

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ПАР ТРЕНИЯ

Анализируются перспективы применения отечественных бентонитов в качестве трибомодификаторов как одного из направлений повышения несущей способности тяжело нагруженных пар трения. Приведены результаты испытаний, подтвердивших эффективность использования бентонитовых добавок.

Ключевые слова: геомодификаторы, тяжело нагруженные пары трения, бентониты, схватывание, приработка.

Аналізуються перспективи застосування вітчизняних бентонітів в якості трибомодифікаторів як одного з напрямків підвищення несучої здатності важко навантажених пар тертя. Наведено результати випробувань, що підтвердили ефективність використання бентонітових добавок.

Ключові слова: геомодифікатори, важко навантажені пари тертя, бентоніти, схоплювання, припрацювання.

The prospects of domestic bentonites as tribomodifikatorov as one of the ways to increase the carrying capacity of heavy-duty friction pairs. The results of the tests confirmed the efficiency of the use of bentonite additives.

Key words: geomodifiers, heavy-duty friction pair, bentonites, gripe, bedding.

1. Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Проблемой повышения несущей способности и долговечности различных тяжело нагруженных пар трения занимались многие исследователи.

На несущую способность тяжело нагруженных быстроходных зубчатых передач главных турбозубчатых агрегатов решающим образом оказывают влияние температурные поля и касательные напряжения, возникающие на контакте [1; 2]. Наиболее радикальными возможностями повышения несущей способности обладают методы химико-термического упрочнения боковых поверхностей зубьев, особенно модификации методов – ионное азотирование, цементация в печи кипящего слоя [3].

Еще более весомое негативное влияние температурные поля оказывают на работоспособность и несущую способность опорных подшипников турбинных редукторов. Весьма обнадеживающие результаты получены при макропрофилировании опорных поверхностей подшипников скольжения по кривым, отличающимся от окружности. Несущая способность повышается в 1,8... 2,2 раза [4].

Гильзы цилиндров тяжело нагруженных ДВС имеют отказы не по предельному износу, а из-за потери формы. В наиболее напряженной части, в районе верхней мертвой точки, образуется пояс с несравнимо большим износом, чем на остальной высоте гильзы. Значительным вкладом в решение данной проблемы являются работы [5; 6]. Используя методы дифференциального упрочнения рабочих поверхностей, удается повысить нагрузочную способность и долговечность этой пары

трения. Так, по данным износостойких испытаний, после дифференцированного упрочнения чугуна втулки в зоне верхней мертвой точки имеет износостойкость на 38-40 % выше, чем в средней части втулки и на 45-55 % выше, чем в ее нижней части [7].

С этими исследованиями перекликаются работы по повышению несущей способности пар трения герметичных фреоновых (хладоновых) компрессоров. На определенных режимах контакты эксцентрико-шатунной и цилиндропоршневой групп пар трения работают на сжиженной смазке за счет попадания в нее фреона. Особенно тяжелые условия работы возникают в периоды пуска-остановки компрессора. Циклический характер его работы является причиной существенного снижения долговечности рабочих поверхностей. Одним из направлений решения этих проблем является оптимизация допусков и посадок соответствующих деталей и сборочных единиц [8].

В судовой технике наиболее тяжело нагруженными парами трения являются опоры аппарелей на судах типа «Ro-Ro». Это тихоходные реверсивные подшипники скольжения с нагрузками, достигающими $P = 150-180$ МПа. В работах [9-11] показаны пути повышения безотказности и долговечности этих специфических пар трения. За счет улучшения конструкции подшипников, способов подвода смазки нагрузочные способности увеличены в 2 раза, и продлен срок безаварийной эксплуатации. Вместе с тем, стало очевидным, что дальнейшее совершенствование этих узлов, учитывая целесообразность одноразовой заправки смазки, возможно лишь путем улучшения смазочных свойств,

стойкости смазочных композиций в сочетании с материалом опорных поверхностей.

Одним из перспективных направлений является подбор к смазкам присадок, способных реализовывать самоорганизующийся процесс трения [12; 13]. Многообещающими в этом контексте являются присадки с добавками минерального происхождения (геомодификаторов трения) [14-18].

2. Обзор публикаций и выделение нерешенных задач. Не одно десятилетие ученые занимаются проблемами, связанными с использованием минеральных добавок для трибомодификации узлов и пар трения. Получены обнадеживающие результаты, многие достигли уровня серийного производства [12-18].

Практика применения этих материалов свидетельствует о перспективности развития этого направления в трибологии. Но наряду с высокой эффективностью геомодификаторов остается множество нерешенных вопросов, связанных с их применением.

Так, исследователи отмечают случаи увеличения износа вследствие шаржирования неразложившихся частиц геомодификатора, отмечаются нарушения температурной стабильности обработанного двигателя вследствие дополнительного теплового сопротивления металлокерамического слоя, также отмечаются случаи дополнительного сверхнормативного выгорания масла и отпуск (снижение прочностных свойств) термообработанных поршневых колец [19].

Поскольку большинство геомодификаторов представляют собой взвесь порошковых материалов в носителе (керосине, минеральном масле и т. д.), которая может задерживаться фильтрами, центрифугироваться и выпадать в осадок, некоторые разработчики рекомендуют на период обработки вообще исключить из системы смазки фильтры тонкой очистки моторного масла.

Еще одна из причин недостаточного использования уникальных свойств геомодификаторов – высокая

стоимость полученных составов, хотя многие из них достигли стадии серийного производства.

Таким образом, создание научных основ использования геомодификаторов в интересах трибологии, в частности, на основе недорогих отечественных бентонитов, можно считать перспективной и актуальной тематикой.

3. Цель данного исследования. Исследование влияния геомодификаторов трения на основе отечественных бентонитов, в частности, Дашуковских бентонитов Черкасского месторождения, идентичных по составу монтмориллониту, входящему в состав французских бентонитов, используемых в качестве добавок к смазочным материалам, на износостойкость тяжело нагруженных пар трения.

4. Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов. Бентонит относится к классу алюмосиликатов, состоит в основном из смектитовых минералов, куда входят монтмориллонит, бейделлит, нонтронит и др.

Очень важным свойством бентонитовых глин является способность к самодиспергации, в процессе которой возможно возникновение незавершенных структурных элементов толщиной от 1 до 1,5 нм. Их можно рассматривать как вариант наночастицы или своеобразный плейтлет. Элементарные плейтлеты несут отрицательный заряд, величина которого в основном определяется изоморфными замещениями в октаэдрическом и тетраэдрическом слоях. Заряд нейтрализуется обменными катионами с одним или двумя одноименными слоями воды, расположенными в межслоевом пространстве между элементарными плейтлетами [20]. Бентонит с очень высоким (65-90 %) содержанием основного минерала монтмориллонита добывается на Дашуковском участке Черкасского месторождения бентонитовых глин – это самое крупное в Европе месторождение высококачественного сырья.

Таблица 1

Химический состав Дашуковской бентонитовой глины, %

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+ FeO	MnO	CaO	MgO	Na_2O+ K_2O	P_2O_5	SO_3	SO_2	ппп*
58,8	1,14	17,58	6,3	0,03	2,17	2,16	0,06-0,29	0,05	0,05-0,34	0,19	9,7

*ппп – потеря при прокаливании.

Бентониты абсолютно нетоксичны и химически инертны и уже зарекомендовали себя в качестве действенной присадки к маслам и смазкам:

– антизадираяя противопригарная пластичная смазка Copaslip (Великобритания, «Molyslip Atronic Ltd»). Основа смазки бентонит, пропитанный нефтяными маслами с добавлением медного порошка, диапазон рабочих температур –40 °С до +1100 °С;

– многоцелевая пластичная смазка Shell Darina R2, Shell-Molleny GI-25, GL-500 (12 марок) (Великобритания, «Shell»). Индустриальные смазки, основой которых является бентонит, для узлов, работающих в тяжелых условиях (влага, ударная нагрузка, высокие температуры);

– триботехнический состав НИОД и пластичная смазка НИОДОЛ с добавками НИОД (Россия, г. Санкт-Петербург);

– триботехнический состав КСК, в составе пластичных смазок, предназначен для борьбы с задирами и восстановления изношенных поверхностей (Россия, г. Санкт-Петербург);

– пластичная смазка (электропроводная) по авторскому свидетельству Бердянского опытного маслозавода [21].

Однако из почти 250 перспективных областей использования бентонита отечественная промышленность освоила всего около 15. В основном бентонитовая глина используется в черной металлургии для

окомкования железорудного концентрата, в литейном производстве – для производства литейных форм и противопригарных покрытий.

Несмотря на наблюдаемый и воспроизводимый положительный эффект, механизм влияния геомодификаторов на трение и износ не полностью понятен. Понимание осложняется тем обстоятельством, что, как правило, в смазочные материалы дополнительно к бентониту добавляют другие вещества (ПАВ, медный порошок и др.).

С целью изучения влияния бентонитовых добавок на несущую способность пар трения были проведены эксперименты по схеме «колодка-ролик» на машине трения СМЦ-2. Образцы изготавливались из чугуна марки СЧ 21-40, ИТ 7; шероховатость поверхностей трения образцов $Ra = 0,32$ мкм.

В качестве базовой смазки использовался Литол-24. Перед проведением испытаний образцы тщательно промывались, просушивались и обезжиривались этиловым спиртом.

Частота вращения ролика $\omega = 16,6 \pm 0,33$ с⁻¹, что соответствует окружной скорости $v_{ск} = 250 \pm 10$ см/с.

Испытания проводились в следующей последовательности.

В течение 15 мин испытательная установка работает на холостом ходу для определения влияния скольжения термомпары по поверхности трения на ее показания и для

уменьшения величины смещения «нуля» момента трения;

Далее испытуемые образцы без остановки машины нагружаются первой ступенью нагрузки $Q_1 = 34 \pm 1$ кгс и на этой ступени испытания проводятся в течение 15 мин. После этого испытуемые образцы последовательно нагружаются ступенями нагрузок $Q_2 = 58 \pm 1$ кгс, $Q_3 = 84 \pm 1$ кгс, $Q_4 = 120 \pm 1$ кгс и $Q_5 = 170 \pm 1$ кгс и на каждой ступени испытания проводятся в течение 15 мин.

Выбор 5 ступеней нагрузок обусловлен попыткой охватить наибольший диапазон нагрузочных условий, при которых смазывающий материал и добавка находятся при эксплуатации машин и механизмов. Нагрузка $Q_1 = 34 \pm 1$ кгс является наименьшей нагрузкой, при которой на машине трения СМЦ-2 четко проявляются все фиксируемые показатели и, в первую очередь, момент трения. Нагрузка $Q_5 = 170 \pm 1$ кгс является максимально возможной на машине трения СМЦ-2.

Во время испытаний контролируемыми параметрами взяты нагрузка, время, температура и сила трения.

Результаты измерения параметров трения и взвешивания на каждом цикле проводятся дважды. Типовой режим испытания приведен в таблице 2.

Таблица 2

№ цикла	Расчетная нагрузка радиальн. N , кгс (Н)	Расчетн. удельн. нагруз. P_a , МПа	Скорость скольжения v , см/с	Продолжительность испытаний t , мин
I	34 (333)	2,43	250	15
II	58 (568)	4,07		
III	84 (823)	5,7		
IV	120 (1176)	8,58		
V	170 (1667)	11,8		

Обработка результатов испытаний ведется в соответствии с принятыми зависимостями:

1. Коэффициент трения f определяется как частное от деления замеренной в эксперименте силы трения F на полную радиальную нагрузку N ;

2. Интенсивность износа определяется по потере линейного размера образца, отнесенного к пути трения:

$$f = \frac{\Delta h}{L}$$

где Δh – линейный износ в мм, L – путь трения в км.

По результатам испытаний строятся зависимости:

$$I = f t ; f = f P_a ; \Delta t_p = f P_a ;$$

где P_a – удельная расчетная нагрузка па контакте, кг/мм²; f – осредненный коэффициент трения, Δt_p – наибольшая объемная температура элемента пары трения, развивающаяся за испытание, °С; t – время испытания, мин.

Полученные оценочные характеристики показаны на рис. 1.

5. Выводы. Испытания подтвердили эффективность использования бентонитовых добавок:

1. Температура поверхности трения при использовании добавок ниже, чем в контрольной паре на 20 °С; коэффициент трения составлял 0,05 и 0,07 соответственно; суммарный износ пары трения уменьшился от 0,016 мм до 0,009 мм.

2. Геомодификаторы на основе бентонитов – перспективное направление, особенно в области повышения надежности тяжело нагруженных пар трения, поскольку специфика эксплуатации помогает избежать основным «минусов», сопровождающих использование геомодификаторов, в частности, в ДВС. Испытания на серийной машине трения СМЦ-2 смогли показать присутствие эффекта от добавок бентонита, но, в силу конструктивных особенностей установки, она не позволяет достоверно моделировать работу тяжело нагруженных пар трения.

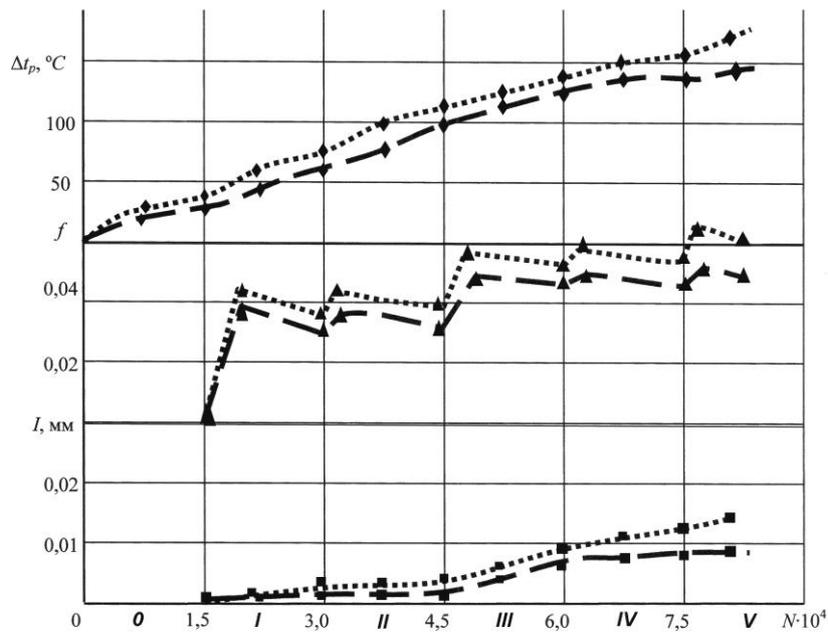


Рис. 1. Трибологические характеристики изнашивания материалов (колодка СЧ 21-40, - ролик СЧ 21-40) при трении:

..... – смазка Литол-24; ---- – смазка Литол-24 с добавкой бентонита 0,05 %; P – удельная нагрузка на испытуемых образцах;
 N – число циклов нагружения (при частоте вращения ролика $\omega = 16,6 \text{ с}^{-1}$ $N = 1,5 \cdot 10^4$ соответствует 15 мин. испытаний).
 I – суммарный износ испытуемых образцов; f – коэффициент трения; Δt_p – температура поверхности трения.

ЛІТЕРАТУРА

- Соловьев С. Н. Глубинные процессы повреждаемости контакта качения с проскальзыванием при переменном нагружении / С. Н. Соловьев // Проблемы трибологии. – 2003. – № 2. – С. 58–64.
- Соловьев С. Н. Проектирование, изготовление и исследование составных азотированных зубчатых колес для быстроходных тяжело нагруженных редукторов / С. Н. Соловьев // Вестник двигателестроения. – № 2. – 2003. – С. 114–118.
- Соловйов С. М. Порівняльний аналіз техніко-економічних і екологічних показників хіміко-термічної обробки / С. М. Соловйов, С. Ж. Боду, О. В. Трофимова // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 61. Вип. 48. Техногенна безпека. – Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили. – 2007. – С. 74–76.
- Соловьев С. М. Управление несущей способностью трибосистем методами макропрофилирования рабочих поверхностей / С. Н. Соловьев // Проблемы трибологии. – 2004. – № 2. – С. 10–14.
- Клименко Л. П. Повышение долговечности цилиндров ДВС на основе принципов переменной износостойкости / Л. П. Клименко ; Под ред. В. В. Запорожца. – Николаев : Изд-во НФ НАУКМА. – 2001. – 294 с.
- Клименко Л. П. Технология изготовления цилиндров ДВС с заданными переменными эксплуатационными свойствами / Л. П. Клименко // Авиационно-космическая техника и технология : Сб. научных трудов. Вып. 19. – Тепловые двигатели и энергоустановки. – Харьков : Гос. аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт». – 2000. – С. 294–298.
- Чернец М. В. Трибомеханика. Триботехника. Триботехнологии : В 3 т. / М. В. Чернец, Л. П. Клименко, М. И. Пашечко, А. Невчас ; Под общ. ред. В. М. Чернеца, Л. П. Клименко // Т. 3. Теоретические основы и технологии создания узлов машин с переменной износостойкостью. – Николаев : Изд-во ЧГУ им. Петра Могили. – 2010. – 280 с.
- Соловьев С. Н. К назначению посадок и зазоров цилиндропоршневых сопряжений герметичных компрессоров / С. Н. Соловьев, С. Ж. Боду // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукраинский научно-технический журнал. – Харьков : НТУ «ХПИ». – № 2. – 2010. – С. 127–129.
- Соловьев С. Н. Испытание тяжело нагруженных подшипников судовых устройств / С. Н. Соловьев, С. Г. Бирюков, В. А. Мозолук, В. П. Шеремет // Сб. научных трудов : Надежность судовых машин. – Николаев : НКИ. – 1985. – С. 3–7
- Бирюков, С. Г. Обеспечение работоспособности тяжело нагруженных опор судовых устройств / С. Г. Бирюков, В. А. Мозолук, В. П. Шеремет // Сб. научных трудов : Надежность судовых машин. – Николаев : НКИ. – 1986. – С. 10–15.
- А. с. № 1250882 СССР, МКИ⁴ G 01 M13/04. Устройство для испытания подшипников скольжения. – Оpubл. в БИ. – 1985. – № 30.
- Белый И. Ф. Эффективное использование антифрикционных добавок к трансмиссионным и моторным маслам / И. Ф. Белый, А. Ф. Меркулов, В. И. Белый, И. Г. Голубев ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса. – Москва : [Росинформагротех], 2011. – 62 с.
- Балабанов, В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля: Методы и средства / В. И. Балабанов. – М. : [АСТ]. – 2003. – 61 с.
- Телух Д. М. Использование слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д. М. Телух, В. Н. Кузьмин, В. В. Усачев // Интернет-журнал «Трение, износ, смазка». – 2009. – № 3.
- Евграфов И. В. Новые приемы в безразборном ремонте ДВС полиминеральными серпентиновыми препаратами / И. В. Евграфов, А. В. Дунаев // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2006. – № 4. – С. 21–24.
- Ткаченко Э. А. Нанотехнология компенсации размерного износа подвижных сопряжений элементов машин / Э. А. Ткаченко, Д. А. Кононов // Прогресивні технології і системи машинобудування. – Вип. 1, 2 (44), 2012. – С. 255–263.
- Нигматуллин Р. Г. Повышение эффективности смазочных материалов с геомодификаторами трения / Р. Г. Нигматуллин, В. Ю. Шолом, Л. Ш. Шустер, И. М. Нигматуллин // Вестник УГАТУ, Уфа. – Т. 16. – № 1 (46). – С. 51–56.
- Патент РФ № 2264440 Способ формирования антифрикционного покрытия трущихся поверхностей / Патентообладатели Мироненко А. В., Сивак Б. А., Тарасик А. В. Заяв. 10.08.2004; Оpubл. 20.11.2005.

19. Балабанов В. И. Автомобильные присадки и добавки / В. И. Балабанов, В. Ю. Болгов. – М. : Эксмо. – 2011. – 176 с.
20. Кирсанов Н. В. Генетические типы и закономерности распространения месторождений бентонитов в СССР / Н. В. Кирсанов, М. А. Ратеев, А. А. Сабитов и др. – М. : Недра. – 1981. – 214 с.
21. А. с. № 551355 МПК^С С 10 М7/02 – С 10 М7/08 Электропроводная пластичная смазка / Равикович Р. С., Степанянц С. А., Пигульский А. А. и др. // Опубл. в БИ. – Заяв. 17.12.1975, опубл. 25.03.1977. – Бюллетень № 11 (45) Дата опубликования описания 22. 04. 77.
22. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки служебных свойств смазывающих масел и присадок к ним с использованием роликовых испытательных установок. Методические указания // Госстандарт СССР, Москва, 1980. – 59 с.

Рецензенти: **Тимошевський Б. Г.**, д.т.н., професор;
Шумілов А. П., к.т.н., професор.

© Соловйов С. М., Боду С. Ж., 2012

Дата надходження статті до редколегії 15.12.2012 р.

СОЛОВЙОВ Станіслав Миколайович – кандидат технічних наук, професор кафедри Технології суднового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Коло наукових інтересів: сучасні методи підвищення зносостійкості матеріалів.

БОДУ Світлана Жаковна – старший викладач кафедри технології суднового машинобудування, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

Коло наукових інтересів: сучасні методи підвищення зносостійкості матеріалів.