
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА,
ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ**

УДК 621.89.017

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОМОДИФИКАТОРА 1© 2020 г. А. Ю. Албагачиев¹, Н. Н. Новикова¹, А. Б. Тохметова^{1,*}¹ *Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия***e-mail: aygerim.tokhmetova@mail.ru*

Поступила в редакцию 23.03.2020 г.

Принята к публикации 29.05.2020 г.

В статье приведены результаты исследования коэффициента трения в условиях смазки образцов из стали, бронзы и чугуна. Были проведены сравнительные испытания трибологических свойств моторного масла и с добавлением в него специализированной присадки на универсальной машине трения УМТ-1. Анализ результатов показал узкий диапазон эффективности введения присадки в моторное масло в парах трения сталь–чугун, чугун–бронза.

Ключевые слова: коэффициент трения, присадка, моторное масло

DOI: 10.31857/S023571192005003X

При эксплуатации различных видов техники, в условиях возрастающей нагрузки, скоростей, температуры и требований к надежности двигателей внутреннего сгорания используются смазочные материалы [1, 2]. Создание и применение новых высококачественных смазочных материалов является весьма актуальной задачей в машиностроении [3, 4]. Одним из направлений решения проблемы повышения долговечности является введение в моторное масло наномодификатора для улучшения режимов трения и смазки [5]. Целью исследования является проведение сравнительных экспериментальных исследований трибологических свойств наномодификатора к автомобильному маслу, по методике, разработанной в лаборатории трения в экстремальных условиях ИМАШ РАН.

Методика исследований. По данным рекламы, использованный нами физический модификатор на базе серпентинита увеличивает срок непрерывной работы механизма, улучшает технические характеристики, экономит электроэнергию, уменьшает затраты на ремонт, снижает шум и вибрацию работы, а также повышает эффективность. Триботехнические испытания проводили на универсальной машине трения УМТ-1 (рис. 1).

Была реализована капельная схема смазывания. В качестве материалов пар трения при сравнительных испытаниях использовались сталь, чугун и бронза.

Частота вращения образцов n составляла 50, 100, 300 об/мин при продолжительности одного испытания равной $t = 15$ мин при нормальной нагрузке P соответствующей 150, 300 и 450 Н. С учетом номинальной площади контакта $A = 2.9 \times 10^{-4}$ м², давление достигало 0.05; 0.1 и 0.155 МПа. Фиксируемыми параметрами являлись момент силы трения, температура, суммарный износ пары $\Delta h_1 + \Delta h_2$ усредненный по шести точкам измерения и линейная интенсивность изнашивания измеряемая термомпара. Данные передавались через измерительную аппаратуру фирмы National Instruments в табличном виде с помощью программы Labview.



Рис. 1. Универсальная машина трения УМТ-1.

Момент трения рассчитывали по тарировочной зависимости

$$M = 0.079U, \quad (1)$$

где U – выходное напряжение, записываемое в память ЭВМ.

Коэффициент трения определяли по зависимости [5]

$$f = \frac{M}{R_{cp}P}, \quad (2)$$

где R_{cp} – средний радиус дорожки трения, равный 12 мм.

Линейную интенсивность изнашивания определяем по зависимости

$$I_h = \frac{(\Delta h_1 + \Delta h_2)}{2\pi R_{cp}tn}. \quad (3)$$

За время одного оборота две металлические поверхности прогреваются на глубину h , отнимая от теплового потока смазки две доли теплоты. По отдельности эти глубины распространения импульсов можно вычислить по общей формуле [6]

$$h = 1.73\sqrt{at}, \quad (4)$$

где a – температуропроводность металла, t – время одного оборота.

Подставляя в формулу для расчета глубины распространения теплового импульса h и умножая на площадь A получим выражение для расчета объема бронзы, прогретого за время контакта при одном обороте

$$V = 1.73A\sqrt{\frac{\lambda}{cp}}t, \quad (5)$$

где λ – теплопроводность, c – теплоемкость, ρ – плотность.

Аналогично определяем объем стали (30ХГСА) нагретого за время одного оборота. Рассчитанные значения объемов нагреваемых металлов за оборот приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что бронза более теплопроводна, чем сталь – она проводит в 3 раза больше тепла и ее объем нагрева несколько раз превышает объем стали [7].

Из результатов испытаний смазок (табл. 2) при нормальной нагрузке 150 Н видно, что введение модификатора практически не влияет на коэффициент трения, а в некоторых случаях даже увеличивает его значение. Однако, при сравнении коэффициен-

Таблица 1. Объем нагретого металла за один оборот

Металл	V при частоте вращения 50 об/мин, м ³	V при частоте вращения 100 об/мин, м ³	V при частоте вращения 300 об/мин, м ³
Бронза	0.00025	0.00017	0.00010
Сталь	0.00014	0.00010	0.00005

Таблица 2. Результаты испытаний пар трения при нормальной нагрузке $P = 150$ Н

Пары трения	Скорость вращения, м/мин	Средний коэффициент трения (без присадки)	Средний коэффициент трения (с присадкой)
Сталь–бронза	4.4	0.07	0.05
Сталь–бронза	8.8	0.06	0.11
Сталь–бронза	26.4	0.10	0.09
Сталь–чугун	4.4	0.17	0.06
Сталь–чугун	8.8	0.05	0.11
Сталь–чугун	26.4	0.06	0.06
Чугун–бронза	4.4	0.06	0.13
Чугун–бронза	8.8	0.11	0.06
Чугун–бронза	26.4	0.05	0.14

Таблица 3. Результаты испытаний пар трения при нормальной нагрузке $P = 300$ Н

Пары трения	Скорость вращения, м/мин	Средний коэффициент трения (без присадки)	Средний коэффициент трения (с присадкой)
Сталь–бронза	4.4	0.07	0.05
Сталь–бронза	8.8	0.06	0.11
Сталь–бронза	26.4	0.10	0.09
Сталь–чугун	4.4	0.17	0.06
Сталь–чугун	8.8	0.05	0.11
Сталь–чугун	26.4	0.06	0.06
Чугун–бронза	4.4	0.06	0.13
Чугун–бронза	8.8	0.11	0.06
Чугун–бронза	26.4	0.05	0.14

тов трения сталь–чугун и чугун–бронза, при скоростях равных 4.4 м/мин и 8.8 м/мин, соответственно, модификатор снижает трение.

Из табл. 3 для пар трения сталь–бронза, сталь–чугун и чугун–бронза при нагрузке 300 Н с присадками показали такие же результаты, как и при нагрузке 150 Н. Наибольшая эффективность присадки получена в парах трения сталь–чугун и чугун–бронза, при скоростях 4.4 м/мин и 8.8 м/мин.

На рис. 2 показано, что модификатор не снижает, а увеличивает величину коэффициента трения, а по рис. 3 коэффициент трения в зависимости от скорости вращения резко снижается до 0.03, затем увеличивается. Рис. 3 показывает, что коэффициент трения вначале снижается, а затем с увеличением скорости трения линейно возрастает с 0.03 до 0.1.

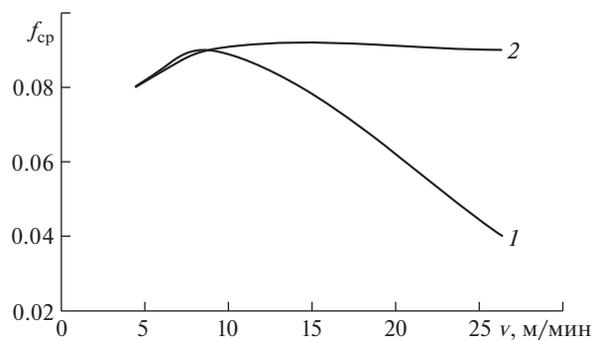


Рис. 2. Результаты испытаний пар трения сталь–бронза при нормальной нагрузке $P = 450$ Н: 1 – масло; 2 – масло с наномодификатором.

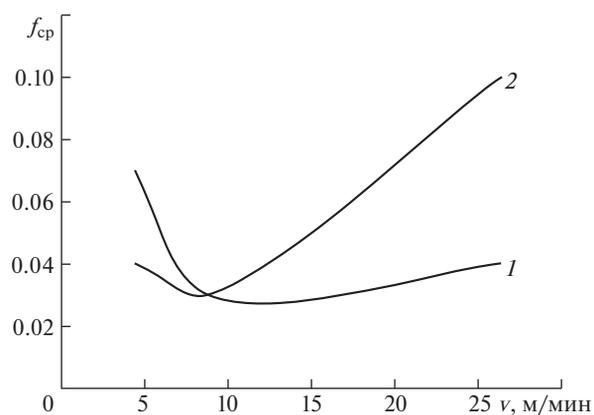


Рис. 3. Результаты испытаний пар трения сталь–чугун при нормальной нагрузке $P = 450$ Н: 1 – масло; 2 – масло с наномодификатором.

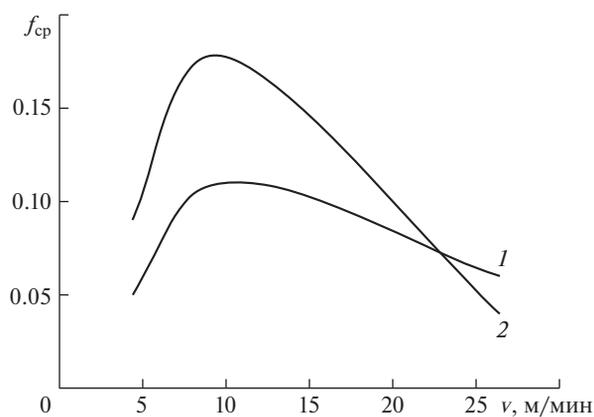


Рис. 4. Результаты испытаний пар трения чугун–бронза при нормальной нагрузке $P = 450$ Н: 1 – масло; 2 – масло с наномодификатором.

Коэффициент трения для данной пары (рис. 4), при смазывании моторным маслом, увеличился до значения 0.11, затем уменьшился при увеличении скорости вращения. Подобное явление было обнаружено в парах трения чугун–бронза (рис. 4) при введении модификатора в моторное масло.

Анализируя испытания данных пар трения, можно сделать вывод, что модификатор будет эффективен только в узком диапазоне, например при скоростях свыше 26 м/мин для пар трения чугун–бронза.

Следует отметить, что вначале трения зазор меньше 0.1 мкм (т.е. имеем граничную смазку), а затем при зазоре больше 0.1–10 мкм оно переходит в полужидкостное трение [8].

Выводы. Результаты испытаний показали, что введение модификатора 1 практически не оказывает влияние на значение коэффициента трения. Наиболее эффективно модификатор проявил себя в парах сталь–чугун и чугун–бронза при нормальной нагрузке 150 Н, 300 Н и скоростях 4.4 м/мин и 8.8 м/мин. В нагруженном режиме при 450 Н введение модификатора в моторное масло наоборот повышает коэффициент трения. Наблюдается переход режима смазки от граничной к смешанной.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медеяев А.Ю.* Трение и износ деталей машин / Под ред. Албагачиев А.Ю. М. 2008. 461 с.
2. *Доценко А.И.* Основы триботехники / Под ред. Буяновский И.А. М.: Инфра-М, 2014. 336 с.
3. *Буяновский И.А., Большаков А.Н., Самусенко В.Д., Левченко В.А.* Молибденосодержащее углеродное покрытие триботехнического назначения и антифрикционные свойства масел при граничной смазке // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019. № 1. С. 86.
4. *Албагачиев А.Ю.* Порошковые материалы: Справочник / Под ред. М.И. Алымова, Ю.В. Левинского М.: Научный мир, 2018. 610 с.
5. *Албагачиев А.Ю., Михеев А.В., Хасьянова Д.У., Тананов М.А.* Трибологические исследования смазок // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2018. № 5. С. 91.
6. Справочник по триботехнике / Под ред. М. Хедбы, А.В. Чичинадзе. В 3 т. Теоретические основы. М.: Машиностроение, 1989. Т. 1. 400 с.
7. *Мышкин Н.К.* Трение, износ, смазка. Физические основы и технические приложения трибологии / Под ред. М.И. Петроковец. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
8. *Крагельский И.В.* Основы расчетов на трение и износ / Под ред. М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.