วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
*ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565*

# อิทธิพลของปัจจัยต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน

# Influence of Factors on Wear Resistance Property in Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing

รุ่งวสันต์ ไกรกลาง [1] สุรพจน์ วัชโรภากุล [1*] ฉกาจ เชื่อดี [1] สุรศักดิ์ มะธิโตปะนำ [1] เมที สุขขี [1] สุรัตน์ วรรณศรี [1] และวิทยา ดาวดอน [1]

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rungwasun Kraiklang [1] Suraphot Watcharophakul [1*] Chakat Chueadee [1] Surasak Matitopanum [1] Matee Sukkee [1] Surat Wannasri [1] and Wittaya Daodon [1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

*Corresponding author Email: suraphot@rmuti.ac.th

(Received: January 28, 2022; Accepted: June 23, 2022)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวเกรด 5052 เสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาด 18 ไมโครเมตร ด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน โดยการเปรียบเทียบปัจจัยที่สำคัญในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน ได้แก่ การใช้ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (Speed : S) ที่สูงที่ 1,500 รอบต่อนาทีคงที่ แล้วใช้ความเร็วเดินกวน (Feed : F) ต่ำที่ 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ (Round : R) ที่ 2 รอบ (S2F1R1) กับความเร็วเดินกวน (Feed : F) สูงที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ (Round : R) ที่ 4 รอบ (S2F2R2) ผลการศึกษาพบว่าการใช้ความเร็วเดินกวนต่ำที่จำนวนการเดินกวนเพียงสองรอบเพียงพอทำให้กลุ่มอนุภาคผงสารเสริมแรงมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในวัสดุเนื้อพื้น และมีการแตกหักของอนุภาคผงกระจายทั่วพื้นที่กวน ส่งผลให้มีความต้านทานการ สึกหรอที่สูง โดยให้ค่าอัตราการสึกหรอต่ำสุด เท่ากับ 0.1088 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนิวตันเมตร คิดเป็น 3.4 เท่าเมื่อเทียบกับการสึกหรอของวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 และใช้เวลาต่างกันเล็กน้อยกับการใช้ความเร็วเดินกวนที่สูง และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ แต่ให้อัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำกว่ามาก

**คำสำคัญ:** อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว กระบวนการเสียดทานแบบกวน ความต้านทานการสึกหรอ

**Abstract**

This research aims to study the influence of factors on wear resistance property in aluminum surface composite grade 5052 with 18- micrometer silicon carbide reinforcement by friction stir processing. Comparison of the process parameters, such as the high rotational speed at 1,500 rpm, constant and then using the low traverse speed at 10 mm / min and the number of pass at 2nd pass (S2F1R1) compare with the high traverse

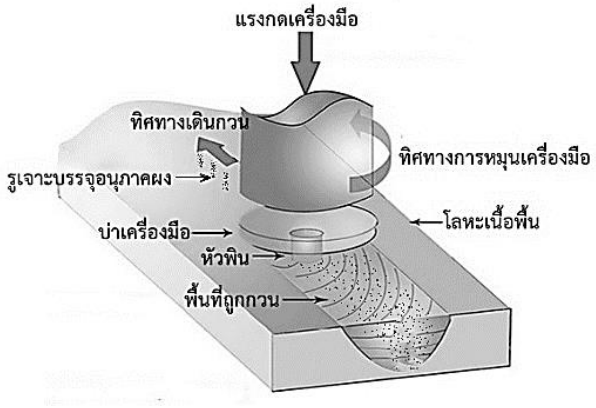
speed at 30 mm / min and the number of pass at 4th pass (S2F2R2). The results showed that the low traverse speed at the two passes of stirring is enough to have the dispersion of the powder particles regularly and the fracture of the powder particles spread throughout the stirring area, resulting in higher wear resistance properties. It offers the lowest wear rate of 0.1088 $mm^3$ / Nm, 3.4 times the wear resistance of aluminum A5052. In addition, the low traverse speed at 10 mm / min and the number of pass at 2nd pass (S2F1R1) takes slightly different production times with the high traverse speed at 30 mm / min and the number of pass at 4th pass (S2F2R2) but offers a much lower rate of wear.

**Keywords:** Aluminum surface composite, Friction stir processing, Wear Resistance

## 1. บทนำ

ในสถานการณ์อุตสาหกรรมการผลิตปัจจุบันมีความต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ สำหรับการใช้งานที่หลากหลาย ทำให้วัสดุเดิมที่มีอยู่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการคุณสมบัติทางกลในวงกว้างได้ กระบวนการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Process: FSP) ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวและการสร้างอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว (Aluminum Surface composites; AMCs) เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมยุคใหม่คือ มีความแข็งแรง และความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติหลักของวัสดุเดิมคือมีน้ำหนักเบา สมบัติที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเติมอนุภาคผงเซรามิกที่มีความแข็งสูง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นต้น เข้าไปผสมเพื่อเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นเดิม [1, 2] อลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิว จึงถูกนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ และอากาศยาน ในชิ้นส่วนที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอที่พื้นผิวสูง แต่มีน้ำหนักเบา เพื่อให้การใช้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยหนึ่งในเกรดอลูมิเนียมที่นิยมนำมาใช้ชิ้นส่วนยานยนต์คือ เกรด 5052 ที่มีสมบัติเด่นคือ มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อน และมีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดี

กระบวนการเสียดทานแบบกวน (FSP) เป็นกระบวนการขึ้นรูปจากสภาวะของแข็ง (Solid State Processing) จึงเป็นเทคโนโลยีเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Technology) เนื่องจากใช้ความร้อนน้อยลง และไม่ก่อให้เกิดควันก๊าซ และรังสีที่เป็นอันตรายใด ๆ ในระหว่างการขึ้นรูป [3, 4] โดยมีหลักการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนที่สำคัญคือ จะใช้เครื่องมือกวนที่มีบ่าและหัวพินที่หมุนด้วยความเร็วสูง หัวพินของเครื่องมือจะกดแทรกลงไปภายในวัสดุที่มีการเจาะรูและเติมอนุภาคผงสารเสริมแรง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของชิ้นงานและบ่าเครื่องมือทำให้เกิดความร้อนขึ้นในพื้นที่การเสียรูปพลาสติกของวัสดุเนื่องจากการตกผลึกซ้ำ และถูกหมุนกวนเกิดเป็นเนื้อผสมระหว่างอนุภาคผงที่เติมเข้าไปกระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อพื้น [5] ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** หลักการของกระบวนการเสียดทานแบบกวน [6]

จากการทบทวนวรรณกรรมการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน พบว่าการเลือกใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปจำเป็นต้องกำหนดให้เหมาะสมตามขนาดและชนิดของวัสดุเนื้อพื้น เพื่อให้ได้สมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานที่ดี โดยความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (Rotational speed) และความเร็วเดินกวน (Traverse speed) เป็นสองปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลต่อชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ [7] พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนเครื่องมือ และลดความเร็วเดินกวนจะทำให้อุณหภูมิในพื้นที่กวนสูงขึ้น ขนาดเกรนเล็กลง ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้อนุภาคผงสารเสริมแรงแตกเป็นขนาดเล็กลง และกระจายฝังตัวในวัสดุเนื้อพื้นสม่ำเสมอขึ้น [8, 9] ขณะที่การเพิ่มจำนวนรอบในการกวนซ้ำและเปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบจะทำให้อนุภาคสารเสริมแรงแตกเป็นขนาดเล็กลง และกระจายตัวสม่ำเสมอในวัสดุเนื้อพื้นขึ้น [10] ต่อมา R. Kraiklang et al. [11] ได้ศึกษาอิทธิพลปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและการสึกหรอของเครื่องมือของการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนวัสดุอลูมิเนียมเชิงประกอบเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร เนื่องจากเป็นสารเสริมแรงที่มีค่าความแข็งสูง และเป็นขนาดอนุภาคที่หาได้ทั่วไปตามท้องตลาด จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของความเร็วในการหมุนเครื่องมือและความเร็วเดินกวนกับจำนวนรอบในการกวนซ้ำ ส่งผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือ ขณะที่ V. Mathur et al. [12] ได้ศึกษาการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนวัสดุอลูมิเนียมเชิงประกอบเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูงขึ้นช่วยลดขนาดเกรนและเกิดการกระจายอนุภาคที่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงสูงขึ้นตาม แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่ปรากฏการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงาน

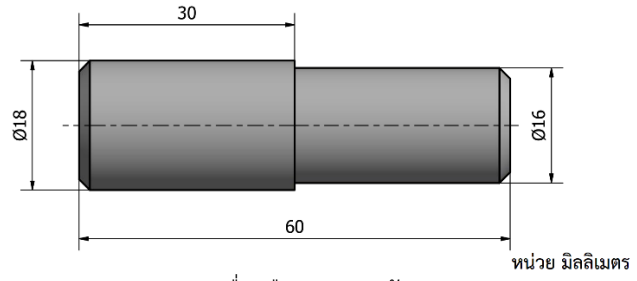
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวน สำหรับวัสดุเนื้อพื้นอลูมิเนียมผสมเกรด 5052 เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร

## 2. การดำเนินการทดลอง

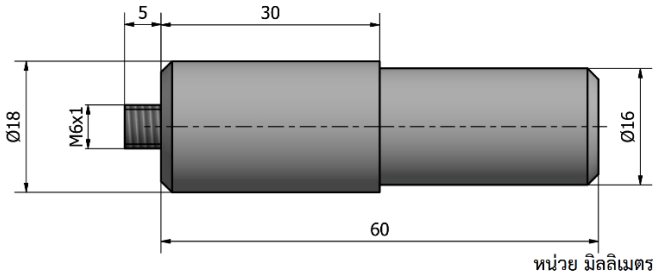
2.1 เตรียมวัสดุอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้อลูมิเนียมผสมเกรด 5052 ความหนา 6 มิลลิเมตร เป็นวัสดุเนื้อพื้น เจาะรูบนวัสดุเพื่อเติมอนุภาคผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเฉลี่ย 18 ไมโครเมตร เป็นแถวเส้นตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ลึก 4.5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรู

4.19 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้สัดส่วนปริมาตรอนุภาคผงที่เติมในรูเจาะต่อปริมาตรพื้นที่กวนเท่ากับ 10% โดยปริมาตร เครื่องมือกวนใช้วัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด DC53 ผ่านการชุบแข็งแล้วมีความแข็งเฉลี่ย 60 - 64 HRC ขึ้นรูป 2 รูปแบบ คือเครื่องมือที่มีเฉพาะบ่าเครื่องมือมีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มิลลิเมตร ใช้สำหรับกวนปิดหน้ารูเจาะเติมอนุภาคผงก่อนทำการเดินกวนผสม (รูปที่ 2 ก) และเครื่องมือที่ใช้เดินกวนผสม มีขนาดความโตบ่าเครื่องมือ 18 มิลลิเมตร หัวพินขึ้นรูปเกลียวเมตริกขนาด M6x1 ยาว 5 มิลลิเมตร(รูปที่ 2ข) เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าหัวพินรูปร่างเกลียวที่อัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อหัวพินเท่ากับ 3 : 1 จะมีประสิทธิภาพการกวนที่ดี [11]




ก) เครื่องมือกวนปิดหน้ารูเจาะ




ข) เครื่องมือกวนผสม

**รูปที่ 2** เครื่องมือกวน

2.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลระหว่างความเร็วเดินกวนกับจำนวนรอบในการกวนซ้ำ กำหนดขึ้นตามสมมติฐานงานวิจัยคือ สมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานอาจแตกต่างกัน เมื่อเวลาการขึ้นรูปโดยรวมในแต่ละวิธีไม่แตกต่างกัน แต่ใช้เงื่อนไขปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้รูปแบบการเดินกวนสองรอบแบบเปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบที่ระดับความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูง ความเร็วเดินกวนที่ต่ำตามการทบทวนวรรณกรรมดังที่กล่าวมา เปรียบเทียบกับจำนวนการเดินกวนซ้ำสี่รอบที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนกวนในแต่ละรอบที่ระดับความเร็วในการหมุนเครื่องมือที่สูง ความเร็วเดินกวนที่สูง ซึ่งทั้งสองเงื่อนไขนี้ให้เวลาในการขึ้นรูปโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก โดยเลือกระดับการทดลองตามขอบเขตของการทดลองขึ้นรูปเบื้องต้นต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถขึ้นรูปโดยไม่เกิดตำหนิบนชิ้นงาน [11] แสดงเงื่อนไขการทดลองและระดับปัจจัยในตารางที่ 1 โดยมีตัวแปรตามเป็นอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน

**ตารางที่ 1** เงื่อนไขทดลอง และระดับปัจจัยในการทดลอง

| **เงื่อนไขทดลอง** | **ระดับปัจจัย** | | |
|---|---|---|---|
| | **ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) (รอบต่อนาที)** | **ความเร็วเดินกวน (F) (มิลลิเมตรต่อนาที)** | **จำนวนการเดินกวนซ้ำ (R) (รอบ)** |
| S2F1R1 | 1500 | 10 | 2 |
| S2F2R2 | 1500 | 30 | 4 |

**หมายเหตุ** รหัสตัวเลขคือระดับการทดลอง โดยมีเงื่อนไขการทดลอง 2 ระดับ

ปัจจัยคงที่อ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรม ประกอบด้วยปัจจัย มุมเอียงเครื่องมือ ความลึกกดเสียดทาน เวลากดเสียดทาน รูปทรงเครื่องมือ และอัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อขนาดของหัวพิน ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การกำหนดปัจจัยคงที่ [11]

| **ปัจจัย** | **ค่าระดับ** |
|---|---|
| มุมเอียงเครื่องมือ | 3 องศา |
| ความลึกกดเสียดทาน | 0.3 มิลลิเมตร |
| เวลากดเสียดทาน | 30 วินาที |
| รูปทรงเครื่องมือ | ทรงกระบอกเกลียวขวา |
| อัตราส่วนของขนาดบ่าเครื่องมือต่อหัวพิน | 3 : 1 |

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

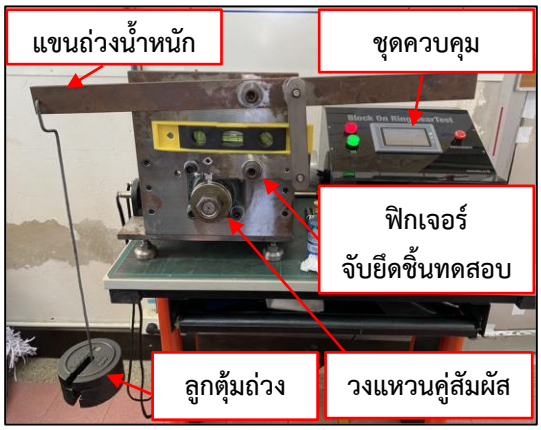
ดำเนินการทดลองทั้งสองเงื่อนไขด้วยการจับยึดชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึด (Fixture) และใช้เครื่องกัดตั้งระบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ HAAS รุ่น TM2 ในการเดินหมุนกวนขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

หลังจากขึ้นรูปแต่ละเงื่อนไข นำชิ้นงานไปตัดชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบโครงสร้างจุลภาค และชิ้นทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 อย่างละ 3 ชิ้น

การทดสอบการสึกหรอด้วยวิธี Block on ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยการกำหนดขนาดมิติของชิ้นทดสอบเท่ากับ 6×10×4 มิลลิเมตร วงแหวนที่ใช้ในการทดสอบทำจากเหล็กกล้า Bearing Steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62

มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอ มีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยกำหนดน้ำหนักหรือแรงกดทดสอบเท่ากับ 15 กิโลกรัม ความเร็วของการเสียดทาน 0.6 เมตรต่อวินาที และทำการทดสอบด้วยระยะทาง 3,000 เมตร ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นงานทดสอบทุก ๆ 500 เมตร ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม จากนั้นคำนวณอัตราการสูญเสียปริมาตรของชิ้นทดสอบเทียบกับแรงกดชิ้นทดสอบ หน่วย ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนิวตันเมตร ($mm^3/Nm$)

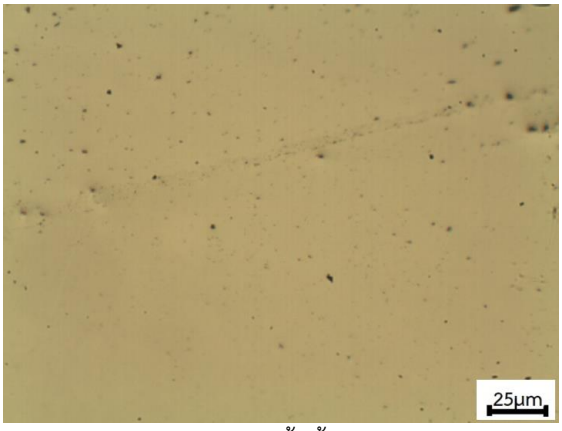



**รูปที่ 4** ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ

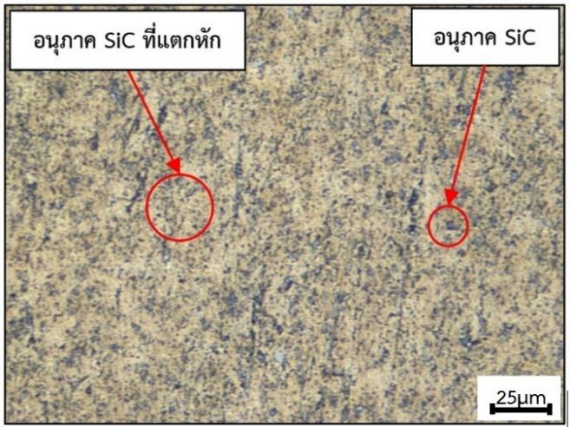
**3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

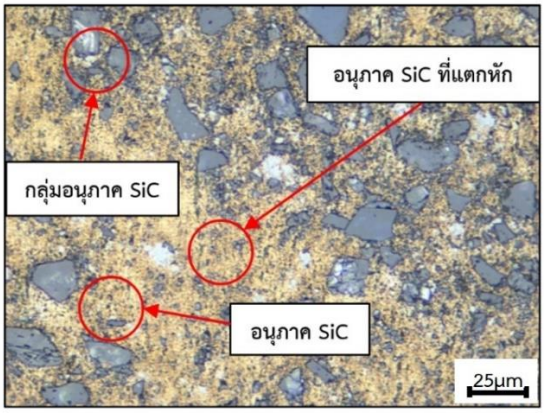
จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ที่ผิวด้านบนตรงกึ่งกลางแนวกวนทั้งสองเงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 5




ก) อลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052




ข) เงื่อนไข S2F1R1




ค) เงื่อนไข S2F2R2

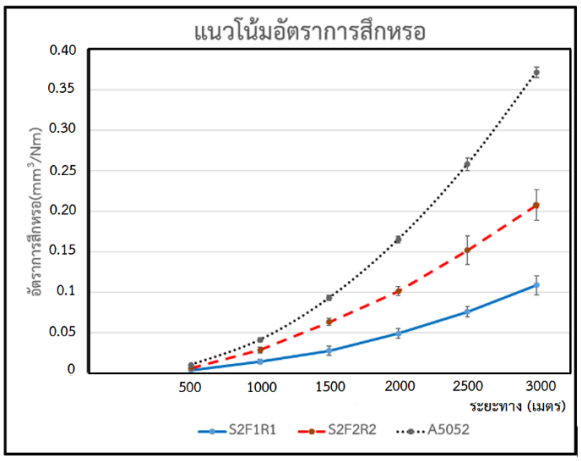
**รูปที่ 5** โครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนในแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 5 สามารถสรุปประเด็นหลักๆได้ว่า โครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของเงื่อนไขความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์มีการแตกหักที่ดี และเกิดการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์ รวมถึงมีเศษอนุภาคสารเสริมแรงที่แตกหักขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอแทรกในพื้นที่กวน

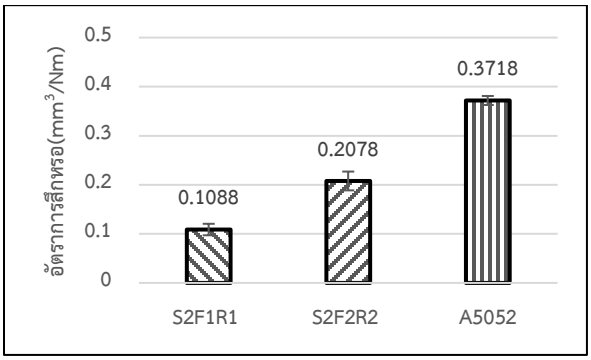
ส่วนโครงสร้างจุลภาคพื้นที่กวนของเงื่อนไขความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 30 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2) พบว่าถึงจะมีการแตกหักของอนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์อยู่บ้าง แต่ก็ยังมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคสารเสริมแรงกระจายเป็นกลุ่ม ๆ และมีระยะห่างระหว่างกลุ่มที่มากขึ้น ไม่เกิดการกระจายตัวของอนุภาคสารเสริมแรงบริเวณผิวหน้าของชิ้นทดสอบอย่างสม่ำเสมอเท่าที่ควร

3.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการสึกหรอ

งานวิจัยนี้ใช้ผลการทดสอบอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน ด้วยวิธี Block on ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยทำการทดสอบทั้งสองเงื่อนไขเปรียบเทียบกับชิ้นงานวัสดุอลูมิเนียม A5052 เนื้อพื้น โดยทำซ้ำเงื่อนไขละ 3 ชิ้น แสดงกราฟแนวโน้มอัตราการสึกหรอต่อระยะทาง ดังรูปที่ 6 และกราฟแท่งเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอที่ระยะทาง 3,000 เมตร ของแต่ละเงื่อนไขดังรูปที่ 7




**รูปที่ 6** แนวโน้มอัตราการสึกหรอตามระยะทางแต่ละเงื่อนไข




**รูปที่ 7** เปรียบเทียบอัตราการสึกหรอแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 6 พบว่าที่เงื่อนไขความเร็วในการหมุนเครื่องมือ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วเดินกวน 10 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) มีแนวโน้มอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำที่สุด และรูปแบบแนวโน้มการสึกหรอที่เหมือนกันทุกเงื่อนไข คือเริ่มต้นจะเกิดการสึกหรอน้อยแล้วการสึกหรอจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 7 พบว่าที่เงื่อนไข S2F1R1 และ S2F2R2 มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำกว่าวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 คิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 และ 44.11 ตามลำดับเมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 โดยเงื่อนไข S2F1R1 มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.1088 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนิวตันเมตร คิดเป็น 3.4 เท่าเมื่อเทียบกับการสึกหรอของวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

3.3 วิจารณ์ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาพบว่า ผลของอัตราการสึกหรอของชิ้นงานสอดคล้องกับผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค คือ ที่ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) ที่สูง และความเร็วเดินกวน (F) ที่ต่ำ ถึงแม้จะเดินกวนซ้ำเพียงสองรอบก็ตาม แต่ก็เพียงพอทำให้อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์เกิดการแตกหักที่ดีและมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอฝังในบริเวณผิวหน้าวัสดุเนื้อพื้นของชิ้นงานได้ดีส่งผลให้เกิดอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่ต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ W. S. AbuShanab and E. B. Moustafa [13] ขณะที่การใช้ความเร็วในการหมุนเครื่องมือ (S) ที่สูง และความเร็วเดินกวน (F) ที่สูงเกินไป ถึงแม้จะเดินกวนซ้ำเพิ่มถึงสี่รอบแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคสารเสริมแรงซิลิคอนคาร์ไบด์เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ยังคงเกาะกลุ่มกันและไม่ฝังลึกในเนื้อพื้น เมื่อ

เสียดสีกับวัสดุคู่สัมผัสจึงทำให้อนุภาคสารเสริมแรงหลุดออกจากชิ้นงานได้ง่าย ส่งผลให้อัตราการสึกหรอสูง ดังนั้นการเพิ่มจำนวนรอบในการกวนซ้ำทดแทนการเพิ่มความเร็วในการเดินกวนเพื่อลดเวลาในการทำงาน ไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงสมบัติความต้านทานการสึกหรอที่เหมาะสมได้ ควรใช้การขึ้นรูปที่ความเร็วเดินกวน (F) ที่ต่ำ แต่ลดจำนวนรอบในการกวนซ้ำทดแทน

## 4. สรุปผล

4.1 ปัจจัยในการใช้ความเร็วเดินกวนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) ส่งผลต่อสมบัติต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานในการขึ้นรูปอลูมิเนียมเชิงประกอบพื้นผิวด้วยกระบวนการเสียดทานแบบกวนมากกว่าปัจจัยการใช้ความเร็วเดินกวนที่สูง และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2)

4.2 เงื่อนไขในการใช้ความเร็วเดินกวนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) จะส่งผลให้การกระจายตัวของของอนุภาคผงสม่ำเสมอในพื้นที่กวน ทำให้อัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำตามด้วย

4.3 เงื่อนไขในการใช้ความเร็วเดินกวนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ (S2F1R1) และการใช้ความเร็วเดินกวนที่สูง และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ (S2F2R2) มีอัตราการสึกหรอของชิ้นงานต่ำกว่าวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052 คิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 และ 44.11 ตามลำดับเมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

4.4 การเลือกใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปควรใช้ความเร็วเดินกวนที่ต่ำ และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 2 รอบ ซึ่งเพียงพอต่อการเพิ่มสมบัติความต้านทานการสึกหรอที่ต้องการ เมื่อเทียบกับการใช้ความเร็วเดินกวนที่สูง และจำนวนการเดินกวนซ้ำ 4 รอบ และคิดเป็นอัตราการสึกหรอที่ลดลงร้อยละ 70.74 เมื่อเทียบกับวัสดุอลูมิเนียมเนื้อพื้น A5052

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุการทดลองจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] M.K. Gupta, “Friction stir process: a green fabrication technique for surface composites—a review paper”, SN Applied Sciences, Vol. 2, No. 532, 2020.

[2] E.B. Moustafa, A. Melaibari and M. Basha, “Wear and microhardness behaviors of AA7075/SiC-BN hybrid nanocomposite surfaces fabricated by friction stir processing”, *Ceramics International,* Vol. 46, No. 10, 2020, pp. 16938-16943.

[3] H.H. Eskandari and R. Taheri, “A Novel Technique for Development of Aluminum Alloy Matrix/TiB2/Al2O3 Hybrid Surface Nanocomposite by Friction Stir Processing”, *Procedia Materials Science,* Vol. 11, 2015, pp. 503–508.

[4] D.P.L. Florence, P.H.V.S.T. Sai, S. Devaraj and K.S. Narayanaswamy, “A review on effect of processing parameters on mechanical properties of MMCs by friction stir process”, *AIP Conference Proceedings,* Vol. 2317, No. 020040, 2021.

[5] S. Divya, D. Elavarasan, M. Kishor, K. Manisekar and R. Manikandan, “A Review On Friction Stir Processing of Aluminium Alloy Surface Composite”, International Journal of Research in Engineering, Science and Management, Vol. 3, No. 4, 2020, pp. 103-108.

[6] R. Kraiklang, S. Watcharophakul, S. Matitopanum, M. Sukkee and W. Daodon, “Influence of Factors on Mechanical Property in Aluminum Surface Composite by Friction Stir Processing”, *in Proceeding of 4th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019 (RMTC2019)*, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand, 2019, pp. 185–191. (in Thai)

[7] M. Salehi, M. Saadatmand and J. Aghazadeh Mohandesi, “Optimization of process parameters for producing AA6061/SiC nanocomposites by friction stir processing”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 22, No. 5, 2012, pp. 1055-1063.

[8] M. Azizieh, A. H. Kokabi and P. Abachi, “Effect of rotational speed and probe profileon microstructure and hardness of AZ31/Al2O3nanocomposites fabricated byfriction stir processing”, Materials & Design, Vol. 32, No. 4, 2011, pp. 2034–2041.

[9] Q. Zhang, B.L. Xiao, Q.Z. Wang and Z.Y. Ma, “Effects of processing parameterson the microstructures and mechanical properties of in situ (Al3Ti + Al2O3)/Alcomposites fabricated by hot pressing and subsequent friction-stir processing”, Metall. Mater. Trans. A, vol. 45, 2014, pp. 2776–2791.

[10] A. Dolatkhah, P. Golbabaei, M. B. Givi and F. Molaiekiya, “Investigating effects of process parameters on microstructural and mechanical properties of Al5052/SiC metal matrix composite fabricated via friction stir processing”, Materials and Design, vol. 37, 2012, pp. 458–464.

[11] R. Kraiklang, J. Onwong and C. Santhaweesuk, “Multi-Performance Characteristics of AA5052 + 10% SiC Surface Composite by Friction Stir Processing”, Journal of Composites Science, vol. 4, no. 36, 2020.

[12] V. Mathur, S.R.P. B, M.P.G. C and A.K. Shettigar, “Reinforcement of titanium dioxide nanoparticles in aluminium alloy AA 5052 through friction stir process”, Advances in Materials and Processing Technologies, vol. 5, no. 2, 2019, pp. 329–337.

[13] W.S. AbuShanab and E.B. Moustafa, “Effects of friction stir processing parameters on the wear resistance and mechanical properties of fabricated metal matrix nanocomposites (MMNCs) surface”, Journal of Materials Research and Technology, vol. 9, no. 4, 2020, pp. 7460-7471.