

Диха О.В.Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: tribosenator@gmail.com**ГРАНИЧНЕ ЗМАЩУВАННЯ
В ТРИБОСИСТЕМАХ КОВЗАННЯ
ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ**

УДК 621.891

Проведений аналіз роботи вузлів тертя двигунів внутрішнього згорання. Встановлено, що практично усі вузли тертя двигунів при пуску і зупинці знаходяться в стані граничного змащування з переважним впливом пусків двигуна на знос циліндрів і підшипників колінчастого валу. При аналізі граничного змащування з точки зору хімії встановлено, що мастильна плівка складається з одного або декількох шарів полярних молекул, розташованих перпендикулярно твердій поверхні. Зазначено, що узагальнені залежності коефіцієнта тертя від температури більше корисні для розуміння протікаючих процесів, чим для практичного використання.

Ключові слова: граничне змащування, вузли тертя ковзання, двигун внутрішнього згорання, зношування, перехідні температури

1. Вступ

Граничне змащування – змащування, при якому тертя і знос між поверхнями, що знаходяться у відносному русі, визначаються властивостями поверхонь і властивостями змащувального матеріалу відмінними від об'ємних. Рідинне змащування – змащування, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей здійснюється рідким змащувальним матеріалом. Гідродинамічне змащування – рідинне змащування, при якому повне розділення поверхонь тертя здійснюється в результаті тиску, що самоутворюється в шарі при відносному русі поверхонь. Напіврідинне (змішане) змащування – змащування, при якому частково здійснюється рідинне змащування.

Граничне змащування – найпоширеніший вид змащування. Аналіз роботи вузлів тертя двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) [1] показує, що практично усі вузли тертя ДВЗ при пуску і зупинці знаходяться в стані граничного змащування. При цьому дослідження підтверджують факт непропорційного сильного впливу пусків двигуна на знос його основних вузлів і, раніше усього циліндра і підшипників колінчастого валу. Мірою цього впливу є пробіг еквівалентний пусковому зносу z_w . На підставі результатів більше 20 натурних випробувань двигунів зібраних в роботі Лосавіо Г.С. отримана [1] гіперболічна залежність середнього значення від температури двигуна або довкілля:

$$z_w = 75 \frac{t_0}{t_0 + t},$$

де t – температура двигуна або навколишнього повітря в °С;

t_0 – параметр.

Великий розкид значень z_w з коефіцієнтом варіації $v = 0,3 - 0,4$ свідчить про те, що окрім температури на пусковий знос сильно впливають інші чинники.

Окрім температури на пусковий знос роблять вплив безліч інших чинників: конструкція двигуна і його мастильної системи; вид і в'язкість мастила, вид присадки; тривалість простою двигуна між зупинкою і пуском.

З аналізу виконаних досліджень випливає, що головна причина високого зносу вузлів тертя автомобіля при пусках є погані умови змащування поверхонь тертя під час пуску. При стаціонарному режимі роботи двигуна змащування відповідальних вузлів тертя відбувається в гідродинамічному режимі. При пуску вузли тертя поверхню працюють в умовах граничного, сухого або змішаного змащування.

Переконливим доказом висновку про недостатнє змащування в період пуску як головної причини високого пускового зносу є поетапний аналіз процесу пуску: поворот колінвалу стартером, перші спалахи в циліндрах, обертання валу на стійких холостих обертах. На кожному з цих етапів різні умови змащування. З цього поетапного аналізу виходять, наприклад, такі локальні оцінки для конкретного двигуна: поворот від стартера 1 - 5 обертів, обертання при спалахах близько 100 обертів, обертання стаціонарне до подавання мастила ще 100 обертів колінвала. Таким чином, близько 200 - 250 обертів колінчастий вал здійснює в умовах граничного змащування при досить великих навантаженнях. Ці умови по змащуванню є головною причиною пускового зносу шийок валу і підшипників.

Якщо затримка подання мастила підшипникам після початку пуску оцінюється 30 - 60 с, то затримка подання мастила на стінки циліндра оцінюється часом від 2 до 5 хвилин, залежно від температури і в'язкості оливи. Значною мірою цим пояснюється той факт, що знос циліндра і поршневих кілець займає перше місце в рейтингу найбільш зношуваних вузлів двигуна.

Головний висновок в аналізі причин високого пускового зносу полягає в досконалості змащування поверхонь, яке, як правило, є граничним, напівсухим або змішаним. Встановлено, що пусковий знос рівний приблизно половині усього експлуатаційного зносу.

Вузли тертя, що змащуються рідким мастилом, як правило, мають системи примусового подавання мастильного матеріалу, тобто мастило в процесі роботи відновлюється у вузлах тертя, що змащуються пластичним мастилом, товщина мастильного шару по мірі експлуатації зменшується внаслідок зносу мастила. У цих умовах основним режимом є граничне змащування.

2. Молекулярна структура граничних мастил та їх вплив на сили тертя

Мінеральні і рослинні оливи складаються з вуглеводневих з'єднань з домішкою інших елементів. Молекули мінеральних олив мають вигляд довгих ланцюгів атомів вуглецю з приєднаними до них атомів водню або містять кільця з довгими бічними ланцюгами. Рослинні оливи складаються з тригліцеридів жирних кислот і складних ефірів.

Тригліцериди мають три довгі вуглецеві ланцюги, сполучені через карбоксильні зв'язки з ядром з трьох атомів вуглецю. Жирні кислоти і складні ефіри – довгі ланцюги атомів вуглецю з приєднаним до них атомами водню. На одному кінці ланцюга є гідроксильний (ОН) радикал, на іншому кінці карбоксильний (COOH).

Перша особливість усіх молекулярних структур це довгий ланцюг. Біля твердої поверхні молекулярні ланцюги прагнуть бути перпендикулярними цій поверхні, зчепившись з нею одним кінцем, що забезпечує розділення двох твердих поверхонь.

Інша особливість довгих ланцюгів – схильність збиратися в скупчення і при досить великій кількості молекул вони можуть повністю покрити поверхню молекулярним шаром, що має велику поперечну міцність.

Третя структурна особливість довгої молекули, що сприяє утворенню міцної адсорбційної плівки, полягає в наявності активного радикалу для рослинних і відсутності радикалу для мінеральних олив.

Наявність активного радикалу порушує симетрію структури молекулярного ланцюга і розподіляє електричних зарядів так, що один кінець стає зарядженим позитивно, а інший – негативно. Така молекула називається полярною, а кінці полярних молекул, радикали, що мають здатність притягуватися до металевих поверхонь. Ці кінці з'єднуються з поверхнею, а вільні кінці прагнуть розташуватися перпендикулярно до поверхні.

Таким чином, оптимальна молекулярна структура граничного мастила складається з довгого прямого вуглецевого ланцюга з активним радикалом на одному кінці. З'єднання з такою структурою зустрічаються головним чином у рослинних олив. При використанні мінеральних олив отримання подібної структури домагаються шляхом додавання невеликої (1 %) кількості активної полярної речовини (наприклад, олеїнової кислоти). Ці присадки сприяють утворенню на поверхні металу мономолекулярного шару або покриття, які не можуть забезпечити молекули мінеральної олії.

Здатність граничних шарів зменшувати втрати на тертя, знижувати знос і запобігти задирам пар тертя пояснюється наступними причинами:

1) граничні шари розділяють поверхні, що труться, на відстані, що перевищують радіус дії адгезійних сил, які різко зменшуються зі збільшенням відстані між твердими тілами;

2) мастильний шар завтовшки в одну молекулу знижує силу тертя приблизно в 10 разів, при цьому товщина граничних шарів складає долі мікрметра;

3) тонкі граничні шари здатні не руйнуючись витримувати великі нормальні навантаження; в той же час при відносно невисоких дотичних зусиллях в граничних шарах відбувається зсув по площинах ковзання;

4) активні компоненти мастильного матеріалу, взаємодіючи з поверхнею пар тертя, викликають адсорбційне пластифікування поверхневих шарів (ефект П.О. Ребіндера), вибіркове розчинення деяких складових поверхневого шару металу і перенесення їх на відповідну поверхню, що також знижує їх поверхневу міцність (ефект Гаркунова Д.М.).

5) завдяки цим явища при граничному змащуванні зсувні деформації локалізуються в тонкому поверхневому шарі металу, що захищає нижні шари від руйнування.

При граничному змащуванні (ГЗ) мастильний матеріал складається, як правило, з вуглеводневої основи і активних компонентів. Активні компоненти мастильних матеріалів на нафтовій основі - це або включення поверхнево - активних речовин (органічних кислот шару, асфальтенів і т. і.), або продукти перетворень вуглеводнів мастильного матеріалу під час їх експлуатації або зберігання, або спеціальні присадки. Нафтові олії це суміш вуглеводнів різної будови (парафіни, нафтени, ароматичні вуглеводні, продукти змішаної будови). Похідними парафінів можуть бути жирні кислоти, що є довголанцюговими парафінами, в яких кінцева метилова група CH_3 , замінена на карбоксильну групу COOH. Жирні кислоти можуть утворитися в процесі окислення вуглеводнів; вони є основною частиною рослинних і тваринних олій.

Деякі жирні кислоти і їх металеві солі (мила) вводяться в оливи для підвищення їх мастильної здатності, оскільки, маючи значну поверхневу активність, вони утворюють міцні адсорбовані шари. Деякі мили (літєві, кальцієві) використовують як загущувачі для пластичних мастил. Спирти відносяться до продуктів окислення вуглеводнів. По структурі вони аналогічні парафінам, але замість кінцевої метилової групи вони закінчуються гідроксильною полярною групою ОН.

До складу рідких і пластичних мастильних матеріалів входять також присадки, що забезпечують підвищення протизносних або протизадирних властивостей мастильних матеріалів. Присадки можуть бути поверхнево активними, мастильна дія, яких ґрунтується на утворенні міцних абсорбційних шарів, пар тертя, що перешкоджають металевому контакту. Присадки можуть бути хімічно активними, виділяючими при розкладанні активні елементи: сірку, фосфор, хлор, азот, кисень з утворенням модифікованих поверхневих шарів. Будь-яка присадка складається з функціональної групи, що забезпечує протизносну дію і вуглеводневого радикала, що забезпечує розчинність цієї присадки в нафтовій оливі.

3. Процеси формування структури при граничному змащуванні

Умови роботи при граничному змащуванні можна розділити на: легкі: невеликі навантаження; помірні температури; важкі: підвищене навантаження і температура; катастрофічні: високі навантаження і температура, що призводять до виходу з ладу трибосполучення.

При розгляді усіх проміжних станів реалізуються наступні етапи формування і зміни стану ГЗ.

Адсорбовані на поверхнях тертя поверхнево-активні компоненти мастильного матеріалу утворюють граничний шар, що розділяє ці поверхні і тим самим що усуває металевий контакт, або локалізує цей контакт на вершинах окремих мікронерівностей. Першою стадією взаємодії мастильного матеріалу з робочими поверхнями контактуючих поверхонь є фізична адсорбція поверхнево-активних молекул, що містяться в мастильному матеріалі. Активна кінцева група забезпечує хорошу адгезію молекули на активному центрі поверхні. Вуглеводневий радикал при заповненому шарі займає положення, перпендикулярно до поверхні тертя. Чим довше вуглеводневий радикал, тим більше екранується силове поле твердого тіла. При цьому слід звернути увагу на те, що затиснуті між пластично деформованими поверхнями металу молекули можуть розташовуватися горизонтально, утворюючи так звані стислі плівки.

Адсорбований шар має пружність форми з квазікристалічною будовою і витримує значні нормальні навантаження (до 104 МПа), розділяючи контактуючі тіла. На мономолекулярний шар, адсорбованих молекул, адсорбується наступний шар і так далі до утворення полімолекулярного шару, що має певну несучу здатність. При тиску 5 ... 6 МПа для контакту гладких поверхонь і невеликих швидкостей зсуву полімолекулярний шар зберігає товщину 0,02 ... 0,04 мкм і забезпечує коефіцієнт тертя лише трохи більший, ніж при гідродинамічному змащуванні.

При високих контактних тисках адсорбовані молекули можуть витискуватись із зони контакту, полімолекулярний шар стає тоншим. Сприяє його руйнуванню також нагрів контактуючих тіл і шару оливи, що оточує їх в процесі тертя. Пари тертя розділяють мономолекулярні шари адсорбованих молекул.

4. Закономірності тертя та зношування при граничному змащуванні

Залежність коефіцієнта тертя від довжини ланцюга. Існування граничного режиму мастила було встановлено У. Харді у 1922 році. У цих же дослідженнях Харді показав, що залежність коефіцієнта тертя від довжини молекулярного ланцюга мастила є лінійною спадаючою функцією від молекулярної маси мастильного середовища. Ця закономірність в 1953 році була експериментально підтверджена Боуденом і надалі підтверджувалася в різних умовах Фуксом Г.І., Ахматовим А.С., Дерягіним Б.В.

Дослідженнями [1] при багатократному ковзанні сферичного індентора по одній і тій же плівці стеаринової кислоти показано, що мономолекулярний шар зношується дуже швидко, тоді як плівка складається з 53 молекулярних шарів ледве помітне зношування після 50 або навіть 1000 проходів по доріжці. Тобто чим товще плівка, тим повільніше вона зношується.

Вплив навантаження на тертя. З аналізу робіт, виконаних в [1, 2] витікає, що при великих навантаженнях сила тертя для парафіну стеарину і жирних кислот пропорційна навантаженню по Амонтону. При малих навантаженнях опір зсуву відповідає чистому опору ковзання усередині стеаринової кислоти.

Вплив виду мастила на тертя. Встановлено, що силіконове мастило має хороші гідродинамічні властивості і слабкі граничні. Наприклад, якщо мідь змастити силіконовим мастилом, то коефіцієнт тертя має дуже велику величину $f = 1,4$, а поверхні мають сліди значного ушкодження.

Відзначається [1], що переваги мастил з полярними молекулами не можна пояснити просто силою фізичною абсорбцією. Ефективність їх пояснюється головним чином наявністю хімічної реакції, що призводить до утворення деякого шару, властивості якого подібні до властивостей тонкої мастильної плівки. Причому до тих пір, поки це плівка знаходиться в твердому стані вона є хорошим мастилом.

5. Пошкоджуємість та зношування поверхні в умовах граничного змащування

Якісні дослідження. Згідно початкової теорії ГЗ процес ковзання відбувається усередині граничної плівки, з цього виходить, що знос поверхні має бути відсутнім.

Надалі досить точними експериментами показано [1], що перенесення металів під час ковзання однієї поверхні по іншій можливе навіть при найкращій ГЗ.

Згідно моделі зносу по Боудену під час реального контакту частина поверхні працює при ГЗ, а частина при металевому контакті. Відповідно до цієї схеми повний коефіцієнт тертя f визначається по залежності:

$$f = \alpha f_m + (1 - \alpha) f_{ГЗ}, \quad (1)$$

де $\alpha = F_M / F_{ГЗ}$ – доля металевого контакту, що зростає із ростом температури вузла тертя;

$F_M, F_{ГЗ}$ – площа металевого контакту та з граничним змащуванням;

$f_m, f_{ГЗ}$ – коефіцієнти тертя при металевому контакті та з граничним змащуванням;

Враховуючи, що на ділянках металевого контакту, злокалізованих адсорбованим шаром, йде помірне адгезійне зношування по вершинах окремих мікронерівностей, що відбивається в зміні макро і мікронерівностей пар тертя. Тоді в першому наближенні можна покласти повний об'ємний знос V рівним:

$$V = \alpha V_M + (1 - \alpha) V_{ГЗ}, \quad (2)$$

де V_M – адгезійний знос на ділянці металевого контакту;

$V_{ГЗ}$ – знос під шаром мастильного матеріалу.

Оскільки величиною $V_{ГЗ}$ в порівнянні з V_M можна нехтувати, то деколи вважають:

$$V \approx \alpha V_M, \quad (3)$$

тобто чим більша доля металевого контакту, тим більші втрати на тертя і тим більший знос.

Якщо умови роботи стають більш жорсткими із зростанням температури, то рівновага адсорбційних і десорбційних процесів зміщується у бік десорбції. В результаті зростає доля металевого контакту і можливе схоплювання і збільшення зносу. Для розширення діапазону роботи вузла при ГЗ в мастило додають присадки, що містять сірку, хлор, фосфор, азот або їх поєднання. При цьому утворюються стійкі модифіковані шари, коефіцієнт тертя в цих умовах оцінюється по залежності:

$$f = \beta f_{xm} + (1 - \beta) f_m, \quad (4)$$

де f_{xm} – коефіцієнт тертя модифікованих поверхонь;

β – доля модифікованих поверхонь.

Об'ємний знос V при цьому оцінюється за залежністю:

$$V = \beta V_{xm} + (1 - \beta) V_m, \quad (5)$$

при $\beta \rightarrow 1$,

$$V \approx V_{xm}, \quad (6)$$

то має місце тільки зношування модифікованого шару без руйнування основного металу. Товщина модифікованого шару при цьому складає від 10 до 100 нанометрів. В реальному процесі величина β може коливатись від 1 до 0.

Коефіцієнт тертя з введенням полярно активних мастил змінюється в часі від декількох хвилин до декількох годин. Цей період названий Харді латентним і визначає тривалість орієнтації полярних молекул.

6. Узагальнена залежність коефіцієнта тертя від температури при ГЗ

Встановлено [3 - 6], що зі збільшенням температури ГЗ проходить через три перехідні критичні точки. На початковому етапі збільшення температури практично не впливає на коефіцієнт тертя, а зношування носить помірний адгезійний характер. При температурі v_{kp1} в результаті інтенсифікації процесу десорбції з поверхні тертя відбувається дезорієнтація поверхневого шару, який внаслідок цього втрачає свою несучу здатність і не може перешкоджати металевому контакту. Це супроводжується різким підвищенням коефіцієнта тертя, інтенсивним адгезійним зношуванням, заїданням і виходом з ладу сполучення.

Якщо в мастильному шарі є хімічно активні компоненти, вони виділяють активні агенти, вступаючи в реакцію з металом поверхні і утворюють модифікований шар, що має менший опір зсуву і викликає заміну адгезійного зношування корозійно-механічним. На узагальненій температурній залежності цей момент характеризується температурою хімічної модифікації v_{xm} .

У міру підвищення температури збільшується швидкість утворення модифікованого шару, одночасно збільшується швидкість руйнування цього шару. Коли в точці швидкість руйнування перевищить швидкість утворення модифікованого шару, матиме місце металевий контакт пар тертя, різке підвищення коефіцієнта тертя, безповоротне руйнування поверхонь і заїдання v_{kp2} .

З розглянутого виходить, що процес утворення адгезійних зв'язків є кінетичним і для його опису можуть бути притягнені рівняння хімічної кінетики.

Формула для визначення першої критичної температури v_{kp1} :

$$v_{kp1} = \frac{E_x + \Delta\mu}{R \ln \left(\frac{\alpha B_1 v_a}{H v^m c^v} \right)}, \quad (7)$$

де E_x – енергія процесу активації утворення адгезійних зв'язків;

R – газова стала;

α – доля металевого контакту;

B, m – постійні;

$\Delta\mu$ – різниця хімічних потенціалів;

v_a – температура процесу;

H – твердість поверхні.

Приймаємо, що процес зношування підпорядковується закону Арчарда:

$$\frac{du_w}{ds} = K \frac{N}{HA_a}, \quad (8)$$

де u_w – знос;

s – шлях тертя;

K – коефіцієнт;

N – навантаження, кг;

H – твердість;

A_a – номінальна твердість;

Аналогічно отримується формула для розрахунку другої критичної температури:

$$v_{kp2} = \frac{E_* + E_p}{R \ln \left(\frac{B_3 v^{y-m} v_a}{c^n H} \right)}. \quad (9)$$

Аналогічний вигляд має формула для визначення температури хімічної модифікації v_{xm} .

Очевидно, що приведені формули не призначені для розрахунків температур, їх призначення полегшити якісний аналіз впливу різних чинників на процес освіти і руйнування плівок ГЗ.

7. Міцність шару ГЗ

Приведені відомості про суть і властивості ГЗ отримані фахівцями працюючими, головним чином, в області хімії олив. Для практичного використання особливо в частині розрахунків сполучень на знос потрібні додаткові дані про механічні властивості плівок ГЗ. У відомій літературі таких даних явно недостатньо. Приведемо деякі відомі дані. У книзі Боудена Ф. [2] приведені результати випробувань на зріз подвійного стеарату кальцію.

Встановлено, що в цьому випадку межа міцності на зріз τ_T дорівнює $\tau_T = 2,5$ МПа. Камерон [2] розглядав опір зрізу адсорбованих моношарів, результати випробувань не наводяться. Відмітимо, що визначення нормальної і дотичної міцності адсорбційної плівки є складним проблемним завданням.

Сучасний стан знань об ГЗ сформульований вченими хіміками з точки зору органічної хімії. Ці знання дуже корисні для розуміння процесів і створення мастил і присадок, що забезпечують якісне поліпшення мастил. Для практичного використання ефективної роботи мастил в умовах граничного змащування для проектування вузлів тертя по заданих ресурсах потрібні достовірні відомості про механічні властивості граничних шарів в різних умовах. До таких властивостей відносяться, передусім, межі нормальної σ_T і дотичної τ_T міцності плівок, що формуються з різних олив.

Враховуючи з одного боку важливий позитивний ефект граничного змащування для зниження зносу твердих контактуючих поверхонь, а з іншого боку знос моно і полімолекулярних плівок, необхідна розробка конструктивних і технологічних методів відновлення зношуваних граничних шарів. На наш погляд це базове завдання, як для конструкторів вузлів тертя, так і розробників присадок, від яких залежать трибо механічні властивості граничних плівок.

Висновки

1. Граничне змащування це найпоширеніший і тому найважливіший стан твердих мастильних поверхонь вузлів тертя машин. Граничне змащування було відкрито і вивчене У. Харді в 1922 році. Суть відкриття полягала в тому, що вплив мастила на процеси тертя виявляється вже при молекулярних розмірах товщини шару мастила. При цьому, чим більше молекулярна вага і відповідно довжина молекул, тим менше тертя або опір зсуву поверхонь.

2. При вивченні явища граничного змащування з точки зору хімії високомолекулярних з'єднань було встановлено, що за наявності полярних або поверхнево активних речовин (ПАВ) плівка ГЗ складається з одного або декількох шарів полярних молекул, розташованих перпендикулярно твердій поверхні. Полярні молекули містяться тільки в рослинних оліях і відсутні в мінералах. Для створення оптимальної структури ГЗ в мінеральну оливу необхідно додавати малі кількості ПАВ.

3. При взаємодії твердих поверхонь, розділених ГЗ структура ГЗ періодично перетворюється по напрямку адсорбція - десорбція від стійкого стану до руйнування. При цьому відбувається знос ГЗ причому чим більше моношарів в плівці ГЗ, тим повільніше ГЗ зношується.

4. Головна позитивна властивість ГЗ полягає в здатності зменшувати тертя і знос твердих контактуючих поверхонь. Вивчені деякі закономірності впливу зовнішніх чинників: тиск, температура на знос. При ГЗ знос твердих поверхонь не виключається, знос є, але цей знос істотно менше зносу за відсутності ГЗ.

5. Закономірності зношування при ГЗ отримані на основі вивчення змін коефіцієнта тертя при різних співвідношеннях площ металевої і мастильної частин контакту, корисні для розуміння процесів, але носять швидше якісний, чим кількісний характер. Це тим більше важливо, що у міру взаємодії поверхонь виникають вторинні модифіковані стани плівок з важко передбачуваними закономірностями.

6. Встановлена відома експериментально складна узагальнена залежність коефіцієнта тертя від температури. На цій залежності виділені три критичні точки, v_{kp1} , v_{kp2} , v_{xm} в яких за запропонованими уявленнями досить різко змінюється структура ГЗ. На підставі хімічної кінетики розроблені математичні моделі, що описують стани ГЗ, і формули для орієнтовних розрахунків критичних температур. На нашу думку ці формули корисніші для розуміння протікаючих процесів, чим для практичного використання.

Література

1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: ГИФМЛ, 1963.
2. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение. – 1968. – 543 с.
3. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: справочник / Р.М. Матвеевский, В.Л. Лашхи, И.А. Буяновский и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
4. Дыха А.В. Структурно - термодинамические подходы в механизмах граничного смазывания / А.В. Дыха // Проблемы трибологии. – 2006. – № 3. – С. 62-65.
15. Дыха О. В. Модель динамичної контактної взаємодії змащених поверхонь / О. В. Дыха // Вісник ТУП – 2004. – № 5. – С. 7–9.
6. Дыха О.В. Принципи побудови структурно-динамічної схеми при граничному змащуванні, Те-зи допов. міжнар. наук.-техн. конф. “Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин (ЗНМ-2001)”. – Хмельницький: ТУП, 2001. – С. 52.

Поступила в редакцію 1.09.2017

Dykha O.V. Boudary lubrication in the sliding tribo systems of the car engines.

The analysis of friction units of engines is carried out. It has been established that virtually all frictional frictions of engines during start-up and stop are in the state of boudary lubrication with the predominant influence of engine start-ups on the demolition of cylinders and bearings of the crankshaft. In the analysis of boudary lubrication from the point of view of chemistry, it has been established that the lubricating film consists of one or more layers of polar molecules located on the perpendicular solid surface. It is noted that the generalized dependences of the friction coefficient on temperature are more indicative for understanding the processes under way than for practical use.

Key words: boudary lubrication, slip friction knots, engine, wear, transition temperatures.

References

1. Ahmatov A.P. Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya, M.: GIFML, 1963.
2. Bouden F.P., Teybor D. Trenie i smazka tverdyih tel, M.: Mashinostroenie, 1968, 543 p.
3. Smazochnyie materialyi: Antifriktsionnyie i protivvoiznosnyie svoystva. Metodyi ispytaniy: spravochnik. R.M. Matveevskiy, V.L. Lashhi, I.A. Buyanovskiy i dr, M.: Mashinostroenie, 1989, 224 p.
4. Dykha A.V. Strukturno - termodinamicheskie podhodyi v mehanizmah granichnogo smazyivaniya. A.V. Dykha. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 2006, No 3, P. 62-65.
15. Dykha O. V. Model dinamichnoi kontaktnoi vzaemodii zmaschenih poverhon. Visnik TUP, 2004, No 5, P. 7-9.
6. Dykha O.V. Printsipi pobudovi strukturno-dinamichnoi shemi pri granichnomu zmaschuvanni, Tezi dopov. mijnar. nauk.-tehn. konf. "Znosostiykist i nadiynist vuzliv tertya mashin (ZNM-2001)", Hmelnitskiy: TUP, 2001, P. 52.