

УДК 621.313

## Исследование триботехнических характеристик металлосодержащих присадок к маслам, используемым в электрических машинах

Киселев В.В., канд. техн. наук, Полетаев В.А., д-р техн. наук

Предложены присадки к маслам для использования в электрических машинах. Приведены триботехнические характеристики используемых присадок.

*Ключевые слова:* триботехнические характеристики, присадки, безыносное трение, коррозионная стойкость.

## Research of Tribological Characteristics of Metal-containing Additives to Oils used in Electric Machines

V.V. Kiselev, Candidate of Engineering, V.A. Poletaev, Doctor of Engineering

The authors consider the additives to oils for the usage in the electric machines. Tribological characteristics of additives are given.

*Key words:* tribological characteristics, additives, non-wear friction, corrosion stability.

Одним из наиболее экологически выгодных путей повышения надежности и долговечности различных машин и механизмов является улучшение качества смазочных материалов и, в первую очередь, улучшение их противоизносных и антизадирных свойств.

Это может быть достигнуто введением в масла специальных высокоэффективных добавок, реализующих безыносное трение. Вместе с тем создание присадок, улучшающих одновременно противоизносное трение и противозадирные свойства и не создающих другие характеристики масел, является весьма сложной задачей.

Триботехнические испытания смазочных материалов включают оценку их противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств на лабораторных приборах или установках с испытательными образцами простой геометрической формы. В отличие от испытаний смазочных материалов в условиях эксплуатации и на стендах, лабораторные испытания не требуют больших затрат времени, они в большей степени позволяют изменять условия на поверхности трения и выделять основной параметр, оказывающий влияние на трибологические характеристики смазочных материалов [1]. Условия испытания на приборах отличаются от действительных условий работы смазочных материалов в реальных машинах, однако преимущества лабораторных испытаний способствуют их широкому применению, особенно для разработки новых присадок и смазочных композиций [2].

Ниже для оценки и сравнения разработанных присадок исследованы следующие триботехнические характеристики: зависимости коэффициента трения от приложенной нагрузки, величины износа от пути трения при постоянной нагрузке и зависимость интенсивности изнашивания от приложенной нагрузки при фиксированном пробеге. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения. Стой-

кость материалов к изнашиванию в различных средах и при различных режимах трения определяет ресурс и срок службы узлов трения. Испытания проводились на серийно выпускаемой машине СМТ-1 (рис. 1).

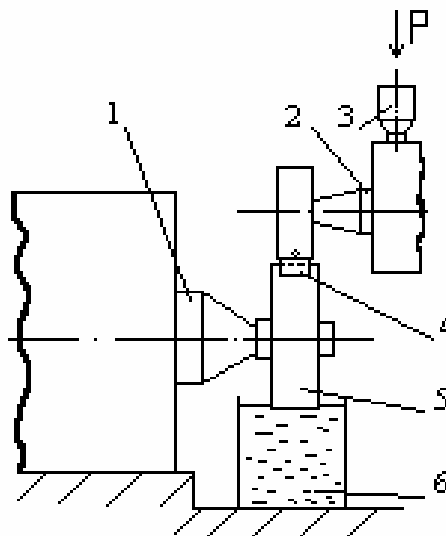


Рис. 1. Упрощенная схема узла трения машины СМТ-1: 1 – нижний (вращающийся) вал; 2 – верхний (неподвижный) вал; 3 – нагружающее устройство; 4 – образец; 5 – контртело; 6 – ванночка для смазочного материала

Образцы для испытаний масел изготавливались из стали марки 45 с твердостью HRC 40–42 ед. размерами  $l \times b \times h = 10 \times 10 \times 10$  мм. Все образцы имели поверхности 8 класса шероховатости по ГОСТ 2789. Контртелом служили ролики с  $d = 40$  мм, толщиной 15 мм, изготовленные из стали 45 (ГОСТ 1050) с твердостью HRC 35–40 ед.

При исследовании износостойкости металлического вкладыша в присутствии масел, содержащих металлоплакирующие присадки, режимы трения были выбраны усредненными, применительно к режимам работы узлов трения ма-

шин и аппаратов. При этом скорость скольжения металлического ролика составляла  $V = 1\text{ м/с}$ . Нагрузка на образец повышалась ступенчато от 2 МПа до предельных значений, при которых сохранялась работоспособность пары трения, в отдельных случаях до возникновения задиоров на поверхностях трения [3].

При проведении экспериментов и в расчетах нами использовались методы определения линейного износа образцов.

Схема определения линейного износа представлена на рис. 2.

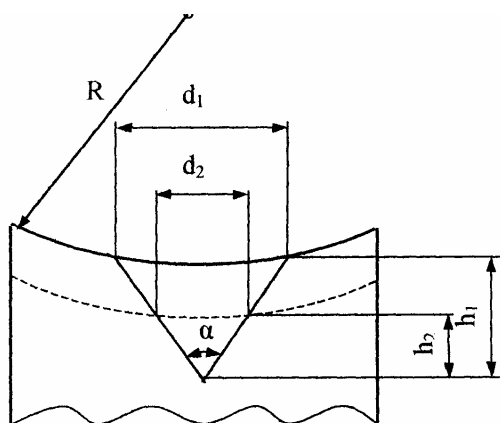


Рис. 2. Схема определения линейного износа по методу «искусственных баз»

Измерение линейного износа проводилось методом «искусственных баз» – установление линейного износа по заранее нанесенным отпечаткам на твердомере ТКС-1 М коническим твердосплавным индентором с углом при вершине  $\alpha = 120^\circ$ . Диаметры отпечатков определялись с помощью микроскопа МБС-10.

Величина линейного износа с учетом вогнутости поверхности определялась по формуле

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2)}{m} - \frac{(d_1 - d_2)}{8 * R}, \quad (1)$$

где

$$m = \frac{2}{\text{tg}(90 - \alpha / 2)}; \quad (2)$$

$\Delta h$  – линейный износ, мм;  $d_1$  – диаметр отпечатка до изнашивания, мм;  $d_2$  – диаметр отпечатка после изнашивания, мм;  $R$  – радиус вогнутости поверхности, мм.

Интенсивность изнашивания определялась по формуле

$$J = \Delta h / S, \quad (3)$$

где  $J$  – интенсивность изнашивания, мм/км;  $S$  – путь трения, км.

Присадки представляют собой стеараты меди и олова насыщенных и ненасыщенных жирных кислот растительных масел.

На рис. 3–5 представлено изменение основных триботехнических показателей базового масла И-40 после введения в него разработанных присадок: медного комплекса и оловянного комплекса.

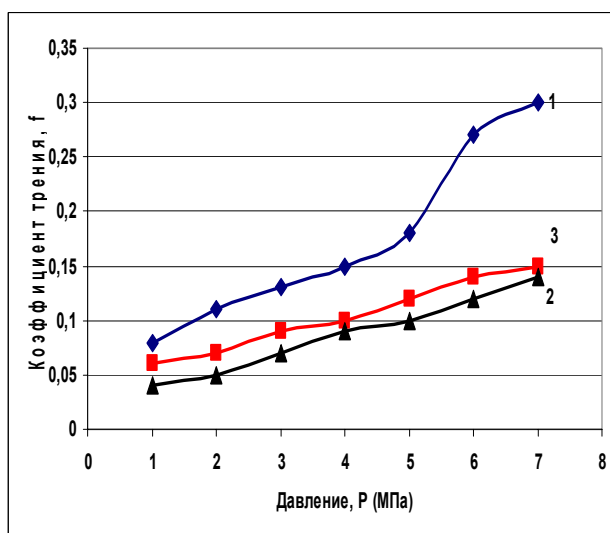


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от давления: 1 – для базового масла И-40 без присадки; 2 – для масла И-40 с 1 %-ной присадкой медного купороса; 3 – для масла И-40 с 1 %-ной присадкой оловянного комплекса

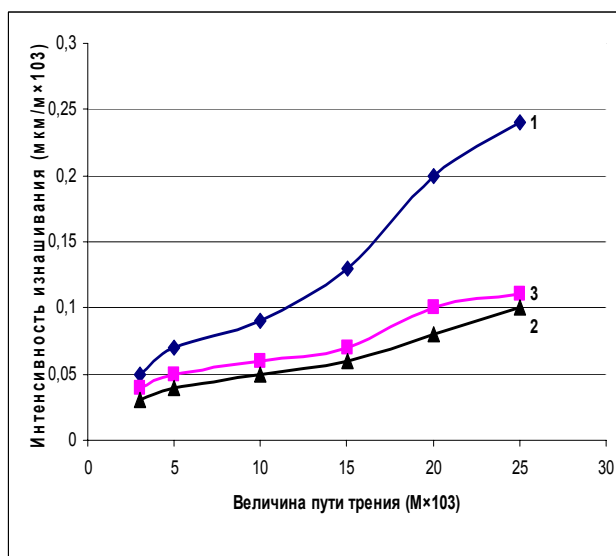


Рис. 4. Зависимость интенсивности изнашивания от пути трения: 1 – для базового масла И-40 без присадки; 2 – для масла И-40 с 1 %-ной присадкой медного купороса; 3 – для масла И-40 с 1 %-ной присадкой оловянного комплекса

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что введение в серийно выпускаемое минеральное масло разработанного медного комплекса позволило качественно улучшить его основные триботехнические показатели. В частности, коэффициент трения снизился в среднем в 2–4 раза, нагрузочная способность возросла примерно на 20–30 %, износ уменьшился в 3–4 раза.

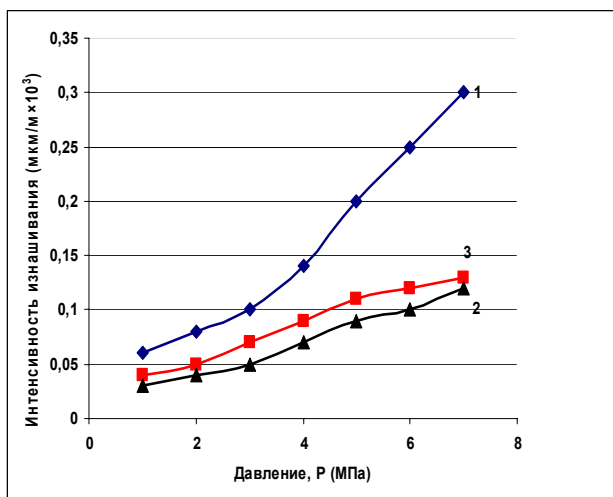


Рис. 5. Зависимость интенсивности изнашивания от создаваемого давления в месте контакта при длине изнашивания  $20 \times 10^3$  м: 1 – для базового масла И-40 без присадки; 2 – для масла И-40 с 1 %-ной присадкой мерного износа; 3 – для масла И-40 с 1 %-ной с присадкой оловянного комплекса

Что же касается оловянного комплекса, то можно заметить, что данная присадка к базовому маслу И-40 позволила добиться еще более значимых результатов. После введения ее в масло нагрузочная способность возросла на 30–40 %, коэффициент трения снизился в среднем в 3–5 раз, также более значительно уменьшился износ испытываемой пары трения, по сравнению с полученными результатами в присутствии медного комплекса.

Коррозионная стойкость масла с присадкой определялась согласно ГОСТ 20502. Сущность метода заключается в определении изменения массы металлических пластин, подвергшихся периодическому воздействию испытываемого объекта и воздуха, нагретых до температуры  $140^\circ\text{C}$ . Коррозионность определялась на приборе ДК-НАМИ по ГОСТ 13371.

Для проведения испытания применялись:

- весы лабораторные любого типа с погрешностью не более 0,0002 г;
- пластины из свинца марки С1 или С2 по ГОСТ 3778 диаметром 24,5 мм и толщиной 1 мм с отверстием в центре;
- терморегулятор, обеспечивающий постоянство температуры в термостате;
- термометр стеклянный типа ТН7 по ГОСТ 400;
- чаши фарфоровые № 4 по ГОСТ 9147;
- цилиндры вместимостью  $100 \text{ см}^3$  по ГОСТ 1770;
- бензин по ГОСТ 443;
- жидкость термостатирующая с температурой вспышки не ниже  $230^\circ\text{C}$ ;
- бумага фильтровальная по ГОСТ 12026.

Прибор ДК-НАМИ устанавливался в вытяжном шкафу. В термостат наливали термостатирующую жидкость до уровня, обеспечивающего полное погружение колб в жидкость. Термостат закрывался крышкой, в нее вставлялся термометр, и включались нагревательные элемен-

ты. По достижении  $80\text{--}90^\circ\text{C}$  мешалка включалась, и термостатирующая жидкость нагревалась до температуры испытания.

Коррозионная стойкость масла определялась без добавления катализатора. Испытания проводили в течение 10 ч при нормативной температуре и непрерывном вращении мешалки и кассеты.

Пластины свинца толщиной 1 мм маркировали, протирали ватой, смоченной бензолом, просушивали 1–3 мин, полировали до блеска и взвешивали с погрешностью не более 0,0002 г.

Потеря массы свинцовой пластины  $X$  в граммах на квадратный метр вычислялась по формуле

$$X = m / 0,001, \quad (4)$$

где  $m$  – потери массы пластины за время испытания, г.

Коррозионная стойкость масла определялась как среднее арифметическое результатов определения потерь массы двух свинцовых пластин, испытанных параллельно. Потеря массы пластины до  $1 \text{ г/м}^2$  включительно принимается за отсутствие коррозии.

Потеря массы пластины в масле с разработанным медным комплексом составила  $0,94 \text{ г/м}^2$ , а с разработанным оловянным комплексом –  $0,89 \text{ г/м}^2$ , что, согласно указанной методике, принимается как отсутствие коррозии.

## Заключение

На основании полученных результатов можно предположить, что в узле пары трения были получены тончайшие пленки меди и олова, что и способствовало значительному улучшению основных триботехнических показателей испытываемого масла после введения в него разработанных присадок. К теоретическим предпосылкам механизма работы тонких пластичных покрытий в зоне фрикционного контакта пары трения можно отнести следующие:

а) пленка пластичного металла увеличивает фактическую площадь контакта и тем самым уменьшает концентрацию напряжений на микровыступах, что снижает усталостное разрушение контактирующих поверхностей;

б) многократное увеличение фактической площади контакта и уменьшение контактных напряжений облегчает условия работы смазочного материала, что снижает его трибодеструкцию и связанные с ней трибоокисление и наводороживание поверхностей. Уменьшается также вероятность схватывания и коррозионно-механического изнашивания.

## Список литературы

1. Матвиевский Р.М., Лашхи В.Л., Буяновский И.А. Смазочные материалы. – М.: Машиностроение, 1989. – 217 с.
2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под ред. М. Хейблы, А.В. Чичикадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 412 с.

**3. Киселев В.В., Бельцова Е.А.** Реализация безызносного трения в промышленных маслах с присадками: межвуз. сб. науч. тр. «Физика, химия и механика трибосистем». – Иваново, 2002. – С. 98–99.

**4. Ермаченко Л.А.** Атомно-адсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. – Чебоксары: Изд-во «Чувашия», 1997. – 208 с.

*Киселев Вячеслав Валерьевич,*  
ГОУВПО Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России,  
кандидат технических наук, доцент кафедры механики и инженерной графики,  
адрес: г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33  
телефон (4932) 93-08-00,  
e-mail: palruch@mail.ru

*Полетаев Владимир Алексеевич,*  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии автоматизированного машиностроения,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34,  
телефон (4932) 26-97-72,  
e-mail: poletaev@tam.ispu.ru