



## การเตรียมอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน

### Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing

รุ่งวสันต์ ไกรกลาง<sup>1\*</sup> จริญญาภรณ์ อุ๋นวงษ์<sup>1</sup> และจรรยาพร แสนทวีสุข<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail: rungwasun.kr.57.ubu.ac.th\*

Rungwasun Kraiklang<sup>1\*</sup> Jariyaporn Onwong<sup>1</sup> and Charuayporn Santhaweesuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

E-mail: rungwasun.kr.57@ubu.ac.th\*

#### บทคัดย่อ

อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวถูกเตรียมบนเนื้อพื้นอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 5052 เสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาด 18 ไมครอน ด้วยวิธีการเสียดทานแบบกวน วัสดุเนื้อพื้นขนาด 12 × 150 × 5 มิลลิเมตร ถูกเจาะเป็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4 มิลลิเมตร สำหรับการเติมผงซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของวัสดุเนื้อพื้น ทดลองด้วย 3 รูปแบบการเดินกวน คือ เดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 1 รอบ เดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ และ เดินกวนโดยมีการทับซ้อนแนวกวน 0.5 เท่า 1 รอบ ความเร็วรอบการหมุนเครื่องมือกวน 800 รอบต่อนาที และความเร็วเดินกวน 20 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางโลหะวิทยาพบว่า การเดินกวนแบบไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ ค่าความแข็งเฉลี่ย 85.96 วิกเกอร์ส และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 198.06 เมกะปาสกาล คิดเป็น 66.66 เปอร์เซ็นต์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 300 เมกะปาสกาลของอลูมิเนียมเชิงประกอบเกรด 5052 เสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาด 15 ไมครอน 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การกระจายตัวของอนุภาคตรวจสอบด้วยโครงสร้างจุลภาคพบว่าอนุภาคมีรูปแบบการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตามลักษณะการเดินกวน การกระจายของอนุภาคแบบสม่ำเสมออาจสามารถปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้นกระบวนการเสียดทานแบบกวนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ต้องการพัฒนาสำหรับการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ

**คำหลัก** อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว กระบวนการเสียดทานแบบกวน สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค

#### Abstract

Aluminum surface composite has been prepared on A5052 with 18 microns of 10% of silicon carbide (SC) particles reinforcement by friction stir processing (FSP). The blind holes of 2 mm diameter with depth 4 mm were drilled on 12×150 ×5 mm aluminum alloy to accommodate the reinforcement particles. Three patterns; one pass without overlap, two passes without overlap, and one pass with 0.5 overlaps were investigated with rotational speed 800 rpm and traverse speed 20 mm/min. Microstructures and mechanical properties of fabricated samples were systematically investigated. The two passes without overlap showed the highest average hardness 85.96 HV and maximum ultimate tensile strength 198.06 MPa. The mechanical property was 66.66% when compare with ultimate tensile strength 300 MPa of 5052 aluminum alloy composite with a reinforcement of 20% of silicon carbide



particles having a mean size of 15 microns. By microstructure evolution, a band pattern distribution of reinforced particles in stir zone was observed as a result of the direction of rotating tool. The random uniform distribution of reinforced particles possibly will improve the composite property. Therefore, friction stir processing (FSP) is an alternation developed process for composites fabrications.

**คำหลัก** Aluminum surface composite, Friction stir processing, Mechanical property, Microstructure

## 1. บทนำ

แนวโน้มความต้องการวัสดุของอุตสาหกรรมยุคใหม่คือ วัสดุกลุ่มที่มีสมบัติพิเศษ เช่น ความแข็ง ความต้านทานการล้าและความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติหลักของวัสดุเดิม ส่งผลให้มีการพัฒนาด้านวัสดุอย่างต่อเนื่อง

วัสดุโลหะเชิงประกอบพื้นผิว (Surface metal matrix composites; SMMCs) เป็นหนึ่งในผลของการพัฒนาวัสดุเพื่อตอบสนองความต้องการข้างต้น ที่เพิ่มสมบัติเด่นคือความต้านทานการสึกหรอที่ดีแก่บริเวณพื้นผิวเฉพาะส่วนที่ต้องรองรับการเสียดสีและคงสมบัติของวัสดุเนื้อพื้นส่วนล่างคือความเหนียวไว้ดังเดิม [1] ความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเติมอนุภาคที่มีความแข็งแรง เช่น  $\text{SiC}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{SiO}_2$  เป็นต้น เข้าไปผสมเพื่อเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นเดิม

กระบวนการขึ้นรูปวัสดุโลหะเชิงประกอบพื้นผิวเป็นการขึ้นรูปในสภาวะของเหลว เช่น การพ่นเคลือบด้วยความร้อน (Thermal spraying) พลาสมาอาร์ค (Plasma arc) เลเซอร์ (Laser) และลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam) หรือการหล่อ เป็นต้น การขึ้นรูปวัสดุโลหะเชิงประกอบพื้นผิวจากสภาวะของเหลวต้องใช้อุณหภูมิสูงถึงจุดหลอมละลายของวัสดุเนื้อพื้น ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคเสริมแรงกับวัสดุเนื้อพื้นและเกิดเป็นเฟสใหม่ที่ทำให้สมบัติของวัสดุด้อยลง รวมทั้งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน [2] กระบวนการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Process: FSP) เป็นกระบวนการขึ้นรูปจากสภาวะของแข็ง (Solid State Processing) ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว จึงถูกนำมาประยุกต์ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพื้นผิว

ความร้อนสำหรับการขึ้นรูปวัสดุเกิดจากการเสียดทานระหว่างเครื่องมือขณะที่หมุนและเคลื่อนที่กวนไปบนชิ้นงาน

ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมากพอที่จะทำให้เนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปที่รุนแรงจนอนุภาคของสารเสริมแรงสามารถแทรกตัวเข้าไปกระจายตัวในวัสดุเนื้อพื้น ปัจจุบันโลหะอัลลอยด์ที่มีความเหนียว เช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียเป็นกลุ่มวัสดุเนื้อพื้นที่ได้รับความสนใจในการพัฒนาเป็นวัสดุเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน

เครื่องมือที่ประกอบด้วยบ่าเครื่องมือ (Shoulder) กับ หัวพิน (Pin or Probe) หมุนด้วยความเร็วรอบในระดับที่ถูกคำนวณปริมาณความร้อนที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนรูป กดแทรกลงในเนื้อวัสดุที่ถูกเติมอนุภาคสารเสริมแรงที่พื้นผิวแล้วเดินหมุนกวนตามแนวเส้นตรงเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ แรงเสียดทานระหว่างเครื่องมือและชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนภายในเนื้อวัสดุทำให้วัสดุอ่อนนุ่มในภาวะพลาสติกและถูกหมุนกวนย้ายจากด้านหน้าของขาพินไปทางด้านหลังของขาพินเกิดเป็นเนื้อผสมระหว่างอนุภาคผงที่เติมเข้าไปกระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อพื้น [3]

อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวที่เตรียมจากกระบวนการเสียดทานแบบกวนสามารถลดความพรุนของไฮโดรระหว่างโลหะผสมอลูมิเนียมได้มากกว่าเตรียมจากสภาวะของเหลว [4] และเกิดเกรนที่ละเอียดจากการตกผลึกแบบไดนามิกจากการกวน [5] เนื่องจากสัดส่วนที่ผสมอยู่ในอัลลอยด์มีผลต่ออลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว ดังนั้นอลูมิเนียมอัลลอยด์กลุ่มอื่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

งานวิจัยนี้แสดงวิธีการเตรียมอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนสำหรับวัสดุพื้นอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 5052 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรมยานยนต์ เสริมแรงด้วยอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ( $\text{SiC}$ ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมครอน มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังรายละเอียดที่จะแสดงต่อไป



## 2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวประกอบด้วย

1. ความเร็วรอบการหมุนเครื่องมือกล (Rotational speed,  $\omega$ ) และความเร็วเดินกล (Traverse speed,  $U$ ) เป็นสองปัจจัยที่กำหนดการสร้างความร้อนเสียดทานระหว่างกระบวนการ อุณหภูมิที่เหมาะสมของกระบวนการเสียดทานแบบกวนวัสดุอลูมิเนียมอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.9 เท่าของอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุเนื้อพื้น [6] พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการหมุนเครื่องมือกล และลดความเร็วเดินกล จะส่งผลให้อุณหภูมิในพื้นที่กวนสูงขึ้น ขนาดเกรนเล็กลง เมื่อความเร็วเดินกลลดลงจะส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาครวมตัวกันเป็นขนาดเล็กลง และกระจายตัวสม่ำเสมอขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเร็วรอบการหมุนต่ำแต่ความเร็วเดินกลที่สูงจะเกิดการไหลกวนที่ไม่เพียงพอต่อการรวมตัวของเนื้อวัสดุขณะกำลังอ่อนตัวทำให้เกิดตำหนิในชิ้นงานได้ [7, 8] การเลือกใช้ความเร็วรอบการหมุนเครื่องมือกล และความเร็วเดินกล จำเป็นต้องกำหนดให้เหมาะสมตามขนาดและชนิดของวัสดุเนื้อพื้น

2. มุมเอียงเครื่องมือ (Tilt angle) เป็นปัจจัยที่ช่วยให้เกิดการไหลกวนของเนื้อวัสดุจากด้านหน้าไปด้านหลังของหัวพินและผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน จากการทบทวนวรรณกรรม มุมเอียงเครื่องมือกลมีค่าระหว่าง 0-3° [9]

3. ความลึกกดเสียดทาน (Plunge depth) เป็นปัจจัยกำหนดปริมาณความร้อนในพื้นที่กวน และกำหนดแรงกดอัดในการขึ้นรูป ถ้าระยะกดลึกเสียดทานไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อตำหนิที่เกิดขึ้นในพื้นที่กวน [10]

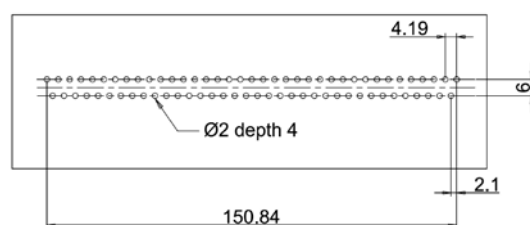
4. เวลากดเสียดทาน (Dwell time) เพื่อให้เกิดความร้อนในพื้นที่กวนที่เพียงพอต่อการเดินกลและให้ความร้อนแพร่กระจายอย่างทั่วถึงในพื้นที่การกวน โดยทั่วไปใช้เวลากดเสียดทานประมาณ 30 วินาที [11]

5. เครื่องมือกล ประกอบด้วยบ่าเครื่องมือ มีอิทธิพลต่อการสร้างความร้อนในการเชื่อมกวน และหัวพิน มีบทบาทต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุอ่อนตัว การออกแบบเครื่องมือ

กวนจะพิจารณาจากสัดส่วนบ่าเครื่องมือต่อหัวพินที่สัดส่วน 3:1 จะให้ค่าสมบัติทางกลดีที่สุด [11]

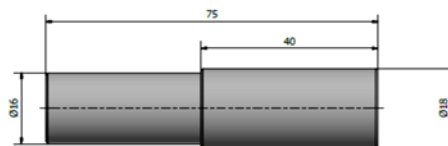
## 3. การออกแบบการทดลอง

อลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 5052 ขนาด 12×150×5 มม. เป็นวัสดุเนื้อพื้น เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. ลึก 4 มม. ระยะห่างระหว่างรู 4.19 มม. เป็นจำนวน 2 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 6 มม. บนวัสดุเนื้อพื้นเพื่อเติมอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ ขนาดเฉลี่ย 18 ไมครอนลงไปในรูเจาะก่อนทำการกวนขึ้นรูปเพื่อให้เกิดการกระจายตัวในวัสดุเนื้อพื้นอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 1

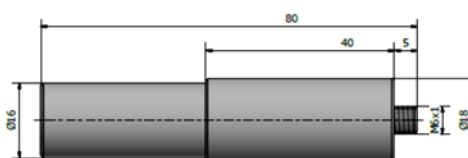


รูปที่ 1 แบบร่างในการเจาะรูเพื่อเติมอนุภาคผงสารเสริมแรง

เครื่องมือกลใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 (SKD11 modified) ผ่านการชุบแข็งแล้วมีความแข็งเฉลี่ย 61.8 HRC ขึ้นรูปเครื่องมือ 2 รูปแบบ คือเครื่องมือที่มีเฉพาะบ่าเครื่องมือมีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มม.ใช้สำหรับกวนปิดหน้ารูเจาะเติมอนุภาคผงก่อนทำการเดินกลผสม ดังรูปที่ 2ก และเครื่องมือที่ใช้เดินกลผสม มีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มม.ขนาดความโตหัวพิน 6 มม. ขึ้นรูปเกลียวเมตริกขนาด M6×1 ยาว 5 มม. ดังรูปที่ 2ข



ก. เครื่องมือสำหรับปิดหน้ารูเจาะเติมอนุภาคผง



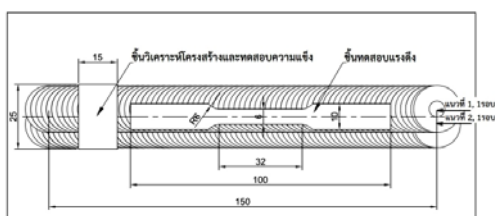
ข. เครื่องมือสำหรับเดินกลผสม  
รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป



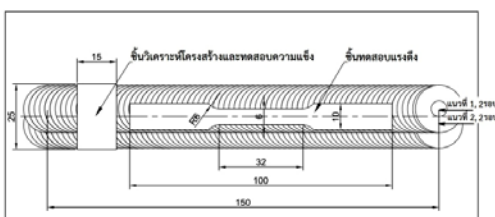
จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การขึ้นรูปแบบกวนซ้ำในทิศทางตรงกันข้ามแนวเดิมจะให้ค่าสมบัติทางกลและการกระจายตัวของสารเสริมแรงดีกว่าการเดินรอบเดียว [12] ขณะที่เดินกวนโดยมีการทับซ้อนแนวกวน 0.5 เท่า จะให้ค่าสมบัติทางกลดีกว่าเดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน [13] ดังนั้นการศึกษานี้จึงออกแบบเงื่อนไข 3 รูปแบบในการทดลอง ได้แก่ เดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 1 รอบ (OR=0, 1 รอบ) เดินกวนซ้ำเต็มแนวเดิมหรือเดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ (OR=0, 2 รอบ) และเดินกวนซ้ำครึ่งละครึ่งแนวหรือการทับซ้อนแนวกวน 0.5 เท่า 1 รอบ (OR=0.5, 1 รอบ) ดังรูปที่ 3ก, 3ข และ 3ค ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและสมบัติทางโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบ ค่าอัตราการเดินทางซ้อนทับ (Overlap ratio; OR) [13] จากสมการที่ 1

$$OR = 1 - \frac{l}{d_{pin}} \quad (1)$$

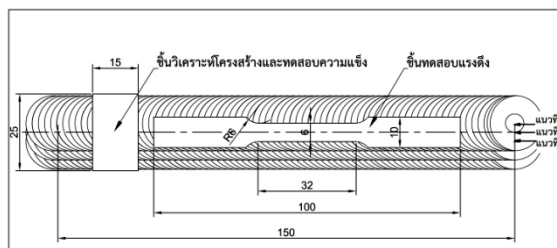
โดยที่  $l$  คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางแนวกวนแต่ละแนว และ  $d_{pin}$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของหัวพิน



ก. การเดินกวนรูปแบบ OR=0, 1 รอบ



ข. การเดินกวนรูปแบบ OR=0, 2 รอบ



ค. การเดินกวนรูปแบบ OR=0.5, 1 รอบ  
รูปที่ 3 แบบร่างรูปแบบเงื่อนไขการเดินกวน

กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการเสียดทานแบบกวนจากการทบทวนวรรณกรรมและข้อจำกัดของเครื่องจักรที่ใช้ สรุปพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในกรณีศึกษา

| พารามิเตอร์                                  | ค่าระดับ     |
|----------------------------------------------|--------------|
| ความเร็วรอบการหมุนเครื่องมือกวน ( $\omega$ ) | 800 รอบ/นาที |
| ความเร็วเดินกวน ( $v$ )                      | 20 มม./นาที  |
| มุมเอียงเครื่องมือ                           | 3°           |
| ความลึกกดเสียดทาน                            | 0.3 มม.      |
| เวลากดเสียดทาน                               | 30 วินาที    |

## 2.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เติมน้ำมันซิลิกอนคาร์ไบด์ลงในรูเจาะจนเต็ม จับยึดแผ่นขึ้นงานที่ผ่านการเจาะรูตามรูปที่ 1 บนอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งบนเครื่องกัด

2. เดินกวนโดยใช้เครื่องมือกวนที่มีเฉพาะปากเครื่องมือและใช้พารามิเตอร์ในการเดินกวนตามตารางที่ 1 เพื่อเดินกวนปิดหน้ารูเจาะที่เติมผงในแต่ละแนว

3. เดินกวนโดยใช้เครื่องมือกวนประกอบด้วยปากเครื่องมือและหัวพิน และใช้พารามิเตอร์ตามตารางที่ 1 เดินกวนตามรูปแบบเงื่อนไขแต่ละรูปแบบ โดยการเดินกวนในแนวถัดไปต้องรอให้ชิ้นงานเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้องก่อนเสมอ

4. ตัดชิ้นงานเพื่อเตรียมชิ้นวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค และขึ้นทดสอบทางกล ได้แก่ ขึ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 และขึ้นทดสอบความแข็งที่ความกว้างครอบคลุมพื้นที่กวน ดังรูปที่ 3

5. วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรง

6. ทดสอบสมบัติทางกล ทดสอบแรงดึง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 100 kN ที่ความเร็วในการดึง 1 มม./นาที และทดสอบความแข็งตามแนวตัดขวางพื้นที่กวน ห่างจากจุดศูนย์กลางพื้นที่กวนไปข้างละ 0.5 มม. จำนวนข้างละ 12 จุด ใช้หน่วยวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส น้ำหนักกด 100 กรัม กดแช่ 15 วินาที แล้วบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลต่อไป



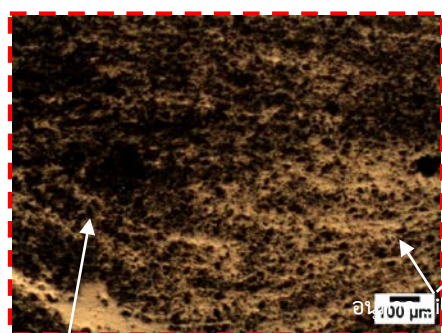


### 3. ผลการดำเนินการ

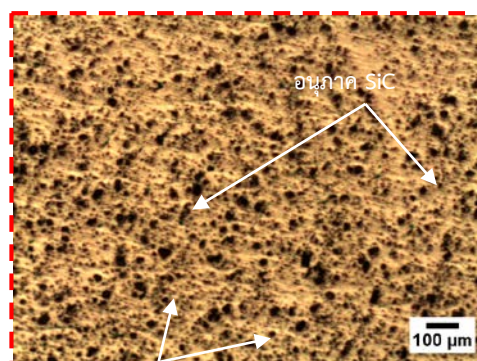
ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรง และทดสอบสมบัติทางกล ได้ผลดังนี้

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

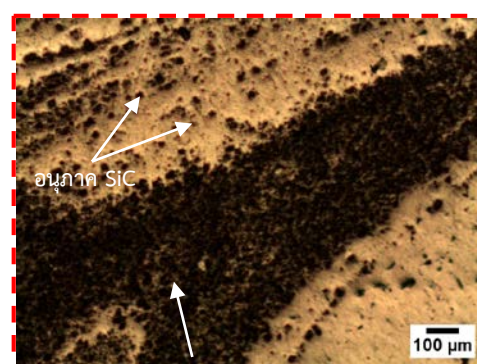
การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์ในวัสดุเนื้อพื้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงตรวจสอบโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางพื้นที่ตัดขวางการเดินกวน พบว่าที่การเดินกวนรูปแบบ OR=0, 1 รอบ มีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์อย่างหนาแน่นไปในทิศทางการกวน ไม่เกิดการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอในพื้นที่กวน (รูปที่ 4ก) ส่วนการเดินกวนรูปแบบ OR=0.5, 1 รอบ มีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์ คล้ายรูปแบบแรก มีการกระจายตัวของอนุภาคที่เกาะกันเป็นแถบตามแนวทิศทางการกวน และไม่กระจายตัวทั่วในพื้นที่กวน (รูปที่ 4ค) ขณะที่การเดินกวนรูปแบบ OR=0, 2 รอบ ให้การกระจายตัวของอนุภาคผงซิลิกอนคาร์ไบด์ที่สม่ำเสมออย่างสูงในทิศทางการไหลกวนเป็นชั้นวงแหวน (Onion Ring) ไม่มีการเกาะตัวกันของอนุภาค รวมถึงมีเศษอนุภาคที่แตกหักกระจายตัวสม่ำเสมอ (รูปที่ 4ข) ดังนั้นที่ระดับความเร็วรอบการหมุนกวน 800 รอบต่อนาที และความเร็วเดินกวน 20 มม.ต่อนาที การเดินกวนรอบเดียวไม่เพียงพอต่อการทำให้อนุภาคสารเสริมแรงแตกหักและกระจายตัวที่สม่ำเสมอ จำเป็นต้องทำการกวนซ้ำแนวกวน โดยการเดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ (OR=0, 2 รอบ) จะให้การกระจายตัวที่สม่ำเสมอว่าการกวนซ้ำครั้งละครึ่งหนึ่งของแนวกวน (OR=0.5, 1 รอบ)



ก. OR=0, 1 รอบ



ข. OR=0, 2 รอบ



ค. OR=0.5, 1 รอบ

รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของรูปแบบเงื่อนไขการเดินกวน

#### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยทั้ง 3 รูปแบบมีค่า 156.78 MPa, 198.06 MPa และ 172.86 MPa ตามลำดับรูปแบบการทดลอง ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวัสดุเนื้อพื้น (201.10 MPa) โดยการเดินกวนรูปแบบ OR=0, 2 รอบ ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น คิดเป็น 98.49% ของวัสดุเนื้อพื้น ผลความต้านทานแรงดึงที่ต่ำนี้อาจเป็นเหตุมาจากการปฏิกิริยาการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคสารเสริมแรงกับวัสดุเนื้อพื้นเข้ากันได้ไม่ดีส่งผลต่อสมบัติทางกลที่ต่ำ [14] ส่วนผลการทดสอบความแข็งแรงพบว่า ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยในภาคตัดขวางพื้นที่กวนทั้ง 3 รูปแบบมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวัสดุเนื้อพื้น โดยที่การเดินกวนรูปแบบ OR=0, 2 รอบ ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดคิดเป็น 122.75% ของวัสดุเนื้อพื้น แสดงดังตารางที่ 2 และจากข้อมูลพบว่าการเดินกวนรูปแบบ OR=0, 2 รอบ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงของการเดินกวนรูปแบบ



OR=0, 2 รอบ มีความสม่ำเสมอมากกว่ารูปแบบอื่นๆ สะท้อนจากลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่มีการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอ และสอดคล้องกับความสัมพันธ์ที่ว่า การกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และมีการแตกหักของอนุภาคอย่างกระจายตัว จะให้สมบัติความแข็งแรงที่สูงตาม [2, 12]

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบความแข็งแรงที่  $\omega=800$  รอบต่อนาที,  $v=20$  มม.ต่อนาที

| รูปแบบการเดินกวน    | ความแข็งแรง (ไมโครวิกเกอร์ส) |                     |
|---------------------|------------------------------|---------------------|
|                     | ค่าเฉลี่ย                    | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
| อลูมิเนียมเนื้อพื้น | 70.03                        | 1.89                |
| OR 0 , 1 รอบ        | 78.17                        | 15.48               |
| OR 0 , 2 รอบ        | 85.96                        | 8.20                |
| OR 0.5 , 1 รอบ      | 78.19                        | 19.83               |

#### 4. สรุปผลการดำเนินการ

จากการศึกษาการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว ด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนนี้พบว่า

1. การเดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ (OR=0, 2 รอบ) จะให้การกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงสม่ำเสมออย่างสม่ำเสมอที่กวนกว่าการเดินกวนโดยทับซ้อนแนวกวน 0.5 เท่า 1 รอบ (OR=0.5, 1 รอบ) และเดินกวนโดยไม่ทับซ้อนแนวกวน 1 รอบ (OR=0, 1 รอบ) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ว่าจำนวนการเดินซ้ำแนวกวนส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคและเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น [2]

2. สมบัติทางกลของการเดินกวนแบบไม่ทับซ้อนแนวกวน 2 รอบ ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 85.96 Hv และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 198.06 MPa สูงกว่ารูปแบบอื่นๆในการทดลอง สะท้อนมาจากการกระจายตัวของสารเสริมแรงที่สม่ำเสมอ

3. ความความต้านทานแรงดึงที่ดีที่สุดจากการทดลองยังไม่เหมาะสมเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงคุณสมบัติของการขึ้นรูปวัสดุโลหะเชิงประกอบพื้นผิว คือความต้านทานแรงดึงต้องมากกว่าวัสดุเนื้อพื้น เมื่อพิจารณาพบว่าอาจเกิดรอยร้าวที่ผิวระหว่างสารเสริมแรงและวัสดุเนื้อพื้น อันเนื่องจากการทำปฏิกิริยารวมตัวกันไม่สมบูรณ์

ระหว่างสารเสริมแรงและวัสดุเนื้อพื้น [14] จึงควรมีการวิจัยเพื่อศึกษาการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการขึ้นรูปที่เหมาะสมต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุการทดลองจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Eskandari and R. Taheri, "A Novel Technique for Development of Aluminum Alloy Matrix/TiB<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hybrid Surface Nanocomposite by Friction Stir Processing," *Procedia Materials Science*, vol. 11, p. 503 – 508, 2015.
- [2] M. Yang, C. Xu, C. Wu, K.-c. Lin, Y. J. Chao and L. An, "Fabrication of AA6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano ceramic particle reinforced composite coating by using friction stir processing," *Journal of Materials Science*, vol. 45, p. 4431–4438, 2010.
- [3] V. Sharma, U. Prakash and B. M. Kumar, "Surface composites by friction stir processing: A review," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 224, p. 117–134, 2015.
- [4] R. D. Doherty, D. A. Hughes, F. J. Humphreys, J. J. Jonas, D. J. Jensen, M. E. Kassner, W. E. King, T. R. McNelly, H. J. McQueen and A. D. Rollett, "Current issues in recrystallization: a review," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 238, no. 2, p. 219–274, 1997.
- [5] D. Yadav and R. Bauri, "Microstructural characterisation of friction stir processed,"



- Materials Science and Technology*, vol. 27, p. 1163–1169, 2011.
- [6] W. J. Arbogast and P. J. Hartley, "Friction stir weld technology development at Lockheed martin michoud space system- An overview," in *Proceedings of the Fifth International Conference on Trends in Welding Research*, Pine Mountain, GA, USA, 1998.
- [7] M. Azizieh, A. H. Kokabi and P. Abachi, "Effect of rotational speed and probe profile on microstructure and hardness of AZ31/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites fabricated by friction stir processing," *Materials & Design*, vol. 32, no. 4, p. 2034–2041, 2011.
- [8] Q. Zhang, B. L. Xiao, Q. Z. Wang and Z. Y. Ma, "Effects of processing parameters on the microstructures and mechanical properties of in situ (Al<sub>3</sub>Ti + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/Al composites fabricated by hot pressing and subsequent friction stir processing," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 45, p. 2776–2791, 2014.
- [9] R. Mishra, P. Sarathi De and N. Kumar, *Friction Stir Welding and Processing*, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2014, p. 6.
- [10] P. Periyasamy, B. Mohan, V. Balasubramanian, S. Rajakumar and S. Venugopal, "Multi-objective optimization of friction stir welding parameters using desirability approach to join Al/SiCp metal matrix composites," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 23, no. 4, p. 942–955, 2013.
- [11] P. Vijayavel, V. Balasubramanian and S. Sundaram, "Effect of shoulder diameter to pin diameter (D/d) ratio on tensile strength and ductility of friction stir processed LM25AA-5% SiCp metal matrix composites," *Materials & Design*, vol. 57, p. 1–9, 2014.
- [12] R. Bauri, D. Yadav and G. Suhas, "Effect of friction stir processing (FSP) on microstructure and properties of Al–TiC in situ composite," *Materials Science and Engineering A*, vol. 528, p. 4732–4739, 2011.
- [13] F. Nascimento, T. Santos, P. Vilac, R. M. Miranda and L. Quintino, "Microstructural modification and ductility enhancement of surfaces modified by FSP in aluminium alloys," *Materials Science and Engineering A*, vol. 506, p. 16–22, 2009.
- [14] T. Thankachan and K. S. Prakash, "Microstructural, mechanical and tribological behavior of aluminum nitride reinforced copper surface composites fabricated through friction stir processing route," *Materials Science & Engineering A*, vol. 688, p. 301–308, 2017.