

## Триботехнология восстановления деталей мобильной с.-х. и транспортной техники модификацией моторного масла фуллеренсодержащим составом

Канд-ты техн. наук В. В. АУЛИН (Кировоградский НТУ), А. Д. ДЕРКАЧ, А. И. БУРЯ, инж-ры Д. А. МАКАРЕНКО (Днепропетровский ГАУ, [derkach\\_dsau@i.ua](mailto:derkach_dsau@i.ua)), Г. Я. МИЩЕНКО (Научно-производственная фирма "Маскарт", г. Днепропетровск)

**Аннотация.** Изложены результаты лабораторных и производственных исследований триботехнических характеристик фуллеренсодержащих составов (ФСС) для восстановления поверхностей трения деталей мобильной с.-х. и транспортной техники.

**Ключевые слова:** фуллеренсодержащий состав, трение, восстановление.

Процессы трения, представляющие как разрушительное явление природы, в определенных условиях могут стать самоорганизующимися процессами, позволяющими разработать новые методы и средства восстановления изношенных поверхностей деталей машин и оборудования, в т. ч. без их разборки.

Эта сторона процессов трения окончательно не обоснована, требует тщательных экспериментальных исследований, создания физической теории протекающих процессов, получения аналитической связи между триботехническими и технологическими параметрами, выяснения условий регенерации поверхностей трения [1]. Указанное дает основания для разработки эффективных технологий триботехнического восстановления (ТТВ) рабочих поверхностей деталей [2]. В связи с этим заслуживают внимания исследования условий реализации процессов самоорганизации [3], избирательного переноса [4, 5] при трении, саморегуляции процессов износа [6, 7], следствием которых становится регенерация поверхностей деталей и их сопряжений.

Исследования самоорганизации и избирательного переноса при трении дали новый импульс развитию практических методов повышения износостойкости машин и изменили взгляды на механизм трения и изнашивания деталей. Экспериментально доказано, что сервоитные пленки могут образовываться и в соединениях, которые не содержат медь и другие пластичные материалы (например, цинк, олово, серебро). Для этого необходимо ввести компоненты в смазочный материал или иные технологические среды — топливо,

промывные и охлаждающие жидкости. Этот принцип положен в основу разработки и применения металлоплакирующихся присадок [8].

В 1979 г. швейцарская компания Actex S. A. впервые начала серийное производство металлоплакирующихся порошковых препаратов марки Lubrifilm, основанных на практической реализации эффекта безызносности и предназначенных для безразборного восстановления поверхностей трения сопряженных деталей автомобильной техники.

Из отмеченного вытекает концепция трения и изнашивания, базирующаяся на глубоком теоретическом исследовании термодинамики образования структур в поверхностных слоях материала деталей, которые самоорганизуются при необратимых процессах. Интенсивно развивается такое научное направление, как синергетика, содержащая общие закономерности управления процессами самоорганизации в системах разного рода.

Учеными-трибологами подтверждено, что теорию термодинамических процессов диссипации энергии и синергизма при трении следует считать более фундаментальной, чем теорию разрушения контактирующих поверхностей деталей. Исследования диссипации и синергизма при трении перспективны в практической реализации, поскольку дают возможность разработки и применения методов и средств, позволяющих в процессе эксплуатации без разборки узлов и агрегатов восстанавливать детали машин и эффективно повышать их износостойкость [9–12]. Это так называемые интеллектуальные технологии самовос-

становления (smart-self technologies), неотъемлемая часть которых — ТТВ.

Цель работы — классификация существующих ТТВ, выяснение сущности протекания процессов в трибосопряжениях двигателей мобильной с.-х. и транспортной техники при использовании ФСС.

Анализ составляющих основу ТТВ методов восстановления рабочих поверхностей деталей дает возможность провести некоторую их классификацию (табл. 1).

Последние три метода ТТВ наиболее выгодны с технологической точки зрения, поскольку не имеют существенных недостатков и дают возможность восстанавливать изношенные детали и сопряжения двигателя без его разборки.

Методы и средства безразборного восстановления сопряжений деталей различаются по компонентному составу присадок, физико-химическому процессу их взаимодействия с моторным маслом и поверхностями трения, свойствам получаемых покрытий (защитных пленок), а также механизму функционирования [8, 13, 14]. Их можно разделить на четыре основные группы: металлоплакирующие композиции, полимеризирующие вещества, металлокерамические и наноматериалы.

Таким образом, регенерацию изношенных деталей можно осуществлять разными ТТВ в разных технологических средах. Применение интеллектуальных технологий самовосстановления позволяет снизить расходы на горюче-смазочные материалы и запасные части, сократить длительность устранения отказов, уменьшить потери в результате простоя техники в период ремонта.

Трибохимический, трибоэлектрохимический и электротрибохимический методы, а также обработка сопряжений поверхностей деталей и моторного масла электрическим и магнитным полем описаны в работах [11–14]. Физико-химический метод с применением наноматериалов требует дополнительных исследований.

Присадки и составы, модифицированные наноматериалами различной природы, получают все большее распространение в техническом сервисе машин. Основная идея их применения — увеличение ресурса машин. Как показали лабораторные исследования и практический опыт, эффективными модификаторами могут быть материалы, даже в незначительном количестве содер-

жащие природные минералы и фуллерены [15–17]. Еще в 60-х гг. прошлого века Б. И. Костецким доказано, что 85–90 % металлических деталей трения выходят из строя из-за повышенного износа и только 10–15 % — вследствие недостаточной прочности [18]. Аналогичный результат получили в Якутии в середине 1990-х гг. российские ученые, исследовавшие эксплуатацию японской техники на горных работах. При этом установлено, что в общем балансе расходов на поддержание в работоспособном состоянии, например, трактора с.-х. назначения, трудозатраты на техническое обслуживание достигают 45,4 %.

В связи с этим исследование безразборного ремонта и восстановле-

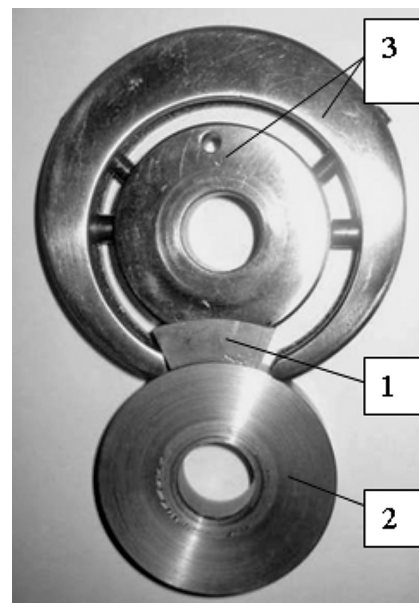


Рис. 1. Взаимное положение образцов:

1 — колодка; 2 — диск (контртело); 3 — оправка

ния деталей трения представляется актуальной задачей, решение которой позволит значительно сократить расходы как на ремонт, так и на техническое обслуживание, и повысить эффективность технического сервиса сельхозмашин. Один из способов такого ремонта (восстановления) деталей — применение фуллеренсодержащих смазочных композиций, изготовление которых стало возможным благодаря достижениям нанотехнологий. Как утверждают их производители, эффект от восстановления деталей газораспределительного, кривошипно-шатунного механизма, трансмиссии очевиден. Однако полученные результаты подаются потребителю в обобщенном виде или в виде рекламы, а научно обоснованные материалы производителями и дистрибьюторами не предоставляются.

Для достижения второй составляющей цели данной работы определим степень влияния ФСС на характер процесса трения стальных деталей, а также на шероховатость и твердость поверхности трения.

Программа экспериментальных исследований включала следующие этапы:

— изготовление образцов из стали 45 ГОСТ 1050–74 для лабораторных исследований по схеме "диск — колодка" (рис. 1);

Таблица 1

Триботехнические методы восстановления рабочих поверхностей деталей

Метод	Суть метода
Формирование специальных покрытий на поверхностях трения	Для формирования покрытий используются металлы из растворов или сплавов и другие материалы. Наибольшее распространение приобрели электролитический, химический, фрикционный способы формирования покрытий.
Трибохимический	Масла с металлоорганическими присадками обеспечивают образование на поверхности трения тонких противозносных пленок.
Пропускание электрического тока по сопряжениям основных деталей двигателя	Постоянный либо переменный ток разрушает выступы и неровности поверхностей трения.
Электрохимико-механический	Переменный электрический ток пропускается сквозь электролит. В результате механического и электрохимического взаимодействий происходит быстрая взаимная приработка поверхностей соединения.
Трибоэлектрохимический	Используется металлическая вставка, через трибосопряжение пропускается постоянный ток. Ионы металла вставки под действием тока осаждаются на поверхности трения.
Электротрибохимический	В условиях механической активации в системе «металл — электролит (композиционное масло)» происходят электротрибохимические реакции. Перенос вещества осуществляется электрически заряженными компонентами через электропроводную среду (электролит).
Метод обработки сопряжений поверхностей деталей и моторного масла магнитным полем	Проводится модифицирование моторного масла присадками и магнитным полем, а также обработка поверхностей трения магнитным полем.
Физико-химический с применением наноматериалов	Используются масла с фуллеренсодержащими составляющими, которые обеспечивают образование на поверхности трения нового материала с высокими антифрикционными свойствами.

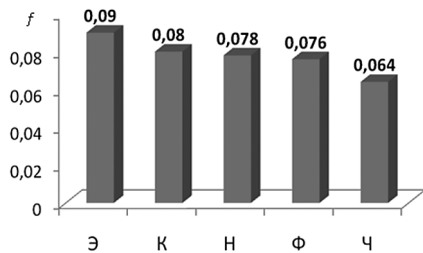


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от ФСС при установившемся режиме

— лабораторные исследования триботехнических характеристик;

— производственные испытания.

Для проведения исследований были подготовлены смазочные композиции, которые состояли из 97,5 % чистого синтетического масла и 2,5 % силикато-фуллереновых добавок. Всего исследовано четыре композиции и чистое масло с условными обозначениями: Ч — чистое масло; Э — лизордит; А — тринохлор; Н — серпентинит; К — антигорит; Ф — фуллерен. Использовалась лабораторная установка — машина для исследования материалов на трение и износ 2070 СМТ-1, профилометр модели 296, микротвердомер ПМТ-3У4,2.

Режим испытаний:

- линейная скорость скольжения колодки по контртелу 1 м/с;
- нагрузка на образец 200 Н;
- путь пробега за один эксперимент 115 км.

Процесс трения происходил при погружении контртела в масляную ванну. Эксперимент повторяли трижды. Шероховатость  $R_a$  рабочей поверхности контртел перед испытанием равнялась 1,24 мкм; диска — 2,41 мкм.

Лабораторными исследованиями установлено, что стабилизация коэффициента трения наступает после 90—100 км пробега образца. Как видно из рис. 2, минимальный коэффициент трения зафиксирован при испытании в чистом масле. Температура в зоне контакта всех композиций, кроме Э, сохранялась в пределах 32—35 °С. При испытаниях композиции Э температура достигала 59 °С. В дальнейшем эту композицию не исследовали. Интересно, что при исследовании свойств образцов в чистом масле Ч, когда был получен наименьший коэффициент трения, шероховатость поверхности диска осталась достаточно высокой и снизилась лишь на 10 % (см. табл. 1). На рабочей поверхности колодки шероховатость снизилась на 25 %. Однако в случае всех других композиций (кроме Э) шероховатость снизилась значительно больше. Так, после использования композиции Ф шероховатость поверхности контртела уменьшилась сильнее всего — на 25 %, а колодки — в 1,8 раза.

Таким образом, установлено, что при использовании ФСС имеет место эффект шлифования рабочих поверхностей трибосистем.

Исследования изменения твердости рабочей поверхности показали, что при начальном значении микротвердости стального контртела 190 HV после испытаний в чистом масле этот показатель вырос до 240 HV. Такой рост объясняется возникновением наклепа. Микротвердость контртела после испытаний одного из ФСС выросла до 271 HV. Анализ рабочей поверхности трения контртел показал, что следы от алмазной пирамидки, используемой для измерения микротвердости, различаются.

Как видно из рис. 3, отпечатки от пирамидки на поверхности контртела, которое испытывали в чистом масле, имеют ровные и четкие грани. На контртеле, испытанном в среде ФСС, грани нечеткие, "заваленные". Это свидетельствует о наличии на поверхности пленки, твердость которой на 43 % выше твердости металла контртела и на 13 % выше микротвердости поверхности после испытания в чистом масле. Следовательно, образованная пленка имеет высокую микротвердость и способна обеспечить рост срока службы подвижных соединений механизмов.

Производственные испытания заключались в добавлении ФСС в картеры двигателей трактора Case MX 285, который эксплуатируется в агрофирме "Гоголево" Полтавской обл., и зерноуборочного комбайна New Holland TR 88 в фермерском хозяйстве "Жека" Пятихатского р-на

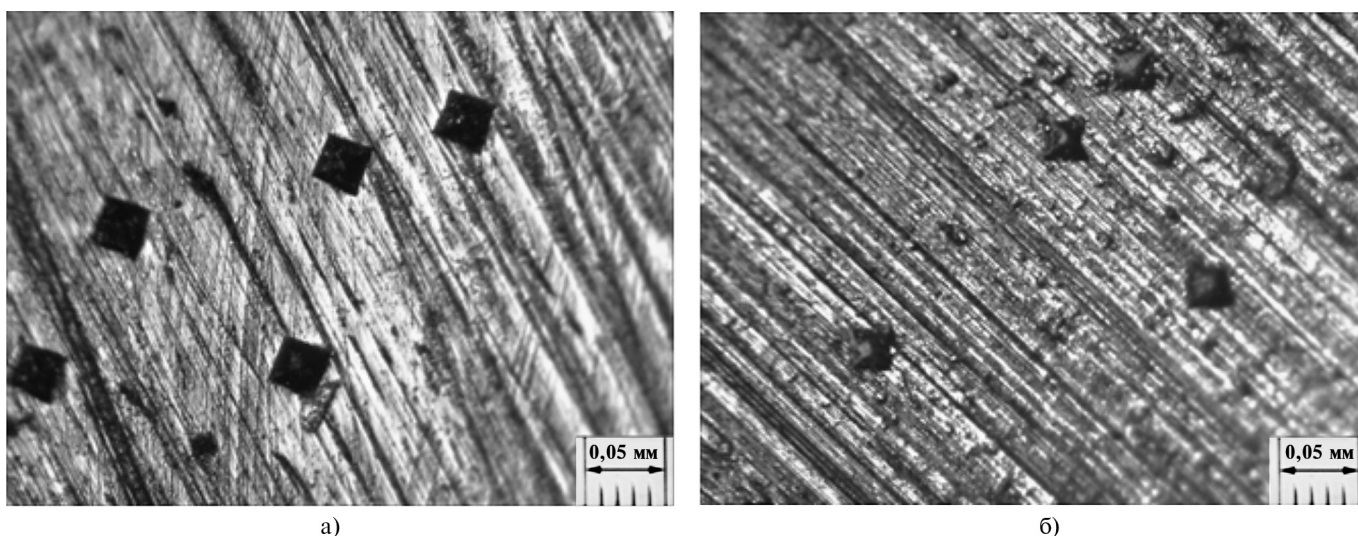


Рис. 3. Поверхность трения контртела после испытаний в чистом масле (а) и ФСС (б) с отпечатками алмазной пирамидки

Таблица 2

Влияние ФСС на шероховатость рабочей поверхности  $R_a$  диска и колодки

Образец и шероховатость $R_a$ , мкм		Смазывающая композиция				
		Э	Ч	К	Н	Ф
Диск	До испытаний	1,24				
	После испытаний	1,39	1,12	1	0,93	0,92
Колодка	До испытаний	2,41				
	После испытаний	1,81	1,79	1,68	1,4	1,29

Днепропетровской обл. Композицию добавляли в количестве 2,5 % от объема штатного масла. Далее трактор и комбайн эксплуатировались в обычных режимах. После определенной выработки давление масла в двигателе трактора Case MX 285 выросло на 0,1 МПа при оборотах коленчатого вала 900 мин<sup>-1</sup>, а при оборотах 2000 мин<sup>-1</sup> рост давления составил 0,06 МПа. В двигателе комбайна компрессия в цилиндрах выросла на 0,2–0,3 МПа.

Также с согласия ООО "Технопром" (г. Днепропетровск) ФСС были обработаны двигатель и топливный насос высокого давления (ТНВД) авто тягача DAF-350. Замер параметров показал, что экономия топлива составила 4 л на 100 км.

## Выводы

По результатам лабораторных исследований и производственных испытаний можно сделать следующие выводы.

1. Установленные коэффициенты трения при постоянном режиме при использовании ФСС: Э — 0,09; К — 0,08; Н — 0,078; Ф — 0,076; Ч — 0,064.

2. Наименьшая шероховатость поверхности образцов  $R_a$  после испытаний зафиксирована при использовании смеси Ф — 0,92 (диск) и 1,29 мкм (колодка).

3. При использовании ФСС с условным обозначением Ф на рабочей поверхности трения образуется пленка, микротвердость которой составляет 271 HV, что на 43 % больше, чем микротвердость поверхности базового образца, и на 13 % выше, чем после испытаний в чистом масле.

4. Давление масла в двигателе трактора Case MX 285, который эксплуатировался с использованием ФСС, возросло на 0,1 МПа при обо-

ротах коленчатого вала 900 мин<sup>-1</sup>, а при оборотах 2000 мин<sup>-1</sup> рост давления составил 0,06 МПа. В двигателе зерноуборочного комбайна New Holland TR 88 компрессия в цилиндрах в процессе использования указанной композиции выросла на 0,2–0,3 МПа. Экономия топлива авто тягача DAF-350 при аналогичных испытаниях составила 4 л на 100 км, давление в ТНВД выросло на 30 МПа.

## Литература и источники

1. Кравец И. А. Репаративная регенерация трибосистем. — Тернополь: Изд-во Бережанского агротехн. ин-та, 2003.
2. Перспективы развития триботехнологий повышения долговечности деталей дизелей мобильной техники / В. В. Аулин и др. // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. Д. Г. Валивасова / Под ред. В. В. Сафонова. — Саратов: Саратовский ГАУ, 2009.
3. Гершман И. С., Буше Н. А. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах // Трение и износ. — 1995, т. 16, № 1.
4. Быстров В. Н. Избирательный перенос при трении — новые возможности при изготовлении и использовании машин // Эффект безызносности и триботехнологий. — 1992, № 1.
5. Балабанов В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений. — М.: МГАУ, 1999.
6. Костецкий Б. И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания // Трение и износ. — 1980, т. 1, № 4.
7. Джус Р. Н. Системно-физический подход к объяснению безызносного трения при использовании ревитализантов // В сб. науч. тр. "Открытые информационные и компьютерные технологии". — Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2004. — Вып. 23.
8. Износостойкость пар трения серый чугуны — гальваническое хромовое покрытие при использовании смазочных

композиций с различными присадками / Л. И. Погодаев и др. // Трение, износ, смазка [Электронный ресурс]. — 2000, т. 2, № 3. — Режим доступа: <http://www.tribo.ru/> (дата обращения 21.12.2013).

9. Сафонов В. В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металло-содержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Саратов: Саратовский ГАУ, 1999.

10. Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун — цилиндр / В. П. Алексеев и др. // У зб. наук, праць ЛНАУ. Технічні науки. — Луганськ. — 2003, № 31.

11. Використання можливостей технологій триботехнічного відновлення для підвищення довговічності відремонтованих дизельних двигунів / В. В. Аулін та ін. // Вісник ХНТУСГ. Вип. 39 "Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні". — Харків, 2005.

12. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи / В. В. Аулін та ін. // Вісник ХНТУСГ. Вип. 100 "Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва". — Харків, 2010.

13. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ / В. В. Аулін та ін. // Проблеми трибології (Problems of tribology). — 2010, № 3.

14. Зміна технічного стану основних сполучень двигуна та моторної оливи в процесі його експлуатації / В. В. Аулін та ін. // Проблеми трибології (Problems of tribology). — 2009, № 4.

15. Застосування геомодифікаторів для поверхонь тертя при технічній експлуатації сільськогосподарської техніки / О. Д. Деркач та ін. // Вісник ХНТУСГ. Вип. 109 "Проблеми технічної експлуатації машин". — Харків, 2011.

16. Ревіталізація поверхонь тертя бензинових двигунів внутрішнього згоряння наномодифікаторами / О. Д. Деркач та ін. // Мат-ли V Всеукр. наук.-практ. конф. "Підвищення надійності машин і обладнання", 6–8 квітня 2011 р. — Кіровоград: КНТУ, 2011.

17. Дослідження триботехнічних характеристик силікато-фулеренових композицій для поверхонь тертя сільськогосподарської техніки / О. Д. Деркач та ін. // Вісник ХНТУСГ. Вип. 121 "Технічний сервіс машин для рослинництва". — Харків, 2012.

18. Костецкий Б. И. Трение и износ деталей машин // Труды первой научно-технической конференции. — М.: КИГВХ, 1956.