

Вплив швидкості ковзання на шорсткість та зносостійкість полімерних матеріалів

Проаналізовано мікрогеометричні параметри поверхні полімерного матеріалу Zedex zx-100k після тертя в умовах ковзання. Встановлено оптимальну швидкість ковзання для пари тертя полімер-сталь, що забезпечує максимальне згладжування мікронерівностей і покращення трибологічних характеристик контакту завдяки пружно-пластичній деформації полімеру та самозмашуванню.

Через широке використання полімерних матеріалів у промисловості важливо досліджувати їхні властивості та зміни під час експлуатації, особливо зносостійкість при різних режимах швидкості ковзання. У цьому дослідженні вивчено вплив швидкості ковзання на мікрорельєф та зносостійкість полімерів. Шорсткі поверхні сприяють більш ефективній адсорбції [1]. Таким чином, шорстка поверхня може адсорбувати полімер, тоді як гладка поверхня з того ж матеріалу цього не робить. Отже, шорсткість може значно впливати на взаємодію між полімером і поверхнею [2]. Трибопари полімер-сталь поєднують високу механічну міцність і зносостійкість з низьким коефіцієнтом тертя та самозмашувальними властивостями полімерів, що забезпечує їх надійність у тривалих і складних експлуатаційних умовах [3].

Дослідження мікрорельєфу поверхні полімерів має велике значення для оцінки їх експлуатаційних властивостей. Оптичні профілометри дозволяють отримати високоточні тривимірні зображення мікрорельєфу, що є важливим для аналізу змін поверхні після трибологічних тестів. На відміну від контактних методів, вони не пошкоджують поверхню зразка, що особливо актуально для м'яких полімерів, та дозволяють вимірювати параметри шорсткості, такі як R_a , R_{pk} , R_{vk} та інші. Це забезпечує комплексну оцінку якості поверхні та її зміни з часом із мінімальним впливом на досліджувані зразки.

Таким чином, використання оптичних методів дослідження є оптимальним інструментом для точного аналізу мікрорельєфу полімерних матеріалів, сприяючи глибшому розумінню їх поведінки та властивостей під час експлуатації.

Ефективність використання кривої Аббота для трибологічної оцінки поверхні стає очевидною при вивченні експлуатаційних характеристик матеріалів. Як зазначено в роботі [4], поверхні можуть мати однакове середнє арифметичне відхилення профілю (R_a), але відрізнятися кривими Аббота, що пояснюється різною формою нерівностей та їх розподілом по висоті. Аналіз кривих Аббота для контактних поверхонь після лабораторних випробувань показує тенденції, пов'язані з іншими трибологічними параметрами, такими як знос і коефіцієнт тертя, і може рекомендувати оптимальні умови експлуатації, такі як навантаження та швидкість.

Криві Аббота дозволяють моделювати вплив зносу і припрацювання, надаючи інформацію про топографію поверхні, швидкість пошкодження шару, несучу здатність та здатність до утримання мастила [5]. Дослідження показують, що збільшення шорсткості поверхні полімеру (1,9–4,1 мкм) підвищує температуру поверхні на 5–15 °С та коефіцієнт тертя з 0,38 до 0,45 [6].

Під час експлуатації підшипників відбувається інтенсивне зношування робочих поверхонь. Поверхні тертя набувають геометричної форми та шорсткості, що найкраще відповідають умовам експлуатації [7]. Це призводить до підвищених контактних напружень, термічних процесів у поверхневому шарі матеріалу та зниження його фізико-механічних властивостей. Оптимальна початкова мікрогеометрія профілю та фізико-механічні властивості поверхневого шару скорочують період припрацювання та стабілізації робочого стану. Аналіз мікрогеометричних показників контактних поверхонь є важливим для прогнозування їх терміну служби.

Метою даного дослідження є оцінка впливу зміни швидкості ковзання на мікрорельєф та зносостійкість полімерних матеріалів, що включає аналіз поведінки поверхневих шарів під дією різних навантажень і умов тертя, визначення оптимальних режимів експлуатації, а також виявлення закономірностей, які сприяють мінімізації зносу та покращенню трибологічних характеристик полімерів у контакті з іншими матеріалами.

Для даного дослідження було проведено три серії тестувань за різними швидкостями ковзання, а саме: 1,4 м/с, 2,8 м/с та 5,5 м/с, щоб оцінити вплив швидкості на мікрорельєф та зносостійкість полімерного матеріалу Zedex zx-100k. Додатково було включено контрольний зразок, який не піддавався тестуванню, для порівняння змін, які відбуваються під впливом ковзання. Результати дослідження щодо функціональних параметрів профілю шорсткості мікрорельєфу поверхні для досліджуваних зразків наведено на рис. 1.

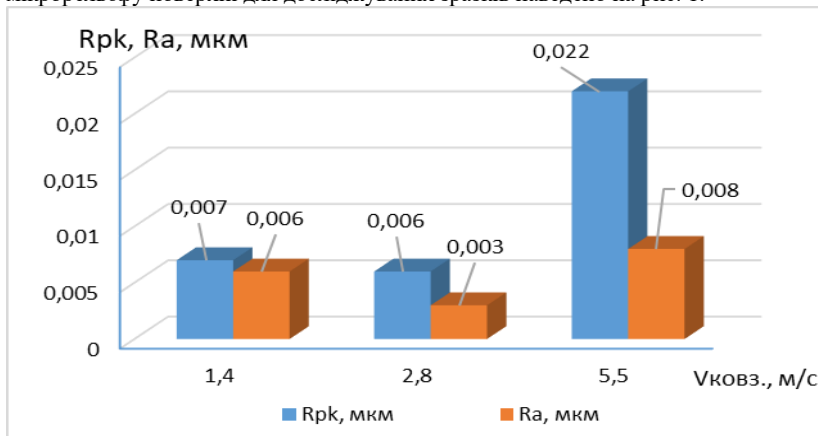


Рис. 1. Залежність параметрів середньої арифметичної висоти виступів профілю (R_{pk}) та середнього арифметичного відхилення профілю (R_a) від швидкості ковзання.

Зміна параметру $R_{\max}$, що представляє максимальну висоту нерівностей на поверхні, має значну залежність від швидкості ковзання. Оптимальний режим ковзання при швидкості 2.8 м/с забезпечує найефективніший розподіл навантаження та максимальну опорну здатність поверхні. Це підтверджується зниженими значеннями параметрів шорсткості, що свідчить про згладжування мікронерівностей і покращення трибологічних характеристик завдяки пластичній деформації полімеру і самозмашувальним властивостям.

Навпаки, експерименти при високій швидкості ковзання 5.5 м/с продемонстрували тенденцію до руйнування поверхні та зменшення контактної площі. Це проявляється у збільшенні шорсткості поверхні через термічні та механічні пошкодження, які знижують якість і функціональні можливості матеріалу. Таким чином, результати дослідження демонструють, що швидкість ковзання є критичним фактором, який впливає на поверхневу шорсткість і зносостійкість полімерних матеріалів. Оптимізація цього параметру дозволяє підвищити ефективність експлуатації та тривалість служби матеріалів у трибологічних застосуваннях.

Варіація параметра середньої відносної опорної довжини профілю (центральна частина) надає важливу інформацію про те, як змінюється контактна поверхня під впливом різних режимів ковзання. Цей параметр показує частку поверхні, що бере участь у контактних взаємодіях (рис. 2).



Рис. 2. Оцінка мікрорельєфу поверхні полімеру Zedex zx-100k після тертя.

Для контрольного зразка цей показник становив 47%, що відображає початковий стан поверхні без впливу ковзання. При швидкості ковзання 1.4 м/с значення підвищилося до 59%, що ілюструє поліпшення розподілу навантаження завдяки згладжуванню мікронерівностей і зменшенню шорсткості. Така зміна свідчить про ефективніший контакт і зменшення локальних напружень. Оптимальний режим ковзання досяг найбільшого значення - 71% (при 2.8 м/с), що відображає найкращий стан контактної поверхні з рівномірним розподілом навантаження та значною участю поверхні у взаємодії.

Проте при надмірно високій швидкості ковзання параметр знизився до 37%, що є наслідком значного погіршення стану контактної поверхні. Це може бути пов'язано з перегрівом, оплавленням та утворенням дефектів, що веде до зменшення ефективної контактної площі та підвищення локальних напружень, зрештою спричиняючи руйнування поверхні.

Висновок

Встановлено, що при швидкості ковзання 2.8 м/с спостерігається максимальний рівень згладжування поверхні полімерного матеріалу Zedex zx-100k, що сприяє зниженню зносу та підвищенню ефективності роботи.

Висока швидкість ковзання (5.5 м/с) призводить до значного погіршення стану контактної поверхні. Це проявляється у збільшенні шорсткості через термічні та механічні пошкодження, що негативно впливає на якість поверхні та знижує її здатність до ефективної роботи.

Отримані результати мають практичне значення для вибору оптимальних умов експлуатації полімерних матеріалів у трибосистемах. Виявлені закономірності можуть бути використані для покращення трибологічних характеристик полімер-металевих пар, що сприятиме підвищенню їхньої зносостійкості та довговічності.

Список літератури

1. Jack Douglas. «How Does Surface Roughness Affect Polymer-Surface Interactions?», 1989, С. 3707-3716.
2. Smith J., Brown P. Analysis of polymer composite materials for sliding bearings. Tribology International, 2022, 145, С. 23-29.
3. Lee Y., Kim S. Tribological properties of polymer composites. Wear, 2021, 484-485, С. 152-159.
4. Tomescu L., Ripa M., Georgescu C. Analysing Abbott Curve for Composites with Polymeric Matrix and Fibbers. Tribology in Industry. 2001. Vol. 23, Iss. 3-4. С. 65-74
5. W. Grzesik, T. Wanat. Comparative assessment of surface roughness produced by hard machining with mixed ceramic tools including 2D and 3D analysis. Journal of Materials Processing Technology. 2005. 169(3). С. 364–371. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.04.080
6. Mertens A., Kumar P., Senthilvelan S. The effect of the mating gear surface over the durability of injection-molded polypropylene spur gears. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2016. 230(12). С.1401-1414. doi:10.1177/1350650116635423
7. Tkachuk A., Zabolotnyi O., Chetverzhuk T., Svirzhevskiy K., Kononenko A. Increasing the Wear Resistance of the Friction Surfaces of Rotating Parts Made of Bearing Steels Through Hardening Processing Methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1060. 012025 doi:10.1088/1757-899X/1060/1/012025