

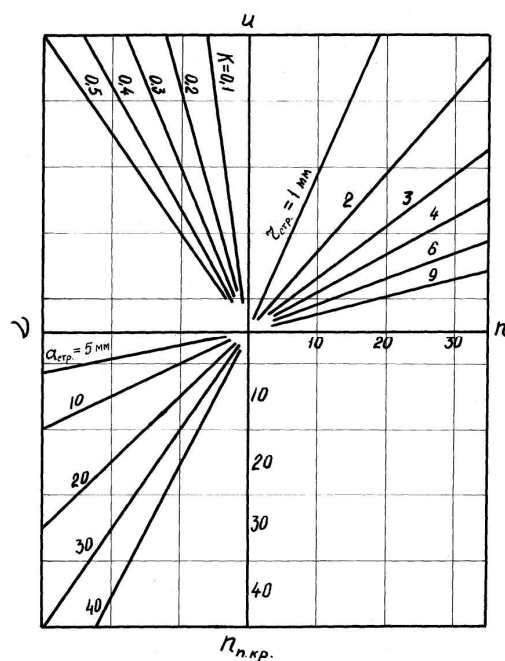


Рис. 5. Номограмма определения необходимого числа круток струн

$$n_{н.кр.} = \frac{Kna_{стр.}}{2\pi r_{стр.}}. \quad (16)$$

Таким образом, для эффективной и качественной расправки складок листового материала параллельными струнами с винтовыми крутками количество круток струн необходимо определить из (16). Формула (16) имеет место и для устройства с расходящимися струнами с винтовыми крутками.

По формуле (16) построена номограмма обхода [118]. Из номограммы (рис. 5) видно (где u и v - обозначения комбинаций), что необходимое количество круток струн $n_{н.кр.}$ прямо пропорционально коэффициенту расправляемости K , порядковому номеру струн n и расстоянию между струнами $a_{стр.}$ и обратно пропорционально радиусу винтовой крутки струн $r_{стр.}$.

Список литературы: 1. Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кожи и меха – М.: КолосС, 2006. – 384 с.: ил. 2. Справочник кожевника (Оборудование) // Большаков П.А., Винницкий Д.Б., Копейкин В.П. – Справочник. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 312 с.: ил. 3. Каплин Л.А. Научные основы совершенствования оборудования для механической обработки кожевенных и меховых материалов по условиям повышения качества: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М.: МГАЛП, 1999. – 36 с., ил. 4. Лысенко В.С. Исследование и совершенствование валичных транспортирующих механизмов кожевенно-меховых машин.: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М.: МТИЛП, 1989. – 24 с.

Сдано в редакцию 15.05.08

МЕХАНІЗМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ АДАПТАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ І СЕРЕДОВИЩА МІЖ ДЕТАЛЯМИ Д.В.З.

Болдар Л.Н. (ЛНАУ, м. Луганськ, Україна)

Conditions which provide to extra earnings of bearings of sliding of a cranked shaft are certain and details of cylinder-piston group of internal combustion engines is an absence of abrasive wear process of surfaces during their macroextra earnings, and also porosity, lamination and elasticity of layers of materials at a surface.

Проблема. В багатьох роботах йдеться про необхідність забезпечення пружної рівноваги (ПР) між деталями в кінці їх припрацювання [1-3]. Однак формулювання умов ПР стримується невизначеністю поведінки матеріалів при миттєвій взаємодії

мікровиступів поверхонь. Очевидно тому, даних про ефективне керування цим процесом при виготовленні або ремонті вітчизняних двигунів немає.

У кращих двигунобудівних фірмах процес припрацювання умовно розподіляється на макроприпрацювання (МП) і мікроприпрацювання. Під час МП відбувається приріст площі тертя за рахунок зносу деталей у межах шорсткостей поверхонь, а під час мікроприпрацювання між поверхнями встановлюється урівноважений напружено-деформований стан (НДС), або ПР на рівні вторинних структур. Така невизначеність в назвах структур і стану поверхонь свідчить про надзвичайну складність процесів і умов їх створення.

Новий підхід. Можливість безперервно контролювати умови тертя спряжень, та визначати динамічні коефіцієнти тертя і миттєві модулі пружності з'явилася завдяки використанню для МП деталей КШМ і ЦПГ змінного електричного струму і загущення відомих електролітів гліцеріном [4]. Цей процес МП називається взаємним електрофізикохімічним доведенням (ВЕФХД). При ВЕФХД між поверхнями утворюються досить рухомі нанодисперсні продукти зношування або розчинення. Під час обкатки ці складові та залишки електролітів у спряженнях змішуються з моторною оливою, взаємодіють з поверхнями і у подальшому визначають їх властивості.

У цілому припрацювання розглядається з позицій школи Б.І.Костецького [5], як процес, що протікає після ВЕФХД, і призводить до структурної адаптації матеріалів і середовища (САМіС). При цьому знос деталей локалізується у межах тонких плівок оливи.

Механізм забезпечення САМіС. Дія окремого контакту на поверхню показана на рис.1а. При доведенні деталей між поверхнями виникають як окремі так і багаточисельні контакти. У електроліті умови протікання електричного струму через ці контакти (рис.1в) принципово відрізняються від умов його протікання через контактні «плями» у діелектричній рідині, або на повітрі (рис.1б).

Як слідує із робіт [6,7], струм i_p (див. лінії струму на рис.1в) пронизує окремий виступ В не по всьому об'єму, а переходить на поверхню Г (якщо виступ В є катодом, а поверхня Г – анодом) за рахунок стікання по істинній поверхні. У зв'язку з тим що за умов миттєвої пластичної деформації твердих тіл в присутності поверхнево активних рідин, швидкість хімічних реакцій і електропровідність контакту збільшується на декілька порядків [8], на вході виступу в контакт, у порівнянні з виходом його з контакту, показана більша щільність струму.

На просторовий розподіл струму між контактами в значній мірі також впливає кількість електроліту у зазорі та місце підключення джерела струму (ДС) по відношенню до рухомого контакту [9].

У зв'язку із значною приповерхневою щільністю струму і швидкою зміною напрямку його руху, закономірно припустити, що у затисненому між поверхнями електроліті (див. середню зону, на рис. 1в) відбувається орієнтаційна та пружна поляризація нанодисперсних складових розчинення [10], їх зчеплення і утворення лускоподібних пластинок. Взаємодія цих пластинок з основою призводить до текстурування приповерхневих шарів контактуючих матеріалів за умов:

$$\sigma_z \gg \tau_x = \tau_y, \quad (1)$$

де σ і τ – відповідно, вертикальне та дотичне напруження у напрямках зближення (Z) і взаємного ковзання (X, Y) поверхонь.

В кінцевому рахунку між поверхнями встановлюється ПР. У роботі [11] умови ПР поверхонь розкриваються за допомогою реологічних підмоделей: струм (поле) – електроліт і струм (поле) – контакт, у яких враховується дія нанодисперсних продуктів

розчинення, як на поверхню (див. модель СК, рис.1в), так і на властивості електроліту(див. моделі СЕ).

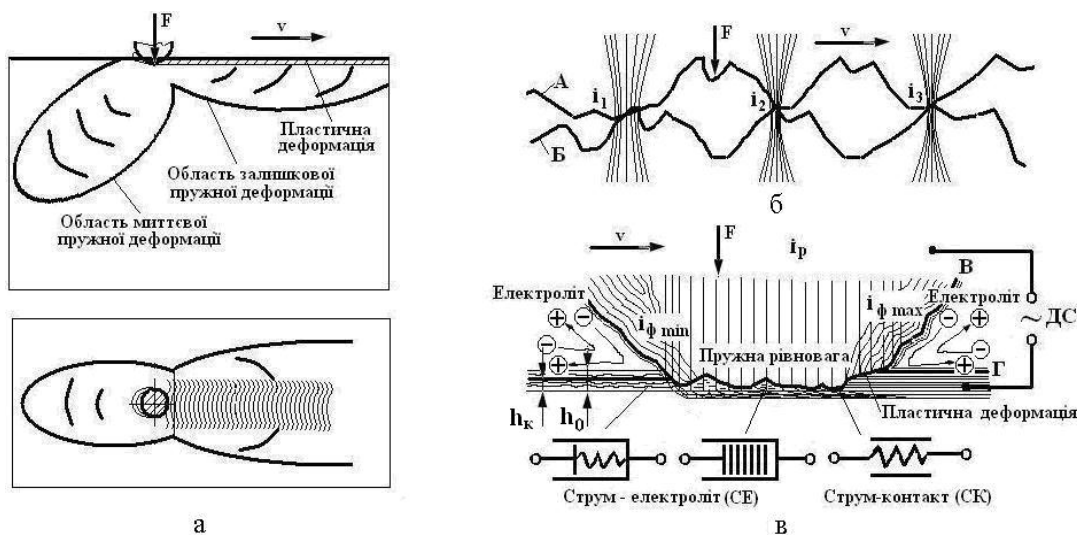


Рис. 1. Макронапруження між контактом і поверхнею (а) та схеми руху струму між поверхнями А і Б (б) і між мікровиступом В і поверхнею Г (в): h_0, h_k – глибина проникнення виступу В, відповідно, на вході і на виході з контакту

Умовно, результат дії основних чинників на спряжені поверхні показаний на рис. 2.

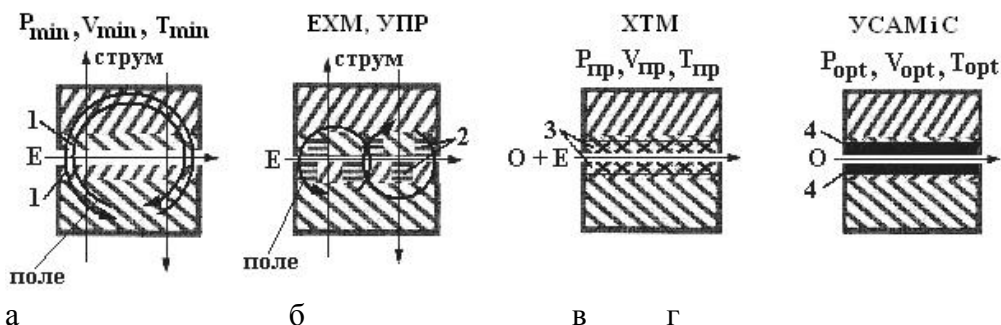


Рис. 2.Стан поверхонь при дії струму (поля), електроліту (Е) і оливи (О): 1 –зони руйнування і розчинення матеріалів під час МП; 2 – електрохімічна модифікація (ЕХМ) і умови ПР; 3 – хіміко-термічна модифікація (ХТМ); 4 – вторинні структури

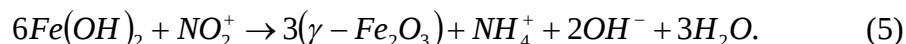
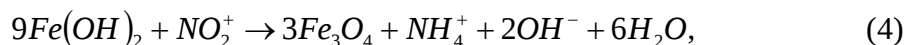
На початку доведення (рис.2а), при мінімальних значеннях навантаження (P_{min}), швидкості ковзання (v_{min}), об'ємної температури електроліту (T_{min}) та його гомогенності, спостерігається максимальна дія струму: на контактуючих ділянках поверхонь послідовно ініціюється електрофізичне (ЕФ) зношування, взаємне електроерозійне (ЕЕ) руйнування і електрохімічне (ЕХ) розчинення. Умови локалізації, розповсюдження і затухання цих процесів та властивості поверхонь приводяться нижче:

$$\frac{dv_z}{dt} \gg \frac{dv_x}{dt} = \frac{dv_y}{dt} \rightarrow 0; \quad (2)$$

$$\sigma_z = \tau_x = \tau_y, \quad (3)$$

де v - швидкість зношування (розчинення) у напрямках зближення (Z) і взаємного ковзання (X, Y) поверхонь ; t – час доведення.

Останнім часом стало відомо, що процес електрохімічного розчинення супроводжується ЕХМ поверхонь [12]. Це підтверджує припущення [11], що під час ВЕФХД до складу плівок на залізовуглецевих сплавах, із яких виготовляються поршневі кільця, гільзи циліндрів і колінчастий вал, можуть входити окисли, наприклад, магнетит Fe_3O_4 і кубічний оксид заліза $\gamma-Fe_2O_3$ [13]. Як відомо, ці окисли мають різко відмінні властивості і будову (див. рис.2б), що приводить до пористості і шаруватості поверхневих плівок і сприяє їх насиченню, наприклад, азотом [14]. При ВЕФХД у залуженому гліцерином електроліті ($pH > 10$), гідрати окису заліза можуть осідати на активованих поверхнях і, за участю нітрит-іонів, перетворюватися на окиси заліза:



Відновлені і відкриті (ювенільні) поверхні можуть під час технологічної обкатки активно взаємодіяти з хімічно і поверхнево активними присадками моторної оливи та із залишками електролітів в зазорах між деталями і сприяти ХТМ поверхневих структур [9] (див. рис. 2в) і, в подальшому, виникненню САМіС (див. рис. 2г).

У кінцевому рахунку, будову приповерхневих плівок після припрацювання можна уявити таким чином (рис. 3): із сторони оливи – у квазірідкому стані (див. будову рідких кристалів на рис. 3а,б), а із сторони вторинних структур – у квазітвердому стані (див. будову полімерів та кераміки рис. 3в,г). На відміну від джерела [15], ланцюжки складових у кристалу І класу (див. рис. 3а) показані зчепленими у пластинки. Вважається, що ці пластинки і ланцюжки (див. кристал ІІ класу на рис. 3б) мають пружні властивості та нанодисперсну будову (це відтворюється за допомогою реологічних моделей СЕ, див.рис.1в). На границі між вторинними структурами і текстурованим матеріалом А, в пустотах окремих ґраток і кластерів ГЦК, ОЦК (див. рис. 3д,е), можуть розміщуватися різноманітні складові, – від відомих окислів, таких, як наприклад Al_2O_3 , до новоутворень сингулярного характеру (див. рис. 3е,ж).

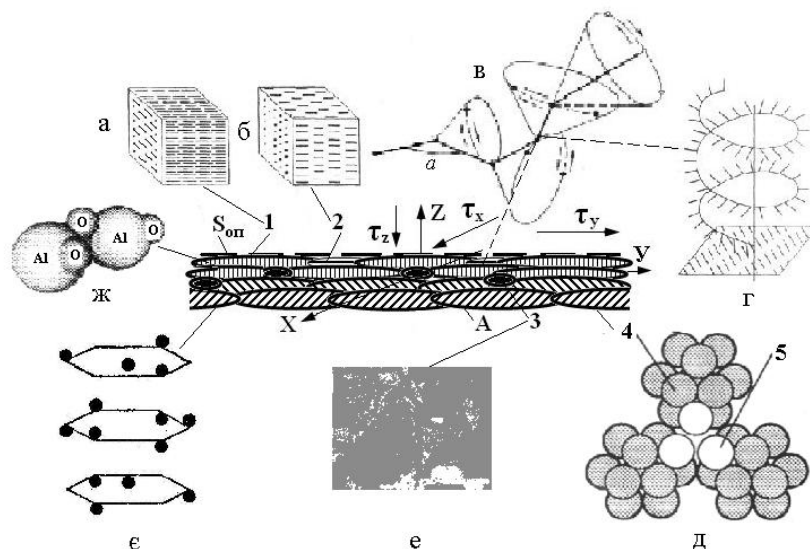


Рис. 3. Схема контакту в перерізі: а), б) рідкі кристали, відповідно, І і ІІ класу; в), г) макромоллекули полімеру [15]; д) кластер ГЦК [10]; е) сингулярний елемент [16]; є), ж) відповідно, кластер і молекула Al_2O_3 [17]; $S_{оп}$, – відносна опорна площа контакту 1 – межева плівка; 2 – рідина; 3 – міжфазні новоутворення; 4 – атоми (іони) основного матеріалу; 5 – пустоти; А – текстурований матеріал

Дійсний стан поверхонь деталей ЦПГ і КШМ вивчався під час ремонту двигунів типу 4Ч12,0/14,0

Методика досліджень. Під час ремонту двигуни послідовно проходили ВЕФХД, технологічну обкатку, 60-ти годинні стендові випробування та випробування по визначенню втрат оливи на вигорання по відношенню до витраченого палива (табл. 1).

Таблиця 1 – Тривалість випробувань двигунів, хв.

Етап	Контрольні	Дослідні після обкатки тривалістю, хв.		
	150	40	60	80
Холодна обкатка	50	5	5	5
Холостий хід	20	10	10	10
Обкатка з навантаженням	80	25	45	65
Стендові випробування, год.	60	60,5	-	60,5
Випробування на вигорання оливи, год.	5,0	5,0	-	10,0

Контрольні двигуни обкатувались у відповідності з рекомендаціями ДержНДТІ, а дослідні – по скороченій програмі [18]. Режими стендових випробувань встановлювалися у відповідності з вимогами ДержСТ 18508 і 18509.

При комплектуванні ЦПГ дослідних двигунів для 40 хв. обкатки підбиралися кільця 1-ї групи якості [18] – з точковою пористістю покриття (див. профілограму 1, рис.4), для ВЕФХД і 60 хв. обкатки – кільця 1-ї і 2-ї груп, а для контрольних двигунів і дослідних для 80 хв. обкатки – кільця 3-ї групи – з глобульним хромованим покриттям (див. профілограму 2). Перші компресійні кільця у контрольного двигуна СМД-14НГ були вкриті оловом.

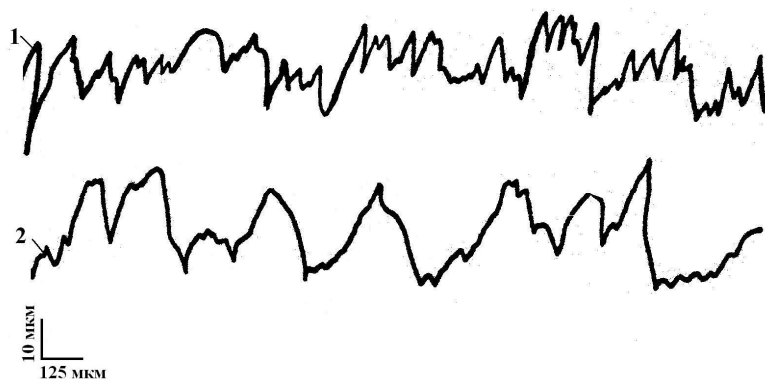


Рис.4. Стан робочої поверхні хромованих кілець

Стан вкладишів підшипників ковзання колінчастого валу із сплаву АО20-1 визначався візуально.

Після випробувань двигунів у поршневих кільцях визначалася шорсткість робочих поверхонь, висота контактної плями b_1 і середній тиск кільця на стінку циліндра p_0 . Тиск p_0 визначався за формулою [19]:

$$p_0 = \frac{2Q}{b_1 D}, \quad (6)$$

де Q – тангенціальна сила стиснення кільця до зазору 0,5 мм; D – номінальний діаметр кільця. Тангенціальна сила стиснення Q визначалася за формулою [19]:

$$Q = \frac{Q_1}{k}, \quad (7)$$

де Q_1 - діаметральна сила їх стиснення до зазору 0,5 мм (див. методику [20]); k – коефіцієнт, яким враховувався типорозмір і матеріал кільця, – приймався рівним 2,4.

Результати досліджень та їх обговорення. Як показали випробування дослідних і контрольних двигунів, на робочій поверхні нижніх поршневих кілець утворювався досить нерівномірний по висоті контактний поясок b_1 (рис. 5).

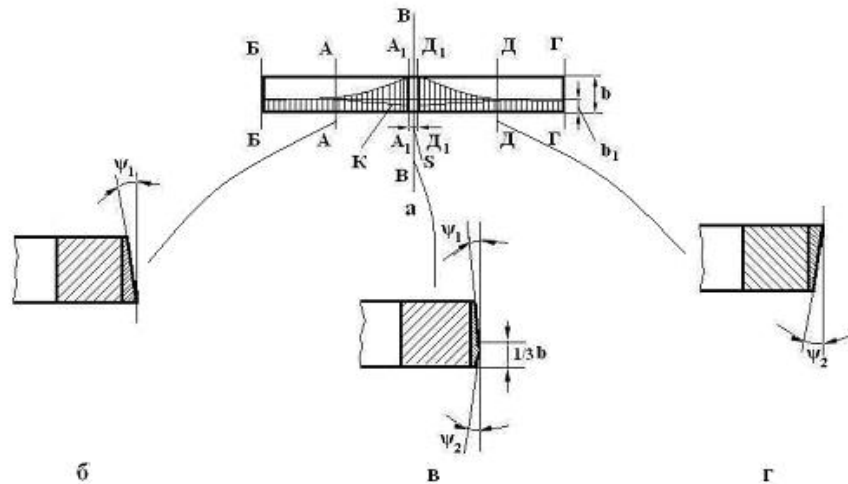


Рис. 5. Вигляд робочої поверхні нижнього поршневого кільця (а) та перерізи хромованого кільця в площинах: А-А (б), В-В (в) і Д-Д (г)

Поблизу замка висота пояса була найбільшою, а в спинці кільця та в площинах А-А і Д-Д (зони найбільшої жорсткості) – найменшою (див. лінію К, рис. 5а).

Незважаючи на значно меншу тривалість обкатки дослідних двигунів, висота контактного пояса b_1 у них була дещо більшою, ніж у кільця контрольних двигунів. В результаті значення тиску p_0 в площинах Б-Б і Г-Г у дослідних двигунів були у межах (0,27-0,53) МПа, а у кільця контрольних двигунів – (0,28-0,98) МПа. У спинці кільця тиск p_0 у контрольних двигунів становив (0,22-0,48) МПа, а у дослідних – (0,21-0,46) МПа. За даними [19], середній тиск кільця на стінку гільзи циліндра повинен бути не меншим 0,2 МПа.

Чистота поверхні R_a на ділянках кілець із широким контактним пояском була значно гіршою, ніж на ділянках з вузьким пояском – (0,08-0,63) мкм проти (0,06-0,03) мкм. Очевидно, із збільшенням коефіцієнта взаємного перекриття кілець з гільзою циліндрів, тиск між ними зменшувався, але від цього суттєво утруднювався вихід з контакту продуктів згоряння і зносу.

Контакт на робочій поверхні 1-х компресійних кілець був сформований по всій висоті. Однак, через скручування кілець в досить широких канавках поршня [18], у площинах А-А і Д-Д спостерігався, як бажаний - прямий (див. рис. 5б), так і недопустимий - зворотній конус (див. рис. 5г). В спинці кільця конус найчастіше був оптимальним - із ламом на висоті $1/3b$ (див. рис. 5в).

В результаті того, що під час МП поверхневі шари матеріалів переходили у електроліт у розчиненому стані, при обкатці поверхні деталей не зношувалися абразивом, а залишалися пористими (див. профілограми 1, 3, 4 та вигляд в, рис.6).

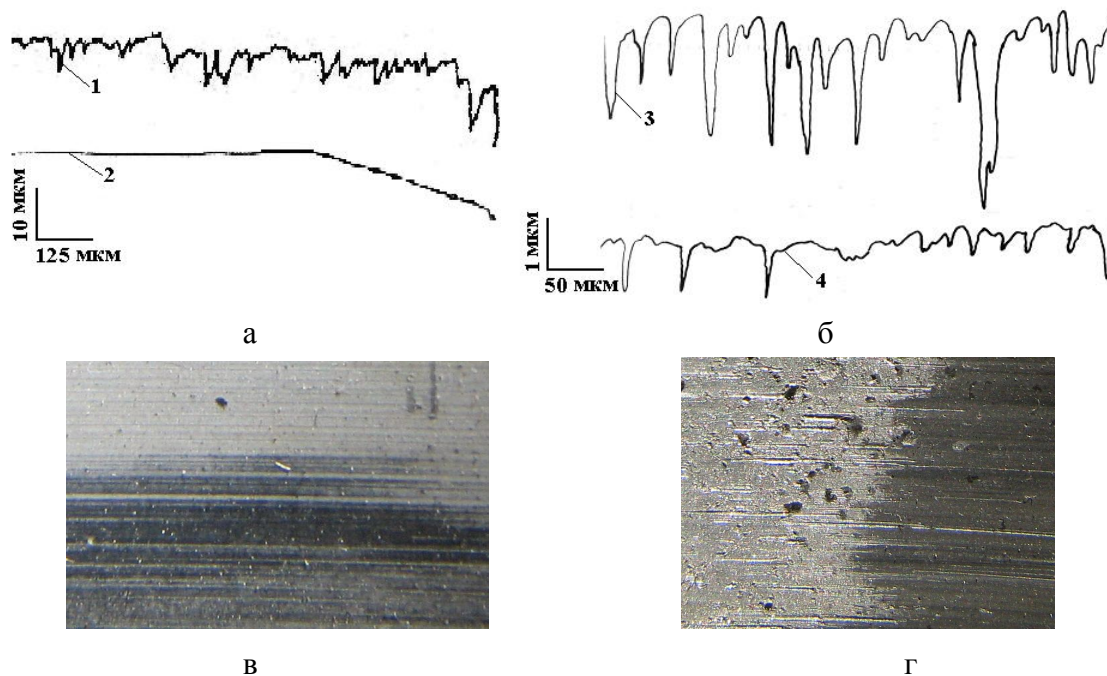


Рис. 6. Стан поверхонь поршневих кілець (а), дзеркала гільз циліндрів (б) і вкладишів підшипників ковзання дослідних (в) і контрольних (г) двигунів: 1, 2 – мікропрофіль хромованого покриття 1-го компресійного кільця, відповідно, дослідного і контрольного двигунів; 3, 4 – мікропрофіль дзеркала гільзи циліндра після ВЕФХД, відповідно, в зоні реверса кільця і в середній зоні гільзи

Звертає на себе увагу асиметричний профіль виступів рельєфу дзеркала гільзи на початку профілограми 3 (див. рис. 6б). Очевидно він утворювався за приведеним вище механізмом через більшу швидкість розчинення виступів мікрорельєфу на вході в контакт (див. рис. 1в). В даному випадку кільце рухалося відносно гільзи зліва направо і ДС було підключене зі сторони ВМТ кільця [21]. Цьому також сприяло те, що на підході до ВМТ, в зазорі була достатня кількість електроліту, а у зворотному напрямку – кількість електроліту була значно меншою (в цей час електроліт по інерції продовжував рухатися вправо).

Як видно з рис. 6, пористі рельєфи на поверхнях деталей після ВЕФХД суттєво відрізнялися від поверхонь на деталях контрольних двигунів. Про те, що на таких рельєфах може надійно утримуватися олива і створюватися між ними пружна рівновага, свідчили дані про втрати оливи на вигорання, по відношенню до витраченого палива: 0,71 % - у дослідного двигуна після 40 хв. обкатки, 0,85 % - у двигуна після 80 хв. обкатки і 0,91 % – у контрольного двигуна.

Висновки: 1. Акцентовано, що невизначеність будови вторинних поверхневих структур та умов, що забезпечують припрацювання найбільш швидкозношуваних деталей ЦПГ і КШМ утруднює вирішення проблеми підвищення, якості вітчизняних ДВЗ. У зв'язку з цим запропонований для використання спосіб ВЕФХД деталей та розкритий механізм забезпечення САМіС. 2. Покращення стану поверхонь деталей за рахунок застосування ВЕФХД пояснюється нанодисперсністю приповерхневих складових середовища, які утворюються в результаті ЕХ розчинення і, які за умов ПР, призводять до виникнення шаруватості вторинних структур та до полегшеного відносного ковзання поверхонь у межах тонких плівок. 3. Показано, що відсутність абразивного характеру зношування деталей при ВЕФХД призводить до підвищення функціональних властивостей відремонтованих двигунів.

Список літератури: 1. Xi Shi, Andreas A., Polycarpou A Dynamic Friction Model for Ulubricated Rough Planar Surfaces // ASME Tribol.- 2003. - Vol 125. - P. 788-795. 2. Миронов В.И., Стружанов В.В., Крахмальник Г.Л. Об одной модели пластической деформации с разупрочнением // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. - № 5 – С.42-49. 3. Мартияк Р.М., Швець Р.М., Глод А.В. Припрацювання рухомих півпросторів за часткового зношування виступу на поверхню контакту // Фізикохімічна механіка матеріалів. – 2003. – №1. – С.51-58. 4. А.с. № 1045049, МКИ G 01M 15/00. Способ приработки деталей. В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев (СССР). - № 3449488/25-06. Заявл. 09.06.82. Оpubл. 30.09.83. Бюл. № 36. – 2с. 5. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Тэхника, 1970. – 396 с. 6. Геверлинг Н.В. Поверхностная электротермообработка. – М.-Л.: ОНТИ НКТН, 1936. – 146 с. 7. Верховецкий И.Н. Исследование процессов электрохимического хонингования и разработка технологии ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Кишинев: 1970. – 28 с. 8. Жулин В.М., Каботянская Е.Б. Высокие давления в химической науке и практике. – М.: Знание, 1987. – 32 с. 9. Л.Н. Болдарь Разработка технологии ЭХМП основных сопряжений автотракторных двигателей при их ремонте: Дисс... канд. техн. наук: 05.20.03 – Кишинев: 1985. – 290 с. 10. Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства: Монография. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с. 11. Болдарь Л.Н. О текстурировании поверхностных слоев материалов при макроприработке деталей под действием тока и электролитов / Міжнародн. зб. наук. праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 32. – С. 33-40. 12. 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 международн.н.т.к. «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т.1. – С.91-95 13. Паршутин В.В., Ревенко В.Г., Шолтоян Н.С. Подавление коррозии сталей при электрохимической размерной обработке // Электронная обработка материалов, 2006.- №3. – С.138-147 14. В.А. Александров, Л.П. Шестопалова. Циклическое оксинитрирование конструкционных хромистых сталей / Сб. докл. IX Международн. н.т. Конгресса термистов и металловедов. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2008, Т.1.- С.162-165. 15. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение. – М.:Машиностроение, 1986. – 384 с. 16. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур стали и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 264 с. 17. Покровский Б.И. Материалы для оптических квантовых генераторов / Сб. статей «Оксидные материалы в электронной технике». Сер. «Химия». – 1983, №6. – С.38-52. 18. Розробка технології прискореної обкатки тракторних двигунів з використанням ЄХМП основних з'єднань / Звіт по НДР. – Луганськ: ЛСГІ, 1994. – 97 с. 19. Молдаванов В.П. Поршневые кольца ДВС.–М.: Россельхозиздат, 1985. –158с. 20. Болдар Л.Н., Буйкін С.О., Константин О.В. Взаємне доведення деталей ЦПГ відремонтованих ДВЗ. Напружено-деформований стан поршневих кілець / Зб. наук праць ЛНАУ. Сер.: «Технічні науки», № 68 (91). – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2006. – С.27-35. 21. Патент 1811449, СССР, МКИ В23 Н9/12 Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь. - № 4927110/08. Заявл. 12.04.91. Оpubл. 23.04.93. Бюлл. № 15. – С.8.

Сдано в редакцию 15.05.08