



โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 กับ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 โดยการเชื่อมเสียดทาน

Microstructure and Mechanical Properties of Carbon Steel S45C and Stainless Steel 304 Joined by Friction Welding

รอมฎอน บูระพา^{1,2*} วรพงศ์ บุญช่วยแทน^{1,2} และ วรรัตนพร ชีววุฒิมงคล^{1,2}

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²หน่วยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

*E-mail: romadom.b@hotmail.com

Romadorn Burapa^{1,2*} Worapong Boonchouytan^{1,2} and Watthanaphon Cheewawuttipong^{1,2}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamankala University of Technology
Srvijaya

²Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamankala University of
Technology Srvijaya

*E-mail: romadom.b@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยครั้งนี้คือเพื่อเข้าใจถึงผลกระทบของพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมเสียดทานของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน S45C กับเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ยาว 100 mm ด้วยปัจจัยความเร็วรอบ 1 ระดับ คือ 1000 รอบต่อนาที ความดันในการเสียดทาน 1 ระดับ คือ 40 บาร์ ความดันในการอัด 3 ระดับ คือ 40, 50, 60 บาร์ เวลาในการเสียดทาน 1 ระดับ คือ 3 วินาที และเวลาในการอัด 3 ระดับ คือ 3, 5, 7 วินาที ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยแรงดันเชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของแรงดันเชื่อมจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่เกิดการตกตะกอนแบบไดนามิกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเกรนทั้งหมดจะกลายเป็นเกรนที่ละเอียดมากขึ้นด้วยปัจจัยการเชื่อม

คำหลัก การเชื่อมเสียดทาน เหล็กกล้าคาร์บอน โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล

Abstract

Main objective of this research is to understand the effects of friction welding parameters on the joint characteristics of Carbon Steel S45C and Stainless Steel 304 with 10 mm diameters and 100 mm length. With the rotation speed level 1 is 1000 rpm, the pressure friction level 1 is 40 bar pressure compression level 3 is 40, 50, 60 bar friction time level 1 is 3 seconds, and compression time. 3 levels, 3, 5, 7 seconds. Experimental result revealed that rotation speed and forging pressure affected the tensile strength of welded joints with level of significance. With increasing rotation speed and forging pressure, the tensile strength of welded joints increased. Microstructural characterization of weld provided a complete characterization of dynamic recrystallization. The grains sizes were refined with increasing rotation speed while the tensile strength of welded joints increased accordingly.

Keywords: Friction Welding, Carbon Steel, Microstructure, Mechanical Properties

1. บทนำ

การเชื่อมเสียดทานมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการประกอบอย่างมาก คือ สามารถทำซ้ำได้หลายๆ ครั้ง ใช้เวลา

ในการผลิตสั้น และใช้พลังงานต่ำ [1] วิธีนี้เป็นวิธีการที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะการเชื่อมต่อของวัสดุจะสามารถทำได้โดยการหมุนชิ้นงานหนึ่งในรอบการหมุนที่สูง (rpm) ที่สัมผัสกับ



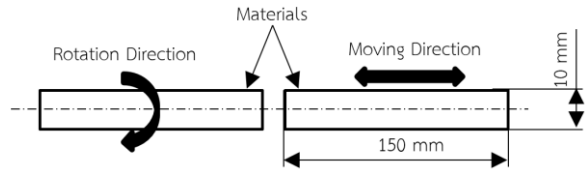
กับอีกชิ้นงานหนึ่งที่อยู่กับที่ โดยใช้แรงดันระหว่างการหมุนทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นในขณะที่วัสดุอินเตอร์เฟซกันจนวัสดุอยู่ในสถานะพลาสติก ซึ่งกรรมวิธีข้างต้นกระทำได้ง่ายบนเครื่องกลึงประกอบเข้ากับเครื่องเชื่อมเสียดทานในเวลาที่เหมาะสมระหว่างทำการเชื่อมการหมุนจะหยุดลงและมีแรงในแนวแกนเข้ามาดันระหว่างวัสดุทั้งสองส่วน เกิดการรวมกันของโดยใช้แรงดันและความร้อนจนทำให้วัสดุทั้งสองทั้งสองส่วนติดกัน [1] กระบวนการนี้สามารถดำเนินการได้โดยการใช้อุปกรณ์เชื่อมแรงเสียดทานธรรมดา แต่ภายใต้ปัจจัยของการเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อป้องกันความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม และเพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวของแนวเชื่อม [2]

ดังนั้นการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นการเชื่อมอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้โดยไม่ก่อให้เกิดสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังใช้เวลาและต้นทุนที่ต่ำ จึงเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมต่างประเทศ แต่สำหรับประเทศไทยแล้ววิธีการเชื่อมดังกล่าวยังไม่เป็นที่รู้จักมากนัก โดยการเชื่อมโลหะด้วยวิธีดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มการเชื่อมด้วยความดันโดยความร้อนนั้นเกิดจากพลังงานทางกลเป็นพลังงานความร้อนที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงานโดยปราศจากพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนจากบริเวณอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องกับบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน โดยการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานนี้สามารถทำได้โดย จับยึดชิ้นงานชิ้นหนึ่งให้อยู่กับที่และสัมผัสกับชิ้นงานอีกชิ้นที่กำลังหมุนภายใต้แรงกดคงที่หรือค่อยๆเพิ่มขึ้น จนจนกระทั่ง อุณหภูมิบริเวณรอยต่อของชิ้นงานค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิของชิ้นงานทั้งสองสูงจนพอที่จะทำให้ชิ้นงานทั้งสองเชื่อมติดกันได้จึงหยุดหมุน พร้อมกับเพิ่มแรงกดเพื่อให้ชิ้นงานทั้งสองติดกันได้ดียิ่งขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะไม่ถึงจุดหลอมละลาย โดยกระบวนการเชื่อมนี้มีการใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมอากาศยานและยานอวกาศ อุตสาหกรรมการต่อเรือ และยานยนต์ทางการทหาร รวมถึงอุตสาหกรรมการประกอบต่างๆ [3]

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัย โดยมีความสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045) กับเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) ด้วยเครื่องเชื่อมเสียดทานที่สร้างขึ้น [4] โดยสามารถปรับตั้งค่าที่เป็นตัวแปรในการเชื่อม คือ ความดันเสียดทาน ความดันอัดเวลาเสียดทาน และเวลาอัด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. ขั้นตอนการทดลอง

การเชื่อมใช้กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding Process) ด้วยเครื่องเชื่อมเสียดทานที่สร้างขึ้น [4] ยึดให้แน่นด้วยอุปกรณ์จับยึดบนเครื่องกลึง ชิ้นงานที่ยึดติดกับหัวจับของเครื่องกลึงจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ชิ้นงานอีกชิ้นที่ยึดติดกับเครื่องเชื่อมเสียดทานจะอยู่กับที่และทำหน้าที่ดันเข้าหาชิ้นงานอีกชิ้น แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการเชื่อมเสียดทาน

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

- 1) วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1045) และเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) ที่มีขนาดความโตไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร
- 2) ความเร็วรอบ 1 ระดับ คือ 1000 รอบต่อนาที
- 3) ความดันในการเสียดทาน 1 ระดับ คือ 40 บาร์
- 4) ความดันในการอัด 3 ระดับ คือ 40, 50, 60 บาร์
- 5) เวลาในการเสียดทาน 1 ระดับ คือ 3 วินาที
- 6) เวลาในการอัด 3 ระดับ คือ 3, 5, 7 วินาที

การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การทดสอบสมบัติทางกล ด้านความแข็ง และด้านความแข็งแรงดึง โดยชิ้นงานที่นำไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาจะนำไปผ่าครึ่งด้วยเครื่องเลื่อยสายพานแนวนอน รุ่น CS - 230 จากนั้นจะนำชิ้นงานที่ได้ไปหล่อเรซิน แล้วนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบจนถึงละเอียด แล้วขัดด้วยผ้าสักหลาดอีกครั้ง จากนั้นนำไปกัดด้วยกรดคลอไรด์เป็นเวลา 10 s แล้วนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์

การทดสอบความแข็งนำมาจากชิ้นงานที่ผ่าครึ่งอีกด้านหนึ่งมาหล่อเรซินแล้วขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบจนถึงละเอียด และขัดต่อด้วยผ้าสักหลาดพอเรียบเสร็จแล้ว นำมาทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ กดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม ระยะห่างระหว่างรอยกด 1 มิลลิเมตร แรงกดที่ใช้ 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ต่อหนึ่งรอยกด โดยใน 1 ชิ้นงานทดสอบจะกดทั้งหมด 3 แนว แล้วนำทั้ง 3 แนวมาคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของชิ้นงานทดสอบแต่ละสภาวะการทดลอง

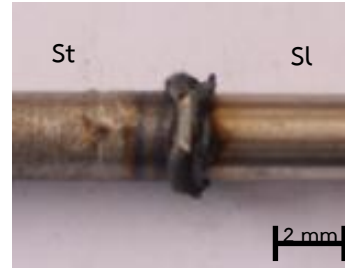


การทดสอบความแข็งแรงดึง จะนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้ไป
แปรรูปให้มีขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ American
Society for Testing and Materials Standard Test
Methods for Tension Testing (ASTM E8M) ด้วย
เครื่องกลึงขั้นศูนย์ เมื่อแปรรูปชิ้นงานทดสอบเสร็จก็นำไป
ทดสอบความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแบบ
เอนกประสงค์ที่อุณหภูมิห้องที่มีความเร็วในการดึง 1
mm/min

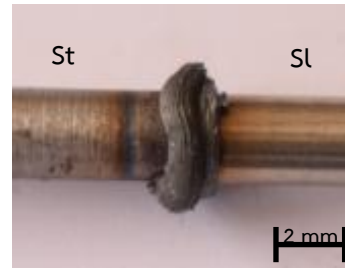
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 การตรวจสอบโครงสร้าง

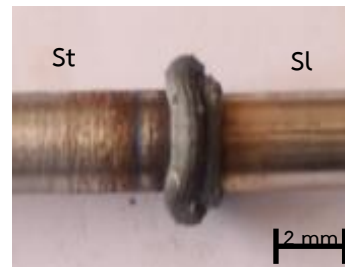
จากการทดลองการเชื่อมเสียดทานตามปัจจัยที่ได้
กำหนด พบว่า แรงดันอัดส่งผลโดยตรงต่อรูปร่างของแนว
เชื่อม แสดงดังภาพที่ 2 ครีบของแนวเชื่อม (Weld Flashes)
เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันอัดจาก 40 เป็น 60 bar ทำให้เกิด
การอ่อนตัวของวัสดุมากขึ้น ส่งผลให้แนวเชื่อมเกิดการท่อนุ่ม
ของเนื้อวัสดุภายในตัวของมันเอง จะเห็นได้ชัดว่ารูปร่างของ
การเกิด Weld Flashes นั้นชัดเจนมากขึ้น Weld Flashes
ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สะสมในเนื้อวัสดุ
มีมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วหมุนเชื่อมส่งผลให้เกิด Weld
Flashes ที่แตกต่างกัน [5]



(ก) 40 บาร์

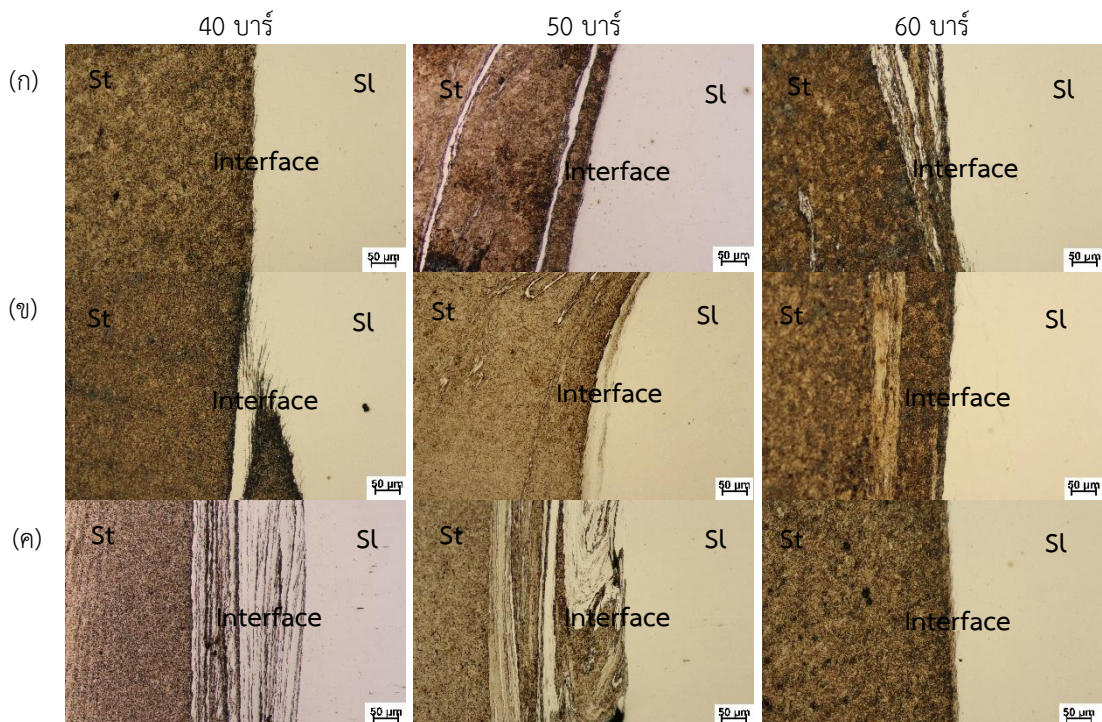


(ข) 50 บาร์



(ค) 60 บาร์

รูปที่ 2 รูปร่างของแนวเชื่อมที่ความดันในการอัดต่างกัน



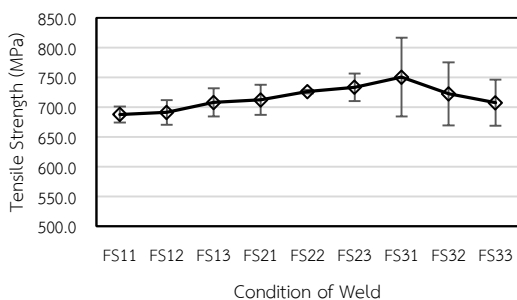
รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมเสียดทานที่เวลาในการอัดต่างกัน คือ (ก) 3 วินาที (ข) 5 วินาที และ (ค) 7 วินาที



ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค แสดงดังภาพที่ 3 พบว่า โครงสร้างกลางแนวเชื่อมเป็นเกรนที่ละเอียดเกิดการผสมผสานของเนื้อโลหะทั้งสองชิ้น เมื่อพิจารณาไปถึงค่าระดับแรงดันอัดที่ต่างกันก็พบว่าโครงสร้างเกรนมีลักษณะคล้ายคลึงกัน มีเนื้อเชื่อมที่ละเอียด ถึงลักษณะการเรียงตัวของเกรนเล็กเป็นแถวเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันซึ่งได้รับอิทธิพลจากการหมุนของเครื่องกลึง ซึ่งการเปลี่ยนรูปร่างเกิดจากการปรับโครงสร้างแบบไดนามิก (Dynamic Recrystallization) ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากความเร็วหมุนเชื่อมและแรงดันอัดจากการเชื่อม บริเวณแนวเชื่อมมีลักษณะของเกรนที่ผสมผสานกันของเกรนที่มีความละเอียดกับเกรนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างจะเห็นการบิดเบี้ยวของเกรนแบบไม่มีรูปร่างที่แน่นอนที่เกิดจากหมุนและอัดของชิ้นงานทั้งสองชิ้น และบริเวณ DZ จะติดกับบริเวณ BM ทำให้เห็นรูปร่างของเกรนที่ต่างกันอย่างชัดเจน ในบริเวณรอยเชื่อมต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจากโครงสร้างเนื้อโลหะเดิมเพื่อปรับโครงสร้าง [6]

3.2 การทดสอบความแข็งแรงดึง

ผลกระทบของแรงดันอัดที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงในการเชื่อมเสียดทาน แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอัดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงดึงในรอยเชื่อม ค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันอัด ความร้อนและสภาวะการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อรอยเชื่อม การเกิดความร้อนเกินจุดที่อยู่ในสภาวะพลาสติกจะทำให้เกิดการหลอม (Meltings) ของเนื้อวัสดุทำให้มีค่าความแข็งแรงลดลง [7] นอกจากนี้แรงดันอัดต่ำก็ส่งผลให้เกิดการบ่อนความร้อนในเนื้อวัสดุที่ต่ำกว่าแรงดันอัดสูง ทำให้วัสดุเกิดการไหลตัวภายในแนวเชื่อมที่ลำบากมากขึ้น และส่งผลต่อความสมบูรณ์ในแนวเชื่อม [8] ผลกระทบของแรงดันอัดของความแข็งแรงดึงรอยเชื่อม ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด 687.5 MPa ที่ความเร็วหมุนเชื่อมแรงดันเชื่อมที่ 40 bar และค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 750.3 MPa ที่ แรงดันเชื่อม 60 bar



รูปที่ 4 ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม

4. สรุปผลการทดลอง

ลักษณะการเรียงตัวของเกรนเล็กเป็นแถวเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากการหมุนของเครื่องกลึง ซึ่งการเปลี่ยนรูปร่างเกิดจากการปรับโครงสร้างแบบไดนามิก (Dynamic Recrystallization)

บริเวณแนวเชื่อมมีลักษณะของเกรนที่ผสมผสานกันของเกรนที่มีความละเอียดกับเกรนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างจะเห็นการบิดเบี้ยวของเกรนแบบไม่มีรูปร่างที่แน่นอนที่เกิดจากหมุนและอัดของชิ้นงานทั้งสองชิ้น

ผลกระทบของแรงดันอัดของความแข็งแรงดึงรอยเชื่อม ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด 687.5 MPa ที่ความเร็วหมุนเชื่อมแรงดันเชื่อมที่ 40 bar และค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 750.3 MPa ที่ แรงดันเชื่อม 60 bar

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sammaiah P., Tagore G.R.N. and Madhusudhan G.R. (2009), Effect of parameters on mechanical properties of ferritic stainless steel (430) and 6063 Al-alloys by friction welding, Journal of Advanced Manufacturing Technology, 3: 21–34.
- [2] Mumin S. (2005), Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel, Journal of Materials Processing Technology, 168: 202–210.
- [3] Ahmad F.M.N., Uday M.B., Zuhailawati H. and Ismail A.B. (2010), Microstructure and mechanical properties of alumina-6061 aluminum alloy joined by friction welding, Materials and Design, 31: 670–676.
- [4] วรพงศ์ บุญช่วยแทน จักรนรินทร์ ฉัตรทอง รอมฎอน บูระพา และชาติรี หอมเขียว (2559), การเชื่อมวัสดุทรงกระบอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน, การประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559, ขอนแก่น, ประเทศไทย, หน้า 1418-1423.
- [5] Yanni W., Jinglong L., Jiangtao X. and Fusheng Z. (2016), Investigation of interdiffusion and intermetallic compounds in Al–Cu joint produced by continuous drive friction welding, Engineering Science and Technology, an



International Journal, 19: 90–95.

- [6] Suppachai C., Prapas M. and Chaiyoot M. (2014), Friction Welding of SSM356 with SSM7075 Aluminium Alloys, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 8(15): 277-284.
- [7] Mumin S., Erol A.H. and Turgut G. (2007), Characterization of mechanical properties in AISI 1040 parts welded by friction welding, Materials Characterization, 58: 1033–1038.
- [8] Uday M.B., Ahmad F.M.N., Zuhailawati H., Ismail A.B. (2011), Evaluation of interfacial bonding in dissimilar materials of YSZ–alumina composites to 6061 aluminium alloy using friction welding, Materials Science and Engineering: A, 528(3): 1348-1359.