

**ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ
НА ФРЕТТИНГ-УСТАЛОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

С. Г. Докшанин

Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26
E-mail: Sergey_dokshanin@mail.ru

Рассматривается возможность повышения фреттингостойкости пластичных смазочных материалов, а также улучшение их противоизносных свойств за счет введения твердых добавок. Тема работы заключается в оценке эффективности применения смазочных материалов с ультрадисперсным алмазграфитом для снижения фреттинг-усталостных процессов. Приводятся результаты исследования пластичных смазочных материалов на фреттингостойкость, распределение величины износа образцов от наработки. Выполнен анализ состояния дорожек трения и изменение микрорельефа после применения смазочного материала с твердой добавкой. Полученные результаты показали снижение величины износа в случае применения смазочных материалов с ультрадисперсным порошком алмазграфита. Результаты исследований могут быть применены для выбора смазочных материалов, которые используются для узлов трения, работающих в режиме колебаний.

Ключевые слова: фреттинг-усталостные повреждения, касательные напряжения, площадка контакта, фреттингостойкость, смазочный материал, ультрадисперсная добавка.

Vestnik SibGAU
2014, No. 3(55), P. 198–201**EFFECT OF LUBRICATING COMPOSITION WITH ULTRA-DISPERSIVE ADDITIVES
ON FRETTING FATIGUE PROCESS**

S. G. Dokshanin

Siberian Federal University,
26, Kirenskiy St., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
E-mail: Sergey_dokshanin@mail.ru

In this paper the possibility of improving the fretting wear resistance and anti-wear properties of fat in connection with the introduction of solid additives is considered. The topic work is to evaluate the effectiveness of lubricants with ultra-dispersive additives to reduce fretting-fatigue processes. The mechanism of fretting-fatigue consists of processes such as fretting corrosion and mechanical fatigue. Their interaction leads to the damage of the contact surfaces and leads to a drastic reduction in the fatigue endurance limit of parts. Fretting fatigue damage can occur in the bolt, pin, key and spline connections, surfaces of the parts, which were planted with interference, on surfaces of the shafts, clutches and other parts of friction unit. The results of investigation of grease on fretting-wear resistance, the distribution of the amount of wear from time are presented. The analysis of the state of the friction tracks and changeover of surface roughness after applying lubricant with solid additive is given. The experimental results suggest that the introduction of ultradisperse powder mixture of diamond and graphite in grease reduces the formation of fatigue cracks and improves the quality of the surface parts of friction units. This increases the actual contact area and reduces contact pressure. The values of tangential and normal stresses up to 18–20 % and the action of maximum shearing stress will move deeper into the material under the area of contact are also reduced. The application of lubricants with similar additives can increase the service life period of the mechanism twice as much. Test results can be used to select the lubricant used for the friction units operating in the mode of oscillation.

Keywords: fretting fatigue damages, tangential stress, contact area, fretting-wear resistance, lubricant, ultra-dispersive additive.

Введение. Одной из проблем технологического оборудования являются процессы фреттинга, которые часто развиваются в зонах контакта сопряженных деталей при малых колебательных смещениях одной поверхности относительно другой.

Процесс фреттинга является одним из видов контактного взаимодействия твердых тел при наличии нормальной и касательных составляющих сил от внешней нагрузки и сил трения. В зоне контакта на элементарный объем материала будут действовать циклически изменяющиеся напряжения от нормального

сжатия и знакопеременных касательных напряжений от сил трения, возникающих на поверхности у границы контакта. Вследствие малой амплитуды относительного проскальзывания соприкасающихся поверхностей износ при фреттинге является сильно локализованным на площадках фактического контакта, а продукты разрушения поверхностных слоев не имеют возможности свободно выходить из двумерного пространства между трущимися телами. Поэтому они перетираются и накапливаются в окрестностях площадок фактического контакта, что приводит к усилению их абразивного действия [1; 2].

В сочетании таких условий, как проскальзывание при трении и повышение нагрузки, приводящей к росту объемных напряжений, это может привести к развитию наиболее тяжелого последствия – началу процессов фреттинг-усталости [3; 4].

Механизм фреттинг-усталостных процессов включает в себя взаимосвязанное развитие таких процессов, приводящих к повреждению контактирующих поверхностей, как фреттинг-коррозия и механическая усталость. Их взаимодействие ведет к резкому снижению предела выносливости деталей в 1,5–3 раза. Фреттинг-усталостные повреждения характерны для болтовых, штифтовых, шпоночных, шлицевых соединений, поверхностей деталей, посаженных с натягом, валов, муфт и других деталей [5–7].

Механизм зарождения усталостных повреждений прямо связан с силой трения, так как с ее ростом повышается касательное напряжение на контакте. Одним из методов защиты от фреттинг-повреждений являются снижение коэффициента трения и предотвращение проскальзывания контактирующих поверхностей [8]. В этом случае для повышения фреттингостойкости применяемых смазочных материалов могут быть использованы функциональные твердые добавки, например ультрадисперсные порошки алмазографита (УДПАГ).

Цель. Целью проводимых исследований была оценка эффективности введения добавки УДПАГ в пластичные смазочные материалы для повышения их фреттингостойкости. В данной работе приведены отдельные результаты комплексного исследования, проводимого для определения трибологических свойств пластичных смазочных материалов с добавками УДПАГ.

Методы исследований. Испытания проводились по стандартной схеме «плоскость – торец ролика», применяемой для моделирования фреттинг-процессов. Удельное давление на контакте составляло 120–130 МПа, частота колебаний подвижного образца вокруг своей оси 8,2 Гц, амплитуда колебаний 0,4 мм. Время одного цикла испытания составляло 6 ч. Подвижный образец изготавливался из стали 45 с последующей термообработкой до HRC 42–45, неподвижный (пластина) – из стали 30ХГС и термообработкой HRC 38–40. Контактующие поверхности образцов подготавливались шлифованием до шероховатости $R_a = 1,6$ мкм.

Для создания смазочных композиций с ультрадисперсным алмазографитом применялись пластичные смазочные материалы марок ЦИАТИМ-201 и солидол (С). Выбор этих марок для исследований основывался на различии их трибологических свойств. Литиевая пластичная смазка ЦИАТИМ-201 обладает хорошей морозостойкостью и может работать в широком интервале температур, имеет удовлетворительную механическую стабильность. Кальциевая пластичная смазка солидол (С) при хорошей коллоидной стабильности, водостойкости и защитных свойствах обладает несколько узким диапазоном рабочих температур и низкой механической стабильностью. Эффективность использования добавки в смазочных материалах оценивалась по величине износа неподвижного образца и состоянию контактирующих поверхностей.

Добавка представляет собой углеродную смесь с размером частиц до 40 нм, в которой доля графита составляет около 80 %, другая часть находится в виде высокодисперсной алмазоподобной фазы. Концентрация добавки в смазочной композиции составила 1 масс. % как наиболее оптимальная при ее использовании в пластичных смазочных материалах [9].

Результаты исследований. Изображенные на рис. 1 графики показывают изменение величины массового износа пластины при использовании базовых смазочных материалов и смазочных композиций на их основе. По данным графикам можно наблюдать, что по величине износа базовые смазочные материалы имеют примерно одинаковые противозносные свойства, чуть лучшие для солидола (С).

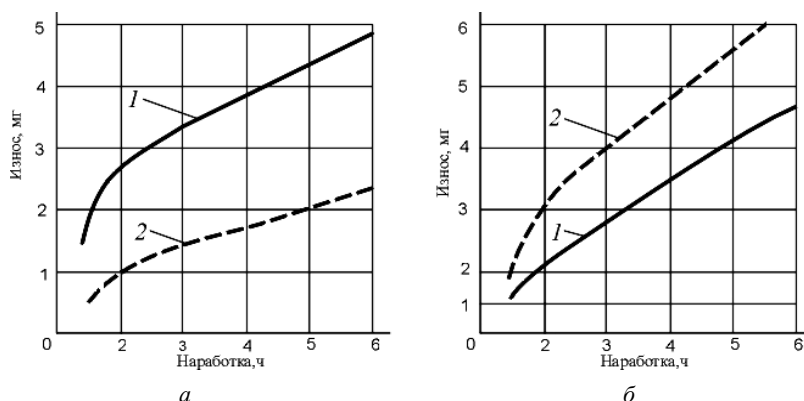


Рис. 1. Зависимость величины износа неподвижного образца от наработки при испытании смазочных материалов: а – ЦИАТИМ-201; б – солидол (С); 1 – без УДПАГ; 2 – с УДПАГ

Использование твердой добавки заметно изменяет картину. В этом случае различимо возрастает эффективность смазочных свойств у смазочного материала ЦИАТИМ-201, повышая противозадирные свойства в 1,8–2,2 раза, тогда как у солидола (С) значительно ухудшаются. Введение УДПАГ в солидол (С) снижает противозадирные свойства в 1,2–1,5 раза.

Оценка влияния смазочных материалов на снижение процессов фреттинга выполнялась также по состоянию дорожек трения на неподвижной пластине. Определялась глубина повреждений, изменение величины шероховатости R_a/R_{a0} до и после испытаний, а также общее состояние поверхности.

Исследования обнаружили, что по этим показателям после введения ультрадисперсного алмазографита лучшим является смазочный материал ЦИАТИМ-201, приводящий к качественному изменению микрорельефа трущейся поверхности. Так, на рис. 2 представлены фотографии состояния дорожек трения, полученные после проведения испытаний со смазочным материалом без добавки и после её введения.

Анализ снимков, полученных после проведения испытаний, позволяет судить о том, что ультрадисперсные порошки алмазографита оказывают значительное влияние на микрорельеф поверхностей трения. Можно отметить заметное сглаживание неровностей, снижение количества раковин, царапин, следов коррозионного износа. Такое изменение шероховатости увеличивает фактическую площадь контакта, что снижает контактные давления и более равномерно распределяет нагрузки по контурным площадям контакта.

Рассмотрение других результатов, полученных в ходе проведения исследований, также позволяет сделать выводы об эффективности введения твердой добавки УДПАГ в пластичную смазку ЦИАТИМ-201. После испытаний средняя величина отношения R_a/R_{a0} для смазочного материала без добавки составила $R_a/R_{a0} = 2,7$, при введении УДПАГ она снизилась и равнялась $R_a/R_{a0} = 1,61$. Для солидола (С) это отношение изменилось незначительно: 1,14 и 1,06 без добавки УДПАГ и с добавкой соответственно.

Результаты проведенных исследований позволили предположить причины проявления хороших триботехнических характеристик смазочных материалов с добавкой ультрадисперсного порошка алмазографита. В отличие от широко применяемых порошковых добавок, для УДПАГ характерна высокая адгезионная способность к металлическим поверхностям за счет повышенной поверхностной энергии. Наличие собственного заряда и взаимодействие с поверхностью металла приводит к образованию ориентированного слоя на контактирующих поверхностях, что способствует прочному удержанию граничного слоя смазочного материала на поверхности трения. Введенные в смазочный материал частицы ультрадисперсного алмазографита локализуют участки на трущихся поверхностях, образуя на них прочную пленку. Это снижает коэффициент трения, препятствует схватыванию контактирующих поверхностей и повышает способность пленок смазочного материала выдерживать значительные нагрузки без разрушения.

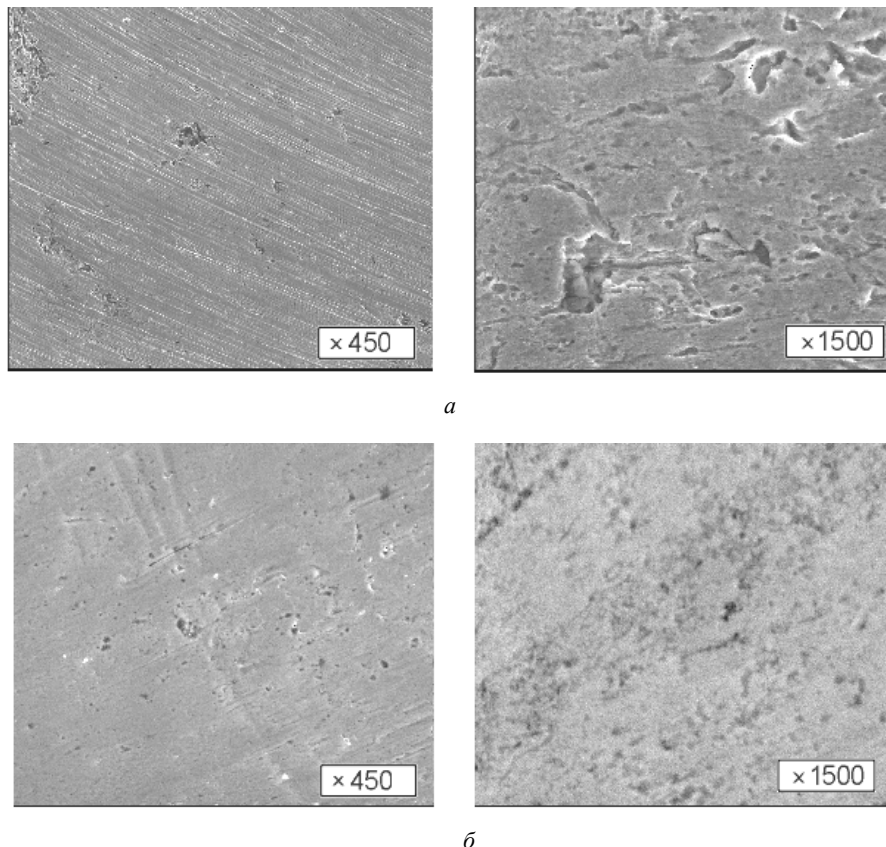


Рис. 2. Внешний вид дорожек трения на пластине после испытаний со смазочным материалом ЦИАТИМ-201: а – без добавки УДПАГ; б – с добавкой УДПАГ

Таким образом, результаты эксперимента наглядно демонстрируют положительное влияние ультрадисперсного порошка алмазографита на повышение фреттингостойкости литиевых смазочных материалов (ЦИАТИМ-201) и улучшение их противоизносных свойств. С другой стороны, введение добавки в кальциевые смазочные материалы (солидол (С) приводит к ухудшению некоторых смазочных характеристик. Проведенные ранее трибологические исследования для пластичных смазочных материалов также подтверждают положительное влияние УДПАГ на литиевые смазочные материалы [10–12].

Заключение. Введение ультрадисперсного алмазографита снижает величину износа в 1,8–2,2 раза и уменьшает глубину повреждений трущейся поверхности на 24–28 %. Сравнительный анализ значений контактных напряжений, определенных с помощью компьютерного моделирования, показал, что при включении в пластичный смазочный материал добавки УДПАГ происходит снижение величины контактных напряжений на 18–20 %. Это увеличивает время до начала фреттинг-усталостного разрушения поверхности и позволяет продлить срок службы узлов трения в 1,5–2 раза по сравнению с базовыми смазочными материалами.

Библиографические ссылки

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). М. : Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
2. Дроздов Ю. Н., Павлов В. Г., Пучков В. Н. Трение и износ в экстремальных условиях. М. : Машиностроение, 1986. 224 с.
3. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2 ч. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2005. Ч. 1. 494 с.
4. Морозов Е. М., Зернин М. В. Контактные задачи механики разрушения. М. : Машиностроение, 1999. 544 с.
5. Сосновский Л. А., Махутов, Н. А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. М. ; Гомель : НПО «Трибофатика», 2000. 304 с.
6. Заверюха Г. Г. Исследование влияния контактных напряжений на долговечность соединяемых элементов // Вестник машиностроения. 2010. № 1. С. 3–9.
7. Петухов А. Н. Вопросы многоциклового усталости для материалов и деталей современных ГТД // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. № 3(19). С. 172–177.
8. Семенов А. Н. Закономерности начальной стадии фреттинг-износа конструкционных материалов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 6. С. 20–25.
9. Терентьев В. Ф., Еркаев Н. В., Докшанин С. Г. Трибонадежность подшипниковых узлов в присутствии модифицированных смазочных композиций. Новосибирск : Наука, 2003. 142 с.
10. Жевнов В. В. [и др.]. О влиянии ультрадисперсных наполнителей на реологические свойства пластичных смазок // Трение и износ. 2001. (22) № 6. С. 699–702.
11. Люты М., [и др.]. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами // Трение и износ. 2002. (25) № 4. С. 411–424.
12. Погодаев Л. И., Кузьмин В. Н., Петров В. М. Новый пластичный смазочный материал // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 6. С. 34–47.

References

1. Garkunov D. N. *Tribotekhnika (iznos i bezyznosnost)* [Tribotechnology (wear and no-wear)]. Moscow, Moscow Agricultural Academy Publ., 2001, 616 p.
2. Drozdov Ju. N., Pavlov V. G., Puchkov V. N. *Trenie i iznos v ekstremal'nykh usloviyakh* [The friction and wear in extreme conditions]. Moscow, Machinebuilding Publ., 1986, 224 p.
3. Makhutov N. A. *Konstruktsionnaya prochnost, resurs i tekhnogennaya bezopasnost* [Structural strength, lifetime and prevention of technical catastrophes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 494 p.
4. Morozov E. M., Zernin M. V. *Kontaktnye zadachi mekhaniki razrusheniya* [Contact problems of fracture mechanics]. Moscow, Machinebuilding Publ., 1999, 544 p.
5. Sosnovskiy L. A., Makhutov N. A. *Tribofatika: iznosoustalostnye povrezhdeniya v problemakh resursa i bezopasnosti mashin* [Tribofatigue: wear-fatigue damages in a problems of lifetime and safety of machines] Moscow–Gomel “Tribofatigue” Publ., 2000, 304 p.
6. Zaveryukha G. G. [Study of contact stresses influence on the joined elements longevity]. *Vestnik mashinostroeniya*. 2010, no. 1, p. 3–9. (In Russ.)
7. Petukhov A. N. [Questions of high-cycle fatigue for materials and details modern GTE]. *Vestnik SamGAU*. 2009, vol. 19, no. 3, p. 172–177. (In Russ.)
8. Semenov A. N. [Regularities of initial stage of structural materials fretting wear]. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizмах*. 2007, no. 6, p. 20–25. (In Russ.)
9. Terent'ev V. F., Erkaev N. V., Dokshanin S. G. *Tribonadezhnost podshipnikovyykh uzlov v prisutstvii modifitsirovannykh smazochnykh kompozitsiy* [Tribological reliability of bearing units in the presence of the modified lubricant compositions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003, 142 p.
10. Zhevnov V. V., Smurugov V. A. *Delikatnaya* [Effect of ultra-dispersive additives on reological characteristics of greases]. *Trenie i iznos*. 2001, vol. 22, no. 6, p. 699–702. (In Russ.)
11. Ljuty M., Kostjukovich G. A., Skaskevich A. A. et al. [The methods for lubricants design with nanoadditives] *Trenie i iznos*. 2002, vol. 25, no. 4, p. 411–424. (In Russ.)
12. Pogodaev L. I., Kuz'min V. N., Petrov V. M. [New grease] *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizмах*. 2006, no. 6, p. 34–47. (In Russ.)