บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาสมบัติการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพื้นอะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ผลิตด้วยวิธีฉีดขึ้นรูปวัสดุผงเพื่อขยายขอบเขตการใช้งานทางวิศวกรรม เช่น ด้านอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์และอากาศยาน เป็นต้น โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณการเติมอนุภาคเสริมแรงและกระบวนการบ่มแข็งต่อพฤติกรรมหรือกลไกการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบ ในการศึกษาวิจัยได้ทำการฉีดขึ้นรูปผงโดยใช้วัสดุพื้นเป็นโลหะผสมอะลูมิเนียม-ทองแดง ขนาดผงเฉลี่ย 72.61 ไมครอน เสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาดเฉลี่ย 21.02 ไมครอน โดยเตรียมส่วนผสมฉีดขึ้นรูปที่ 55 % ของแข็ง ที่ปริมาณการเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ 5 10 15 และ 20 % โดยปริมาตร ทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปแบบลูกสูบระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 170°C จากนั้นเผาผนึกที่อุณหภูมิ 645 650 655 และ 660°C สำหรับการเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ 5 10 15 และ 20 % โดยปริมาตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบภายหลังการเผาผนึกประกอบด้วยเนื้อพื้นโลหะอะลูมิเนียมล้อมรอบด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ พบแนวโน้มการเกิดรูพรุนรวมกับกลุ่มก้อนอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์เมื่อเพิ่มอนุภาคเสริมแรง ซึ่งส่งผลให้สมบัติเบื้องต้น คือ ค่าความแข็งแบบมาโครมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มากกว่า 15 % โดยปริมาตร โดยชิ้นงานมีค่าความแข็งแบบมาโครสูงสุดเท่ากับ 138.9 และ 166.6 H_v ในสภาวะภายหลังการเผาผนึกและบ่มแข็ง ตามลำดับ ชิ้นงานได้รับค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 2.86 $g.cm^{-3}$ เมื่อเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ 20 % โดยปริมาตร

จากการศึกษาสมบัติการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบตามมาตรฐาน ASTM G133-95 ที่โหลด 5 25 45 และ 65 นิวตัน ใช้หัวบอลเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 4.76 มิลลิเมตร (3/16 นิ้ว) ความแข็ง 62 HRC พบว่า 1) วัสดุเชิงประกอบมีอัตราการสึกหรอในช่วง 10^{-3} – 10^{-5} mm^3/Nm และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (COF) 0.04 ถึง 0.76 ความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มากขึ้นด้วย โดยมีอัตราการสึกหรอต่ำสุด 9.6×10^{-5} mm^3/Nm เมื่อเติมอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ 20 % โดยปริมาตร โดยกลไกการสึกหรอประกอบไปด้วยการสึกหรอแบบออกซิเดชัน การสึกหรอแบบขัดสี การสึกหรอแบบยึดติด ซึ่งประกอบไปด้วยการเสียรูป/ไหลตัว และการแยกชั้น รวมถึงแบบความล้า 2) กลไกการสึกหรอเปลี่ยนไปตามปริมาณอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์และโหลดทดสอบ ที่ปริมาณอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์น้อย ๆ 5 ถึง 10 % โดยปริมาตร และทดสอบที่ 5 นิวตัน จะเกิดการสึกหรอแบบขัดสี แล้วเปลี่ยนเป็นการสึกหรอแบบยึดติดที่ 25 นิวตัน ขึ้นไป และหากเพิ่มอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์เป็น 15 ถึง 20 % โดยปริมาตร การสึกหรอมีแนวโน้มลดลงและแสดงพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีในทุกช่วงโหลด และ 3) การบ่มแข็งจะช่วยลดการสึกหรอแบบความล้าได้โหลดต่ำคือ 5 นิวตัน ที่ปริมาณอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ 5 และ 10 % โดยปริมาตร เนื่องจากการตกตะกอนอนุภาค Al_2Cu และ Mg_2Si ที่ช่วยชะลอการเกิดรอยแตกและช่องว่างรอบอนุภาคดังกล่าว

Abstract

Wear properties of silicon carbide particulate (SiC_p) reinforced aluminium composite fabricated by powder injection have been investigated in this research for the exploration of further engineering applications in electronics, automotive, and aerospace. Effects of SiC_p addition and age-hardening on wear behavior/ mechanisms were primarily studied. Powder injection moulding technique was employed in this research to fabricate the composite using aluminium-copper powder of 72.61 µm size as the matrix and SiC_p of 21.02 µm size as the reinforcement. The feedstocks were prepared at 55% solid loading at 5, 10, 15 and 20 vol.% SiC_p addition. A lab-scale plunger-typed powder injection machine was operated at 170°C, followed by sintering at 645 650 655 and 660°C for SiC_p addition at 5, 10, 15 and 20 vol.% respectively. The results showed that the sintered microstructures consisted of aluminium matrix surrounded by smaller sized SiC_p scattering throughout. Porosity found alongside SiC_p clusters is visible at higher SiC_p addition, giving reduced macro-hardness when SiC_p addition is greater than 15 vol.%. The optimum macro-hardness values are 138.90 and 166.60 H_v for as-sintered and age-hardened composites respectively. The maximum sintered density is 2.864 g.cm^{-3} at 20 vol.% SiC_p addition.

A standard wear test following ASTM G133-95 over 5 25 45 and 65 N load was exercised using a stainless steel ball of 4.76 mm (3/16 inch) and 62 HRC. It was found that i) the composite exhibits specific wear rate of 10^{-3}– 10^{-5} mm^3/Nm and coefficient of friction (COF) of 0.04-0.76. Wear resistance increases with increasing SiC_p addition, giving the minimum specific wear rate at 9.6 x 10^{-5} mm^3/Nm at 20 vol.% SiC_p. Wear mechanisms include oxidation, abrasive and adhesive comprising deformation/ flow, delamination and fatigue wear. ii) The predominant wear mechanisms depend upon SiC_p addition and the applied load. At low SiC_p addition (5-10 vol.%) and low applied load (5 N), the worn surface appears mainly abrasive wear. As the applied load is greater than 25 N, adhesive wear is then predominated. Further increase in SiC_p addition to 15 and 20 vol.% reduces the wear and the wear mechanism appear to be abrasive over the load range. iii) Age-hardening was found to prolong the fatigue wear at low load (5 N) and low SiC_p addition (5-10 vol.%), plausibly due to the Al_2Cu and Mg_2Si precipitates to delay crack nucleation and void formation