

# Загальні питання

УДК 621.891

О.В. Левченко, М.І. Суханов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ПО ОЦІНЦІ СУМІСНОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ МАТЕРІАЛАМИ ТРИБОСИСТЕМ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Проведені порівняльні випробування моторних олиव на модельних парах тертя двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) у лабораторних умовах. Отримані результати дозволяють ранжувати оливи між собою за трибологічними властивостями, виділити їх експлуатаційні переваги.*

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння, трибосистема, моторна олива.

### Вступ

Підхід полягає в дослідженні трибологічних властивостей моторних олив в однакових лабораторних умовах на машині тертя з малогабаритними зразками трибосопряжень що моделює умови зовнішнього впливу основних трибосистем ДВЗ. А саме: верхнє компресійне поршневе кільце - гільза циліндра, шейку колінчатого вала – вкладиш. Випробування проводяться по методиці, яка приведена у [1].

У результаті таких порівняльних досліджень, відповідно з вимогами ДСТУ 30480-97 до контрольованих параметрів при моделюванні на малогабаритних зразках, реєструвалися наступні параметри трибопроцесів: момент тертя, що перераховувався в коефіцієнт тертя; температуру зразків у безпосередній близькості від зони тертя; швидкість зношування; час припрацювання зразків; час випробувань. По величині коефіцієнта тертя судили про механічні втрати в трибосистемі, а по характеру його флуктуацій можна опосередковано судити про процес утворення і руйнування вторинних структур (ВС) на поверхнях тертя під дією присадок. Реєструвався також зовнішній вигляд зразків на сканері до і після випробувань з метою непрямої оцінки термоокислювальної стабільності моторної оливи по кольору відкладень на зразках. Режим тертя і зношування – стаціонарний. Методика випробувань цілком відповідає основним положенням, викладеним у ДСТУ 30480-97. Випробування проводяться в режимі граничного змащення. Режим граничного тертя (пуск, перехідні режими), в основному визначає довговічність ТС двигуна і більш повно розкриває триботехнічні властивості мастильного матеріалу [2].

Проведений аналіз літератури й експертне опитування фахівців показали, що у якості матеріалів деталей сучасних дизельних автотракторних ДВЗ як вітчизняного, так і імпортного виробництва використовують-

ся:

- для гільзи циліндра – сірий модифікований чавун з перлітною структурою (зі змістом кремнію, марганцю, нікелю і хрому), що забезпечує конструктивну зносостійкість внутрішньої поверхні (твердість робочої поверхні гільзи коливається в значеннях до 280 НВ);

- для верхнього (першого) компресійного кільця – високоміцний чавун з кулястим графітом, який має по зовнішньої торцевої поверхні, що прилягає до робочої поверхні гільзи, покриття з твердого хрому ( $H_{50} = 11000$  МПа), товщиною 0,1 мм (іноді використовують молібденове, хромкремневе, газоплазменне чи комбіноване покриття з фосфатуванням торцевої поверхні для кращої припрацьованості кільця);

- для колінчатого вала – сталь 45, іноді це сталь 40Х, рідше - високоміцний чавун (поверхні шийок гартуються струмами високої частоти чи нітроцементуються для підвищення їхньої твердості (до 52 HRC<sub>3</sub>) і зносостійкості, шорсткість поверхні шатунних і корінних шийок доводиться до шорсткості  $R_a = 0,16$  мкм);

- для підшипників ковзання колінчатого вала (вкладишів) – у більшості випадків основою служить сталевий стрічка, на яку наноситься антифрикційний шар свинцово-олов'янистої бронзи (зі змістом свинцю 10, 21(26% і олова 1(5, 10%) потім – тонкий шар порошкового нікелю (не завжди, тільки – для чотиришарових підшипників), а потім тонкий шар бабіту (PbSn10Cu2) для припрацювання (рідше, на менш навантажених двигунах, у якості основного антифрикційного шару використовують м'який алюмінієвий сплав типу АО-20-1 чи двошарову комбіновану композицію БрОС 22-1+АО-20-1 із проміжних шаром нікелю; чим вище шарів у підшипника – тим вище його довговічність).

У якості мастильних матеріалів для проведення

досліджень були обрані дизельні моторні оливи марок 76 Lubricants (США), Wellrun (Голландія - підрозділ Agip Benelux b.e.), Castrol (Німеччина), Esso (Німеччина), Mobil (США).

### Результати досліджень

При виборі експериментальної установки і засобів реєстрації параметрів тертя моделей реальних вузлів ковзання машин виходили з важливості використання при іспитах серійних машин тертя і типових зразків, що дозволить надалі зіставляти без перерахувань результати, отримані різними дослідниками. Результати випробувань, отримані на різних іспитових установках, значно розрізняються, що ускладнює їхній аналіз і порівняння. Факторами, відповідальними за розкид результатів, є коефіцієнт взаємного перекриття, рівень вібрації самої іспитової установки і ряд інших причин [3, 4].

Трибологічні дослідження проводилися на серійній і удосконаленій машині тертя 2070 СМТ-1, що реалізує в ході дослідження схему випробувань «кільце-кільце» (рис. 1). Форма і розміри зразків для модельних триботехнічних випробувань відповідали вимогам ДСТУ 30480-97. Розширення функціональних можливостей серійної машини тертя здійснювалося шляхом забезпечення випробувань по обраній кінематичній схемі модельних зразків. Це значно зменшило погрішність виміру моменту тертя, швидкості зношування в процесі експерименту. Ця задача вирішена шляхом розробки принципово нової конструкції шпиндельного устаткування для даної машини тертя, що забезпечує сприйняття шпинделем як осьових, так і радіальних навантажень.

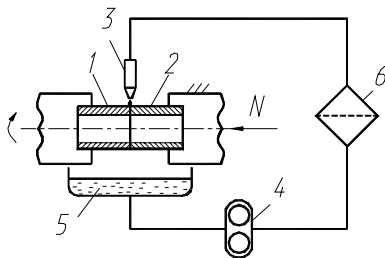


Рис. 1. Схема випробувальної установки: машини тертя 2070 СМТ –1 та системи змащення зразків:

- 1 – рухомий зразок; 2 – нерухомий зразок;
- 3 – форсунка для подачі оливи; 4 – шестерний насос;
- 5 – оливозбирач; 6 – масляний фільтр

З метою виключення мікрорізання, гострі крайки притуплялася до радіуса 0,5 мм. Шорсткість поверхонь зразків доводилася до  $R_a \leq 0,20$ . Для відтвореності результатів випробувань на знос застосовувалося попереднє прироблення зразків, і контролювалося сполучення торцевих поверхонь по величині контактної площі не менш 90% робочої поверх-

хні кожного зразка. Після попередньої обробки зразки промивали технічно чистим ацетоном ГОСТ 2603-71 чи етиловим спиртом ГОСТ 5962-67, сушили протягом 2-х годин при температурі  $90^{\circ}\text{C}$  і витримали протягом 6-ми годин у ексікаторі. Перед установкою на універсальній машині тертя поверхні оброблялися за загальноприйнятою методикою ГОСТ 23.210-80.

Для реалізації режимів тертя в умовах граничного змащення на універсальній машині тертя була встановлена система змащення з постійною краплинною подачею (рис.1), регульованою краном (регулювальним гвинтом), для дослідження процесів сумісності моторних оливи. Витрата оливи при краплинній подачі постійний для віх типів моторної оливи і склав  $7,55 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$ .

Для схеми «кільце-кільце» моторна олива подавалася в зону тертя нерухомого і рухливого зразків через форсунку природним шляхом. Злив оливи в оливозбірник, що одночасно виконує функцію маслобака, здійснюється самопливом.

Виходячи з аналізу літературних джерел, найбільш прийнятним методом визначення зносу для рішення поставлених задач є метод штучних баз, що дозволяє визначити лінійну інтенсивність зношування кожного зі зразків пари тертя. Використання даного методу визначене ГОСТ 23.301-78, а сутність методики виміру зносу полягає у визначенні кількісної величини лінійного зносу по вимірі розмірів поглиблення, що звужується, заздалегідь відомого профілю, виконаного на відомій поверхні. Про величину зносу судять по ширині лунки на поверхні, що повинна мати геометрично правильну форму. Відмінністю від стандартної методики є застосування замість квадратної алмазної піраміди з кутом при вершині між протилежними гранями  $136^{\circ}$  (алмазного конуса з кутом при вершині  $120^{\circ}$ ).

По величині швидкості зношування оцінювали ресурс вузла ковзання. Лунки наносилися на твірдомірі алмазним конусом. Вимір відбитків конуса проводилися на приладі ПМТ-3. Шорсткість поверхонь тертя після випробувань визначалася відповідно до ГОСТ 2789-73 на приладі «профілограф – профілометр» 252. Вимір температури в зоні тертя здійснювалося за допомогою хромель-копелевої термопари ХК-7.

При обробці результатів експерименту застосовували методи математичної статистики і планування експерименту. Перевірка відтворюваності результатів здійснювалася за критерієм Кохрена при довірчій імовірності 0,9. Перевірку адекватності (збіжності) отриманих результатів робили за критерієм Фішера і критерію Стюдента, при довірчій імовірності 0,9.

У результаті проведених досліджень на універсальній машині тертя на предмет сумісності матері-

алів основних ТС ДВЗ, що обмежують, відповідно до статистики, його моторесурс, з мастильним середовищем (пакедом присадок, що знаходиться в моторній оливі), були отримані значення трибо-

процесів модельних зразків на різних марках моторної оливи, що представлені в табл. 1, а також дані про термоокислювальну стабільність оливи, представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Значення триботехнічних параметрів для модельних пар тертя

Модел льна пара тертя	Триботехнічні параметри	Номер оливи								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гільза – поршневе кільце	Знос рухомого зразка «кільця», відн.од	10	0	40	35	1	38	11	12	6 за 10 год
	Знос нерухомого зразка «гільзи», відн. од	92	72	147	167	141	78	141	75	23 за 10 год
	Час приробляння, хв.	76	60	54	32	82	20	28	70	215
	Сумарна швидкість зношування $I_v, 10^{-14}, \text{м}^3/\text{с}$	6,109	4,664	10,167	11,379	9,187	5,643	9,327	5,038	–
	Температура нерухомого зразка, $^{\circ}\text{C}$	164	196	240	165	242	226	169	234	228
	Коефіцієнт тертя $f_{\text{тр}}, 10^{-3}$	47	58	69	43	66	62	53	65	60
Колінчатий вал – вкладиш	Знос нерухомого зразка «вкладиша», відн. од	70	66	49	86	80	61	137	127	89
	Швидкість зношування $I_v, 10^{-13}, \text{м}^3/\text{с}$	6,772	6,380	4,730	8,339	7,723	5,876	13,26	12,34	8,674

Таблиця 2

Оцінка термоокислювальної стабільності оливи

№ оливи	Середня оцінка відкладень на «кільці», в балах		Середня оцінка відкладень на «гільзі», у балах
	1	2	
1	4,0	4,0	6,25
2	2,3	2,0	3,0
3	5,3	4,7	8,7
4	4,0	3,0	7,0
5	7,75	8,0	10,0
6	6,0	6,0	7,0
7	3,7	6,7	3,75
8	8,5	9,7	7,25
9	10,0	10,0	10,0

З табл. 1 видно, що значення швидкості зношування і сили тертя для пари колінчатий вал – вкладиш на порядок вище, ніж у пари тертя гільза – поршневе кільце. Хоча в реальній експлуатації сполучення двигуна гільза – поршневе кільце зношується в кілька разів швидше, ніж колінчатий вал з підшипниками. Даний факт порозумівається тим, що модельна пара «колінчатий вал – вкладиш» працювала тільки в умовах граничного змащення, при якій найбільше яскраво виражена ступінь сумісності матеріалів трибосопряження з моторною оливою. Граничний режим змащення в підшипниках колінчатого вала реалізується тільки при пускових і перехідних режимах двигуна, а основний режим змащення реального вузла у двигуні – гідродинамічний, при якому зношування поверхонь деталей відбувається тільки внаслідок влучення в зазор сполучення

великих абразивних часток і деформації через високий тиск у гідродинамічному масляному клині.

## ВИСНОВКИ

1. По характеру зміни моменту тертя, часу приробляння, температурі зразків і значень коефіцієнта тертя випробуваних оливи можна сказати, що найбільш прийнятними показниками володіють оливи № 4, 1 і 7, а самими гіршими оливи № 3, 5 і 8.

Дані трибологічні показники говорять:

– про антифрикційні властивості оливи, отже, про механічні втрати у вузлі тертя, про економію палива, особливо на часткових навантаженнях у двигуні і неодруженому ході;

– про прирабочні властивості оливи і трибохімічної активності присадок;

– про властивості структур, що утворилися на поверхні тертя під дією присадок, які знаходяться в оливі і їхній стійкості.

2. По показниках зносу лідирують оливи № 2, 8 і 1. Однак якщо звернути увагу на наявність слідів задиру на поверхні хромованих зразків на оливі № 8, то перевага варто віддати оливі № 5 і 7. У цілому найбільш важливими показниками протизносних і протизадирних властивостей оливи у цих дослідженнях варто вважати сумарну швидкість зношування модельної пари і знос «кільця».

3. Провівши експертну оцінку термоокислювальної стабільності досліджуваних моторних оливи по характері відкладень на зразках, можна сказати, що без-

сумнівним лідером є олива № 2, потім оливи № 1, 4 і 7. Найбільш гіршими результатами володіють оливи № 5 і 8. Безсумнівно, що проведені дослідження носять непрямий і неточний характер через різницю температур, але і ці результати можуть бути порівнянні з експлуатаційними даними моторних випробувань у реальних умовах. Дані по термоокислювальній стабільності, вірніше в даному випадку – схильності до відкладень, можуть охарактеризувати такі показники моторних олив як високотемпературні відкладення на деталях двигуна і закоксування кілець, – дуже важливі показники для дизельних моторних олив.

### Список літератури

1. Дослідження методики моделювання сумісності моторних олив з матеріалами трибосистем / М.І. Суханов, М.М. Коноваленко, Д.В. Лебединський, А.Г. Се-

ліверстов // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 2 (22). – С. 165-169.

2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970. – 263 с.

3. Охлопкова А.А., Виноградов А.В. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик // Трение и износ. – 2002. – Т.23, №6. – С. 653–660.

4. Стадниченко В.Н., Стадниченко Н.Г., Джус Р.Н., Трошин О.Н. Об образовании и функционировании МК покрытия, полученного с помощью ревитализантов // Вестник науки и техники – Харьков: ХДНТ и НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 1(16). – С. 18–27.

Надійшла до редколегії 11.01.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Войтов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ СОВМЕСТИМОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ МАТЕРИАЛАМИ ТРИБОСИСТЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

О.В. Левченко, М.И. Суханов

Проведены сравнительные испытания моторных масел на модельных парах трения двигателей внутреннего сгорания в лабораторных условиях. Полученные результаты позволяют проранжировать масла между собой за трибологическими свойствами, выделить их эксплуатационные преимущества.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, трибосистема, моторное масло.

### RESULTS OF TESTS BY ESTIMATION OF ENGINE OIL COMPATIBILITY BY MATERIALS OF ENGINE TRIBOSYSTEM

O.V. Levchenko, M.I. Sukhanov

The comparative tests of motor butters are conducted on the model pair of friction engine in laboratory terms. The got results are allowed by range butters between itself after tribological properties, to select their operating advantages.

**Keywords:** engine, tribosystem, engine oil.