

อิทธิพลของเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มีผลต่อสมบัติทางไทรโบโลยีของวัสดุเชิงประกอบ พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

Effect of h-BN content in PEEK composites on tribological properties

ปิติพงษ์ พรหมรักษ์ ทิพบรรณ ปะละไทย และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
Pitipong Prommarak Tippaban Palathai and Narongrit Sombatsompop

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
E-mail: accba_64@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มีผลต่อไทรโบโลยีของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน โดยนำเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนนำมาอัดขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ผลการทดลองพบว่าการเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ทำให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นและอัตราการสึกหรอมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักกดจาก 5 ถึง 100 นิวตัน พบว่าอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน/ความต้านทานการสึกหรอ/สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน/การอัดขึ้นรูป

Abstract

This research studied the effect of hexagonal boron nitride (h-BN) content on tribological properties of Poly(ether-ether-ketone; PEEK) composite. Hexagonal boron nitride particles with the contents of 5, 10, 15 and 20 wt% were mixed with PEEK and prepared by compression molding process. The results showed that the hardness of the PEEK composite were improved with an increase of h-BN content. The wear rate of the PEEK composite increased with h-BN addition. The wear rate of PEEK composite increased with applied loading from 5 N to 100 N. The increase of h-BN content reduced the friction coefficient and the PEEK composite with a 20 wt% h-BN showed the lowest friction coefficient.

Keyword: Hexagonal boron nitride/Poly(ether-ether-ketone)/Wear resistance/Friction coefficient/Compression molding

1. บทนำ

วัสดุพอลิเมอร์ถูกพัฒนาและนำมาใช้งานเพื่อป้องกันการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) สูงและมีน้ำหนักเบา [1] นอกจากนี้แล้วยังต้องมีสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) อาทิเช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการกระแทก และมีความแข็งสูง เป็นต้น [2]

พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน มีสมบัติเด่นคือ สมบัติเชิงกลดี ทนต่อความร้อนและมีความต้านทานต่อการสึกหรอดี ด้วยเหตุนี้จึงสนใจพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมาทำการวิจัยเพื่อใช้เป็นวัสดุต้านทานการสึกหรอ โดยทำการเพิ่มสมบัติด้วยการเติมสารตัวเติม (Filler) เข้าไปเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ และลดแรงเสียดทาน (Friction) [3] สารตัวเติมที่นิยมผสมเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติดังกล่าว เช่น เส้นใยคาร์บอน [4] อะลูมิเนียมออกไซด์ [5] เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ [6] ซิลิคอนคาร์ไบด์ [7] และซิลิคอนไดออกไซด์ [8] เป็นต้น ในงานวิจัยนี้สนใจวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อเติมลงไปในพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ได้แก่ เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ (h-BN) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเซรามิกสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่นของแข็ง (Solid lubricant) โครงสร้างผลึกของเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์มีแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ยึดเกาะระหว่างชั้น เป็นการยึดเกาะอย่างอ่อนทำให้ระหว่างชั้นสามารถเลื่อน (Slip) ผ่านกันได้ง่ายเป็นผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ [9] จากงานวิจัยของ Kimura และคณะ [10] ได้นำเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์เป็นสารเติมแต่ง (Additive) เติมลงไปในน้ำมันที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นในอัตราส่วนเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราการสึกหรอของวัสดุผสมมีค่าลดลง

ในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาอิทธิพลของปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ ที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ /พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

2. วิธีการ

2.1 วัสดุและสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน เกรด 450PF จากบริษัท Victrex ประเทศอังกฤษ ผงมีขนาดโดยเฉลี่ย 63.16 ไมครอน และผงเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ จากบริษัท MK IMPEX ประเทศแคนาดา มีขนาด 1.5 ไมครอน

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ในเอทานอลและนำไปผสมในเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แรงดันแม่พิมพ์ 10 เมกกะปาสคาล แล้วตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ

2.3 การวัดความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ

การวัดค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ใช้เครื่องวัดความแข็งระดับจุลภาค (Microhardness) รุ่น FM-700e ของบริษัท Future Technology ประเทศจีน โดยวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) กดเป็นเวลา 15 วินาที น้ำหนักกด 300 กรัม ทำการวัดค่าความแข็ง 15 ครั้ง ต่อ 1 ชิ้นงาน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบ

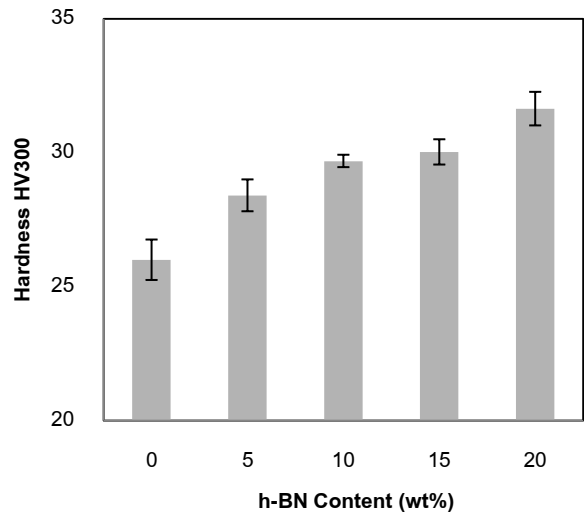
ความต้านทานการสึกหรอของวัสดุและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถทดสอบได้จากเครื่องทดสอบไทรโบโลยีแบบดิสก์ Ball-on-Disc โดยมีบอลเหล็กชุบโครเมียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร เป็นวัสดุคู่สัมผัสใช้อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที น้ำหนักกดในการทดสอบเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 80 และ 100 นิวตัน ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถวัดได้จากเครื่องทดสอบ ส่วนการสึกหรอสามารถวิเคราะห์ได้จากรอยสึกหรอบนชิ้นงานโดยใช้เครื่อง Profilometer ของบริษัท Mitutoyo รุ่น SV3000 ประเทศญี่ปุ่น โดยวัดความลึกของรอยสึกหรอ 4 จุด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเป็นพื้นที่การสึกหรอ และนำมาคำนวณปริมาณการสึกหรอ นอกจากนั้นรอยสึกหรอถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น JEOLJFM-6110LV ประเทศญี่ปุ่น

3. ผลและอภิปราย

3.1 อิทธิพลของเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ส่งผลต่อความแข็งของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

จากการทดสอบความแข็งของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน พบว่า การเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ส่งผลให้ความแข็งของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีความแข็งสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ร้อยละ 5 ถึง 20 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์เป็นวัสดุที่มีความแข็งสูงเท่ากับ 1500 HV [11] เมื่อกระจายตัวอยู่ในวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์

อีเทอร์คีโตนจะสามารถช่วยรับแรงได้ดีส่งผลทำให้ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีค่าสูงขึ้น

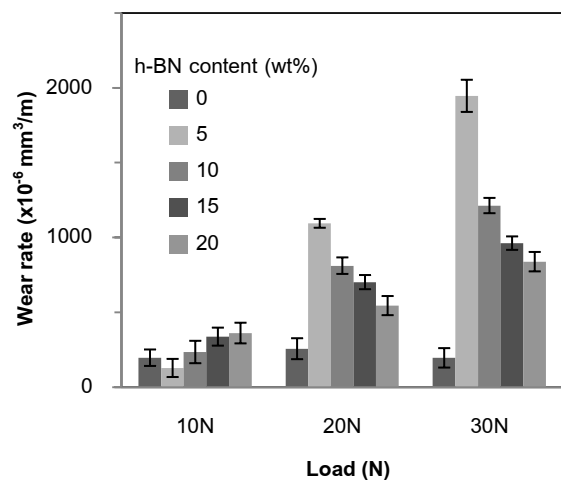


รูปที่ 1 ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนจากการเติมปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ร้อยละโดยน้ำหนัก

3.2 อิทธิพลของปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ส่งผลต่อสมบัติไทรโบโลยีของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

จากรูปที่ 2 แสดงอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบที่น้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน พบว่าค่าอัตราการสึกหรอสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

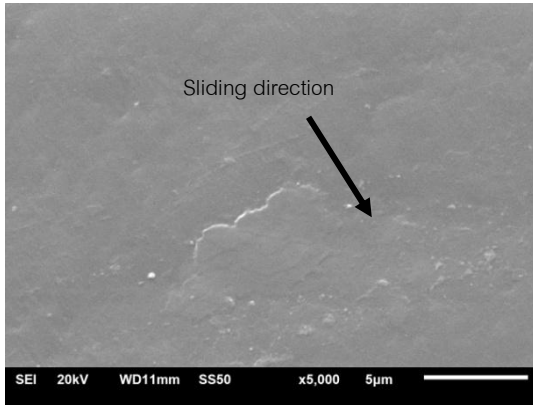
ค่าอัตราการสึกหรอที่น้ำหนักกดต่ำ (10 นิวตัน) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ อัตราการสึกหรอมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากขณะทำการทดสอบการสึกหรออนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มีความแข็งหลุดออกจากผิววัสดุและขูดผิวชิ้นงานทำให้เกิดการสึกหรอแบบขูดถู (Abrasive wear) ดังแสดงในรูป 3b เมื่อเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงานที่ไม่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ผ่านการทดสอบการสึกหรอ (รูป 3a)



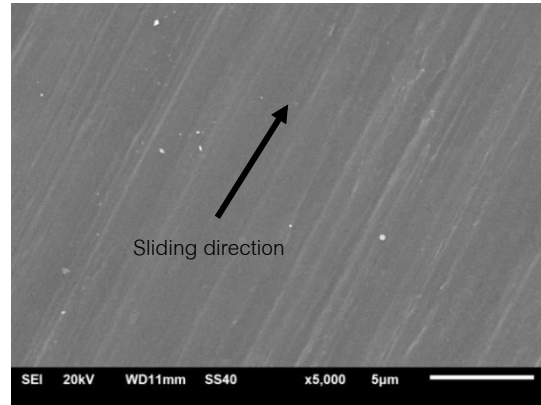
รูปที่ 2 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบที่ไม่เติมและเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 wt%

ค่าอัตราการสึกหรอที่น้ำหนักกดสูง (20 และ 30 นิวตัน) พบว่าเมื่อเพิ่มเฮกซะโบรอนไนไตรด์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก อัตราการสึกหรอมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear) ที่รุนแรง และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเฮกซะโบรอนไนไตรด์ในพอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตนที่ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตนมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากความแข็งที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 1 และสมบัติการเป็นสารหล่อลื่นของแข็ง (Solid lubricant) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ [9] เมื่อกระจายตัวอยู่ในวัสดุเชิงประกอบพอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตนในปริมาณมาก

ทำให้แรงเสียดทานระหว่างวัสดุคู่สัมผัส (Counterpart material) ลดลงมาก สอดคล้องกับรูป 4b และ 4c เดิมอนุภาคเฮกซะโบรอนไนไตรด์ในปริมาณร้อยละ 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่ารอยการสึกหรอมีความหยาบและรอยขัดถูมีความรุนแรงน้อยกว่าการเติมอนุภาคเฮกซะโบรอนไนไตรด์ในปริมาณน้อยร้อยละ 5 โดยน้ำหนักดังแสดงในรูป 4a นอกจากนี้แล้วอนุภาคเฮกซะโบรอนไนไตรด์ยังเป็นวัสดุที่มีการนำความร้อน (thermal conductivity) สูง เมื่อเติมลงไปวัสดุเชิงประกอบพอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตนในปริมาณมาก จะช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างวัสดุคู่สัมผัสและลดอัตราการสึกหรอจากความร้อนระหว่างการทดสอบการสึกหรอ [12]

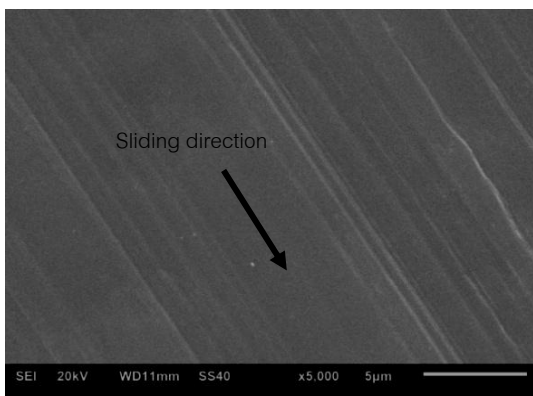


a) ไม่เติม h-BN

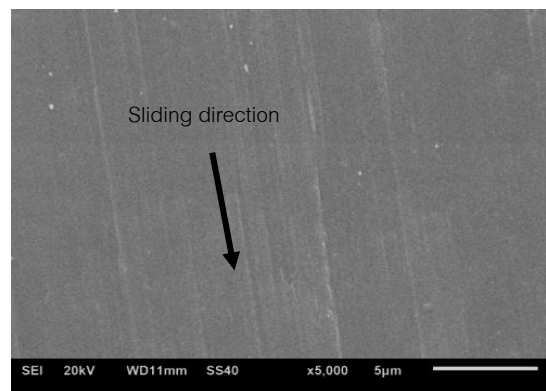


b) 20 wt% h-BN

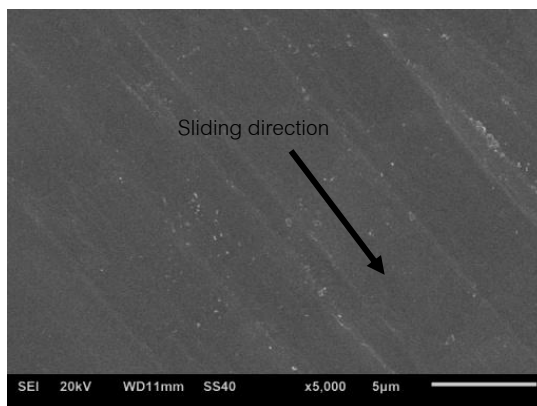
รูปที่ 3 รอยสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโบรอนไนไตรด์-พอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตน น้ำหนักกด 10 นิวตัน ระยะทาง 1 กิโลเมตร



a) 5 wt% h-BN



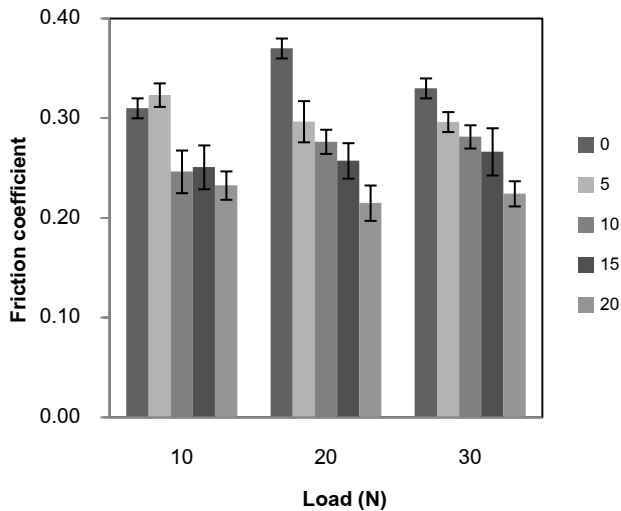
b) 15 wt% h-BN



c) 20 wt% h-BN

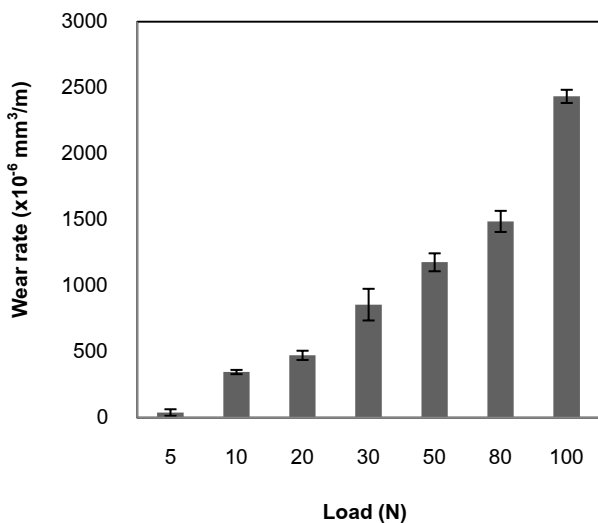
รูปที่ 4 รอยสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโบรอนไนไตรด์-พอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตน น้ำหนักกด 30 นิวตัน ระยะทาง 1 กิโลเมตร

รูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนที่ไม่เติมและเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนที่น้ำหนักด 10, 20 และ 30 นิวตัน มีแนวโน้มที่ลดลง



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบที่ไม่เติมและเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 wt%

รูปที่ 6 แสดงอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนที่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักกด 5 ถึง 100 นิวตัน ทดสอบด้วยความเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที ระยะทางทดสอบ 1 กิโลเมตร พบว่า เมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักกดเป็นการเพิ่มแรงเค้นให้กับผิววัสดุเชิงประกอบขณะทำการทดสอบการสึกหรอ



รูปที่ 6 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบที่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในปริมาณ 20 wt% ที่น้ำหนักกดต่างกัน

4. บทสรุป

การเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์พบว่าทำให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนมีแนวโน้มเพิ่ม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ในพอลิเอทีเทอร์อีโตนที่ปริมาณร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากความแข็งที่เพิ่มขึ้นและอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์เป็นวัสดุที่มีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นของแข็ง นอกจากนี้ น้ำหนักกดที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์อีโตนเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้การเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ยังส่งผลให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัย ขอขอบคุณโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (National Research Universities; NRU) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Nanotechnology Center; NANOTEC) รหัสโครงการ NN-B-22-CT3-21-52-07 ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Zhang, G. and Schlarb, A.K., Morphologies of the wear debris of polyetheretherketone produced under dry sliding conditions: Correlation with wear mechanisms. *Wear* 2009. Vol. 266, pp. 745-752.
- Gwidon, S. and Andrew, B., *Engineering Tribology*, Butterworth Heinemann, Oxford. 2001. No.2, pp. 601 – 603.
- Hong-Bin, Q., Qiang, G., Ai-Guo, T., Guo-Liang, P. and Le-Bo, X., A study on friction and wear characteristics of nanometer Al_2O_3 /PEEK composites under the dry sliding condition. *Tribology International* 2007. Vol. 40, pp. 105-110.
- Fu, H., Liao, Bo., Fangjuan, Q., Bao-Chen, S., Ai-Ping, L., and De-Liang, R., The application of PEEK in stainless steel fiber and carbon fiber reinforced composites. *Composites: Part B* 2008, Vol. 39, pp. 585-591.
- Hong-Bin, Q., Qiang, G., Ai-Guo, T., Guo-Liang, P. and Le-Bo, X., A study on friction and wear characteristics of nanometer Al_2O_3 /PEEK composites under the dry sliding condition. *Tribology International* 2007. Vol. 40, pp. 105-110.
- Wang, Q., Xue, Q., Liu, H., Shen, W. and Xu, J., The effect of particle size of nanometer ZrO_2 on the tribological behaviour of PEEK. *Wear* 1996. Vol. 198, pp. 216-219.

7. Zhang, G., Schlarb, A., Tria, S. and Elkedim, O., Tensile and tribological behaviors of PEEK/nano-SiO₂ composites compounded using a ball milling technique. *Composites Science and Technology* 2008. Vol. 68, pp. 3073-3080.
8. Davim, J. P. and Cardoso, R., 2009, Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding. *Wear* 2009. Vol. 13, pp. 795–799.
9. Erdemir, A., *Modern Tribology Handbook*, CRC Press., Oxford 2001. No. 2.
10. Kimura, Y., Wakabayashi, T., Okada, K., Wada, T. and Nishikawa, H., Boron nitride as a lubricant additive. *Wear* 1999. Vol. 232, pp. 199-206.
11. Jansen, M., *High Performance Non-Oxide Ceramics II*. Springer, Berlin 2002. No. 102.
12. Tharajak, J., Palathai, T. and Sombatsompop N. Tribological Properties of Flame Sprayed Hexagonal Boron Nitride/Polyetheretherketone Coatings. *Advanced Materials Research* 2012. Vol. 510, pp. 333–336.