

УДК 620.178.162.43+621.892.84

В. В. Терентьев¹, О. Б. Аكوпова², И. А. Телегин¹

**ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК ИЗ СМЕСЕЙ КАРБОКСИЛАТОВ МЕДИ
НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

¹Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д. К. Беляева,
ул. Советская, 45, 153012 Иваново, Россия. E-mail: vladim-terent@yandex.ru

²НИИ наноматериалов, Ивановский государственный университет,
ул. Ермака, 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: akopov@dsn.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента трения и износных характеристик элементов пары трения в присутствии смазочных материалов на литиевой основе, включающих смеси жидкокристаллических соединений – карбоксилатов меди. Установлено, что введение смесей жидкокристаллических карбоксилатов меди в литиевые смазки позволяет снизить коэффициент трения в 2,67 раза, а износ элементов пары трения в 1,28–2,35 раза, что объяснено синергетическим действием смеси присадки определенного состава за счет структурирования базовой смазки и дальнейшим улучшением процесса ее сорбции в приграничном слое. Использование таких присадок позволяет в перспективе повысить ресурс элементов триботехнических сопряжений и снизить затраты мощности на привод механизмов машин.

Ключевые слова: карбоксилаты меди, мезогенная присадка, дискотические мезогены, коэффициент трения, износ, смазка, жидкие кристаллы.

DOI: 10.18083/LCAppl.2015.4.96

V. V. Terentyev¹, O. B. Akopova², I. A. Telegin¹

**INFLUENCE OF ADDITIVES MADE OF COPPER CARBOXYLATE MIXTURES
ON TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PLASTIC GREASINGS**

¹Ivanovo State Agricultural Academy named after D. K. Belyaev,
45 Soviet St., Ivanovo, 153012, Russia
E-mail: vladim-terent@yandex.ru

²Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,
39 Ermak St., Ivanovo, 153025, Russia
E-mail: akopov@dsn.ru

Experimental results to determine the friction coefficient and wear characteristics of elements of the friction pair in the presence of lithium based lubricants, including mixtures of liquid crystalline compounds – copper carboxylates are presented. It was established that introduction of liquid crystal mixtures of copper carboxylates into lithium greases reduces the friction coefficient in 2,67 times and wear of friction pair elements in 1,28–2,35 times. This is explained by the synergistic effect of a mixture additive with defined composition due to structuring of the basic grease and the further improvement of its sorption in the boundary layer. Using of these additives allows, in the long term, to increase resource of elements of tribological pairings, and to reduce the cost of power for the drive mechanisms of machines.

Key words: copper carboxylates, mesogenic additive discotic mesogens, friction coefficient, wear, lubricant, liquid crystals.

Введение

Всегда остается актуальной при разработке и эксплуатации разнообразных машин и механизмов необходимость обеспечения их высокой надежности. В условиях высоких скоростных и нагрузочных факторов важнейшая роль принадлежит смазочным материалам (СМ). От эффективности (во многом определяемой высокими трибологическими характеристиками) СМ напрямую зависит длительная и безотказная работа машины. Для повышения противоизносных и антифрикционных свойств СМ их дополнительно модифицируют различными способами.

Одним из направлений повышения противоизносных характеристик пластичной смазки Литол-24 является модифицирование ее наноразмерными порошками [1], также перспективным является улучшение его противоизносных характеристик посредством применения плазмообработанного графита [2].

Известно также, что улучшить антифрикционные и противоизносные характеристики пластичных литиевых смазок можно за счет введения дискотических мезогенов – карбоксилатов меди (КМ) [3–6]. Ранее проведенные авторами [3–7] исследования показали эффективность применения в качестве противоизносных и антифрикционных присадок ундецилата и мирилата меди, которые вводились в пластичную смазку Литол-24 индивидуально. Также при их совместном введении в определенном соотношении в кальциевую пластичную смазку (синтетический солидол) было обнаружено существенное понижение интенсивности изнашивания и уменьшение коэффициента трения [8].

Представляло интерес изучить подобное совместное действие ундецилата и мирилата меди при их введении и в пластичную смазку Литол-24.

Таким образом, целью настоящей работы является исследование влияния введения смеси ундецилата и мирилата меди на противоизносные и антифрикционные характеристики пластичной смазки Литол-24.

Эксперимент

Для исследований была выбрана смазочная композиция, включающая Литол-24 и мезогенные присадки ундецилат меди (УМ) и мирилат меди (ММ), которые синтезированы по методике,

описанной в [5]. Суммарное процентное содержание карбоксилатов меди в Литол-24 варьировалось от 10 до 20 мас. %.

Как показано в работе [5], ундецилат меди включает 9 метиленовых групп, а мирилат меди – 12. Для данных соединений в процессе моделирования, оптимизации моделей с использованием программы *HyperChem*, ММ⁺, расчета молекулярных параметров и прогноза по ним мезоморфизма было установлено, что такие карбоксилаты способны к формированию мезофазы колончатого типа [5]. Полученные результаты по прогнозу мезоморфизма, характерного для дискотических мезогенов, были подтверждены экспериментально. Кроме того, в синтезированном гомологическом ряду рассматриваемые гомологи обладают максимальными температурными диапазонами существования мезофазы, что, по нашему мнению, должно положительно повлиять на триботехнические характеристики смазки при их использовании.

Исследования проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вращающийся диск – неподвижный шар». Условия эксперимента: частота вращения диска – 500 мин⁻¹, диаметр диска – 40 мм, диаметр шара – 10 мм, материал пары трения – диск – сталь 45 с твердостью 60 HRC, шар – сталь ШХ-15. Нагрузка на образцы составляла 200 Н. Пробег при каждой нагрузке составлял 1 км. Перед приложением нагрузки на диск однократно наносился смазочный материал, что определяло граничный режим смазки. Для оценки противоизносных свойств изучаемых присадок замерялись пятно износа на шаре и ширина дорожки трения на ролике с помощью микроскопа МПБ-2.

Результаты и их обсуждение

Количественные результаты определения коэффициента трения исследованных смесей представлены на рис. 1, а износа – на рис. 2, 3.

Как следует из рис. 1 (сравни столбцы 1–3), введение испытуемой смеси КМ в Литол-24 приводит к значительному снижению коэффициента трения. Так, по сравнению с чистым Литолом-24 он снижается в 1,8–2,67 раза (в зависимости от процентного содержания присадки в Литоле-24). Если сравнивать эти данные с данными от введения присадки только ММ или только УМ,

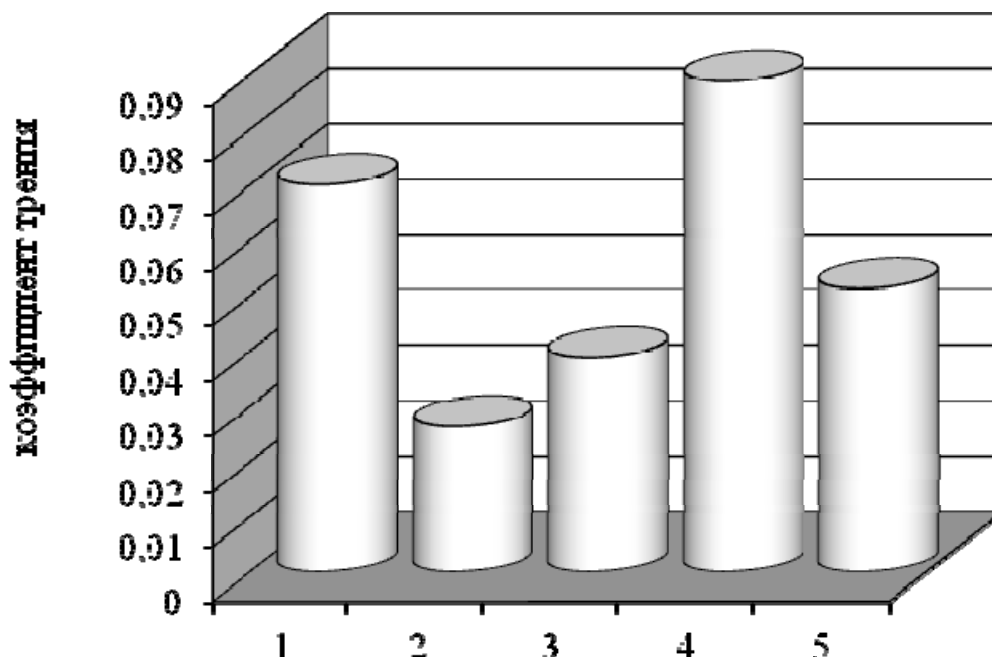


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от введения присадок различного состава в пластичную смазку Литол-24: 1 – Литол-24 без добавок; 2 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % (УМ+ММ); 3 – 80 мас. % Литол-24 + 20 мас. % (УМ+ММ); 4 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % ММ; 5 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % УМ

то снижение коэффициента трения составляет 2,3–3,4 и 1,32–1,95 раза соответственно. Причем следует констатировать, что введение в Литол-24 только одного представителя гомологического ряда КМ, а именно – мирилата меди, даже ухудшает антифрикционные свойства смазки по сравнению с чистым Литолом-24 (рис. 1, сравни столбцы 1 и 4).

Таким образом, как и в случае с синтетическим солидолом, введение смеси двух КМ (14 и 11 гомологов) в определенном соотношении улучшает антифрикционные показатели смазки. Следовательно, результаты исследований указывают на перспективность использования таких смесей КМ в качестве антифрикционных присадок.

В этом случае также значительно снижается износ элементов пары трения (рис. 2, 3). Так, износ ролика при введении в смазку смеси ММ с УМ снижается по сравнению с чистым Литолом-24 в 1,28–1,53 раза (в зависимости от процентного содержания присадки в Литоле-24). Если сравнивать эти данные с данными от введения присадки только ММ или только УМ, то износ снижается в 1,33–1,6 раза и от 6 до 27 % соответственно.

Износ неподвижного шара снижается по сравнению с чистым Литолом-24 в 1,64–2,35 раза (в зависимости от процентного содержания присадки в Литоле-24) и в 1,14–1,64 раза по сравнению с введением только ММ, и до 37 % по сравнению с введением только УМ.

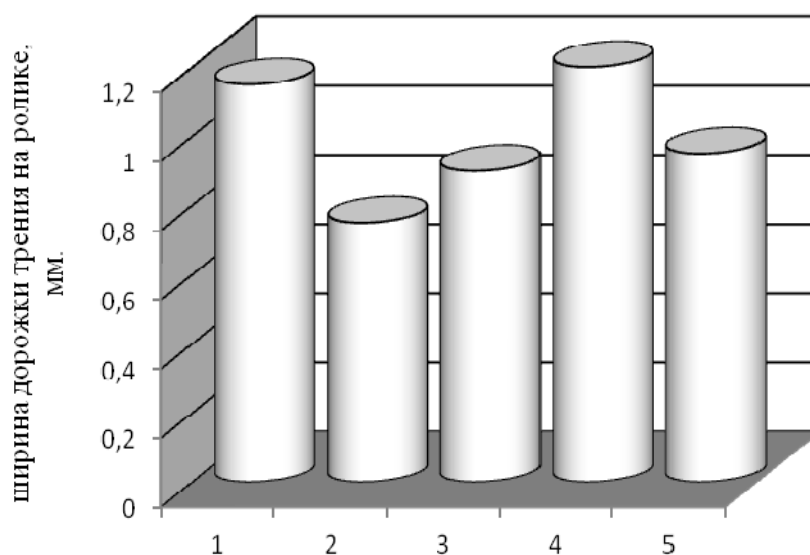


Рис. 2. Результаты определения износа ролика:

1 – Литол-24 без добавок; 2 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % (УМ+ММ); 3 – 80 мас. % Литол-24 + 20 мас. % (УМ+ММ); 4 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % ММ; 5 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % УМ

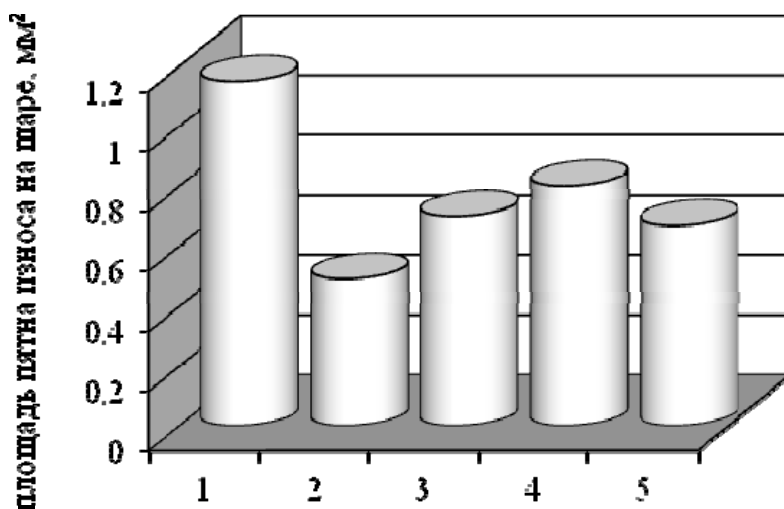


Рис. 3. Результаты определения износа шара:

1 – Литол-24 без добавок; 2 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % (УМ+ММ); 3 – 80 мас. % Литол-24 + 20 мас. % (УМ+ММ); 4 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % ММ; 5 – 90 мас. % Литол-24 + 10 мас. % УМ

Ранее проведенные исследования показали [4], что при введении в литиевые смазки индивидуального КМ с увеличением его процентного содержания коэффициент трения и износ снижаются. Но если вводится смесь КМ, то существует оптимальная концентрация присадки, превышение которой приводит к снижению эффективности смазочного материала. Возможно, что такое поведение смазки связано с синергетическим действием смесевой присадки определенного состава за счет структурирования базовой смазки и дальнейшим улучшением процесса ее сорбции в приграничном слое. Кроме того, у вводимых смесевых присадок температурный интервал существования мезофазы значительно шире, чем у исходных компонентов, что также должно способствовать улучшению трибологических характеристик смазки.

Для более точного установления механизма действия смесевых присадок КМ на трибологические свойства пластичных смазок необходимы дополнительные исследования более широкого спектра смесевых присадок КМ.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что использование смеси дискотических мезогенов ундецилата меди и миристата меди определенного состава и определенного оптимального значения в качестве присадки к пластичной смазке Литол-24 позволяет значительно улучшать его трибологические характеристики. При этом достигается снижение коэффициента трения в 2,67 раза, а снижение износа элементов трибосопряжения находится в пределах от 1,28 до 2,35 раз.

Снижение износа позволяет повысить ресурс трибосопряжения, от которого зависит эффективность использования машин в целом.

Таким образом, исследованные смеси КМ можно рекомендовать в качестве эффективных противоизносных и антифрикционных присадок к литиевым смазкам.

Перспективным также является поиск еще более эффективных смесей дискотических мезогенных присадок на основе карбоксилатов металлов и других дискотических металло-мезогенов, включая звездообразные.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Минобрнауки Российской Федерации (проектная часть) № 4.106.2014К.

Список литературы / References

1. Сафонов В. В., Азаров А. С., Халов Е. Ю. Повышение противоизносных свойств трансмиссионных масел и пластичных смазок // *Известия Самарской ГСХА*. 2015. № 3. С. 73–77. [Safo-nov V.V., Azarov A.S., Khalov E.Yu. Povyshenie protivoiornosnykh svoystv transmissionnykh masel i plastichnykh smazok (Antiwear properties of gear oils and greases increasing). *Bulletin Samara state agricultural Academy. Russ. J.*, 2015, **3**, 73–77 (in Russian)].
2. Терентьев В. В., Наумова И. К., Баусов А. М., Телегин И. А., Галкин И. М. Повышение противоизносных и антифрикционных характеристик пластичных смазок посредством применения плазмo-обработанного графита // *Известия Самарской ГСХА*. 2015. № 3. С. 77–81. [Terent'ev V.V., Naumova I.K., Bausov A.M., Telegin I.A., Galkin I.M. Povyshenie protivoiornosnykh i antifriktsionnykh kharakteristik plastichnykh smazok posredstvom primeneniya plazmo-obrabotannogo grafita (Non-wear and antifrictional characteristics increasing of plastic greasings by means of the graphite processed in plasma application). *Bulletin Samara state agricultural Academy. Russ. J.*, 2015, **3**, 77–81 (in Russian)].
3. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // *Научное обозрение*. 2011. № 6. С. 27–31. [Terent'ev V.V., Lapshin V.B., Subbotin K.V., Bogdanov V.S. Povyshenie resursa uzlov treniya pochvoobrabatyvayushchey tekhniki (Increase of a resource of knots of a friction of technics for soil processing). *Scientific review. Russ. J.*, 2011, **6**, 27–31 (in Russian)].
4. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Баусов А. М., Герасимов А. И., Телегин И. А. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // *Известия Самарской ГСХА*. 2014. № 3. С. 53–56. [Terent'ev V.V., Akopova O.B., Bausov A.M., Gerasimov A.I., Telegin I.A. Razrabotka i issledovanie antifriktsionnykh i protivoiornosnykh diskoticheskikh mezogennykh prisadok dlya plastichnykh smazok mashin i oborudovaniya (Developing and research of antifrictional and non-wear disk-like mesogene additives for plastic greasings of machines and equipment). *Bulletin Samara State Agricultural Academy. Russ. J.*, 2014, **3**, 53–56 (in Russian)].

5. Аكوпова О. Б., Лапшин В. Б., Терентьев В. В., Богданов В. С. Карбоксилаты меди. Моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2012. Вып. 2. С. 20–28. [Акопова О.В., Lapshin V.B., Terent'ev V.V., Bogdanov V.S. Karboksilaty medi. Modelirovanie, sintez, mezomorfizm i tribologicheskie svoystva (Copper carboxylates. Simulation, synthesis, mesomorphism and tribological properties). *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2012, 2, 20–28 (in Russian)].
6. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Телегин И. А., Боброва Н. В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2014. Т. 14, № 4. С. 97–102. [Terent'ev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A., Bobrova N.V. Povyshenie nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki za schet ispol'zovaniya plastichnykh smazochnykh materialov s mezogennymi prisadkami-karboksilatami medi (Increasing reliability of agricultural machinery by using plastic lubricant additives with mesogenic-copper carboxylates). *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2014, 14(4), 97–102 (in Russian)].
7. Аكوпова О. Б. Закономерности связи молекулярного строения дискотических соединений с проявлением термотропного мезоморфизма : дис. ... д-ра хим. наук. Иваново, 2009. 502 с. [Акопова О.В. Zakonomernosti svyazi molekulyarnogo stroeniya diskoticheskikh soedineniy s proyavleniem termotropnogo mezomorfizma (Legitimacies of the molecular structure of discotic compounds with the manifestation of thermotropic mesomorphism). Doctoral thesis (Chem.). Ivanovo, 2009, 502 p. (in Russian)].
8. Пат. 2530023 С2. Российская Федерация. Смазочная композиция / Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С., Аكوпова О. Б.; заявл. 20.11.2012; опублик. 10.10.2014, Бюл. № 28. [Terent'ev V.V., Lapshin V.B., Subbotin K.V., Bogdanov V.S., Akopova O.B. Smazochnaya kompozitsiya (The Lubricant composition). Russian patent No 2530023 S2. (20.11.2012) (in Russian)].

Поступила в редакцию 2.10.2015 г.
Received 2 October, 2015.