การเชื่อมในสถานะกึ่งแข็งของอะลูมิเนียมผสมหล่อแบบกึ่งแข็ง 356 โดยใช้แก๊สไนโตรเจนปกคลุม

ธงชัย เครือผือ[1] สมชาย โพธิ์พยอม[2] และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี[3]

Semi-Solid State Joining of Semi-Solid Metal Aluminum Alloy 356 Covered by Nitrogen Gas

Thongchai Khrueaphue[1], Somchai Phopayom[2] and Prapas Muangjunburee[3]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก 65000

[3] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

[1,2] Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok Campus, Thailand 65000

[3] Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112

Corresponding author. E-mail : Thongchai5555@Hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 ที่หล่อแบบ Semi-Solid Metal ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการหล่ออะลูมิเนียมและการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ มีปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย ทำให้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติต่างๆ ในเนื้อวัสดุ ดังนั้นงานการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าตัวแปร ที่เหมาะสมและศึกษาเปรียบเทียบค่าตัวแปรที่เกี่ยวกับโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลจากการเชื่อมในสถานะกึ่งแข็งโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม ตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อม คือ ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ช (Torch tool) ที่ 1,110 และ 1,320 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 120 และ 160 mm/min อุณหภูมิในการเชื่อม 590-610 ° C เป็นเปลวไฟคาร์บูไรซิ่ง และขณะทำการเชื่อมจะใช้แก๊สไนโตรเจนปกคลุมแนวเชื่อมหัวทอร์ชที่ใช้ในการเชื่อมเป็นแบบทรงกระบอกมุมเอียงของหัวหัวทอร์ชขณะทำการเชื่อม 2 องศา

จากการทดลองและการตรวจสอบ พบว่า ผิวหน้ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบรอยแตกหรือรอยแยกที่เกิดจากการไม่ประสานของบริเวณด้านบนและด้านล่างรอยเชื่อม โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min ของทั้งสองความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ช จะมีลักษณะรูพรุนบริเวณรอยเชื่อมใหญ่กว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min โครงสร้างทางจุลภาค พบว่า ทั้งสองความเร็วในการเดินแนวเชื่อมจะเกิดรูพรุนในบริเวณรอยเชื่อม ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนเป็นแบบเดนไดรท์เล็กๆ กระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อม โดยเฉพาะที่ 1,320 rpm -160 mm/min จะมีค่าลักษณะการกระจายตัวของโครงสร้างแบบเดนไดรท์ที่สม่ำเสมอและมีรูพรุนน้อยกว่าตัวแปรอื่นๆ อีกทั้งพบว่าค่าความแข็งแรงดึง (TS) และค่าความเค้นวิกฤติ (YS) ที่ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ชและที่ความเร็วในการเดิน แนวเชื่อม 1,110 rpm -160 mm/min และ 1,320 rpm -160 mm/min มีค่ามากกว่าตัวแปรการเชื่อมที่ 1,110 rpm -120 mm/min และ 1,320 rpm -120 mm/min โดยเฉพาะที่ 1,320 rpm -160 mm/min สามารถสรุปได้ว่ามีค่าความแข็งแรงดึงและค่าความเค้นวิกฤติสูงกว่าตัวแปรอื่นๆ อันเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมในสถานะการเชื่อมที่เหมาะสม

คำสำคัญ: การเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง, อะลูมิเนียมผสมหล่อแบบกึ่งแข็ง 356

Abstract

The experimental research aims to test the butt joint welding of SSM 356 aluminum alloy with semi-solid metal processing. Since at present, the aluminum welding and assembling industry had problems with fusion welding process that affected changes in features of materials. This research intends to determine suitable variables and compare metallurgical variables and mechanical characteristics in semi-solid welding using gas to cover weld bead. Variables used in welding included rotation speed of Torch tool at 1,110 and 1,320 rpm, welding speed of 120 and 160 mm/min, welding temperature of carburizing fame at 590-610°C. Nitrogen gas was applied to cover the weld bead. Straight cylindrical torch head was used at tiling angle of 2 degree.

From the experiment, it was found that the welding surface was perfect without any crack occurred from incoordination of the top and lower area of weld beads. The weld bead macrostructure at welding speed at 120 mm/min in both torch's rotation speeds had larger porosity than at welding speed of 160 mm/min. Concerning the weld bead microstructure, porosity was found in both welding speed. Moreover, in welding speed of 120 mm/min, the change of grain structure to tiny dendrite dispersed around the welding area. Especially at 1,320 rpm -160 mm/min, the disperse rate of dendrite was smooth and there was less porosity than other variables. In addition, Tensile Strength (TS) and Yield Strength (YS) at rotation speed and welding speed of 1,110 rpm -60 mm/min and 1,320 rpm -60 mm/min, respectively, were higher than at 1,110 rpm -120 mm/min and 1,320 rpm -120 mm/min, especially at 1,320 rpm -160 mm/min. Therefore, it could be concluded that the higher tensile strength and yield strength were results of perfection of weld bead in suitable welding conditions.

Keywords: Semi-Solid State Joining, Semi-Solid Metal Aluminium Alloy 356

บทนำ

โดยทั่วไปแล้วอลูมิเนียมที่ได้จากการหล่อด้วยกระบวนการไดคาสติ้งแบบธรรมดา สามารถเชื่อมอาร์คหรือเชื่อมแบบหลอมละลายได้ แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาจากของเหลวไปเป็นของแข็ง ทำให้เกิดข้อบกพร่องในรอยเชื่อม เช่น ช่องว่าง รูพรุน รอยแตกบริเวณรอยเชื่อมที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อบกพร่องเหล่านี้จะส่งผลไปยังคุณสมบัติทางกลทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน หรือการนำไปใช้งาน ในประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งแข็ง คือ รอยเชื่อมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเกรนแบบก้อนกลม (Spheroidal Grain) ไปเป็นโครงสร้างเกรนแบบเดนไดรท์ (Dendrite Grain)

ปัจจุบันได้มีการแข่งขันกันทางด้านเทคโนโลยีการหล่อโลหะกึ่งแข็งทั้งต่างประเทศและในประเทศ ประเทศไทยก็ได้เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการหล่อแบบกึ่งแข็ง (Semi-Solid Metal: SSM) เพื่อประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมภายในประเทศเมื่อประมาณ 1-2 ปี เช่น อุตสาหกรรมเครื่องบิน อุตสาหกรรมสร้างเครื่องจักรและอิเลคทรอนิกส์ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดน้ำหนักและการใช้พลังงาน เทคโนโลยีล่าสุดที่มีศักยภาพในการหล่อ คือ การหล่อโลหะกึ่งแข็งแบบ Rheocasting (เป็นกระบวนการหล่อโลหะโดยการจุ่มและหมุนแท่งโลหะเย็นลงไปในน้ำโลหะทำให้เกิดโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม) ด้วยเทคนิค GISS (Gas Induced Semi-Solid) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการหล่อโดย การปล่อยแก๊สเฉื่อยผ่านแท่งกราไฟต์พรุนเพื่อให้เกิดการไหลเคลื่อนของน้ำโลหะเพื่อให้ได้โครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (Chucheep, T., Burapar, R., Janudom, S., Wisutmethanggoon, S., & Wenasin, J, 2010, pp. 981-987) หลังจากนั้นขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อในขณะที่โลหะมีการแข็งตัวบางส่วน อย่างไรก็ตามในการนำชิ้นส่วนอะลูมิเนียมผสมที่ผ่านกรรมวิธีการหล่อโลหะกึ่งแข็ง (SSM) ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะเกี่ยวข้องกับกรรมวิธีต่อเนื่อง โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปและการซ่อม (Repair) อะลูมิเนียมผสมหล่อก็จะมีกระบวนการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งมีทั้งการเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมหล่อผสม (Similar Joint) ชนิดเดียวกันและการเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมหล่อผสมกับโลหะชนิดอื่น (Dissimilar Joint) (ประภาศ เมืองจันทร์บุรี, 2551, ประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6)

ดังนั้นการแก้ปัญหาสำหรับกรรมวิธีการเชื่อมจึงต้องหันมาใช้การเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง เพื่อรักษาคุณสมบัติของวัสดุไว้ให้ใกล้เคียงกับเนื้อโลหะเดิมมากที่สุดหลังจากการเชื่อม กระบวนการเชื่อมล่าสุดซึ่งกำลังเป็นที่สนใจกันมากในปัจจุบันนี้ คือ กระบวนการเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง ซึ่งเป็นการเชื่อมในขณะที่โลหะเกิดการหลอมเหลวเพียงบางส่วน (Huibin Xu., Quanxiang Luo., Bofang Zhou., Youliang Zeng, & Changhua Du, 2012, pp. 456 - 458) แต่ในขณะนี้ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่มากในงานเชื่อม การเชื่อมในสถานะกึ่งแข็งน่าจะมีความเหมาะสมกว่าการเชื่อมชนิดอื่นๆ เพราะขณะทำการเชื่อมอุณหภูมิและโครงสร้างจะอยู่ในสถานะกึ่งแข็ง จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของ

โครงการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิและสมบัติทางโลหะวิทยารวมถึงสมบัติทางกลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ และนำผลมาปรับปรุงโดยเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมทั้งในแง่งานวิจัยและอุตสาหกรรมต่อไป

วัสดุและวิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นอะลูมิเนียมหล่อผสม SSM 356 ที่หล่อโดยเทคโนโลยีกึ่งแข็ง ด้วยกระบวนการ GISS ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีสามารถดูได้ดัง (ตารางที่ 1) และทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับ การเชื่อมโดยการปรับผิวให้ได้ขนาด 100 x 40 x 4 มม. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวน 24 ชิ้น

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมหล่อผสม SSM 356 (wt%)

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Al
A356	7.74	0.57	0.05	0.06	0.32	0.01	0.05	0.02	0.01	Bal.

2. การเตรียมเครื่องมือ

2.1 ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เครื่องกัดแนวตั้งเป็นเครื่องเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง ซึ่งเป็นเครื่องกัดชนิดที่สามารถปรับอัตราการเดินป้อนได้แบบอัตโนมัติ

2.2 หัวทอร์ช (Torch tool) ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมทำจากเหล็ก SKH 57 ตามมาตรฐาน JIS มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบ่าหัวทอร์ช 6 มม. รัศมีระหว่างบ่ากับหัวทอร์ช 1.5 มม. หัวทอร์ชมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 มม. ความยาวของหัวทอร์ช 3.2 มม.

2.3 เปลวไฟที่ใช้สำหรับทำการเชื่อมเป็นแบบคาร์บูไรซิ่ง (แก๊สออกซิเจน-อะเซทิลีน)

2.4 ใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลที่มี Data Logger เป็นตัววัดอุณหภูมิที่ชิ้นงานและเก็บข้อมูลขณะทำการเชื่อม

3. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1 ใช้ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ชที่ 1,320 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 120 และ 160 mm/min

3.2 ใช้ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ชที่ 1,110 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 120 และ 160 mm/min

3.3 ใช้แก๊สไนโตรเจนในการปกคลุมแนวเชื่อมขณะทำการเชื่อม อัตราการไหล 0.6 Nm^3/h

3.4 อุณหภูมิในการเชื่อมประมาณ 590 -610 $^{\circ}C$

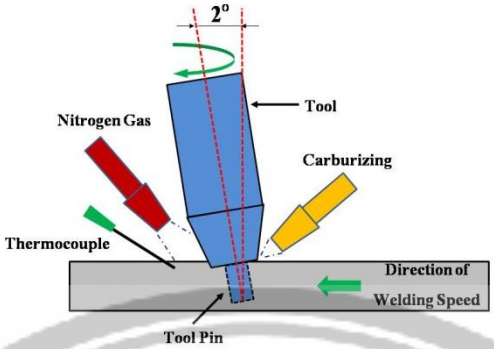
3.5 ปรับมุมเอียงของหัวทอร์ช 2 องศา

3.6 ทิศทางการหมุนของหัวทอร์ชตามเข็มนาฬิกา

3.7 การทดลองนี้กำหนดให้ชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าหาหัวทอร์ชขณะทำการเชื่อม (Direction of Welding Speed)

4. กระบวนการเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง

งานวิจัยนี้จะทำการทดลองเชื่อมในสภานะกึ่งแข็ง ซึ่งเป็นการเชื่อมในขณะที่โลหะเกิดการหลอมเหลวเพียงบางส่วน กระบวนการเชื่อมนี้จะเป็นการเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld) ไม่ทำการบากร่องของชิ้นงาน ยึดชิ้นงานติดกับแท่นรองเลื่อนของเครื่องกัดแนวตั้ง ก่อนการเชื่อมจะอุ่นชิ้นงานด้วยเปลวไฟคาร์บูไรซิ่งประมาณ 1 นาที หลังจากนั้นทำการเชื่อมโดยใช้เปลวเป่าบริเวณผิวชิ้นงานติดกับหัวพิน 10 วินาที แล้วทำการป้อนหัวทอร์ชที่หมุนด้วยความเร็วรอบและทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกาให้จุ่มลงไปในชิ้นงาน จนบ่าของหัวทอร์ชสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานค้างไว้ประมาณ 10 วินาที หลังจากนั้นทำการเดินแนวเชื่อมตามตัวแปรที่กำหนดจนเสร็จสิ้นกระบวนการเชื่อม (รูปที่ 1) และหลังจากการเชื่อมจะกำหนดรอยเชื่อมออกเป็นด้าน Advancing คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของหัวทอร์ชและทิศทางการเดินแนวเชื่อมเป็นทิศทางเดียวกัน และด้าน Retreating คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของหัวทอร์ชและทิศทางการเดินแนวเชื่อมสวนทางกัน



รูปที่ 1 กระบวนการเชื่อมในสถานะกึ่งแข็ง

ความร้อนป้อนเข้าถูกนิยามเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความร้อนก๊าซ: Heat input = K x Gas heat ที่ K คือ ตัวประกอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน ความร้อนก๊าซสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

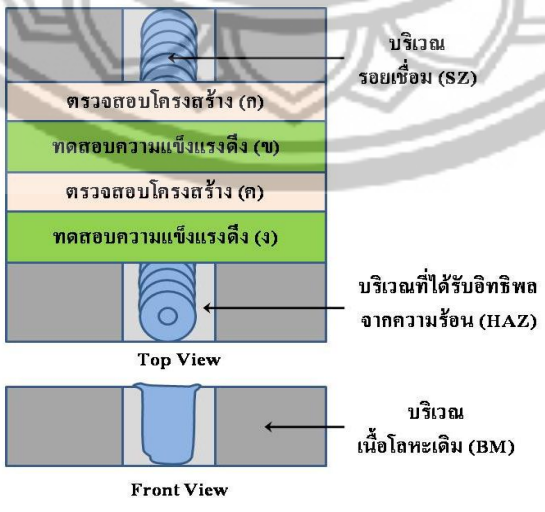
$$Gas\,heat\,(J/cm) = \frac{\Delta H^{o}\,(J/mol)\quad x\quad F.R.(mol/\min)}{V\,(cm/\min)}$$

ที่ $\Delta H\,^{\circ}25 \rightarrow 548\,^{\circ}C = \int_{298}^{891} CpdT$ และ Cp แสดงสำหรับก๊าซไนโตรเจน (Karapetyants, M.K., 1978, pp. 604-624.) $Cp_{(N2)}$ = 27.86 + 0.0042T (J/Kmol) มุมการกวนในการเชื่อมเป็นอัตราส่วนของความเร็วรอบ/ความเร็วแนวราบ (Rotational Speed/Traverse Speed) มีหน่วยเป็น ω/v (rev./cm) (Narimannezhad, et al., 2008, pp. 4112 - 4121)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

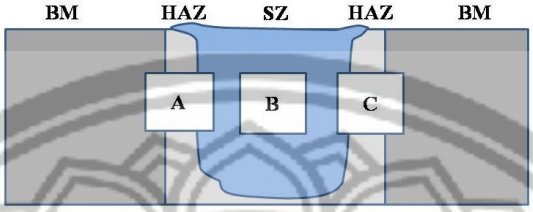
5.1 กล้องดิจิตอล ใช้สำหรับถ่ายภาพผิวหน้ารอยเชื่อมและด้านหลังรอยเชื่อม เพื่อตรวจสอบลักษณะผิวหน้ารอยเชื่อมและการซึมลึกด้านหลัง

5.2 กล้องถ่ายภาพระดับ Macro ใช้สำหรับถ่ายภาพระดับมหภาคเพื่อดูลักษณะรูปแบบของรอยเชื่อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงดูรูพรุนที่มีขนาดใหญ่และดูการประสานของรอยเชื่อม



รูปที่ 2 แสดงลักษณะบริเวณของการตัดชิ้นงานทดสอบ

5.3 หลังจากนั้นจะทำการจัดเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบ (รูปที่ 2) คือ ลักษณะของการตัดชิ้นทดสอบ (ก) ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณจุดเริ่มต้นรอยเชื่อม (ข) ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงจุดเริ่มต้นรอยเชื่อม (ค) ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณจุดกึ่งกลางรอยเชื่อม (ง) ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงจุดกึ่งกลางรอยเชื่อม ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวรอยเชื่อมและความร้อนมีการสะสมคงที่



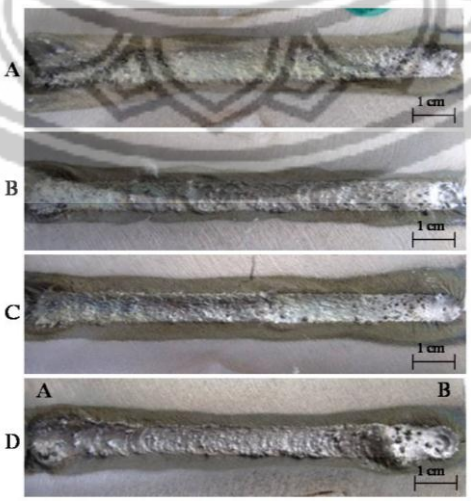
รูปที่ 3 แสดงบริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

5.4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope: OM) ใช้สำหรับตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม เพื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเฟสในรอยเชื่อม รวมไปถึงการตรวจสอบขนาดของเกรนและตรวจสอบความบกพร่อง เช่น รูพรุน รอยแตก ก่อนการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคจะนำชิ้นงานไปทำการขัดผิวแล้วกัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยสารละลาย Keller's reagent ประมาณ 5-8 วินาที บริเวณต่างๆ ที่ทำการตรวจสอบ (รูปที่ 3) จุด A คือ บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนด้าน Advancing (A: HAZ) B คือ บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนด้าน Retreating (R: HAZ) C คือ บริเวณรอยเชื่อม (SZ) ซึ่งผลที่นำมาแสดงนั้นจะเลือกเอาเฉพาะรูปที่สามารถเป็นตัวแทนของรูปทั้งหมดที่ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

5.5 ทำการทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน AISI ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ใช้ความเร็วในการดึงชิ้นทดสอบ 1.67 x 10^{-2} mm/s โดยการเตรียมชิ้นงานตามขวางกับรอยเชื่อมเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความเค้นวิกฤติ (Yield Strength) ซึ่งในการทำวิจัยนี้จะทำการหาค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. การตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อม



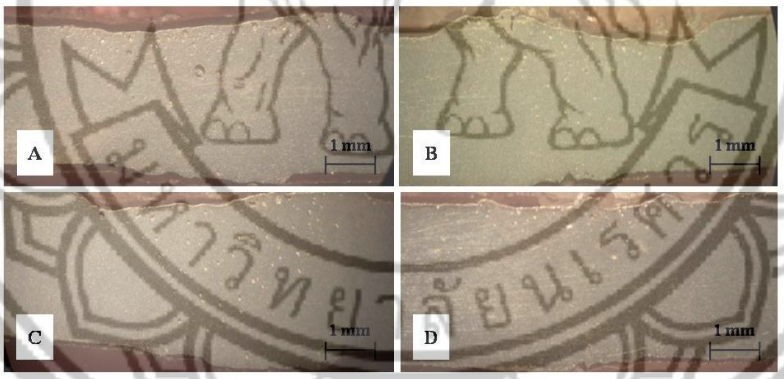
รูปที่ 4 ผิวหน้ารอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาวะกึ่งแข็ง

จากการตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนแบบในสภาวะกึ่งแข็ง (รูปที่ 4) จุด A คือ 1,110 rpm –120 mm/min, B คือ 1,110 rpm –160 mm/min, C คือ 1,320 rpm –120 mm/min, D คือ 1,320 rpm –160 mm/min พบว่าผิวหน้ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ แต่จะมีลักษณะขรุขระจากการกวนของหัวพิน ไม่พบรอยแตกหรือรอยแยกที่เกิดจากการไม่ประสานของบริเวณด้านบนและด้านล่างรอยเชื่อม และพบว่าที่บริเวณจุดสิ้นสุดรอยเชื่อม (B) จะมีลักษณะเป็นบ่อหลอม อันเนื่องมาจากเป็นจุดที่หัวพินถอนออกเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเชื่อม ทำให้เนื้อโลหะบริเวณนั้นไหลเขาไปแทนที่

2. การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาวะกึ่งแข็ง (รูปที่ 5) จุด A คือ 1,110 rpm –120 mm/min, B คือ 1,110 rpm –160 mm/min, C คือ 1,320 rpm –120 mm/min, D คือ 1,320 rpm –160 mm/min จากการตรวจสอบไม่พบรอยแตกทั้งด้านบนและด้านล่างบริเวณรอยเชื่อม แต่จะพบว่าผิวด้านบนรอยเชื่อมมีการยุบตัวเล็กน้อย อันเนื่องมาจากบ่าของหัวพินที่กดลงขณะทำการเชื่อม ทำให้เนื้อโลหะถูกผลักออกไปด้านข้างรอยเชื่อม

ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min (A) และ (C) ของทั้งสองความเร็วในการหมุนของหัวพิน จะมีลักษณะรูพรุนบริเวณรอยเชื่อม (จุดสีขาว) (Huibin Xu., et al., 2012, pp. 452 – 458) ใหญ่กว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min (B) และ (D) เนื่องจากผลของความร้อนจากเปลวไฟเชื่อมทำให้เกิดการหลอมเหลวของเนื้อโลหะที่นานกว่าขณะทำการเชื่อม ทำให้อากาศเข้าไปผสมในรอยเชื่อมเกิดเป็นรูพรุน โดยปกติรูพรุนจะเกิดขึ้นในบริเวณด้านบนของรอยเชื่อม เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับอากาศมากกว่าบริเวณอื่น แต่จากการสังเกตพบว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min (D) ปรากฏรูพรุนเพียงเล็กน้อย

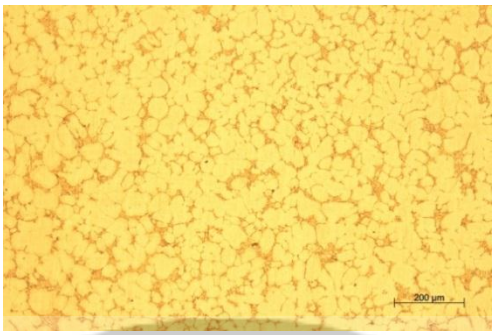


รูปที่ 5 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนแบบกึ่งแข็ง

3. การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

3.1 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเดิม

โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเดิม (รูปที่ 6) สเกลจากรูป 200 ไมครอน เป็นโครงสร้างที่ได้จากการหล่อกึ่งของแข็งด้วยเทคนิค GISS ซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (ก้อนสีขาว) เป็นเฟสอะลูมิเนียม (α) และบริเวณเฟสยูเทคติกส์ ประกอบด้วยเฟสอะลูมิเนียมผสมกับเฟสซิลิกอน (สีดำสลับขาว)

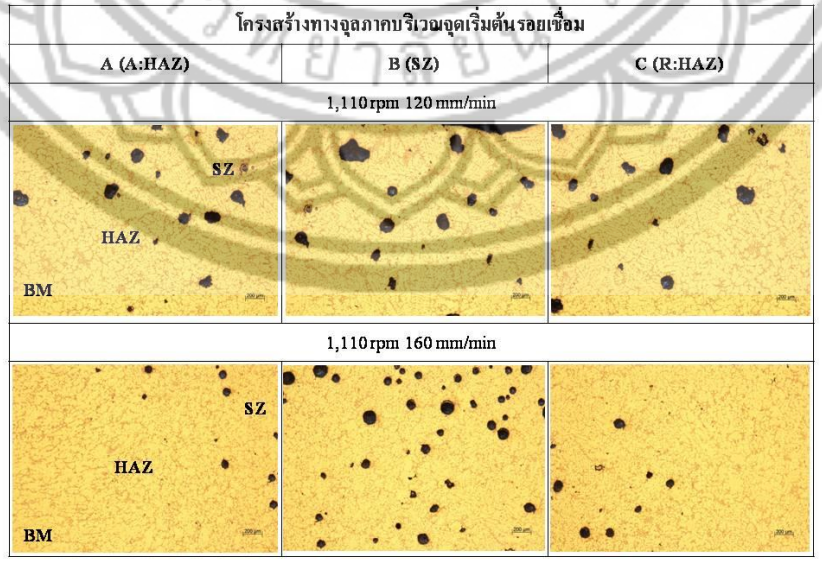


รูปที่ 6 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเดิม

3.2 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM) (รูปที่ 7) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างจากการเชื่อมด้วยความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ช 1,110 rpm พบว่า ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ 160 mm/min จะเกิดรูพรุนในบริเวณรอยเชื่อม เนื่องจากมีอากาศจากภายนอกเข้าไปผสมกับเนื้อโลหะ ที่อยู่ในสถานะกึ่งแข็ง เมื่อรอยเชื่อมเย็นตัวจึงทำให้เกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กในบริเวณรอยเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่มากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min

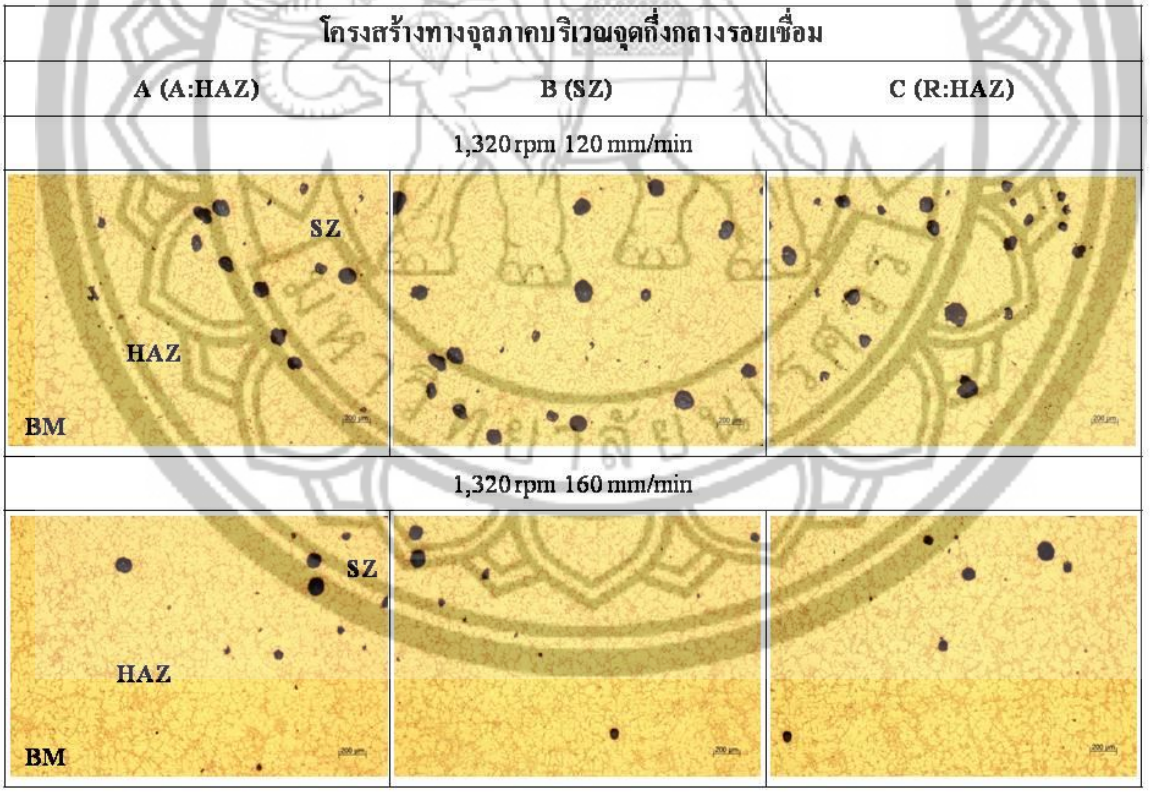
ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนเป็นแบบเดนไดรท์เล็ก ๆ กระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อมเนื่องจากความร้อนจากภายนอกขณะทำการเชื่อมมากกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะ ทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเกรนในบริเวณรอยเชื่อม แต่ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min จะมีลักษณะโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมเล็ก ๆ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าบริเวณเนื้อโลหะ เดิมกระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทั้งสองด้านที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ 160 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนโครงสร้างเกรนแต่ไม่มีผลกระทบกับรอยเชื่อมมากอันเนื่องมาจากไม่มีรอยแตกหรือรูพรุนเกิดขึ้นในบริเวณนั้น



รูปที่ 7 โครงสร้างทางจุลภาคที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,110 rpm

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM) (รูปที่ 8) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างจากการเชื่อมด้วยความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ช 1,320 rpm พบว่า ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ 160 mm/min จะเกิดรูพรุนในบริเวณรอยเชื่อม เนื่องจากมีอากาศจากภายนอกเข้าไปผสมกับเนื้อโลหะที่อยู่ในสภาวะกึ่งแข็ง เมื่อรอยเชื่อมเย็นตัวจึงทำให้เกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กในบริเวณรอยเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณรอยเชื่อมที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะเกิดรูพรุนมากกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min เนื่องมาจากความร้อนสะสมขณะทำการเชื่อมนานมากกว่า จึงทำให้มีอากาศเข้าไปสะสมในรอยเชื่อมมากกว่าเช่นกัน (Alvani, S. M. J., Aashuri, H., Kokabik, A., & R. Beygi., 2010, pp. 1792-1798)

ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนเป็นแบบเดนไดรท์เล็ก ๆ กระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อม เนื่องจากความร้อนจากภายนอกขณะทำการเชื่อมมากกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะ ทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเกรนในบริเวณรอยเชื่อม แต่ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min จะมีลักษณะโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมเล็ก ๆ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าบริเวณเนื้อโลหะเดิมกระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อม บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนทั้งสองด้านและที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 และ160 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนโครงสร้างเกรนแต่ไม่มีผลกระทบกับรอยเชื่อมมาก อันเนื่องมาจากไม่มีรอยแตกหรือรูพรุนเกิดขึ้นในบริเวณนั้น

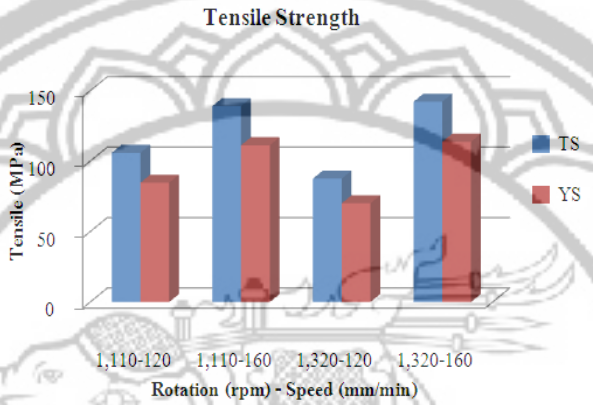


รูปที่ 8 โครงสร้างทางจุลภาคที่ความเร็วในการหมุนของหัวพิน 1,320 rpm

4. การทดสอบความแข็งแรงดึง

จากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (TS) และค่าความเค้นวิกฤติ (YS) (รูปที่ 9) พบว่า ผลจากการดึงชิ้นงานทดสอบขาดบริเวณรอยเชื่อมทั้งหมดที่ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ชและที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 1,110 rpm -160 mm/min และ

1,320 rpm -160 mm/min มีค่ามากกว่า 1,110 rpm -120 mm/min และ 1,320 rpm -120 mm/min เนื่องความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่สูงทำให้การสะสมของความร้อนอยู่ในสถานะกึ่งแข็งมากกว่า จึงทำให้เกิดรูพรุนน้อยกว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมช้า และส่งผลให้บริเวณรอยเชื่อมมีรูพรุนที่เล็กกว่าอันเนื่องมาจากเป็นสถานการณ์เชื่อมที่อยู่ในสถานะกึ่งแข็งเมื่อเกิดการเย็นตัวโครงสร้างของรอยเชื่อมจะอยู่ในลักษณะเกรนเป็นแบบก้อนกลม ซึ่งคล้ายกับเนื้อโลหะเดิมส่งผลให้บริเวณรอยเชื่อมมีความแข็งแรงดึงมากกว่าลักษณะการเชื่อมด้วยตัวแปรอื่น ๆ



รูปที่ 9 ค่าความแข็งแรงดึง

สรุปผลการวิจัย

1. ผลจากการตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่พบรอยแตกหรือรอยแยกที่เกิดจากการไม่ประสานของบริเวณด้านบนและด้านล่างรอยเชื่อม

2. ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min ของทั้งสองความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ช จะมีรูพรุนบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งรูพรุนมีขนาดใหญ่กว่าที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 160 mm/min

3. ผลจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคพบว่าทั้งสองความเร็วในการเดินแนวเชื่อมจะเกิดรูพรุนในบริเวณรอยเชื่อม ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 120 mm/min จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนเป็นแบบเดนไดรท์เล็ก ๆ กระจายทั่วบริเวณรอยเชื่อม โดยเฉพาะที่ 1,320 rpm -160 mm/min จะมีค่าลักษณะการกระจายตัวของโครงสร้างแบบเดนไดรท์ที่สม่ำเสมอและมีรูพรุนน้อยกว่าตัวแปรอื่น ๆ

4. ผลจากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (TS) และค่าความเค้นวิกฤติ (YS) ที่ความเร็วในการหมุนของหัวทอร์ชและที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 1,110 rpm -160 mm/min และ 1,320 rpm -160 mm/min มีค่ามากกว่าที่ 1,110 rpm -120 mm/min และ 1,320 rpm -120 mm/min ตามลำดับ

5. ผลจากการทดลองเชื่อมในสถานะกึ่งแข็งของอะลูมิเนียมผสม 356 ที่หล่อแบบ Semi Solid Metal นั้นสามารถสรุปได้ว่าที่ตัวแปรในการเชื่อม 1,320 rpm -160 mm/min มีค่าความเป็นไปได้มากกว่าการเชื่อมจากตัวแปรอื่น ๆ ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตและประกอบชิ้นส่วนเกี่ยวกับอะลูมิเนียมต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัย เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมถึงคณะผู้วิจัยภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา ที่ให้ข้อมูลความรู้ที่เกี่ยวข้องแก่ผู้ทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. (2551). การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับเชื่อมอะลูมิเนียมกับอะลูมิเนียมผสม. ในประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. N.P.: n.p.

Alvani, S. M. J., Aashuri, H., Kokabik, A., & R. Beygi. (2010). Semisolid Joining of Aluminum A356 Alloy by Partial Remelting and Mechanical Stirring. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *20*(9), 1792-1798.

Chucheep, T., Burapar, R., Janudom, S., Wisutmethanggoon, S., & Wenasin, J. (2010). Semi-solid gravity sand casting using gas induced semi-solid process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, *20*(3), 981-987.

Huibin Xu., Quanxiang Luo., Bofang Zhou., Youliang Zeng., & Changhua Du. (2012). The Effect of Stirring Rate on Semisolid Stirring Brazing of SiCp/A356 Composites in Air. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 34, 452-458.

Karapetyants, M.K. (1978). Chemical Thermodynamics. Mir Pub. *Journal of Materials Processing Technology*, *209*(2009), 604-624.

Narimannezhad, A., Aashuri, H., Kokabi, A.H., & Khosravani A. (2008). Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Semisolid Stir Welded zinc AG40A Die Cast Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, *209*(2009), 4112-4121.