

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 621.431.7/436+621.04.67/01-19:631.33

Л. Н. Болдар

УМОВИ СТРУКТУРНОЇ АДАПТАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ

Луганський національний аграрний університет

Визначено умови забезпечення структурної адаптації матеріалів деталей основних спряжень двигунів між собою та з оливою. Запропоновано заходи щодо мінімізації зношування деталей, яких слід дотримуватися на етапах проектування, оброблення, взаємного доведення та використання у складі двигунів.

Постановка проблеми. Найважливішою складовою тракторів, комбайнів та автомобілів є двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Однак багато років поспіль нові й відремонтовані вітчизняні двигуни характеризувалися низькою надійністю та довговічністю. Це стало однією з причин того, що натеper українські заводи припинили випуск двигунів для аграрнопромислового комплексу України.

До їх банкрутства призвів досить спрощений підхід до вирішення нагальних проблем. Так, дотепер вважається, що 30–60 годинна обкатка двигунів в експлуатації змінить на краще низьку початкову точність таких деталей, як блок циліндрів, колінчастий вал, поршневі кільця та вкладиші підшипників ковзання колінчастого вала. Одні чекають, що «добре» притирання відбудеться з часом, а інші підсилюють у спряженнях абразивне зношування. Однак в обох випадках абразивні частинки (навіть нанометрової дисперсності) швидко розносяться оливою по всіх спряженнях, упроваджуються у порівняно м'які складові матеріалів і змінюють їх позитивні природні властивості та розрахункові режими тертя.

Аналіз досліджень та публікацій. Кращі закордонні фірми теж проводять технологічну обкатку двигунів, але з іншою метою – технології ноу-хау забезпечують швидкий перехід матеріалів деталей до умов структурної адаптації або структурної пристосовуваності (СП) між собою та із середовищем. Приріст площі тертя та утворення на ній «вторинних» структур відбувається за рахунок незначного зносу висоти виступів (рис. 1, а, б).

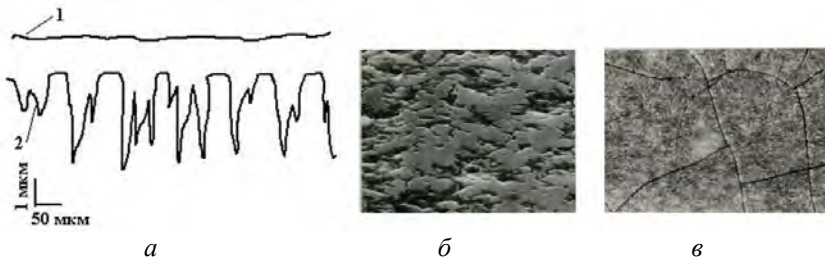


Рис. 1. Гальванічний хром на поверхні поршневих кілець ДВЗ: 1 – після звичайного притирання [1]; 2 – після спеціального оброблення [1]; б – після припрацювання [2]; в – після ЕХО в електроліті з гліцериним [3]

На теренах бувшого СРСР, необхідність забезпечення СП матеріалів з середовищем та формування нормальних умов тертя за рахунок тонких відновлюваних плівок у вузлах машин першим обгрунтував Б.І. Костецький. Як зазначають учні Бориса Івановича [4], цей висновок став своєрідним підсумком його розуміння сутності складних явищ і процесів, які взагалі супроводжують нормальне (погляду термодинаміки та принципу Ле-Шательє–Брауна) функціонування трибосистеми – її відгуки або властивості залежать від дії всієї множини чинників («зверху») і зумовлюються природною побудовою складових матеріалів і середовища («знизу»). Як відомо, згодом ці загальнонаукові підходи були поширені на макромаштаб і нанорівень [5].

Найбільш повно про досягнення школи Б.І. Костецького та про нього самого як ученого зі світовим іменем викладено у праці його учня Л.І. Бершадського [6]. Про загальні проблеми припрацювання трибосистем досить вичерпно висловилося Н.Б. Костецька [7]. Однак, не зважаючи на ці розробки, і досі у вітчизняному машинобудуванні продовжують нагромаджуватися так звані «трибологічні хащі»[8].

Зокрема і далі нівелюється значущість процесу припрацювання, з одного боку, як феноменального явища, а з другого – як природної властивості матеріалів деталей машин (складових трибосистем) до взаємної адаптації та адаптації із середовищем. Досить часто припрацювання замінюється поняттями «динамічна рівновага», «рівноважна шорсткість» та іншими, без посилань на післядію – величину зносу, коефіцієнт тертя і температуру [9]. Так, у

праці [10] наголошується, що динамічна рівновага може бути досягнута і в умовах тертя поверхонь без мастила, але в цьому випадку діапазон нормального тертя і зносу різко звужується, а параметри тертя і зносу набувають неоптимальних значень. Більше того, останнім часом припрацюванням називають будь-яку всяка взаємодію деталей на початку роботи машин і механізмів. На нашу думку, таке розуміння припрацювання шкодить розумінню явищ і процесів, які супроводжують і сприяють припрацюванню деталей у спряженнях. Наприклад відомо, що оптимальний хід зношування деталей супроводжується поглибленням «корит» Б.І. Костецького (так назвали криві Герсі–Штрибека (рис.2, *a*) учні Б.І. Костецького [6]).

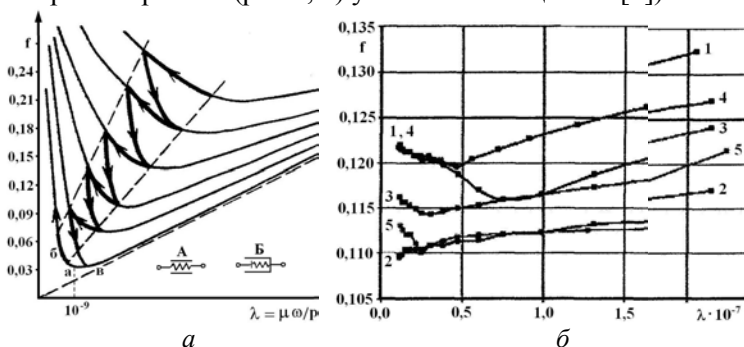


Рис. 2. Зниження коефіцієнта тертя під час тренінгу підшипників ковзання на режимах, близьких до «заедания» (*a*): пунктирні лінії позначено через *a*, *b* і *v* відповідно, означають межі оптимального, граничного і гідродинамічного режимів мащення [11] та під час випробування мастил (*б*):

- 1 – база (SAE 10W-40 API SJ); 2 – база + 3 % FENOM;
- 3 – база + 2 % РиМЕТ; 4 – база + 20 % PTFE; 5 – база + 3 % ER [12]

У разі досить малих коефіцієнтів тертя (на дні цих «корит») перебігають складні фізико-хімічні процеси, за яких квазіпружний граничний шар на відміну від гідродинамічного не призводить до механічного розділення поверхонь [13].

Однак досить часто на залежності Герсі–Штрибека робляться і неправомірні посилання. Наприклад, показані на рис. 2, *б* криві ніяк не можуть характеризувати нормальний або гідродинамічний режим тертя. Адже навіть на базовому мастилі (див криву 1 на рис. 2, *б*) коефіцієнт тертя змінюється у вузькому діапазоні – від 0,122 до 0,116 і до 0,135. У зв'язку з цим не переконливими стають реко-

мендації щодо застосування таких «високих» технологій триботехнічного відновлення деталей для подовження довговічності відремонтованих або зношених ДВЗ. Такими, наприклад, є дані про ефективність застосування нановуглецевої присадки до оливи [14]. У цьому випадку коефіцієнт тертя в парі зразків знижується від 0,148 до 0,109.

На початку ХХІ ст. у науці про матеріали підтвердилося багато сміливих гіпотез, сформувалися нові ідеї, виникли нові терміни, наприклад, такі, як квазітвердий, квазірідкий і рідкокристалічний стани, мезорівень, двочастинкова квантова механіка і т.ін. [15; 16]. Зокрема, за допомогою двочастинкової квантової механіки Л.І. Гречихіна [16] вичерпно пояснюється аномальна поведінка міді в оточенні атомів заліза, алюмінію, вуглецю та інших елементів, яка приводить до її вибіркового перенесення на спряжену поверхню, або до ефекту «беззносності» деталей в окремих вузлах машин. Останнім часом повідомляється, що вибіркоче перенесення реалізовується під дією електричного струму [17]. У міжелектродному зазорі (МЕЗ) міститься водорозчинний полімер, який кваліфікований авторами (це вчені школи Б.І. Костецького) як квазітверда речовина.

Часто явище СП, яке свідчить про закінчення процесу припрацювання, тобто є відгуком властивостей трибосистеми, пояснюють як щось особливе, наприклад, як властивість деяких складових приводити систему до самоорганізації та самовпорядкування. У зв'язку з цим інтенсивно ведуться пошуки особливих речовин-організаторів трибосистем і технологічних середовищ, які зрештою виявляються такими ж складними і значною мірою не керованими об'єктами (електрети, фулерени, віталізанти і т.ін.), як і сама трибосистема. Тоді складові розподіляються на фази умовними межами, визначаються дедалі «нові» їх стани і виявляються «нові» особливі властивості. За таких підходів, наприклад дедалі «нові» елементарні частинки речовини (а їх уже кілька сотень) називаються із зверненням до Бога.

Мета досліджень. Визначення загальнонаукових підходів і умов, що сприяють вирішенню проблеми із забезпечення складовим трибосистеми максимальної зносостійкості (на прикладі спряжень: поршневі кільця – гільза циліндра і шийки колінчастого вала – вкладиші підшипників ковзання комбайнових і автотракторних двигунів).

Методичні підходи. Аналітичні дослідження стану проблеми дозволили зробити висновок щодо методів дослідження і керування трибосистемою (або нано-, піко- або фемтосистемою, хоча дисперсність її складових далеко перевищує 10^{15}) – це можна проводити лише за допомогою таких чинників, що діють на неї на нано-, піко-, фемто- та інших, рівнях. Як відомо, такими чинниками є елементарні носії електричного заряду і поле навколо них. На рис. 3 і струм, і поле показано символічно як елемент сітки (дуговими лініями), що охоплює будь-яку систему, зокрема трибосистему (рис. 3, $a - i$) [18].

Процес і результат пізнання дійсності також показано символічно: за допомогою двох взаємно обернених списів, що напрямлені лише у двох напрямках – уверх і вниз. Таким чином, позначена, з одного боку, подвійність і обмеженість сприйняття світу людиною, а з другого – багатовимірність і нескінченність світу в усіх напрямках. Кожну точку простору можна вважати системою, яка містить у собі нескінченну кількість складових – систем ($\bullet = \infty$). Трьома крапками біля знаків суми показано, що сучасні знання про дійсність – це досить мала частка нескінченності.

За такого підходу будь-який об'єкт – людина, біологічна клітина або всесвіт – не повинні ставитися в центрі всього, як і не повинні визначатися початок і кінець цих складових. Уважається, що такий підхід надасть ученому свободу щодо вибору методів досліджень будови і властивостей системи, так і щодо інтерпретації отриманих результатів.

Цей методологічний підхід був відпрацьований в процесі багатопланових лабораторних, виробничих і експлуатаційних досліджень, які спрямовувались на підвищення якості найбільш швидкозношуваних деталей ЦПП і КШМ двигунів під час їх виготовлення (див. рис. 1, b , стан гальванічного хрому на робочій поверхні поршневого кільця після хонінгування та ЕХО) або ремонту за рахунок дії на них змінного електричного струму в середовищі електроліту [3]. Розробки виконувались під керівництвом академіка АН Молдови Ю.М. Петрова та доцента ЛНАУ В.П. Алексеєва. За виразом І.Є. Ульмана – відомого вченого-ремонтника, розроблена технологія поєднала досягнення електрофізики і електрохімії з хіммо-

тологією, тобто стала своєрідним «сімбіозом» двох наукових напрямів.

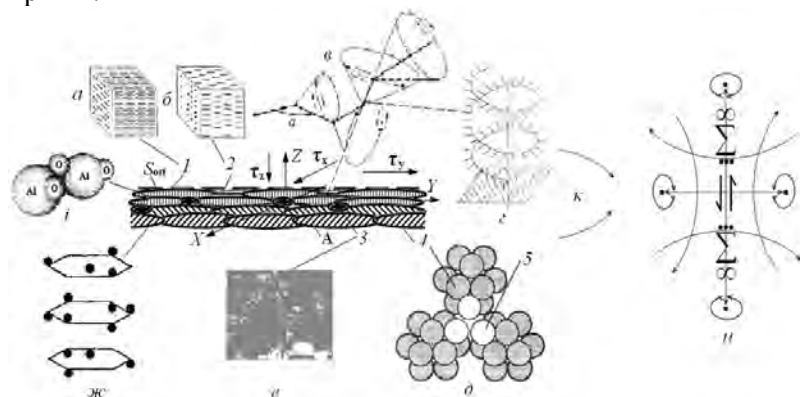


Рис. 3. Приповерхневий шар трибосистеми ($a - i$) і символ пізнання дійсності (i): $a, б$ – рідкі кристали відповідно першого і другого класу [19]; $в, г$ – макромолекули [19]; $д$ – кластер з гранецентрованою кубічною ґраткою [16]; $е$ – сингулярний елемент [20]; $ж, и$ – відповідно, кластер і молекула Al_2O_3 [21]; $S_{оп}$ – відносна опорна площа контакту; 1 – гранична плівка; 2 – рідина; 3 – міжфазне новоутворення; 4 – атоми (іони) основного матеріалу; 5 – порожнини; A – текстурований матеріал

У спряжених деталях були реалізовані відомі з електрофізики й електрохімії вимоги до забезпечення точності оброблення деталей за рахунок переходу від режимів електрофізичної контактної оброблення (зношування) до ЕХО за умов розповсюдження між деталями «пляма електрохімічного контакту» [22] з їх подальшим взаємним «електрохімічним упровадженням» [23]. Сімбіоз був і в тому, що розробленій рідині була властива тримальна здатність – у результаті «впровадження» відбувалося за умов суттєвого зниження коефіцієнта тертя і сумісність з моторною оливою (вимоги хімотології). Рідина розглядалася як диполь, що пов'язував пружно-дисперсні та гідродинамічно-дисперсні плівки і шари на поверхнях матеріалів деталей (див. моделі А і Б на рис. 2, а).

Умови, що сприяли розвиненню між деталями плями електрохімічного контакту (розвинення площі контакту), були сформульовані у вигляді залежностей швидкості $V(a)$ вилучення матеріалів від МЕЗ (а):

$$V(a) \neq 0, \text{ якщо } a \leq a_0 \text{ і } a < a_1, \quad (1)$$

$$V(a) = 0, \text{ якщо } a > a_1, \quad (2)$$

де a_0 – сумарна висота виступів шорскостей поверхонь деталей ($R_{\max 1} + R_{\max 2}$).

Із цих рівнянь випливає, що вилучення матеріалу в межах допуску («зайвого» матеріалу) і розповсюдження плям електрохімічного контакту має відбуватися без обмеження зазору «знизу» (умови $a \leq a_0$ в рівнянні (1)) та припинятися зі збільшенням МЕЗ до значень a_1 (умови рівняння (2), що обмежують розчинення «зверху»)[24].

Межу між бажаним і досяжним режимами було встановлено шляхом оптимізації складу і властивостей електроліту в парі тертя колодочка – ролик з номінальною площею контакту 1 см^2 на машині СМЦ-2. Ролики виготовлялися зі нормалізованих сталей 45 і 40Х, а колодочка –зі алюмінієвих сплавів АСМ і АО20-1. Початкова незбішність радіусів спряжених поверхонь становила 0,04–0,08 мм (як відомо, номінальний зазор в підшипниках ковзання перебуває у межах 0,08–0,16 мм). За рахунок радіального биття ролика у межах 0,03–0,09 мм і наявності пружного елемента в системі навантаження машини колодочка мала змогу переміщуватися у вертикальному напрямку, від чого в парі безперервно змінювався МЕЗ. Таким чином, під час кожного оберта ролика в парі самочинно моделювалися умови граничного і рідинного тертя, або режим розвитку площі контакту за умов макроприпрацювання. Як відомо, цей термін був уперше застосований Проніковим і означав процес взаємного поліпшення стану деталей із спотвореною формою [25]. Режим тертя та величина МЕЗ залежали від частоти обертання ролика і сили навантаження.

Передумовою для оптимізації складу і властивостей електроліту стала відома залежність Вальдена – Писаржевського, що встановлює зв'язок між питомою електричною провідністю (κ) не водяних розчинів і їх динамічною в'язкістю (μ) [26]: $\kappa\mu = \text{const}$. Як загусники водяних розчинів неорганічних солей NaNO_3 , NaNO_2 і NaCl випробувались такі водорозчинні діелектрики, як поліетиленгліколь (ПЕГ), гліцерин (марки «ч» і «чда») і триетаноламін (ТЕА). Ці речовини відомі як інгібітори корозії [27]. Для модифікації поверхонь під час електрохімічного розчинення у склад електроліту включались роданіди, сульфіди, фосфіди та інші речовини [28].

За розробленою технологією, взаємне доведення (ВД) деталей двигунів проводилося поетапно у процесі збирання їх з вузлів –

спочатку корінні підшипники ковзання колінчастого вала, а потім деталі ЦПГ. Для цього в зазори підшипників ковзання колінчастого вала і у надпоршневий простір гільз циліндрів подавалися різні за складом розчини електролітів з гліцерином та пропускався змінний електричний струм [29].

Електрофізичне руйнування (ЕФР) і електрохімічне розчинення (ЕХР) матеріалів відбувалися за відносно малої швидкості ковзання ($V_{\min} = 0,4-0,8$ м/с), при малих контактних тисках ($P_{\min} = 0,2-0,4$ МПа) і нормальній об'ємній температурі електроліту T_{\min} (рис. 4, а, б).

Як відомо, нанодисперсні продукти розчинення та збуджені струмом поверхнево і хімічно активні складові середовища можуть взаємодіяти з «ювенільними» поверхнями деталей і модифікувати їх (зокрема, про електрохімічне модифікування (ЕХМ) поверхонь йдеться у роботі [30]).

Після ВД залишки електролітів не вилучаються із спряжень, а змішуються з оливою і під час обкатки пом'якшують перехід спряжень від умов пружної рівноваги (УПР) до хіміко-термічної модифікації (ХТМ) [24; 31] та до УСАМіС (див. рис. 4, б, в, г). Взагалі, зміна будови і властивостей поверхневих шарів пояснюються метастабільним станом складових матеріалів, структурною нежорсткістю складових середовища і пов'язуються з великою рухливістю легувальних елементів по всьому об'єму [32].

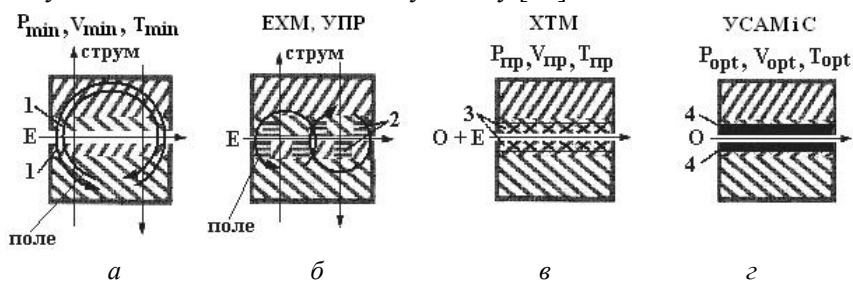


Рис. 4. Моделі взаємодії деталей у спряженнях: під час ВД (а, б), обкатки двигунів (в) та за умов структурної адаптації (г) в електроліті (Е) і оливі (О): 1 – ділянки руйнування і розчинення; 2 – ЕХМ за умов ПР; 3 – ХТМ; 4 – структуровані плівки

За УПР поздовжній опір (τ_x, τ_y на рис. 3) плівок і шарів сили тертя має бути на два-три порядки меншим від тримальних напру-

жень (σ_z), які, у свою чергу, не повинні перевищувати меж пружності та пропорційності:

$$\sigma_{пр} > \sigma_{пц} \geq \sigma_z \gg \tau_x = \tau_y, \quad (3)$$

де $\sigma_{пр}$, $\sigma_{пц}$ – відповідно, межі пружності і пропорційності; σ_z – напруження, що виникають від дії вертикальної сили; τ_x , τ_y – дотичні напруження.

Відгук тонких шарів матеріалів і плівок електроліту, що затиснуті між чисельними контактами, на дію електричного струму за умов ПР (рис. 5, б), вивчений лише у загальних рисах. Навіть розподіл електричного струму під час ЕФР і ЕХР деталей суттєво відрізняється від його розподілу між контактами, що містяться у діелектричній рідині, або на повітрі (див. рис. 5, а).

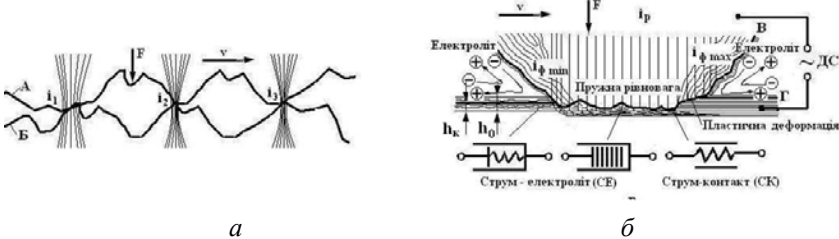


Рис. 5. Рух струму між поверхнями А і Б у діелектричному середовищі (а) та між мікровиступом В і поверхнею Г у електроліті (б): h_0 , h_k – глибина проникнення виступу В відповідно на вході та на виході з контакту

Так, у працях [33; 34] показано, що струм i_p (див. лінії струму на рис. 5, б) пронизує окремих виступ В не по всьому об'єму, а переходить на поверхню Г (якщо виступ В є катодом) за рахунок стікання по бокових площинах – по істинній поверхні. Оскільки за умов миттєвої пластичної деформації твердих тіл за наявності поверхнево-активних рідин швидкість хімічних реакцій і електропровідність контакту збільшуються на декілька порядків [35], на вході виступу в контакт очевидно слід чекати більш активного проходження ЕФР і ЕХР. Тому на вході виступу в контакт порівняно з виходом показано більшу густину струму. Умови ВД виступу на вході в контакт позначено пружно-дисперсною моделлю «струм (поле) – контакт» (модель СК на рис. 5, б), а на виході – дисперсно-гідродинамічною моделлю «струм (поле) – електроліт» (див. ліву модель СЕ, рис. 5, б) [36]. Закономірно припустити, що в затисненому між поверхнями електроліті (див. середню зону на рис. 5, б)

може відбуватися орієнтаційна та пружна поляризація складових [17], зчеплення нанодисперсних продуктів розчинення (зношування) і утворення з них шаруватих утворень, текстурування приповерхневих шарів контактуючих матеріалів і, в кінцевому рахунку, установлення пружної рівноваги. Початкові УПР позначені дисперсно-рідинною моделлю «струм(поле) – нанодисперсний шар» (див. праву модель СЕ, рис. 5, б).

У праці [24] було встановлено, що за умов ЕФР поверхонь на просторовий розподіл струму між деталями відчутно впливають напрям руху і кількість електроліту та місце підключення до них джерела струму.

Результати досліджень та їх обговорення. У процесі МП зразків пари тертя було встановлено, що «зайві» об'єми матеріалів між ними вилучаються в перші ж секунди. Далі ЕХР суттєво сповільнюється через загазованість МЕЗ і самочинне встановлення між поверхнями рівноважного зазору (в результаті демпфування [37]). За порівняно малого навантаження пари (78,5 Н) на поверхнях зразків залишалися продукти розчинення (рис. 6, а). Коли навантаження пари досягали значення 196,2 Н, поверхні ставали чистими (рис. 6, б). Питомий знос при цьому зменшувався зі 100 до 3–5 мг/см².

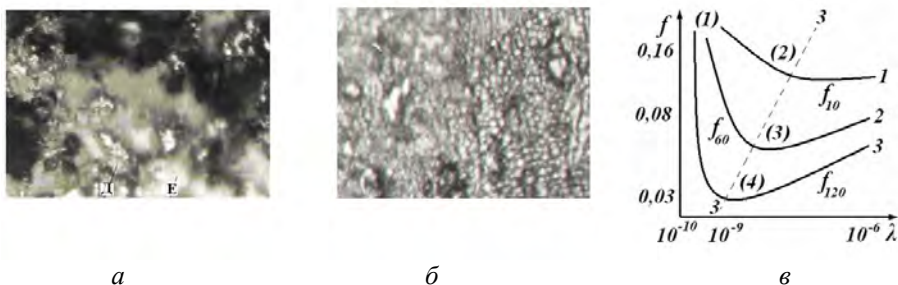


Рис. 6. Стан поверхні сплаву АО20-1 відповідно за навантажень 78,5 Н (а) і 196,2 Н (б) та поглиблення «корита» протягом 10, 60 і 120 с (f_{10}, f_{60}, f_{120}) ВД зразків за умов рівнянь (1) і (2)

За більшого значення навантаження пари коефіцієнт тертя f_{120} зменшувався до 0,03 (див. криву 3, рис. 6, в). Бажані результати під час моделювання умов МП були отримані на електроліті, що складався з 80 % гліцерину і 20 % розчину NaCl у воді за об'ємного співвідношення 4:1.

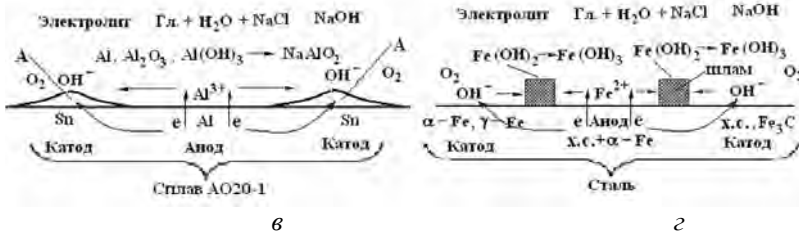
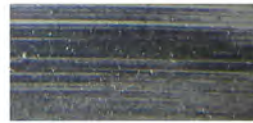
Для реалізації процесу в корінних підшипниках колінчастого вала поверхні за декілька секунд очищалися від оксидних плівок (рис. 7, а).



а



б



а

з

Рис.7. Сплав АО20-1 після ВД (а, в) та обкатки (б) і стальна шийка вала (з)

Далі, протягом 120 с, на поверхнях вкладишів відкривалися приповерхневі шари. Так, на поверхні вкладишів ставали помітними ділянки олова (див. острівки А на рис. 7 а, в), яке, як відомо, не розчиняється у гратці алюмінію. Можна прогнозувати, що у цей час на шийках колінчастого вала залізо переходить в електроліт у вигляді оксидів та гідрооксидів (див. рис. 7, з).

Стендові випробування двигунів показали, що за відсутності на поверхнях оксидних плівок суттєво змінюється характер зношування деталей: у підшипниках ковзання дослідних двигунів повністю зникали сліди абразивного зношування поверхонь (див. нижній рис. 7, б), У контрольних двигунах продукти абразивного зношування заповнювали зазор і розміщувалися біля контакту (див. верхній рис. 7, б). Разом з тим слід зазначити, що наведений на рис. 7, а стан поверхні сплаву АО20-1 не є оптимальним, бо площа, яку займає м'яке олово, відносно площі алюмінієвої основи є досить ве-

ликою. Як відомо, 40–60% олова у сплаві суттєво зменшує його тримальну здатність. Для оптимізації умов ВД цих спряжень достатньо було змінювати струмовий режим і тривалість процесу.

Під час ВД деталей ЦПГ режим EXP реалізовувався за умов значного «числа перервності» [38] дії основних чинників. Стан хромованої робочої поверхні компресійного поршневого кільця та дзеркала гільзи циліндра показано на рис. 8.

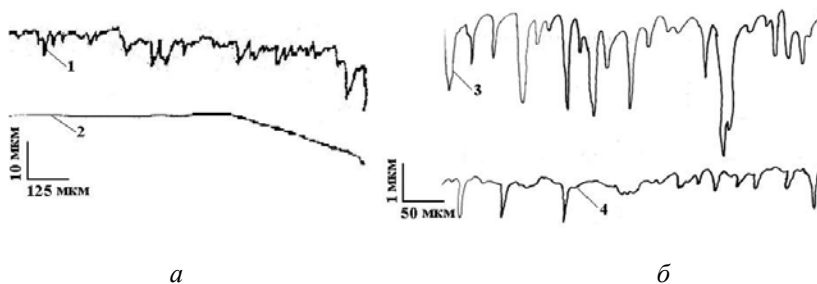


Рис. 8. Мікропрофілі поверхонь: хромового покриття 1-го компресійного кільця (а) дослідного (1) і контрольного (2) двигунів після обкатки і дзеркала гільзи циліндра після ВД (б) у зоні реверсу кільця (3) та в середній зоні (4)

Наведене вище тлумачення щодо більшої швидкості розчинення контактних виступів шорсткостей на вході в контакт справдилося під час ВД поршневих кілець з гільзами (див. асиметричний профіль виступів рельєфу дзеркала гільзи на профілограмі 3, рис.8, б).

Висновки

1. Для реалізації умов СП матеріалів деталей із середовищем або умов нормального тертя і мінімального зношування деталей спряженнях двигунів, необхідно вже в процесі проектування враховувати властивості їх складових у нанодисперстному стані та прогнозувати характер їх взаємодії із середовищем.

2. Для локалізації зносу деталей двигунів у межах тонких окиснювально-відновлюваних («вторинних») приповерхневих плівок слід: 1) на прикінцевих етапах оброблення деталей і доведення їх у спряженнях застосовувати «чисті» або безабразивні методи з тим, щоб найменше руйнувати їх приповерхневі шари; 2) оптимізувати склад оливи і періодичність її заміни з тим, щоб надалі матеріал деталей зношувався менше, ніж плівки періодично оновлюваної оливи.

Список літератури

1. *Штмехер С. Ф.* Испытания поршневых колец // Печ. раб. 29. Фирмы ГЕТЦЕ АО 5093. Буршейд 1, ФРГ, 1979. – 12 с.
2. *Xi Shi, Andreas A., Polycarpou A* Dynamic Friction Model for Lubricated Rough Planar Surfaces // ASME Tribol.–2003. – Vol 125. – P. 788–795.
3. *Алексеев В.П.* Исследование возможности сглаживания хромированной поверхности поршневых колец электрохимическим способом / В.П.Алексеев, Л.Н.Болдарь, М.В. Можаяев / Зб. наук. праць Луган. сільськогосподарського ін-ту/–Луганськ: Вид-во. ЛСГП, 1998. – №2 (4). – С. 13–17.
4. *Кравець І.А., Свирид М.М.* Енергетичне керування станом трибосистеми / Тези доповідей міжнародн. н-т конф. «Сучасні проблеми трибології», 19-21 травня 2010. – К.: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. – С.68.
5. *Нанотехнологии* в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований / Под ред. М.К. Роко, Р.С.Уильямса и П. Аливисатоса, пер с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
6. *Бершадский Л.И.* Борис Иванович Костецкий и общая концепция в трибологии / Л.И.Бершадский // Трение и износ, 1993. –Т.14, №1. – С. 6–18.
7. *Костецкая Н.Б.* Динамика двухступенчатой приработки трущихся сопряжений машин / Н.Б.Костецкая // Трение и износ, №1, 1993. – С.112–120.
8. *В дебрях трибологии // 5 колесо [Электр. ресурс].* – www.Finies.Ru. –№1–2, 2002.
9. *Мартиняк Р.М.* Припрацювання рухомих півпросторів за часткового зношування виступу на поверхню контакту / Р.М.Мартиняк, Р.М.Швець, А.В.Глод // Фізикохімічна механіка матеріалів. – 2003. – №1. – С.51–58.
10. *Миронов В.И.,* Об одной модели пластической деформации с разупрочнением / *В.И.Миронов, В.В.Стружанов, Г.Л.Крашмальник* // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 5 – С.42–49.
11. *Карасик И.И.* Прирабатываемость, как отражение фундаментального свойства структурной приспособляемости трибосистем / И.И. Карасик // Трение и износ, –№1, 1993. – С.121–128.
12. *ER - цена победы* // [Электр. ресурс] www.agah.ru/cena_pob.php.
13. *Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И.* Механохимические процессы на граничном трении./ *Б.И.Костецкий, М.Э.Натансон, Л.И. Бершадский* – М.: Наука, 1972. – 153 с.
14. *Кускова Н.И.* Трибологические свойства нанокремниевых материалов / Сб. докл. 7-й Междунар. конф. «Харьковская нанотехнологическая ассамблея». – Х.: ННЦ «ХФТИ», НПЦ «Контраст», 2006, Т.1. – С.317–320.
15. *Неорганическое материаловедение.* Энциклопедическое издание в 2-х томах. Т.1. Основы науки о материалах / Под ред В.В. Скорохода, Г.Г. Гнесина, В.М. Ажажа и др. – К.: Наук. думка, 2008. – 1152 с.
16. *Гречихин Л.И.* Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства: Монография./ Л.И. Гречихин. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с.

17. *Свирид М.М.* Энергетична концепція стабілізації стану трибо-системи / М.М.Свирид, І.А.Кравець, С.М.Занько, В.Г.Парамонов, Л.Б.Приймак // Проблеми трибології, №4, 2008. – С. 13–18.
18. *Болдарь Л.Н.* Общенаучные, теоретические и технологические основы повышения качества ремонта комбайновых и автотракторных двигателей / Наук. вісн. Луган. нац. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во. ЛНАУ, 2009. – №2. – С.39–54.
19. *Арзамасов Б.Н.*, Материаловедение/ Б.Н.Арзамасов, И.И.Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
20. *Бутенко В.И.* Физико-технологические основы формирования управляемых структур стали и сплавов./ В.И. Бутенко– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.–264 с.
21. *Покровский Б.И.* Материалы для оптических квантовых генераторов / Сб. статей «Оксидные материалы в электронной технике». Сер. Химия. – 1983. – №6. – С.38–52.
22. *Основы* повышения точности электрохимического формообразования / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман, Б.П. Саушкин; Под ред.И.И. Мороза. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 152с.
23. *Давыдов А.Д.* Борис Николаевич Кабанов (100 лет со дня рождения) / А.Д.Давыдов, Ю.В.Плесков, Б.М.Графов, Д.И.Лейкис // Электрохимия, 2004. – Т.40 – № 12. – С.1435–1437.
24. *Болдарь Л.Н.* Разработка технологии ЭХМП основных сопряжений автотракторных двигателей при их ремонте: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 – Кишинев, 1985. – 290 с.
25. *Трение, изнашивание и смазка:* Справ. –В 2 кн. / Под ред. И.Г. Крагельского и В.В. Алисина.– М.: Машиностроение, 1978.– Кн. 1. – 400 с.
26. *Фиалков Ю.Я.* Физико-химия неводных электролитов. / Ю.Я.Фиалков, А.Н.Житомирский, Ю.А. Тарасенко – М.-Л.: Химия, 1973. – 286 с.
27. *Негорючие* теплоносители и гидравлические жидкости: Справ. рук-во / Под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1979. – 360 с.
28. *Костецкий Б.И.*, Поверхностная прочность материалов при трении./ Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, Д.К. Караулов и др. – К.: Техніка, 1976. – 292 с.
29. *Пат. 1811449*, СССР, МКИ В23 Н9/12 Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь. – № 4927110/08. Заявл. 12.04.91. опубл. 23.04.93, Бюл. № 15. – С.8.
30. *Блесман А.И., Постников Д.В., Суриков В.И., Ласица А.М., Теплоухов А.А.* Оптимизация триботехнических свойств материалов металлополимерных узлов трения / сб. тр. XIII междунар. науч.-техн. конф. Машиностроение и техносфера XXI века: – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т.1. – С.91–95.
31. *Белкин П.Н.* Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов./ П.Н.Белкин – М.: Мир, 2005. – 335 с.

32. *Покропивний В.В.* Атомистическое моделирование материалов / В.В.Покропивный, Ю.И.Роговый, В.В.Огородников, А.А. Лысенко – К.: Ин-т проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, 2008. – 464 с.

33. *Геверлинг Н.В.* Поверхностная электротермообработка. / Н.В. Геверлинг – М.-Л.: ОНТИ НКТН, 1936. – 146 с.

34. *Верховецкий И.Н.* Исследование процессов электрохимического хонингования и разработка технологии ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Кишинев, 1970. – 28 с.

35. *Жулин В.М.* Высокие давления в химической науке и практике. / В.М.Жулин, Е.Б.Каботянская – М.: Знание, 1987. – 32 с.

36. *Болдарь Л.Н.* О текстурировании поверхностных слоев материалов при макроприработке деталей под действием тока и электролитов / Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнродн. зб. наук. праць «. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип.32. – С.33–40.

37. *Болдарь Л.Н.* Механизм образования «пятна электрохимического контакта» при доводке коренных подшипников коленчатого вала // Зб. наук. праць Луган. нац. аграр. ун-ту. Серія. Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2006. – №65 (88). – С.55–65.

38. *Седыкин Ф.В.* О точностных возможностях метода размерной ЭХО / Ф.В. Седыкин // Электронная обработка материалов, –1973, – №1. – С. 11–13.

Ключові слова: Структурна адаптація, поршневі кільця, гільзи циліндрів, шийки колінчастого вала, вкладиші, електричний струм, елетроліт, олива, обкатка двигунів.

Болдарь Л. Н. **Условия структурной адаптации материалов деталей двигателя внутреннего сгорания со средой** // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.73–87.

Определены условия обеспечения структурной адаптации материалов деталей основных сопряжений двигателей между собой и с моторным маслом. Предложены мероприятия по минимизации изнашивания деталей, которые необходимо соблюдать на этапах проектирования, обработки, взаимной доводки и использования в составе двигателей.

Рис.: 10, список лит.: 38 наим.

Boldar L.N. **Conditions of structural adaptation of materials of details of engines with the environment**

Conditions of maintenance of structural adaptation of materials of details of the basic interfaces of engines among themselves and with engine oil are defined. Actions for minimisation of wear process of details which are necessary for observing at design stages, processings, mutual operational development and use as a part of engines are offered.

Стаття надійшла до редакції 28.09.2010