีภาพแบบปรากฏชัดเจน อันเนื่องมาจากแรงกดและความร้อน ทำให้การไหลวนของเนื้ออะลูมิเนียมเป็นแบบเรียบและมีทิศทางการไหลวนในลักษณะที่แน่นอนรอบตัวกวน (Ma et al., 2006) อีกทั้งพบว่ารอยเชื่อมของความเร็วหมุนของหัวพินสูงมีลักษณะรอยเชื่อมที่กว้างกว่ารอยเชื่อมของความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ อันเนื่องมาจากความร้อนที่มากกว่าทำให้เนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกเป็นบริเวณกว้างกว่าการเชื่อมด้วยความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (Ma et al., 2006) ในขณะเดียวกันที่รอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม (WT และ TWT) จะปรากฏรอยแตก (Crack) แสดงดังรูปที่ 6 บริเวณรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน (Chen et al, 2005) ซึ่งการแตกของแนวเชื่อมเกิดขึ้นในระหว่างการชุบ

ในน้ำหลังจากขั้นตอนกระบวนการอบละลาย (Solution Treatment) จากการสังเกตบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) จะมีลักษณะรอยแตกกว้างมากกว่ารอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) อันเนื่องมาจากรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) มีความแข็งของรอยเชื่อมดีอยู่แล้ว เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนจะทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้นไปอีกจนเกินขีดจำกัดและเกิดการแตกกว้างในที่สุด



รูปที่ 6 แสดงภาพหน้าตัดของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่เกิดรอยแตกกว้าง

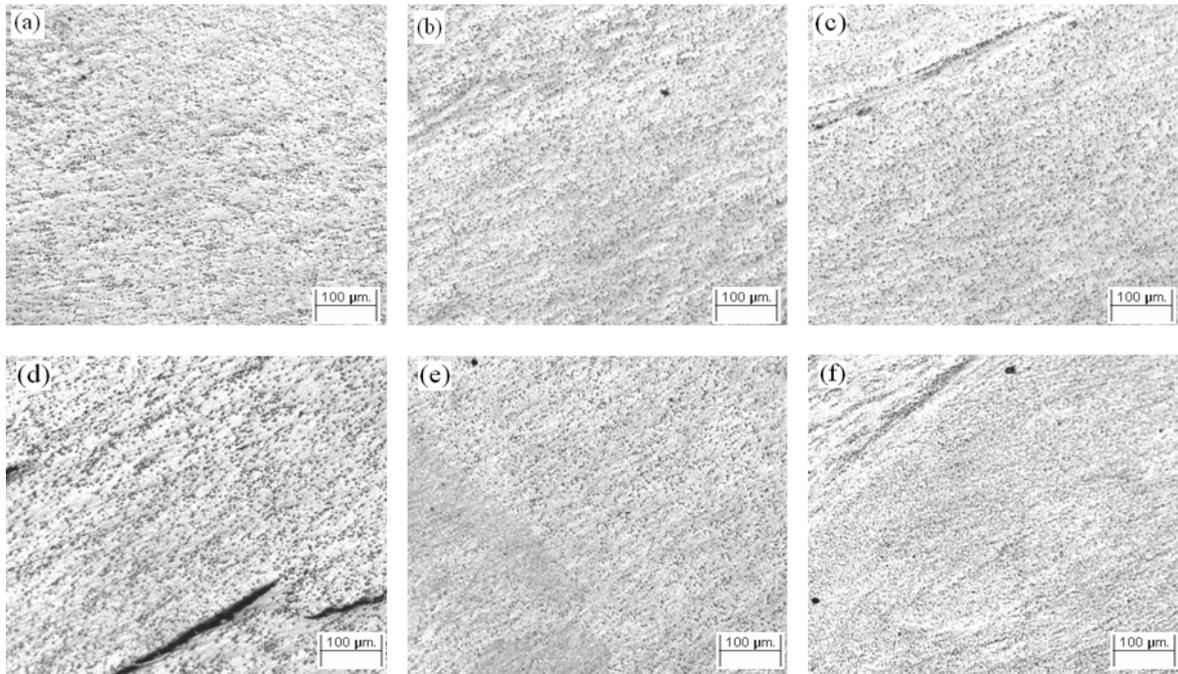


รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิม (a) บริเวณเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านสภาวะทางความร้อน T6 (b) และ บริเวณเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านสภาวะทางความร้อน Artificially aged (c)

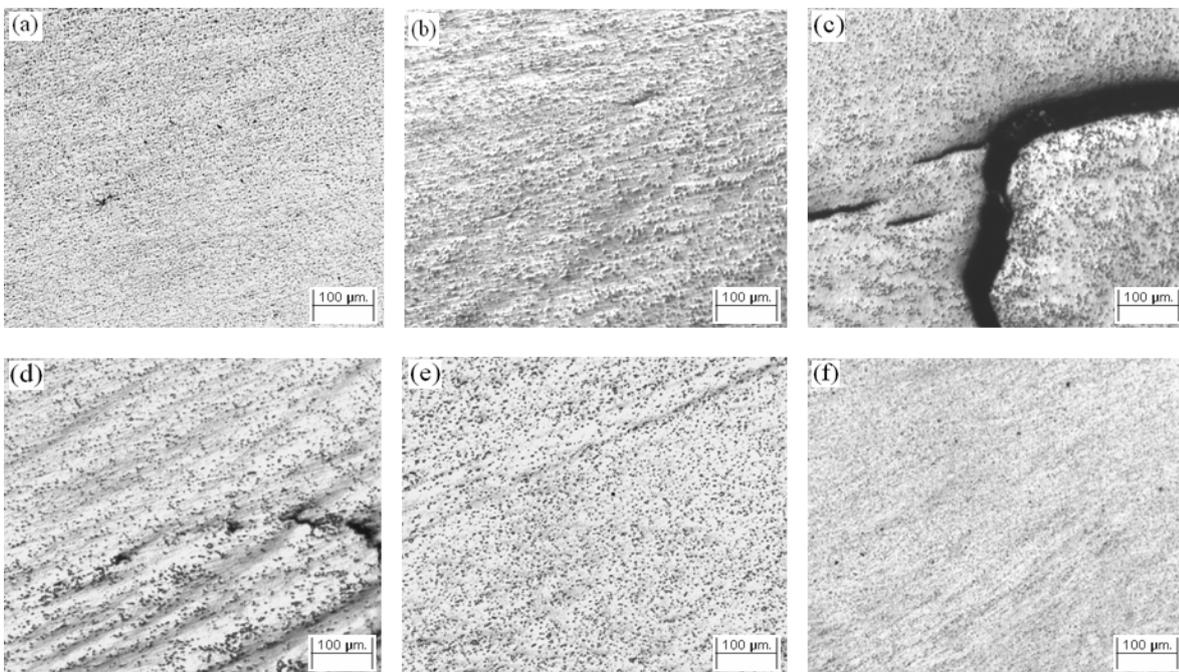
3.2.2 *โครงสร้างทางจุลภาค* บริเวณเนื้อโลหะเดิมและบริเวณเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านสภาวะทางความร้อน แสดงดังรูปที่ 6 โครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณเนื้อโลหะเดิมเกรนของเฟส α -Al แสดงดังรูปที่ 6 (a) เป็นลักษณะก้อนกลมต่อเนื่องกันมีเฟส Si, Fe and Mg จับกลุ่มรอบเฟส α -Al โครงสร้างทางจุลภาคสภาวะทางความร้อน T6 ก่อนและหลังการเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะเดิม เกรนของเฟส α -Al เป็นลักษณะก้อนกลมต่อเนื่องกันมีเฟส Si ลักษณะรูปทรงกลมกระจายไม่เป็นระเบียบรอบเฟส α -Al มีการแพร่ของซิลิกอนออกจากเฟสยูเทคติกซิลิกอนและละลายเข้าสู่อะลูมิเนียมเมตริกซ์ (Akhter et al., 2007; Moller et al., n.d.) แสดงดังรูปที่ 6 (b) โครงสร้างทางจุลภาคของสภาวะการเชื่อม Artificially aged หลังการเชื่อม บริเวณเนื้อโลหะเดิมเกรนของเฟส α -Al บริเวณเนื้อโลหะเดิมมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม แสดงดังรูปที่ 6 (c) เฟสซิลิกอนในชิ้นงานที่ผ่านการ Aging ไม่มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง (Alan et al., 2001)

โครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อทิ้งแข็ง 356 ที่ความเร็วรอบ 1,320 และ 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อน (T6) ที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 7-8 พบว่ามีลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดมากซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาค Si ผสมในอะลูมิเนียมเมตริกซ์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ถูกกวน (Elangovan and Balasubramanian, 2007; Ma et al., 2006; Kim et al., 2005) อันเนื่องมาจากการเสียดทานระหว่างหัวพินกับเนื้ออะลูมิเนียมทำให้เกิดการแตกละเอียดของโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมและเฟส Eutectic จากการสังเกตบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) จะมีลักษณะที่ละเอียดและเรียบมากกว่ารอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) เล็กน้อย อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของอะลูมิเนียมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) มีมากกว่าที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) จึงทำให้เกิดโครงสร้างที่มีการประสานเข้า

ด้วยกันเป็นอย่างดีของเนื้ออะลูมิเนียมทั้งสองชิ้น (Lee et al., 2003) เนื่องจากการกวนของหัวพินและแรงกดทำให้เกิดความร้อนเนื้ออะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกเกิดการเคลื่อนตัวของเนื้ออะลูมิเนียมรอบตัวกวน จากการตรวจสอบไม่พบข้อบกพร่องใด ๆ ในรอยเชื่อม โดยเฉพาะบริเวณรอยเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนก่อนการเชื่อมและรอยเชื่อมที่ผ่านการบ่มเทียบหลังการเชื่อม (AW, TW, SWA และ WA) ส่วนโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม (WT และ TWT) จะเกิดรอยแตกร้าว (Crack) เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน (Chen et al., 2005) ซึ่งการแตกของแนวเชื่อมเกิดขึ้นในระหว่างการชุบในน้ำหลังจากขั้นตอนกระบวนการอบละลาย (Solution Treatment) ที่อุณหภูมิ 540°C จากการสังเกตบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) จะมีลักษณะรอยแตกร้าวมากกว่ารอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) อันเนื่องมาจากรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) มีความแข็งแรงของรอยเชื่อมมากกว่า ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมแสดงดังภาคผนวก ค เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนและชุบน้ำทันที จะทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้นไปอีก จนเกิดการแตกร้าวในที่สุด บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลของหัวพินทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ด้าน Retreating Side จะเกิดความแตกต่างของโครงสร้างเนื้อโลหะเดิมและบริเวณที่ถูกกวนเป็นลักษณะของโครงสร้างที่ค่อนข้างละเอียดและแคบคล้ายกับถูกขัดเนื่องจากด้าน Retreating Side มีทิศทางการเดินแนวเชื่อมตรงข้ามกับทิศทางการหมุนของ Tool และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทางกลด้าน Advancing Side มีลักษณะโครงสร้างแบนยาวคล้ายกับถูกดึงเป็นบริเวณกว้างกว่าด้าน Retreating Side โครงสร้างเกรนจะมีลักษณะยาว ตามทิศทางการกวนของหัวพิน เนื่องจากด้าน Advancing Side เป็นด้านที่ทิศทางการหมุนของ Tool มีทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม



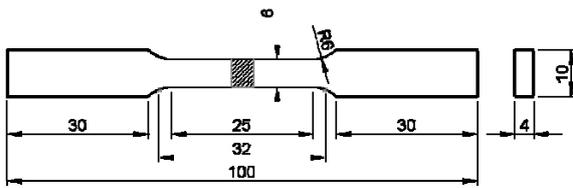
รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณของรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง 356 ที่ความเร็วรอบ 1,320 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อน (T6) ที่ต่างกัน (a) As welded (AW) joints, (b) T6 Weld (TW) joints, (c) Weld T6 (WT) joints, (d) T6 Weld T6 (TWT) joints, (e) Solution treated Weld Artificially aged (SWA) joints and (f) Weld Artificially aged (WA) joints.



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของบริเวณของรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง 356 ที่ความเร็วรอบ 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อน (T6) ที่ต่างกัน (a) As welded (AW) joints, (b) T6 Weld (TW) joints, (c) Weld T6 (WT) joints, (d) T6 Weld T6 (TWT) joints, (e) Solution treated Weld Artificially aged (SWA) joints and (f) Weld Artificially aged (WA) joints.

3.3 ค่าความแข็งแรงดึง

การทดสอบสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงดึง โดยมีการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-E8M แสดงดังรูปที่ 9 ผลค่าความแข็งแรงดึงเป็นค่าเฉลี่ยสามตัวอย่าง โดยมีผลของเนื้อโลหะเดิมที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน เนื้อโลหะเดิมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (T6) และรอยเชื่อมของงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 9 แสดงชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM-E8M

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อทิ้งแข็ง 356 ที่ความเร็วรอบ 1,320 และ 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนที่แตกต่างกัน ประกอบไปด้วยค่า Yield Strength ค่า Tensile Strength ค่า Elongation และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแนวเชื่อมเมื่อเทียบกับเนื้อโลหะเดิมและเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 สภาพแนวเชื่อมที่ดีที่สุดของการทดลองนี้คือสภาวะ WT (1,320/160) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 35.7% และเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 มีประสิทธิภาพเหลือ 77.4% ส่วนสภาพแนวเชื่อมที่ต่ำที่สุดของการทดลองนี้คือสภาวะ WT (1,750/160) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมแล้วมีประสิทธิภาพเหลือ 63.8% และเปรียบเทียบกับเนื้อโลหะเดิมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 มีประสิทธิภาพเหลือ 36.4% โดยที่ประสิทธิภาพแนวเชื่อมคำนวณได้จากการนำผลค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมเป็นตัวตั้งหารด้วยผลค่าความแข็งแรงดึงของเนื้อโลหะเดิม

$$\text{Joint Efficiency} = \frac{\text{Tensile Welding}}{\text{BM}} \quad (1)$$

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ของรอยต่อชนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน SSM 356

Joint		Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Joint Efficiency (BM) (%)	Joint Efficiency (BM T6) (%)
BM		134.9	168.7	5.3	-	-
T6		236.5	295.6	4.8	-	-
1,320/160	AW	133.3	166.7	3.3	98.8	56.4
	TW	94.8	118.5	3.0	70.2	40.1
	WT	183.1	228.9	2.6	135.7	77.4
	TWT	109.4	136.8	3.3	81.1	46.3
	SWA	170.3	212.9	3.5	126.2	72.0
	WA	120.5	150.6	3.9	89.3	50.9
1,750/160	AW	138.8	173.5	3.1	102.8	58.7
	TW	138.3	172.9	4.5	102.5	58.5
	WT	86.1	107.6	1.3	63.8	36.4
	TWT	114.7	143.4	1.5	85.0	48.5
	SWA	135.4	169.3	2.4	100.4	57.3
	WA	120.4	150.5	2.9	89.2	50.9

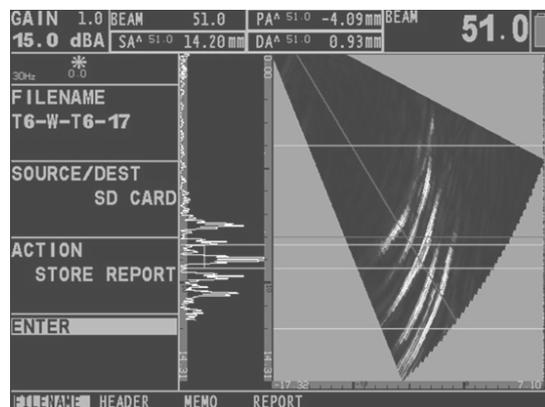
ผลค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวน SSM 356 ในสภาวะความเร็วเดินแนวเชื่อม คือ 160 mm/min ความเร็วรอบของเครื่องมือ 1,320 และ 1,750 rpm สภาพทางความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม AW, TW, WT, TWT, SWA และ WA พบว่าที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) สภาพทางความร้อนหลังการเชื่อม (WT) มีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุด คือ 228.92 MPa แต่ที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) ในสภาวะเดียวกัน กลับมีค่าความแข็งแรงดึงน้อยที่สุดของการทดลอง คือ 107.59 MPa เนื่องจากกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม (WT) จะทำให้ปรากฏรอยแตก (Crack) ในบริเวณรอยเชื่อม อันเนื่องมาจากรอยเชื่อมที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) มีความแข็งแรงของรอยเชื่อมมากกว่าที่ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) ค่าความแข็งแรงแนวเชื่อมเมื่อนำไปผ่าน

กระบวนการทางความร้อนและชุบน้ำมันที่ จะทำให้รอย เชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้นไปอีกจนเกิดการแตกร้าวในที่สุด ซึ่ง ในสภาวะที่ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) จะ ปรากฏรอยแตกมากกว่าสภาวะที่ความเร็วหมุนของหัวพิน 1,320 rpm จึงทำให้มีค่าแรงดึงต่ำกว่า ส่วนที่สภาวะที่ ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) สภาวะทาง ความร้อนก่อนการเชื่อม (TW) มีค่าความแข็งแรงดึงคือ 172.93 MPa มากกว่าค่าความแข็งแรงดึงที่ความเร็วหมุน ของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) ในสภาวะเดียวกัน ซึ่งมีค่า ความแข็งแรงดึง คือ 118.46 MPa เนื่องมาจาก กระบวนการทางความร้อน (T6) ทำให้ชิ้นงานมีความแข็ง เพิ่มมากขึ้น เมื่อสังเกตในสภาวะของความเร็วหมุนของ หัวพินต่ำ (1,320 rpm) ทำให้ความร้อนจากการเสียดทาน ลดน้อยลงส่งผลต่อค่าแรงดึง แต่ในสภาวะของความเร็ว หมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) ทำให้ความร้อนจากการ เสียดทานและการหมุนวนของเนื้ออะลูมิเนียมเข้ากันได้ดี ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ ผ่านกระบวนการทางความร้อน (T6) จะต้องเชื่อมที่ ความเร็วหมุนของหัวพินสูง (1,750 rpm) จึงจะได้ค่าความ แข็งแรงดึงที่ดีที่สุด ส่วนชิ้นงานที่ต้องเชื่อมก่อนแล้วนำไป ผ่านกระบวนการทางความร้อน (T6) จะต้องเชื่อมที่ ความเร็วหมุนของหัวพินต่ำ (1,320 rpm) จึงจะได้ค่า ความแข็งแรงดึงที่ดีที่สุด อีกทั้งในส่วนของสภาวะทางความ ร้อนก่อนและหลังการเชื่อม (TWT) มีค่าความแข็งแรงดึง ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าในสภาวะทางความร้อนหลังการ เชื่อม (WT) เนื่องจากปรากฏรอยแตกบริเวณแนวเชื่อม อย่างชัดเจนและมีปริมาณมาก

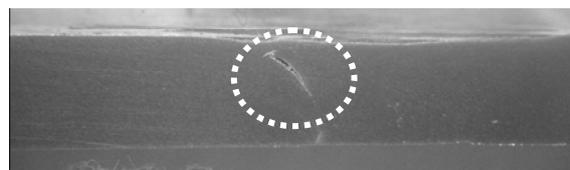
3.3 การตรวจสอบหารอยบกพร่อง

การตรวจสอบหารอยบกพร่องในแนวเชื่อมด้วยเครื่อง อุลตราโซนิกแบบการเรียงเฟสจะตรวจสอบทุกชิ้นงานก่อน การตัดแบ่งส่วนเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ในที่นี้จะ ยกตัวอย่างของการตรวจสอบในแนวเชื่อมที่ให้ค่าความ แข็งแรงต่ำสุดคือที่ความเร็วรอบ 1,750 rpm ความเร็วใน การเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการ ทางความร้อนก่อนและหลังเชื่อม (TWT) เนื่องจากจะเห็น รอยบกพร่องได้ชัดเจนที่สุด

ผลการตรวจสอบรอยบกพร่อง ที่ความเร็วในการหมุน ของหัวพิน 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนก่อนและ หลังเชื่อม (TWT) ตรวจสอบด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแบบ การเรียงเฟสซึ่งลักษณะของหัวตรวจสอบจะมีผลึกเรียงตัว กันภายในหัวตรวจสอบ ทำให้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้ามา ยัง ผลึกและส่งถ่ายออกไปด้วยความเร็ว สามารถสร้างภาพ จำลองรอยตำหนิได้ พบว่ารอยบกพร่องในแนวเชื่อมเป็น ทั้งลักษณะเส้นยาวต่อเนื่องกัน และมีสัญญาณตอบกลับ (Peak) ที่กระจัดกระจายไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 10 เมื่ออ่านข้อมูลจากเครื่องตรงจุดสีแดงพบว่ารอยบกพร่องมี ความลึกจากผิวงานด้านที่ตรวจลงไปประมาณ 0.93 มิลลิเมตร เพื่อเป็นการยืนยันผลการตรวจสอบได้ทำการ ตัด (Section) แนวเชื่อมตรงบริเวณที่พบรอยบกพร่อง แสดงดังรูปที่ 11 จากภาพจะเห็นว่ารอยบกพร่องมี ลักษณะเป็นแนวแตกแยกขนาดใหญ่ตลอดแนวเชื่อมและ มีการแตกเล็กๆตรงด้านล่างแนวเชื่อม ซึ่งเป็นผลมาจาก อิทธิพลกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม



รูปที่ 10 แสดงรอยบกพร่องของแนวเชื่อมที่ตรวจพบด้วย เครื่องอัลตราโซนิกแบบการเรียงเฟสที่ (1,750/160 TWT)



รูปที่ 11 แสดงรอยบกพร่องของแนวเชื่อมด้วยการตัดแนว เชื่อมที่ (1,750/160 TWT)

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

1. โครงสร้างทางจุลภาคสภาวะทางความร้อน T6 ก่อนและหลังการเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะเดิม เกรนของเฟส α -Al เป็นลักษณะก้อนกลมต่อเนื่องกันมีเฟส Si ลักษณะละเอียดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบรอบเฟส α -Al มีการแพร่ของซิลิกอนออกจากเฟสยูเทคติกซิลิกอนและละลายเข้าสู่อะลูมิเนียมเมตริกซ์

2. โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมมีลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดมากประกอบด้วยอนุภาค Si ผสมในอะลูมิเนียมเมตริกซ์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ถูกกวน อันเนื่องมาจากการเสียดทานระหว่างหัวพินกับเนื้อวัสดุเกิดการแตกละเอียดของโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมและเฟส Eutectic แต่ปรากฏรอยแตกในสภาพทางความร้อน T6 หลังการเชื่อมเท่านั้น WT, TWT ซึ่งเป็นอิทธิพลมาจากสภาวะทางความร้อนในระหว่างการชุบน้ำหลังจากกระบวนการอบละลาย

3. ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดคือ 228.9 MPa ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,320 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนหลังเชื่อม (WT) และ ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดคือ 107.6 MPa ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนหลังเชื่อม (WT)

4. ผลการตรวจสอบรอยบกพร่องมีความถูกต้องและแม่นยำ ที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,750 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min และสภาวะกระบวนการทางความร้อนก่อนและหลังเชื่อม (TWT) พบว่ารอยบกพร่องมีความลึกจากผิวงานด้านที่ตรวจสอบไปประมาณ 0.93 มิลลิเมตร

4.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. การยึดจับชิ้นงานเชื่อมบนจิ๊ก ควรขันสกรูให้แน่น เพราะขณะทำการเชื่อมจะมีแรงกดและการสั่นสะเทือนขึ้น หากสกรูไม่แน่นพออาจจะทำให้ชิ้นงานมีการเคลื่อนได้

2. ก่อนทำการเชื่อมชิ้นงานจริง ควรมีการทดลองเชื่อมชิ้นงานทดลองก่อน ทั้งนี้เพื่อเป็นการอุ่นชุดอุปกรณ์เชื่อมให้มีสภาวะพร้อมใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัย จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาค วิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Kimapong K., Meemon A. and Boonyong P., 2550, "Friction Stir Welding of Aluminum Alloy and Steel Lap Joint", Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Prince of Songkla University Engineering Conference PEC-5, 10-11 May 2007.
- Wannasin J., 2006, "Diecasting Aluminum Casting Technology for Semi-Solids." Department of Mining Engineering and Materials Faculty of Engineering Prince of Songkla University Thailand Conference Casting TFC-3. Songkhal, Thailand 1-12.
- Kruepue T. and Muangjunburee P., 2008, "The Effect of Welding Speed and Tool Pin Profile on Metallurgical and Mechanical Properties of Joining of Semi-Solid (SSM) Aluminium Alloy A 356 by Friction Stir Welding Process (FSW)" IE Network Conference 2008 20-22 October 2008. Songkhal, Thailand 933-939.

- Muangjunburee P., 2007, "The metallurgy of the aluminum", Department of Mining Engineering and Materials Faculty of Engineering Prince of Songkla University The experiments reported in the aluminum SSM A356.
- Binraheem A., Memongkol N. and Muangjunburee P., 2008, "Investigation of Metallurgical and Mechanical properties of Joining of Semi Solid (SSM) A356 by Friction stir Welding process", IE Network Conference 2008 20-22 October 2008. Songkhal, Thailand 1111-1116.
- Akhter R., Ivanchev L., and Burger H.P., 2007, "Effect of pre/post T6 heat treatment on the mechanical properties of laser welded SSM cast A356 aluminium alloy", Materials Science and Metallurgical Engineering University of Pretoria South Africa: pp.192-197.
- Alan P.D., Thomas E.P., Adam E.K. and Thomas A.C., 2001, "Mechanical Properties of High Performance Aluminum Castings", Automotive Casting Processes and Materials SAE 2001 World Congress Detroit, Michigan March 5-8 2001.
- Chen Y.C., Liu H.J. and Feng J.C., 2005, "Effect of post-weld heat treatment on the mechanical properties of 2219-0 friction stir welding joints", Material Science and Engineering 40: pp. 4657-4659.
- Elangovan K. and Balasubramanian V., 2007, "Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy", Materials Processing Technology 200: pp. 163-175.
- Moller H., G.Govender and W.E. Stumpf. The T6 heat treatment of Semi-solid Metal Processed Alloy A356. Materials Science and Metallurgical Engineering University of Pretoria South Africa.
- Kim Y.G., Fujii H., Tsumura T., Komazaki T. and Nakata K., 2006, "Effect of Welding parameter on Microstructure in stir zone of FSW joints of Aluminum die casting alloy", Material Science and Engineering A 415: pp. 250-254.
- Kuntongkum S. Wisutmethangoon S. Plookphol T. Wannasin J., (2006). Influence of Heat Treatment Processing Parameters on the Hardness and the Microstructure of Semi-Solid Aluminum Alloy A356. Metals, Materials and Minerals, Vol.18 No.2: pp. 93-97
- Lumley R.N., Odonnell R.G., Gunasegaram D.R. and Givord M., 2007, "Heat Treatment of High-Pressure Die Castings", The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2007. Volume 38A: pp.2564-2574.
- Ma Z.Y., Sharma S.R. and Mishra R.S., 2006, "Effect of friction stir processing on the microstructure of cast A356 aluminum", Material Science and Engineering A 433: pp. 269-278.
- Mishra R.S. and Ma Z.Y., 2005, "Friction Stir Welding and Processing", Materials Science and Engineering 50: pp. 1-78.
- Rajiv S.M. and Murray W.M., editors "Friction Stir Welding and Processing" pp. 1.
- Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Temple smith P. and Dawes C.J., 1991, "Friction Stir Butt Welding", International Patent application, No. PCT/GB92/02203 and GB patent application, No.9125978.8.
- Thomas W.M. and Nicholas E.D., 1997, "Friction Stir Welding for the Transportation Industries", Materials and Design 18: pp. 269-273.