

УДК 621.891

Андріюк І.Р., здобувач вищої освіти спеціальності G8 Матеріалознавство
Науковий керівник: Зіборов К.А., к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГУСТИНИ МОТОРНОЇ ОЛИВИ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕТАЛЕЙ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Вступ. Трибологічні процеси суттєво впливають на ефективність роботи механічних систем. Зниження тертя та зносу є одним з основних завдань машинобудування, особливо в умовах граничного змащення, де мастильна плівка не забезпечує повного розділення поверхонь. У дослідженнях розглянуто два ключові чинники: в'язкість мастильних олив та наявність твердих забруднень, що комплексно впливають на коефіцієнт тертя та знос.

Мета роботи. Встановити закономірності впливу в'язкості мастила та концентрації твердих частинок на трибологічну поведінку металевих поверхонь.

Матеріали та методи. Дослідження базуються на результатах експериментів із лазерно-текстурованими зразками сплаву Ti6Al4V, змащеними синтетичними оливами різної в'язкості (T9, VG46, VG100), та випробуваннях зворотно-поступального ковзання пари «поршневе кільце – гільза циліндра» у забруднених моторних оливах (SAE 20W50) з частинками Fe, Cu, Al, Pb і SiO₂ у концентраціях 40-100 ppm.

Результати досліджень. Показано, що при низьков'язких оливах спостерігається зменшення коефіцієнта тертя на 8–10% порівняно з нетекстурованими поверхнями. Високов'язкі оливи збільшують тертя, але покращують зносостійкість завдяки утворенню стійкішої мастильної плівки. Оптимальним виявилось поєднання середньої щільності текстури з мастилами VG46-VG100. Забруднення мастил частинками Fe, Cu, Al та SiO₂ призводить до зростання тертя та зносу. Зі збільшенням концентрації забруднень коефіцієнт тертя та втрати потужності зростають майже лінійно. Найбільш руйнівним чинником є частинки заліза, тоді як SiO₂ чинить менший абразивний вплив завдяки ефекту перекочування. Надана фізично інформативна формула у вигляді аналітичної моделі, яка описує вплив ключових властивостей мастильних олив на коефіцієнт граничного тертя (μ) у режимі граничного змащення:

$$\mu = \mu_0 + \alpha \left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)^p + \beta \frac{C}{C_0} + \gamma \frac{R_a}{R_{a0}} - \delta \frac{TD \cdot \eta}{\eta + \eta^*} - \varepsilon \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя у стаціонарному граничному режимі (безрозмірний), μ_0 – базовий коефіцієнт тертя для «чистого» контакту (етал/метал) при еталонних умовах, η – кінематична в'язкість мастила (мм²/с або cSt), η_0 – еталонна в'язкість (для нормалізації, напр. 46 мм²/с), p – експонента, що відображає як чутливо в'язкість впливає на μ (експериментальний параметр, зазвичай $0 < p \leq 1$), C – концентрація твердих забруднень (ppm), C_0 – еталонна концентрація (наприклад, 1 ppm або інше для нормалізації), R_a – середній параметр шорсткості поверхні (мкм), R_{a0} – еталонне значення шорсткості для нормалізації, TD – щільність текстури поверхні (доля, від 0 до 1), η^* – характеристична в'язкість, що модерує ефект насичення (щоб уникнути лінійного нескінченного зростання при великих η), A – концентрація трибохімічних присадок/активних компонентів (ppm або відносна доля), A_0 – еталонна концентрація присадок, $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ –

емпіричні коефіцієнти (позитивні), які підбираються під конкретну систему експериментально.

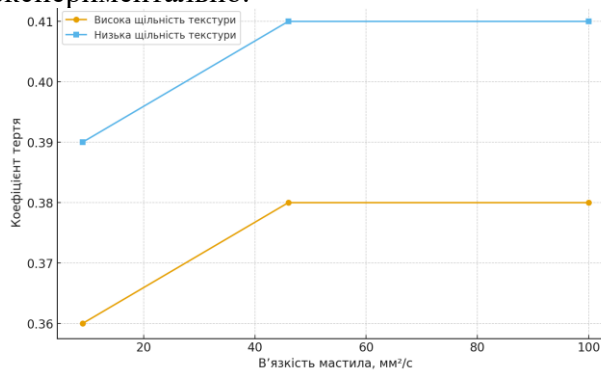


Рисунок 1 – Вплив в'язкості мастила на коефіцієнт тертя

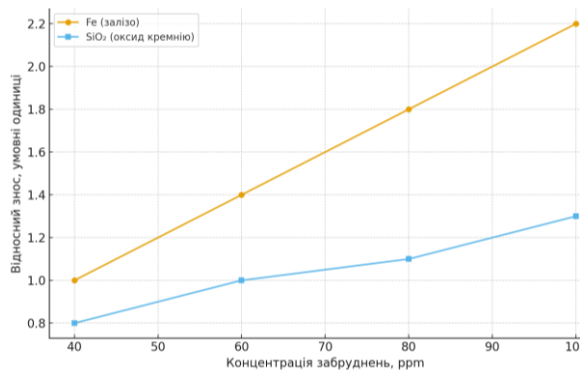


Рисунок 2 – Вплив концентрацій твердих забруднень на знос

Рисунок 1 ілюструє залежність коефіцієнта тертя від кінематичної в'язкості мастильних оливо для поверхонь із різною щільністю лазерної текстури. З графіка видно, що зі збільшенням в'язкості мастила коефіцієнт тертя спочатку знижується, а далі стабілізується на певному рівні.

Поверхні з вищою щільністю текстури $TD \approx 40\%$ забезпечують нижчі значення коефіцієнта тертя при використанні малов'язких оливо T9, $\eta \approx 9$ мм²/с, завдяки кращому утриманню мастила у мікрорезервуарах.

Рисунок 2 демонструє вплив концентрації твердих забруднень на відносний знос деталей при граничному змащенні.

Зі збільшенням кількості абразивних частинок 40 - 100 ppm знос зростає майже лінійно. Найбільш шкідливим чинником виявилися частинки заліза Fe, що викликають мікрорізання та пластичну деформацію поверхонь.

Висновки. Узагальнюючи результати обох експериментів, можна зробити висновок, що оптимальний трибологічний стан пари тертя досягається при чистому мастилі середньої в'язкості $\eta \approx 40-60$ мм²/с і контрольованій мікротекстурі поверхонь, яка сприяє утворенню стабільної граничної плівки та мінімізує контакт метал – метал.

Отримані залежності дозволяють прогнозувати поведінку мастильних матеріалів і визначати параметри, за яких тертя та знос у деталях двигуна будуть мінімальними.

Перелік посилань

1. Ali MKA, Xianjun H. Improving the tribological behavior of internal combustion engines via the addition of nanoparticles to engine oils. *Nanotechnology Reviews* 2015; 4:347-358.
2. Turkson RF, Yan F, Ali MKA, Hu J. Artificial neural network applications in the calibration of spark-ignition engines: An overview. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2016; 19: 1346-1359.
3. Ali MKA, Xianjun H, Turkson RF, Ezzat M. An analytical study of tribological parameters between piston ring and cylinder liner in internal combustion engines. *Proceedings of the institution of mechanical engineers part k-journal of multi-body dynamics* 2015;230:329-349.
4. Durga V, Rao N, Boyer B, Cikanek HA, Kabat DM. Influence of surface characteristics and oil viscosity on friction behaviour of rubbing surfaces in reciprocating engines. In: *Proceedings of fall technical conference ASME-ICE, New York* 1998; 31: 23-35.