

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ МАШИН НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ РЕЛЬЕФНЫХ МИКРОСТРУКТУР

Баишмур К.А.

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Ключевые слова: бионика, геометрическая форма, трибопара скольжения, микрорельеф, природоподобные технологии, текстурирование, трение, износ.

Аннотация. На основе CFD-моделирования с целью выяснения влияния на несущую способность и коэффициент трения проанализированы рельефные микроструктуры сферической и эллипсоидной форм с различной ориентацией относительно движения смазки. Обнаружено, что эллипсоидные структуры с большой осью, расположенной вдоль направления потока смазки, обладают лучшей несущей способностью и меньшим трением.

INCREASING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF MACHINE TRIBO- COUPLES BASED ON DETERMINISTIC RELIEF MICROSTRUCTURES

Bashmur K.A.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Keywords: bionics, geometric shape, sliding tribopair, microstructures, texturing, nature-inspired systems, friction, wear.

Abstract. Using CFD modeling, spherical and ellipsoidal relief microstructures with different orientations relative to lubricant flow were analyzed to determine their impact on load-bearing capacity and friction coefficient. It was found that ellipsoidal structures with their major axis aligned with the lubricant flow direction exhibit better load-bearing capacity and lower friction.

В механических системах трибосопряжений, таких как «подшипник-ротор», «цилиндр-гильза», зубчатая передача и других, значительные потери энергии происходят из-за трения и износа. Поэтому снижение ненужного трения и чрезмерного износа играет решающую роль в энергосбережении и повышении механической эффективности машин [1].

Профиль поверхности играет важную роль в управлении трением и создании гидродинамического давления [2], что побудило исследователей активно искать методы модификации формы сопрягаемых поверхностей для облегчения и оптимизации формирования несущей способности и снижения износа в трибосопряжениях. Принцип повышения эксплуатационных свойств за счет улучшения технического рисунка поверхности был применен в компьютерах для улучшения чтения жестких дисков [3]; в упорных и радиальных подшипниках различных машин [4]; для снижения трения поршневых колец [5].

Микроструктуры представляют собой сформированный рельеф на рабочей поверхности трибосопряжения и могут быть выполнены согласно ГОСТ 24773-81 в форме канавок или дискретных неровностей. К детерминированным микроструктурам можно отнести те неровности, которые выполнены на базе биологического прототипа. Одним из таких случаев являются эллипсоидные микроструктуры, присущие морфологической структуре надкрыльев жуков-

плавунцов [6], отличающиеся низким гидравлическим сопротивлением и высокой износостойкостью, и представляющие предмет исследования настоящей работы. Целью исследования являлась оценка влияния ориентации эллипсоидных структур относительно движения смазки на несущую способность и коэффициент трения в трибосопряжении.

Результаты были получены посредством CFD-моделирования в Ansys Fluent на основе решения уравнений Навье-Стокса с кавитационной моделью Релея-Плессета.

Рассматривались два варианта эллипсоидных структур: вдоль движения смазки (Э1) и поперек неё (Э2), а также сферическая структура (С) для сравнения. С гладкой поверхностью сопоставление не приводится, т.к. подобные исследования уже представлены в работах [5, 6]. Ввиду прямой пропорциональности несущая способность характеризовалась безразмерным гидродинамическим давлением, полученным на единичной рельефной структуре. Все структуры имели одинаковую глубину (63 мкм) и площадь ($1,18 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$), занимающую около 25% расчетного домена.

Сведение полей безразмерного гидродинамического давления для трех вариантов структур представлена на рисунке 1. Значения соответствующих коэффициентов трения представлено на рисунке 2.

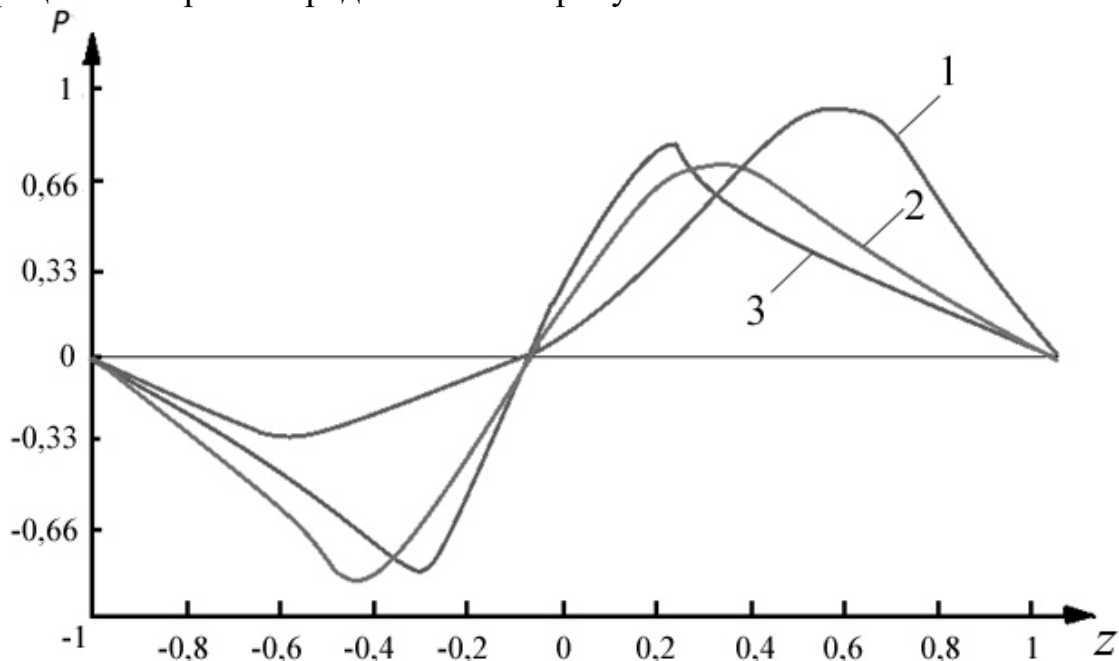


Рис. 1. Распределение давления на рельефной структуре вдоль движения смазки (параметры безразмерные): 1 – Э1; 2 – Э2; 3 – С

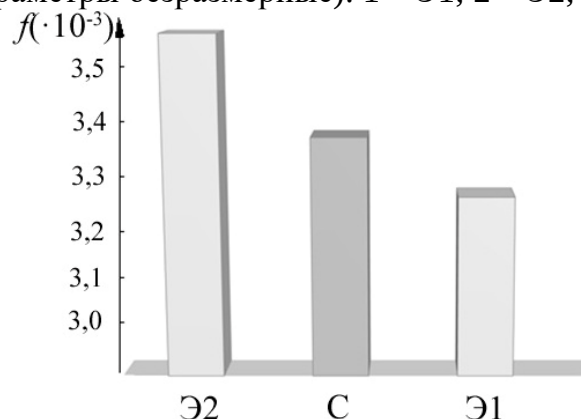


Рис. 2. Коэффициент трения рельефных структур

Форма эллипсоидной структуры с большой осью эллипса, направленной вдоль направления потока, способствует созданию как минимального отрицательного давления на входе за счет кавитационного эффекта, так и максимальное положительное давление за счет эффекта гидродинамического клина, и, таким образом, обладает максимальной несущей способностью, что увеличивает зазор в трибосопряжении и коэффициент трения.

Список литературы

1. Sun X., Jiang J., Guo F., Li X., Wang D. Recent advances in laser surface texturing for improving tribological properties of materials (2020-2025) // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2025, vol. 141, pp. 3557-3598.
2. Dokshanin S.G., Tynchenko V.S., Bukhtoyarov V.V., Bashmur K.A., Kukartsev V.V. Investigation of the tribological properties of ultrafine diamond-graphite powder as an additive to greases // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 560, p. 012192.
3. Blunt L., Xiao S. The use of surface segmentation methods to characterise laser zone surface structure on hard disc drives // Wear. 2011, vol. 271, pp. 604-609.
4. Petrovsky E.A., Bashmur K.A., Shadchina Yu.N., Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.S. Study of microrelief forming technology on sliding bearings for oil and gas centrifugal units // Journal of Physics: Conference Series. 2019, vol. 1399, p. 055032.
5. Башмур К.А., Петровский Э.А. Технологические возможности ячеистого рельефа для обеспечения эксплуатационных свойств цилиндрических поверхностей технологических агрегатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – №11. – С. 99-107.
6. Башмур К.А., Загуляев А.В., Агафонов Е.Д., Небылицын М.В. Потенциал устойчивого развития горной техники с опорами скольжения на основе концепций «зеленой трибологии» // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, №2. – С. 787-797.

Сведения об авторе:

Башмур Кирилл Александрович – аспирант, старший преподаватель.