
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА.
ДИАГНОСТИКА ИСПЫТАНИЯ**

УДК 621.89.017

**ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МОТОРНОГО МАСЛА С СОДЕРЖАНИЕМ ФУЛЛЕРЕНОВ**© 2022 г. А. Б. Тохметова^{1,*}, А. В. Михеев¹, М. А. Тананов¹¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

*e-mail: aygerim.tokhmetova@mail.ru

Поступила в редакцию 04.02.2022 г.

После доработки 02.04.2022 г.

Принята к публикации 20.04.2022 г.

Представлены экспериментальные исследования триботехнических характеристик моторных масел с фуллереновыми добавками. Проведенные испытания позволили определить влияние концентрации фуллеренов на коэффициент трения, интенсивность изнашивания и температуру смазочного слоя при граничном и гидродинамическом режимах трения. На машинах трения реализованы режимы работы узлов трения, характерные для двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: фуллерены, моторное масло, базовое масло, коэффициент трения, износостойкость

DOI: 10.31857/S0235711922040150

Коэффициент трения является основным параметром трибосистем и зависит от ряда показателей, в том числе и от физико-механических свойств применяемого смазочного материала. На трибологические и эксплуатационные характеристики смазочного материала значительное влияние оказывают присадки. В настоящее время большой интерес вызывает применение нанокремниевых присадок (фуллеренов C_{60}) [1–4].

Для определения зависимости антифрикционных свойств масла от концентрации фуллеренов применяется метод тестирования пар трения на специальных машинах трения. Исследования проводились на машинах трения с возвратно-поступательным и вращательным движениями в лаборатории трения в экстремальных условиях ИМАШ РАН.

В исследовании использовалось полусинтетическое моторное масло Mobil Ultra 10W–40 с добавкой наноразмерных частиц. Данный материал использовался как смазочная композиция [5, 6]. Использовался порошок фуллеренов C_{60} (99.9%) производства Merck KGaA (г. Дармштадт, Германия). Процентное содержание добавки варьировалось. Максимальное содержание присадки в моторном масле не превышало 2%.

Методы исследований. Исследования смазочных материалов проводились при двух режимах трения: граничном, возникающем при запуске двигателя и работе на низких оборотах, и гидродинамическом, характерном для установившегося (основного) режима работы [7].

Режим граничного трения реализовывался на машине ПРУ-2 с возвратно-поступательным движением по схеме “цилиндр–плоскость”, представленной на рис. 1. При применении такой схемы происходит трение скольжения между цилиндрической поверхностью подвижного образца и неподвижной пластиной (рис. 2).

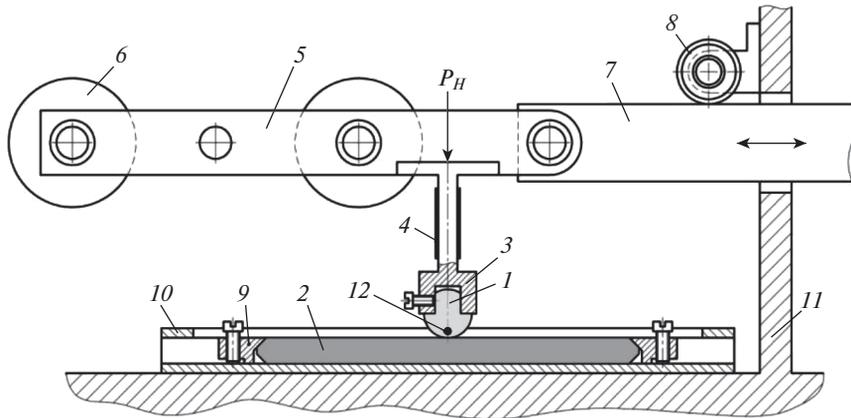


Рис. 1. Рабочая часть машины трения ПРУ: 1 – неподвижный образец; 2 – подвижный образец; 3 – тензобалка с держателем подвижного образца; 4 – тензорезистор; 5 – рычаг; 6 – груз; 7 – шток; 8 – ролик; 9 – прижим; 10 – держатель неподвижного образца; 11 – основание установки; 12 – термомпара.

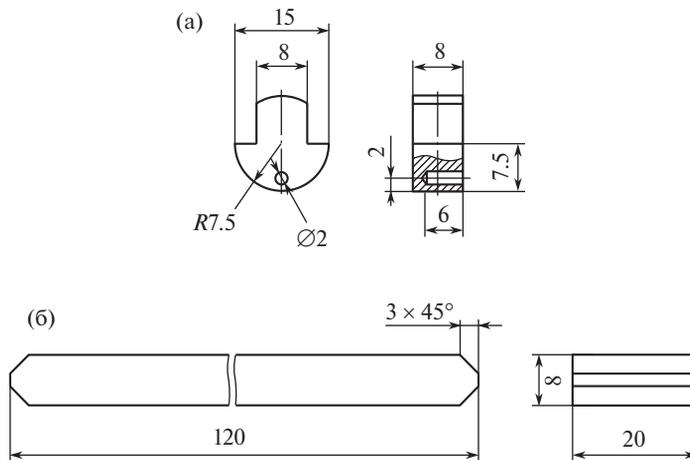


Рис. 2. Схемы образцов: (а) – подвижный образец; (б) – неподвижный образец.

Были выбраны следующие режимы работы пары трения: скорость скольжения 0.266 м/с (100 циклов в минуту); трение смешанное (смазка наносилась на ролик один раз перед каждым испытанием); нагрузка на образец варьируется от 18 до 112 Н. Скорость перемещения изменяется по синусоидальному закону.

Привод на основе кривошипно-шатунного механизма. Амплитуда перемещения составляет 80 мм. Продолжительность одного испытания составляет один час. В ходе испытаний фиксировали показания температуры, силы трения и глубины износа.

Испытания смазок в гидродинамическом режиме трения проводились на универсальной машине трения УМТ-1 [8]. Схема испытаний “кольцо–кольцо” приведена на рис. 3.

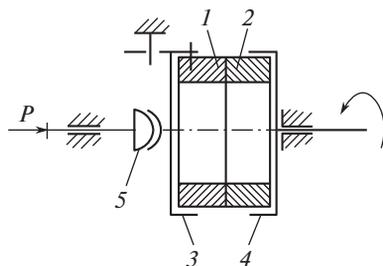


Рис. 3. Схема испытаний “кольцо–кольцо”: 1 – невращающееся образец-кольцо; 2 – вращающееся образец-кольцо; 3 – образцедержатель образца 1, обеспечивающий возможность самоустановки; 4 – образцедержатель вращающегося образца; 5 – сферический шарнир.

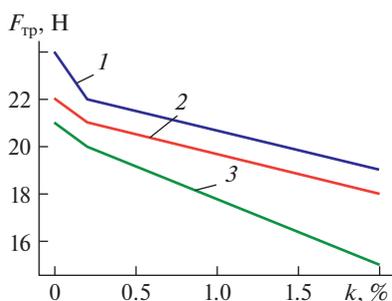


Рис. 4. График зависимости силы трения от концентрации фуллеренов при нагрузках: 1 – 18 Н; 2 – 72 Н; 3 – 112 Н.

В качестве материала пар трения для испытаний использовалась сталь 20 по ГОСТ1050-88. Вращающийся образец при трении прижимался к неподвижному образцу с нормальной нагрузкой 80 Н. Угловая скорость составляла 1.5 м/с. Продолжительность одного испытания составляла 10 мин. В ходе испытаний фиксировали показания момента трения и износа пары.

Для измерений и записи результатов применялась система сбора данных фирмы National Instruments с программным обеспечением Labview.

Результаты исследований и их обсуждение. Первым этапом испытаний была оценка трибологических характеристик моторного масла и фуллереновых добавок в моторное масло при возвратно-поступательном движении с малой скоростью на машине трения ПРУ-2.

В табл. 1 показано изменение температуры смазочного слоя между сопряженными поверхностями в зависимости от коэффициента трения и концентраций фуллеренов в смазочной композиции при скорости скольжения 100 циклов в минуту. При работе пары трения с применением смазочной композиции с двухпроцентным содержанием фуллеренов обнаружено снижение температуры смазочного слоя при нагрузках 72 Н и 112 Н. Анализ результатов испытаний (табл. 1), позволяют сделать вывод, что фуллереновые добавки позволяют уменьшить износ по сравнению с базовым маслом.

Результаты экспериментальных исследований показали, что сила трения уменьшается с увеличением концентрации C_{60} в смазочной композиции от 18 Н до 112 Н (рис. 4).

Таблица 1. Результаты испытаний на машине ПРУ-2

Смазочная композиция в паре трения	Нагрузка, Н	Ширина пятна износа подвижного образца, мм	Температура смазочного слоя, °С
Моторное масло	18	Нет износа	29
Моторное масло + 0.2% фуллеренов	18	Нет износа	29
Моторное масло + 2% фуллеренов	18	Нет износа	31
Моторное масло	72	0.85	32
Моторное масло + 0.2% фуллеренов	72	0.72	32
Моторное масло + 2% фуллеренов	72	0.7	31
Моторное масло	112	0.87	29
Моторное масло + 0.2% фуллеренов	112	0.75	30
Моторное масло + 2% фуллеренов	112	0.8	28

Таблица 2. Результаты испытаний на машине трения УМТ-1

Смазочная композиция в паре трения	Момент трения, Нм	Сила трения, Н	Коэффициент трения	Температура смазочного слоя, °С
Моторное масло	0.22	18.33	0.23	60
Моторное масло + 0.2% фуллеренов	0.14	11.67	0.15	53
Моторное масло + 2% фуллеренов	0.09	7.50	0.09	47

По результатам экспериментальных исследований на машине трения ПРУ-2 можно сделать следующие выводы: 1. Фуллереновые добавки улучшают противоизносные свойства смазочных материалов. 2. Увеличение концентрации фуллеренов от 0.2 до 2.0% в моторном масле приводит к снижению силы трения и температуры смазочного слоя.

Вторым этапом испытаний эффективности фуллереновых добавок была экспериментальная оценка момента трения в смазочных композициях на универсальной машине трения УМТ-1 по схеме “кольцо–кольцо”.

Результаты экспериментальных исследований измерения момента трения для трибосистемы при постоянной нагрузке 80 Н и угловой скорости 1.5 м/с, представлены в табл. 2.

Экспериментальные исследования (табл. 2) позволили установить, что увеличение концентрации фуллереновой добавки в базовом масле позволяет снизить момент трения и температуру смазочного слоя.

Вывод. Фуллереновые добавки улучшают противоизносные свойства базовых смазочных материалов. Увеличение концентрации фуллеренов в смазочной композиции приводит к снижению коэффициента трения. Из анализа экспериментальных данных с машины трения УМТ-1 и ПРУ-2 следует, что температура нагрева смазочного слоя между трущимися поверхностями снижается с ростом концентраций наночастиц в смазке. Таким образом, было установлено, что добавка наночастиц фуллерена C_{60} в моторное масло позволяет улучшить физико-механические свойства.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Usoltseva N.V., Godlevsky V.A.* Nanomaterials in tribological processes // Proceedings of International scientific and technical Conference named after Leonardo da Vinci. Berlin: WissenschaftlicheWerte. 2013. V. 1. P. 227.
2. *Derkach O., Kobets A., Aulin V., Kabat O., Makarenko D., Hrynkiv A., Shchus B.* Investigation of the influence of fulleren-containing oils on tribotechnical characteristics // International scientific journal "Trans & Motauto world". 2020. № 5 (1). P. 34.
3. *Войтов В.А., Кравцов А.Г., Цымбал Б.М.* Оценка триботехнических характеристик трибосистем при наличии фуллеренов в смазочном материале // Трение и износ. 2020. № 6 (41). P. 704.
4. *Kumar N., Kozakov A.T., Kolesnikov V.I., Sidashov A.V.* Improving the lubricating properties of 10W40 oil using oxidized graphite additives // Journal of Frictionand Wear. 2017. V. 38. P. 349.
5. *Безмельницын В.Н., Елецкий А.В., Окунь М.В.* Фуллерены в растворах // Успехи физических наук. 1998. № 11 (168). С. 1195.
6. *Гвоздев А.А., Смирнова А.И., Березина Е.В., Дунаев А.В., Ткачев А.Г., Усольцева Н.В.* Исследование триботехнических характеристик перспективных смазочных материалов с углеродными наночастицами // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2018. № 1 (18). С. 66.
7. *Албагачиев А.Ю.* Трибологические показатели покрытий деталей транспортных машин // Вестник научно-технического развития. 2015. № 1 (89). С. 3.
8. *Албагачиев А.Ю., Новикова Н.Н., Тохметова А.Б.* Трибологические характеристики наномодификатора 1 // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2020. № 5. С. 108.