

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП

Представлены результаты анализа условий эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин, пути решения проблем повышения ресурса лап культиваторов при их изготовлении и восстановлении путём использования комбинированных методов одновременной электроэрозионной заточки и упрочнения, а также локальной точечной наплавки стойкими к абразивному изнашиванию материалами, результаты сравнительных полевых испытаний.

INCREASE OF DURABILITY OF PAWS OF CULTIVATORS

Results of the analysis wear resistance working bodies of soil-cultivating machines are presented, at the way of the decision problems increase of a resource paws cultivators at their manufacturing and restoration by use of the combined methods simultaneous electroerosive sharpening and hardening, and also local dot welding abrasive-steady by methods, results of comparison field tests.

УДК 621.436

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОПРЕПАРАТІВ НА ЗНОШУВАННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

М.В. Молодик, докт. техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України,
В.С. Больбут, зав. групи,
П.М. Фастовець, канд. техн. наук, **О.Д. Клімчук**, ст. наук. співр.,
М.В. Забродський, наук. співр.

ННЦ "ІМЕСГ"

Викладено результати досліджень ефективності застосування наноматеріалів у двигунах внутрішнього згоряння з метою зменшення швидкості зношування гільз циліндрів та їх теоретичне обґрунтування.

Проблема. За більшістю параметрів сучасні двигуни з впровадженням електронних систем їх управління та системи подачі пального "Common Rail" наближаються до граничних значень за ресурсом та витратами пального. Однак, на сьогодні ще залишаються проблемними такі спряження, як поршень—кільце—циліндр; клапан—гніздо; клапан—втулка. Ці проблемні спряження були і залишаються поки що слабкою ланкою двигуна, і вони продовжують обмежувати його ресурс та визначати витрати пального.

© М.В. Молодик, В.С. Больбут, П.М. Фастовець, О.Д. Клімчук, М.В. Забродський.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 94. 2010.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відносні втрати потужності на тертя між поршневыми кільцями і гільзою та між поршнем і гільзою найбільш вагомі і складають серед елементів двигуна половину загальних втрат [1].

Робота спряження гільза—поршень—поршневі кільця поки що визначає ресурс усього двигуна, тому що це спряження працює у найбільш складних умовах і є найменш довговічним елементом у конструкції двигуна.

Під дією власної пружності і тиску газів кільця щільно прилягають до поверхні гільзи. Над верхнім кільцем тиск у кінці стиснення робочої суміші досягає в карбюраторних двигунах не більше 1,4 МПа, а в дизельних 3–4 МПа. Спалах робочої суміші, який триває короткий проміжок часу в межах 1/10–1/12 циклу збільшує цей тиск в 3–4 рази. В порожнинах лабіринту кільця по мірі віддалення від камери згоряння тиск газів у циліндрі $P_{ц}$ спадає ступінчато до величини P_1, P_2, P_3 і поступово стає близьким до тиску навколишнього середовища, що підтримується в картері двигуна [2].

В найбільш напруженому стані знаходиться перше (верхнє) компресійне кільце, яке сприймає 75% тиску газів камери згоряння $P_{ц}$. Пара гільза — поршень, крім того, в роботі є найбільш навантаженою і напруженою в температурному відношенні. В зоні верхньої канавки поршня температура сягає 200–240°C (рис. 1) [2].

За такого жорсткого температурного навантаження 35 — 50% тепла від поршня відводиться його кільцями за рахунок безперервного щільного контакту між ними та гільзою.

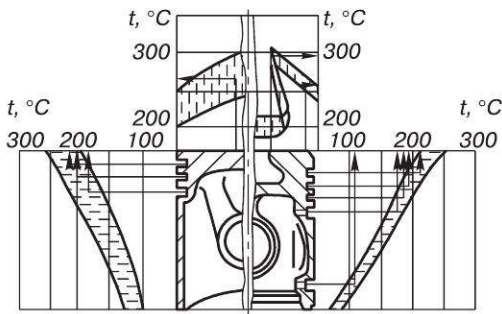


Рис. 1. Розподіл температури на поверхні поршнів карбюраторного (зліва) і дизельного (справа) двигунів [2]

Крім цього додатково виникають сили притискання поршня з кільцями до поверхні циліндра при переході верхньої мертвої точки (ВМТ) (коли за рахунок ексцентриситету він перевалюється, проходячи ВМТ). Такі умови роботи спричиняють інтенсивне зношування верхньої частини гільзи.

В аналогічних умовах за температурними і механіч-

ними навантаженнями працюють контактуючі пари клапан—гніздо, стержень клапана—втулка.

До основних напрямів можна віднести наступне: застосування зносостійких матеріалів, встановлення у верхню частину гільзи стійкої до зношування вставки й вібронакочування дзеркала гільзи та створення заданого мікрорельєфу [3]; електро-хіміко-механічне припрацювання деталей циліндро-поршневої групи [4]; підвищення зносостійкості гільз завдяки розміщенню на їх внутрішніх поверхнях тертя матеріалів з неоднорідними фізичними та механічними властивостями [5].

Останнім часом для підвищенні ресурсу й зменшення неефективних витрат потужності двигуна, особливо в спряженнях поршень — поршневі кільця — гільза циліндра; клапан — гніздо; клапан — втулка, перспективним є застосування сучасних нанотехнологічних препаратів, з допомогою яких змінюються деякі властивості контактуючих поверхонь й антифрикційного шару між ними.

Нанотехнологічний препарат, до складу якого входить діоксид кремнію, триоксид алюмінію та плазморозширений графіт, формує на поверхнях тертя еластичний антифрикційний шар [6], основу якого складають молекули оливи, зв'язані в просторову структуру часток оксиду кремнію — специфічний колоїдний розчин (рис. 2).

Характерний розмір таких гранул мінеральних порошоків у середньому становить 14 нанометрів. Цей антифрикційний шар заповнює нерівності на поверхнях й на порядок зменшує коефіцієнт тертя. Пустоти, що виникають між поліедрами, є зонами аномально високої адсорбційної активності і ефективно утримують змащувальний матеріал — оливу. Підкладкою служать частинки триоксиду алюмінію, а зовнішню поверхню захищає надто тонка плівка плазморозширеного графіту (фулерени).

З'єднання нанопрепарату з поверхнею деталі відбувається на рівні мікрометалургійного процесу. Утворення такого шару активізується в зонах підвищеного тиску і температури, які характерні для роботи спряжень гільза—поршень—кільця; клапан—

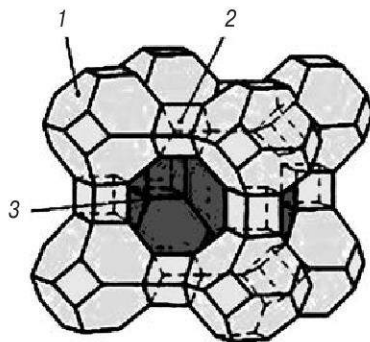


Рис. 2. Молекулярний моноблок змащувальної композиції, що утворюється на поверхні тертя [6]: 1 — поліедри (кремнекисневі та алюмінокисневі тетраедри); 2 — кисневі містки; 3 — чарунки, заповнені оливою

гніздо; клапан–втулка. Таким чином умови роботи деталей циліндропоршневої групи (інерційні та динамічні сили, температура, тертя, контактні зусилля) зумовлюють, з одного боку, інтенсивне зношування спряжених поверхонь та втрати ефективної потужності двигуна, з іншого боку, сприяють ефективному осадженню нанопрепарату на ці поверхні. Відповідно інтенсивність зношування повинна зменшуватись.

Це препарати, створені на принципах нанотехнологій: “ХАДО” м. Харків, Україна [7]; “РиМЕТ” підприємства ВМП, м. Єкатеринбург, Російська Федерація [8]; “Нанопротек” ТОВ НВТК “Супротек”, м. Санкт-Петербург, Російська Федерація [9]; “Мегафорс” силікатофулеренова композиція ТОВ НВП “Триботех”, м. Санкт-Петербург, Російська Федерація [10].

Найбільш доступними з них є “ХАДО” та “Мегафорс”.

Мета досліджень. Обґрунтування ефективного застосування нанопрепаратів для підвищення ресурсу двигунів внутрішнього згорання.

Результати досліджень. Для дослідження питання зменшення інтенсивності зношування нами виконано математичне моделювання зношування гільзи циліндра в двигуні внутрішнього згорання. Модель будували на підставі допущення, згідно з яким зношування гільзи відбувається внаслідок тертя ковзання з мащенням між поршневими кільцями і поверхнею гільзи. За основу взяли відомий з теорії тертя і зношування [11] лінійний закон зношування:

$$I = k \cdot p, \quad (1)$$

де I — інтенсивність зношування, м/м; k — параметр закону зношування, Па⁻¹; p — контактний тиск, Па.

Інтенсивність зношування визначається відношенням швидкості зношування до швидкості переміщення поршня:

$$I = V_3 / V_{\text{п}}, \quad (2)$$

де V_3 — швидкість зношування, мм/год; $V_{\text{п}}$ — швидкість поршня, мм/год.

Середню швидкість переміщення поршня можна визначити за відомою з теорії автотракторних двигунів формулою [12]:

$$V_{\text{п}} = 2S \cdot n / 60 = 2 / \pi R \omega, \quad (3)$$

де S — хід поршня, м; n — частота обертання колінчастого вала, об./хв; R — радіус кривошипа, м; ω — середня кутова швидкість шатуна, м/с.

Із урахуванням розподілу тиску газів на перше і друге компресійні кільця та пружності сталевого поршневого кільця отримали, на підставі формул (1) і (2), математичну модель зношування гільзи циліндра двигуна внутрішнього згорання:

$$V_7 = k_c \cdot V_n \left[P_r (k_1 + k_2) + \frac{F_k}{\pi D h} \right], \quad (4)$$

де k_c — параметр закону зношування чавунної поверхні при її стиранні загартованою сталевую деталлю в умовах тертя ковзання з мащенням, Па^{-1} ; V_n — середня швидкість переміщення поршня, м/год; P_r — тиск газів під час робочого ходу поршня, Па; k_1 і k_2 — долі тиску газів, які сприймають, відповідно, перше і друге компресійні кільця, відносні одиниці; F_k — сила, створювана власною пружністю сталевого поршневого кільця, Н; D — діаметр гільзи, м; h — висота кільця, м.

Аналіз формули (4) показав, що дія нанопрепарату може бути оцінена значеннями параметра k_c , який враховує коефіцієнт тертя і фізико-механічні властивості контактуючих поверхонь.

Експериментальне значення швидкості зношування циліндрів визначили на підставі мікрометражних досліджень. Мікрометраж проводився у відповідності з методикою [13].

Досліджували циліндри двигуна Д-21А1 трактора Т-16МГ за двома варіантами: за першим варіантом міжремонтний наробіток становив 1860 мотогодин без застосування нанопрепарату, за другим — наробіток становив 688 мотогодин із застосуванням нанопрепарату “ХАДО—циліндр”. Діаметр циліндрів вимірювали нутромірм НІ 100–160 з точністю 0,01 мм. Циліндр розділили на чотири частини через 90° у кожній чверті за висотою. Вимірювання виконували на відстані 5 мм, 30 мм, 70 мм від верху циліндра та на відстані 20 мм від низу гільзи (табл.). У кожній точці вимірювання проводилось тричі. Початковий діаметр циліндра (перед початком досліджень) становив: для першого варіанта 105,01 мм; для другого — 105,7 мм.

Швидкість зношення внутрішньої поверхні циліндра V_3 визначалася за формулою:

$$V_3 = \frac{|d_0 - d_1|}{t}, \quad (5)$$

де d_0 — початковий діаметр циліндра, мм; d_1 — діаметр зношеного циліндра, мм; t — наробіток, мотогодин.

Згідно з результатами мікрометражних досліджень та розрахунків за формулою (5) встановлено, що середня швидкість зношування гільз циліндрів в двигуні Д-21А1 за умов застосування оливи за рекомендацією заводу-виготовлювача (М 10 Г2 ГОСТ 8581) становила 0,083 мкм/год. Швидкість зношування з застосуванням антифрик-

Таблиця. Результати замірів циліндрів двигуна Д-1А1

Глибина виміру, мм	Площина виміру	Діаметр циліндра, мм		Знос без нано-препарату, мм		Діаметр циліндра, мм		Знос з нано-препаратом, мм	
		№ циліндра		№ циліндра		№ циліндра		№ циліндра	
		1	2	1	2	1	2	1	2
5 зверху	Перпендикулярно осі пальця	105,01	105,01	0,00	0,00	105,70	105,70	0,00	0,00
		105,01	105,01	0,00	0,00	105,70	105,70	0,00	0,00
30 зверху	Перпендикулярно осі пальця	105,45	105,46	0,44	0,45	105,73	105,73	0,03	0,03
		105,22	105,23	0,21	0,22	105,71	105,71	0,01	0,01
70 зверху	Перпендикулярно осі пальця	105,20	105,26	0,19	0,25	105,72	105,72	0,02	0,02
		105,08	105,09	0,07	0,08	105,71	105,71	0,01	0,01
20 знизу	Перпендикулярно осі пальця	105,16	105,20	0,15	0,19	105,71	105,71	0,01	0,01
		105,06	105,08	0,05	0,07	105,71	105,71	0,01	0,01

ційного препарату “ХАДО” для циліндрів зменшилась більше, ніж в 4 рази, і становила 0,02 мкм/год.

Цей результат можна пояснити на підставі запропонованої нами моделі зношування гільзи (див. формулу (4)), згідно з якою зменшення швидкості зношування спричинене адекватним зменшенням, при інших рівних умовах, параметра k_c . Фізика цього процесу заключається в тому, що [11, 14]:

- на поверхнях спряжених деталей утворюється шар з протизношувальними та діелектричними властивостями, шар який змінює кристалічну решітку металу в зонах контакту;
- завдяки наявності такого шару олива постійно утримується на верхній металу, чим усувається зношування деталей двигуна при “холодному запуску”;
- нанесений шар, який складається з декількох наночарів, має підвищену твердість та мікропружність;
- зменшується коефіцієнт тертя в спряженнях і, тим самим, температура в зонах тертя.

Ефективність використання сучасних наноматеріалів у двигунах внутрішнього згорання проявляється в наступному: підвищенні тиску оливи в системі мащення; підвищенні та вирівнюванні компресії в циліндрах двигуна; підвищенні ресурсу двигуна; зменшенні витрати пального та оливи; зниженні шкідливих викидів в атмосферу; зниженні вібрації та шумів при роботі двигуна.

Звичайно, на шляху до більш ефективного використання нанопрепаратів у двигунах існує одна не проста проблема: нанопрепарати повинні надходити, в першу чергу, безпосередньо до деталей, які обмежують ресурс двигуна й впливають на його технічні показники, до деталей, які найбільше задіяні у витратах потужності на тертя і, тим самим, зумовлюють витрати пального — це деталі циліндро-поршневої групи та клапанного механізму.

Нині виробники таких матеріалів рекомендують подавати їх до деталей двигуна, використовуючи в якості носія оливу. Звичайно, це просто і доступно. Але детальний аналіз показав, що забезпечити подачу нанопрепарату до спряжень клапан–гніздо, гільза–кільце поршня, особливо у верхню частин гільзи, де зношування найбільше, оливою не просто. А що стосується пари випускний клапан — гніздо імовірно і неможливо. А це якраз місця двигуна, які регламентують його ресурс — спряження, які поки що залишаються слабкою ланкою.

Про підвищення ефективності застосування нанопрепаратів у двигунах за рахунок їх подачі, в першу чергу, безпосередньо до найбільш проблемних спряжень й поліпшити їх технічні можливості буде висвітлено у наступній публікації.

Висновки. Застосування сучасних наноматеріалів у двигунах внутрішнього згоряння є ефективним методом позитивних змін поверхонь тертя деталей і поліпшення, тим самим, його технічних та експлуатаційних показників. На підставі розробленої математичної моделі зношування гільзи циліндра двигуна внутрішнього згоряння та експериментальних досліджень показано, що застосування нанопрепарату “ХАДО” зменшує, при інших рівних умовах, значення параметра k_c . закону зношування гільзи більше, ніж у 4 рази, і, відповідно, забезпечує зменшення швидкості зношування гільзи від 0,083 мкм/год до 0,020 мкм/год.

Перспективи подальших розробок у даному напрямі полягають у дослідженні підвищення ефективності застосування нанопрепаратів у двигунах за рахунок їх подачі, в першу чергу, безпосередньо до найбільш проблемних спряжень.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями* / Под ред. Д. Хилларда, Дж. Слингера. — М.: Машиностроение, 1988. — 510 с.
2. *Молдаванов В.П.* Поршневые кольца ДВС. — М.: Россельхозиздат, 1985. — 158 с.
3. *Увеличение ресурса машин технологическими методами.* — М.: Машиностроение, 1978. — 216 с.
4. *Болдар Л.Н.* Взаємне електрохіміко-механічне припрацювання (доведення) деталей ЦПГ і КШМ відремонтованих тракторних двигунів — гарантія їх макро- і мікроприпрацювання // Міжвідомчий тематичний науковий збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства” ННЦ “ІМЕСГ”, Вип. 90. — 2006. — С. 108–120.
5. *Загородских Б.П., Ситдянкин А.А., Баринов С.В.* Повышение износостойкости гильз цилиндров ДВС // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2003. — № 4. — С. 25–26.
6. *Бобров Д.* О трении, графите и нанотехнологиях // Наука и жизнь. — 2008. — № 4. — С. 97–100.
7. *Прайс-лист “ХАДО”* м. Харків, Україна.
8. *Прайс-лист “РИМЕТ”* предприятие ВМП, г. Екатеринбург, РФ.
9. *Прайс-лист “Нанопротек”* ТОВ НВТК “Супротек”, г. Санкт-Петербург, РФ.
10. *Прайс-лист “Мегафорс”* силикато-фулереновая композиция ТОВ НВП “Триботех”, г. Санкт-Петербург, РФ.
11. *Крагельский И.В., Добычин И.В., Камбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ — М.: Машиностроение, 1977. — 526 с.
12. *Артамонов М.Д., Морин М.М., Скворцов Г.А.* Основы теории и конструирования автотракторных двигателей. — М.: Высш. шк., 1978. — 133 с.

13. *Методика* проведення мікрометражних робіт. ВНИИВИД ВНПО “Ремдеталь”, пгт Глеваха, 1985. — 9 с.
 14. ТУ 0257-001-588-448-72—2003. “Реализация класса наноматериалов интеллектуальные смазочные композиции “Нанопротек”. — Донецк, 2008.
-

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАНОПРЕПАРАТА НА ИЗНОС ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Изложено результаты исследования эффективности использования наноматериалов в двигателях внутреннего сгорания с целью уменьшения скорости износа гильз цилиндров и их теоретическое обоснование.

INFLUENCE RESEARCH NANOMATERIALS ON DETERIORATION OF SLEEVES OF CYLINDERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Results of research of efficiency of use nanomaterials in internal combustion engines for the purpose of reduction of speed of deterioration of sleeves of cylinders and their theoretical substantiation are stated.

УДК 631.354.2.01.004.5

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

М.В. Молодик, докт. техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України,
А.О. Деркач, ст. наук. співр., **В.В. Сліпченко**, асп.

ННЦ “ІМЕСГ”

Наведено результати досліджень відмов електрообладнання зернозбиральних комбайнів та обґрунтовані алгоритми їх пошуку і усунення.

Проблема. Ефективність використання мобільної сільськогосподарської техніки в значній мірі залежить від оперативного виявлення і усунення відмов електрообладнання.

Відомо, що до 20% простоїв мобільної сільськогосподарської техніки припадає на пошук і усунення відмов систем електрообладнання.

Одним із резервів зменшення простоїв техніки є застосування оптимальних алгоритмів пошуку і усунення відмов електрообладнання. Для побудови таких алгоритмів важливе значення має вибір математичних