

อิทธิพลของรูปร่างสลักแกนหมุนกวนต่อคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 และ 7075 ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

Influence of Tool Pin Profiles on Mechanical Properties of 5083 and 7075 Aluminum Alloys by Friction Stir Welding

วิลาสินี กิ่งกำ, สุขแก้ว คำเมืองสา, และ ชัยสิทธิ์ บรรจงประเสริฐ^{1*}

Wilasinee Kingkam, Sookkaew Khammuangsa and Chaiyasit Banjongprasert^{1*}

¹ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปร่างหัวกวดเชื่อมแบบสลักแกนหมุนกวนของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อคุณสมบัติเชิงกล ระหว่างโลหะผสมอะลูมิเนียม 7075 กับโลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 ลักษณะรูปร่างของหัวกวดเชื่อมแบบสลักแกนหมุนกวนที่แตกต่างกัน 3 แบบ (แบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม, แบบทรงกระบอกตัดตรง, แบบทรงกรวย) จะถูกเชื่อมด้วย 2 ความเร็วหมุนรอบ (420 rpm, 1320 rpm) และความเร็วเดินเชื่อม 50 mm/min อุณหภูมิของชิ้นงานในระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบกวนจะถูกบันทึกด้วยเทอร์โมคัปเปิล และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมจากการตรวจสอบพบว่า ชิ้นงานที่ถูกเชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนทรงกระบอกหกเหลี่ยม จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ความเร็วหมุนรอบ 420 rpm คือ 287 MPa และเมื่อวัดความแข็งบริเวณกลางรอยเชื่อม ชิ้นงานที่ใช้สลักแกนหมุนกวนทรงกระบอกแบบตัดตรงจะมีค่าความแข็งสูงสุด คือ 152 HV

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน / โลหะผสมอะลูมิเนียม/ แกนสลักหมุนกวน

Abstract

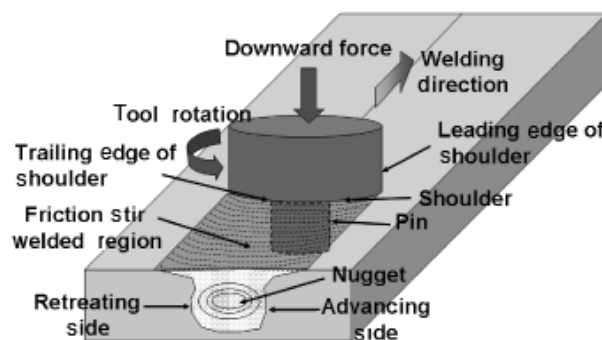
This research aims to study and compare influences of tool pin profiles on mechanical properties of friction stir welded 5083 and 7075 aluminum joints. Three different tool pin profiles (Straight cylindrical, Straight Hexagonal and Tapered cylinder) were used to fabricate the joints with two different rotation speeds (420 rpm, 1320 rpm) at a welding speed of 50 mm/min. The sample temperature during friction stir welding was recorded by thermocouple and mechanical properties of the joint were measured. From this investigation it was found that Straight Hexagonal pin profiles highest tensile strength properties with rotation speeds 420 rpm measured is 287 MPa. The highest hardness of nugget zone at 152 HV when Straight Cylindrical pin was used.

Keywords: Friction stir welding / Aluminum alloys / Tool pin profiles

*Corresponding author. E-mail : chaiyasit_au@yahoo.com

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) เป็นเทคนิคการเชื่อมโลหะแบบใหม่ที่ถูกคิดค้นโดย Thomas ในปี ค.ศ. 1991 โดยสถาบันวิจัยเทคโนโลยีของอังกฤษ (The Welding Institute: TWI) ซึ่งกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน กำลังเป็นที่แพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆในยุโรป โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอากาศยานและยานยนต์ ด้วยข้อดีด้านต่างๆที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการแบบเดิมคือการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม (Gas Metal Arc Welding Process) และกระบวนการเชื่อมอาร์คทังสเตนก๊าซคลุม (Gas Tungsten Arc Welding) เช่น เป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง ทำให้ลดปัญหาที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวเป็นของแข็ง สามารถเชื่อมวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลายได้ ทำให้แนวเชื่อมที่ได้มีประสิทธิภาพ ลดปัญหาการเสื่อมสภาพของแนวเชื่อมลง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ สามารถเชื่อมวัสดุที่หนาตั้งแต่ 0.5 ถึง 65 mm. ส่วนข้อจำกัดของการเชื่อมนี้ คือ ต้องจับยึดชิ้นงานให้แน่นเสมอเพราะแรงที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และเหมาะสมกับการเชื่อมแนวราบ ชิ้นงานแนวยาว โดยกระบวนการนี้ยังสามารถไปใช้เชื่อมโลหะผสมอะลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูงได้ และได้กลายมาเป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาที่ใช้ในการขนส่ง เช่น เรือ รถไฟ เครื่องบิน และอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ โดยลักษณะของกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เริ่มจากตัวกวนสอดเข้าไปบริเวณรอยต่อของวัสดุทั้งสองแผ่น ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานระหว่างตัวกวนกับวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้ปฏิกิริยาของเครื่องมือเชื่อม เมื่อเครื่องมือเชื่อมเคลื่อนที่วัสดุในสภาวะของไหลจะถูกถ่ายเทมาอยู่ด้านหลังของตัวกวน จากนั้นตัวกวนจะเกิดการเคลื่อนที่ และปาดด้านหลังของเครื่องมือเชื่อมจะกดอัดและผสมวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวเกิดเป็นแนวเชื่อมขึ้น



รูปที่ 1 กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน [Mishra R.S. and Ma. Z.Y. (2005)]

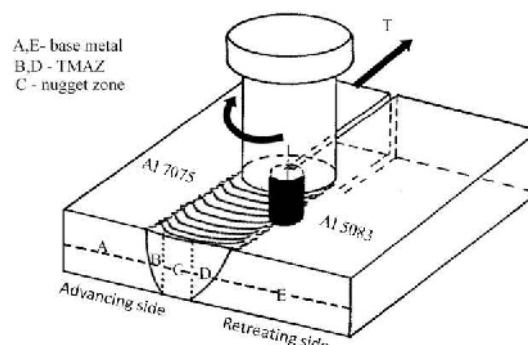
ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปร่างหัวกดเชื่อมแบบสลักแกนหมุนกวนที่แตกต่างกันสามแบบคือแบบทรงกระบอกเหลี่ยม แบบทรงกระบอกตัดตรง และแบบทรงกรวย ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของการเชื่อมวัสดุที่ต่างชนิดกันคือ โลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 และโลหะผสมอะลูมิเนียม 7075 ซึ่งการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดกัน (Dissimilar materials joint) นั้นมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ในปัจจุบันได้นำเอาอะลูมิเนียม เข้ามาใช้งานแทนชิ้นส่วนของเหล็กในโครงสร้างเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้างของรถยนต์ และลดการใช้เชื้อเพลิง ปัจจุบันมีการวิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมโลหะชนิดเดียวกันแต่ข้ามกลุ่ม ให้ได้ประสิทธิภาพสูงด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาแนวการเชื่อมของโลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 และโลหะผสมอะลูมิเนียม 7075 ที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยรูปร่างสลักแกนหมุนกวนต่างๆ เพื่อหาลักษณะรูปร่างสลักแกนหมุนกวนที่เหมาะสมในการเชื่อมโลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 และโลหะผสมอะลูมิเนียม 7075 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมในด้านอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป

2. วิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ โลหะผสมอะลูมิเนียม 5083 (Al 5083) และโลหะผสมอะลูมิเนียม 7075 (Al 7075) หนา 2 mm. ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีในตารางที่ 1 และมีขนาดกว้าง 100 mm. ยาว 100 mm. แผ่นของโลหะผสมอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดถูกยึดประกบกันเป็นรอยต่อชนบนอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งบนแท่นเครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Mill Machine) โดยการวางตำแหน่งการเชื่อมจะทำโดยการนำ Al 7075 ไว้ด้าน Advancing หรือด้านที่มีทิศทางการหมุนทิศเดียวกับการเชื่อม และ Al 5083 ไว้ด้าน Retreating หรือด้านที่ถูกควนให้เนื้อออกไปเดิมในด้าน Advancing ดังแสดงในรูปที่ 2

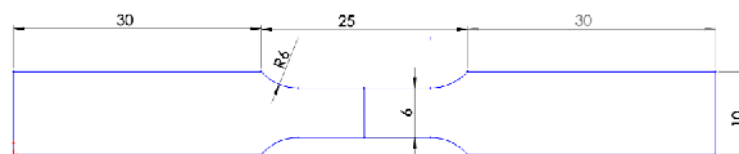
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมอะลูมิเนียม 5083-H116 และ โลหะผสมอะลูมิเนียม 7075-T651 (% wt)

ธาตุ	Si	Mg	Zn	Fe	Cu	Mn	Cr	Ti	Al
Al 5083	0.12	4.6	0	0.27	0.03	0.66	0.07	0.05	Bal.
Al 7075	0.08	2.35	5.32	0.14	1.36	0.039	0.20	0.027	Bal.



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวางชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบควน

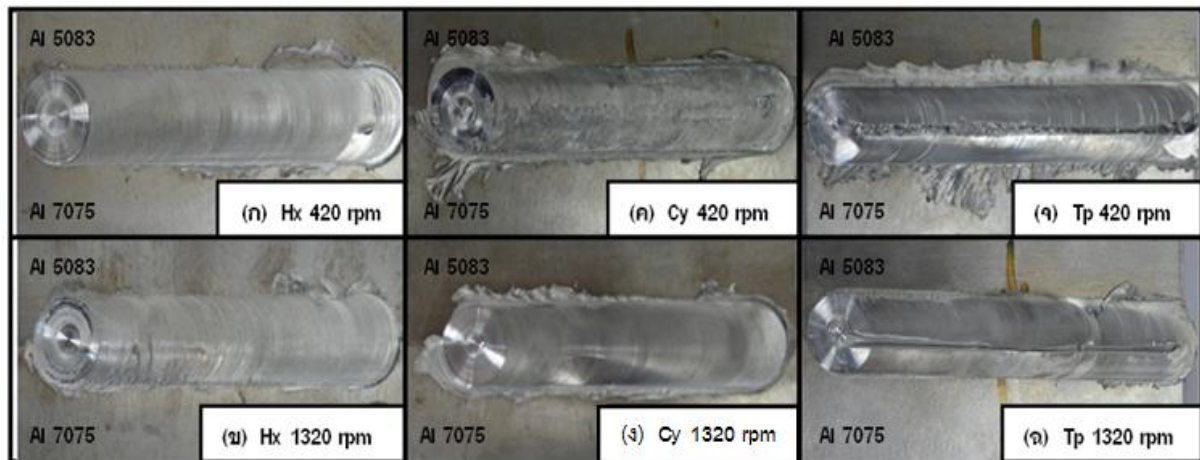
การทดลองจะมีตัวแปรที่สำคัญในการเชื่อมคือ เครื่องลักษณะหัวกดเชื่อมแบบสลักแกนหมุนควน 3 แบบ คือ แบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม (Straight Hexagonal: Hx) แบบทรงกระบอกตัดตรง (Straight Cylindrical: Cy) และแบบทรงกรวย (Tapered Cylindrical: Tp) โดยตัวควน (Pin) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ความยาว 1.8 mm และปากเครื่องมือ (Shoulder diameter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm โดยใช้ความเร็วเดินเชื่อม 50 mm/min ความเร็วหมุนรอบของเครื่องมือ 420 และ 1320 rpm และ เอียงมุมหัวเครื่องมือ 0° โดยอุณหภูมิในระหว่างการเชื่อมเสียดทานแบบควน จะถูกวัดและบันทึกด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Visco Data logger DL2200)



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมนำมาทดสอบความแข็ง (Hardness test) ด้วยเครื่องทดสอบไมโครวิกเกอร์ กดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อม บริเวณเนื้อเชื่อม รอยกดห่างกัน 2 mm แรงกดที่ใช้ 200 g เป็นเวลา 5 s จากนั้นทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) หาค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมที่อุณหภูมิห้อง เตรียมชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M ดังรูปที่ 3

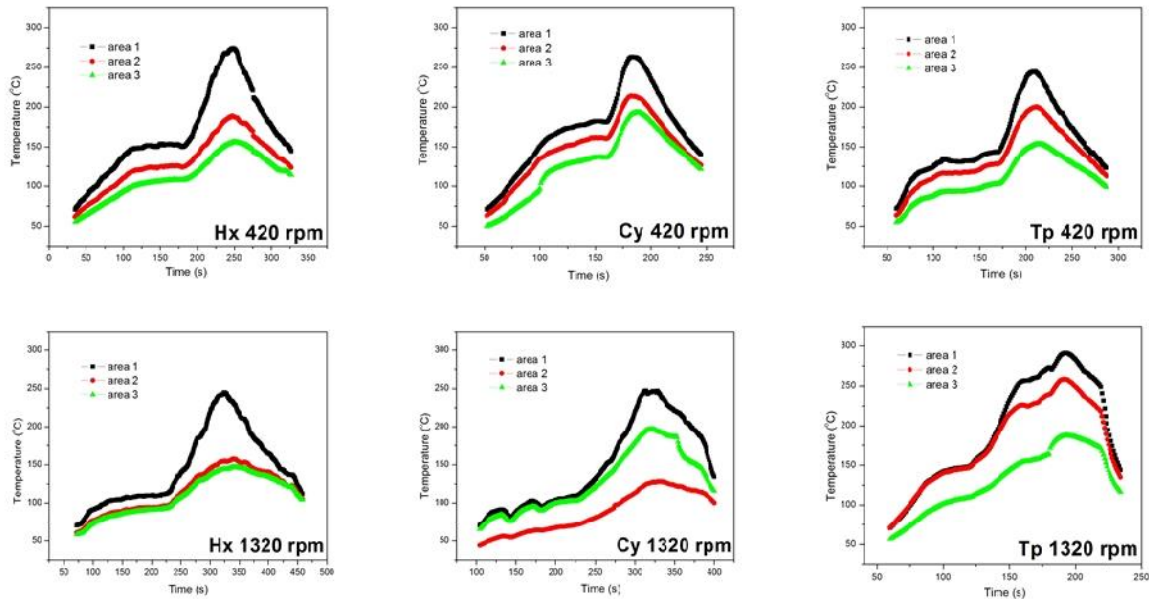
3. ผลและอภิปราย



รูปที่ 4 ผิวหน้าและความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อม 50 mm/min

จากรูปที่ 4 แสดงผลจากการสังเกตผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม แบบทรงกระบอกตัดตรง และ แบบทรงกรวย พบว่า การเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ มั่นวาว และมีลักษณะเป็นเกร็ดเล็กน้อย มีครีบก่เกิดขึ้นเล็กน้อย ซึ่งครีบก่ที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะไม่แข็งแรงสามารถหลุดออกได้ง่ายภายหลังจากการเชื่อม และเมื่อสังเกตในรูปที่ 4 (n) ปรากฏจุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นรูเข็ม (Pin hole) เกิดขึ้นช่วงต้นของแนวเชื่อมสาเหตุเนื่องมาจากความร้อนในช่วงต้นของการเชื่อมไม่เพียงพอทำให้ชิ้นงานประสานกันติดกัน ส่วนชิ้นงานเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรงในรูปที่ 4 (ค), (ง) ผิวหน้ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ แต่มีครีบก่เกิดขึ้นเยาะบริเวณรอบแนวเชื่อม และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างด้าน Al 5083 และ Al 7075 พบว่าส่วนมากครีบก่ขึ้นที่ด้านของ Al 5083 ครีบก่ที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการกดอัดของปาเครื่องมือลงบนชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัว และไม่สามารถอัดลงไปให้วัสดุได้หมดจึงดันออกด้านข้างเกิดเป็นครีบก่ขึ้น โดยส่วนใหญ่จะเกิดด้านที่วัสดุมีความแข็งแรงน้อยกว่า หรือเกิดในด้าน Retreating มากกว่า Advancing ซึ่งจุดบกพร่องอื่นๆในแนวเชื่อมไม่พบในการเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมนี้ และเมื่อเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกรวยในรูปที่ 4 (จ), (ฉ) พบว่าผิวหน้าแนวเชื่อมมีความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นตลอดแนวการเชื่อม เกิดเป็นรูยาวเกิดขึ้นตลอดแนวการเชื่อมในทุกความเร็วการหมุน ซึ่งอาจเกิดจากการใช้หัวเชื่อมที่มีลักษณะรูปร่างที่ไม่เหมาะสมกับการเชื่อมวัสดุสองชนิดนี้ให้ประสานติดกัน ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกรวยไปทำการวิจัยต่อได้

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมกับเวลา โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ในการวัดอุณหภูมิขณะเชื่อมในแต่ละบริเวณ ซึ่งแต่ละบริเวณจะอยู่ห่างกันประมาณ 1 cm พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมของหัวกดเชื่อมแต่ละแบบอยู่ระหว่าง 240 – 280 °C เมื่อสังเกตจากกราฟ พบว่าเมื่อใช้ความเร็วหมุนรอบต่ำ (420 rpm) ของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม และแบบทรงกระบอกตัดตรง อุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมจะสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมด้วยความเร็วการหมุนสูง (1320 rpm) ยกเว้น หัวเชื่อมแบบทรงกรวยที่ความเร็วการหมุนรอบ 1320 rpm อุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหัวกดเชื่อมแบบอื่น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าลักษณะของหัวเชื่อมรูปแบบต่างๆมีผลต่ออุณหภูมิในการเชื่อม ซึ่งความร้อนที่ได้จากการเชื่อมนั้นส่งผลต่อการประสานติดกันของชิ้นงานสองชนิด ดังนั้นในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนโดยใช้หัวเชื่อมแบบกรวย (Tapered Cylindrical) แล้วชิ้นงานเกิดเป็นรอยยาวขึ้นตลอดแนวเชื่อม อาจเกิดจากสาเหตุของความร้อนที่เกิดจากการใช้ความเร็วในการหมุนรอบที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้ในระหว่างเชื่อมเกิดความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิ 2 ชนิด ประสานติดกันโดยไม่เกิดข้อบกพร่องใดๆได้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมกับเวลา

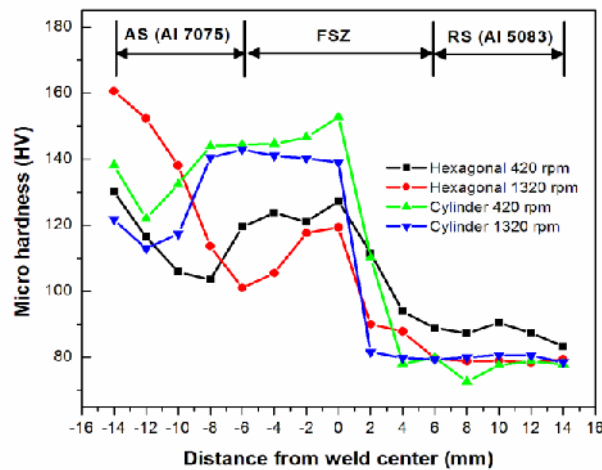
ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึง ความเร็วการหมุน และเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม จะมีค่าสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรง โดยเฉพาะที่ความเร็วในการหมุน 420 rpm จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดคือ 287 MPa จากผลการทดลองที่ได้คาดว่าสาเหตุน่าจะมาจากในช่วงความเร็วรอบที่ 420 rpm เกิดความร้อนในชิ้นงานที่เหมาะสมที่ไม่ก่อให้เกิดการสลายประกอบเชิงโลหะที่มีความแข็งแรงแต่เปราะ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงกับอุณหภูมิการเชื่อม พบว่า เมื่ออุณหภูมิในระหว่างการเชื่อมสูง ทำให้ความร้อนที่เกิดจากการกวนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลชิ้นงานเปลี่ยนแปลง คือ ทำให้ชิ้นงานมีความเหนียวที่เพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงลดลง ส่วนชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรง ที่ความเร็วการหมุนรอบ 420 และ 1320 rpm พบว่าจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ไม่แตกต่างกันมากโดยมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 170 MPa และเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมทั้งสองแบบมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วการหมุน โดยชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยมที่ความเร็วการหมุนรอบ 420 rpm จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานสูงสุดคือ 25% ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรงที่ความเร็วการหมุนรอบ 1320 rpm จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานต่ำสุด คือ 12%

ตารางที่ 2 ความต้านทานแรงดึง (tensile test) ของหัวกดเชื่อมแบบต่างๆ

Pin tool profiles	Ultimate tensile strength	%Elongation
Hx 420 rpm	287 MPa	25.06
Cy 420 rpm	171.2 MPa	21.88
Hx 1320 rpm	185.7 MPa	20.81
Cy 1320 rpm	176.4 MPa	12.31

เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 6 พบว่า ค่าความแข็งแรงโดยส่วนใหญ่ของในแต่ละบริเวณจะมีแนวโน้มของความแข็งแรงไปในทางเดียวกัน โดยสามารถแบ่งการวัดค่าความแข็งแรงที่ได้ออกเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณ Advancing side (AI 7075), บริเวณรอยเชื่อม (Friction stir zone) และ บริเวณRetreating side ในบริเวณ Advancing side ค่าความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 160 HV โดยใช้หัวกดเชื่อมแบบแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม ที่ความเร็วในการหมุน 1320 rpm บริเวณรอยเชื่อม (Friction stir zone) ค่าความแข็งแรงสูงสุดของหัวเชื่อมแต่ละแบบ จะอยู่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่เรียกว่า Nugget zone โดยมีค่าความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 152 HV ใช้หัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรงที่

ความเร็วในการหมุน 420 rpm ส่วนในบริเวณ Retreating side ค่าความแข็งของหัวเชื่อมแต่ละแบบจะมีแนวโน้มของความแข็งตลอดแนวเหมือนกัน โดยจะมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 75-90 HV



รูปที่ 6 ค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ความเร็วเดินเชื่อม 50 mm/min

4. บทสรุป

การประยุกต์กระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ระหว่างวัสดุสองชนิดที่มีคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกัน คือ Al 7075 กับ Al 5083 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปร่างหัวกดเชื่อมแบบสลักแกนหมุนกวนแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกหกเหลี่ยม และแบบทรงกระบอกตัดตรง ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ตลอดแนวการเชื่อม ส่วนชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกรวย ผิวหน้าแนวเชื่อมที่ได้จะเกิดข้อบกพร่องเกิดขึ้นตลอดแนวการเชื่อม ซึ่งอาจสรุปได้ว่าหัวกดเชื่อมแบบทรงกรวยไม่เหมาะสมในการเชื่อมวัสดุที่แตกต่างกันสองชนิดนี้ให้ประสานติดกันได้
2. ตัวแปรในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยต่อชน Al 5083 และ Al 7075 สูงสุด คือ ชิ้นงานเชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบทรงกระบอกตัดตรง ที่ความเร็วในการหมุน 420 rpm และความเร็วเดินเชื่อม 50 mm/min มีค่าสูงสุดที่ 287 MPa
3. การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยค่าความเร็วในการหมุนสูงจะทำให้ความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม และความแข็งของในบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวกดเชื่อมแบบต่างๆต่ำลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, วิทยาลัยเทคนิคลำพูน และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- Friction Stir Welding-Process. (2013). Retrieved July 21, 2013, from <http://www.twi-global.com/technologies/welding>
- Mishra R.S. and Ma. Z.Y. (2005). Friction stir welding and processing. *Materials Science and Engineering*. 50, 1–78.
- Mahoney M.W, Rhodes C.G, Flintoff J.G, Spurling R.A. and Bingel W.H. (1997). Metal. *Materials Transactions*. 29, 1955–1964.
- Elangovan K. and Balasubramanian V. (2008). Influences of tools pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA6061 aluminum alloys. *Materials and Design*. 29, 362-373.
- Shigematsu I. (2003). Joining of 5083 and 6061 aluminum alloys by friction stir welding. *Journal of materials science*. 22, 353– 356
- Alexandre G. (2004). Friction Stir Welding of a Commercial 7075-T6 Aluminum Alloy : Grain Refinement, Thermal Stability and Tensile Properties. *Materials Transactions*. 45, 2503-2508.
- Muhsin J.J, Moneer Tolephih H. and Muhammed A. M. (2012). Effect of friction stir welding parameters (rotation and transverse) speed on the transient temperature distribution in friction stir welding of AA 7020-T53. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 7, 1819-6608.
- สุขแก้ว คำเมืองสา. (2554). โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยต่อของอะลูมิเนียมผสม 6061 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. (2551). การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน : การแก้ปัญหาการต่อวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมหลอมละลาย. การประชุมวิชาการชายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2551, 712-717
- บรรเจิด ดอนเนตรงาม และ สมนึก วัฒนศรีกุล. (2550). การเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมเสียดทานหมุนวนอลูมิเนียมเจือ AA6063-T6 ระหว่างสลักแกนหมุนทรงกระบอกหัวตัดตรงกับหัวโค้ง. การประชุมวิชาการชายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2550