

## **НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**Андрикевич В.В., Балейко А.В., Заяш П.И.**

*УМЦ «Промагромаш» ОАО «Белкард», г. Гродно, Республика Беларусь*

**Кравченко В.И., к.т.н., профессор; Ивашко В.С., д.т.н., профессор**

*Гродненский государственный аграрный университет,  
г. Гродно, Республика Беларусь*

**Введение.** Особенностью применения смазочных материалов в автотракторной и сельскохозяйственной технике является необходимость предотвращения негативного воздействия эксплуатационных факторов на изменение их состава и структуры, приводящих к снижению или полной потере противоизносных и антифрикционных характеристик. Учитывая особую роль абразивного и коррозионного воздействия на узлы трения различных машин и механизмов сельскохозяйственного назначения, традиционные решения, связанные с применением уплотнительных и герметизирующих элементов и конструкций недостаточно эффективны, что приводит к повышенному износу трибосоприкосновений. При этом, в ряде случаев смазочные материалы, применяемые при сборке или обслуживании узлов трения, могут способствовать накоплению абразивных и коррозионноактивных частиц в зоне фрикционного контакта, резко снижая эффективность противоизносного действия фрикционных присадок, введенных в состав базовых масел и пластичных смазок. В результате этого даже при наличии в смазочных материалах комплекса эффективных присадок, повышающих их стоимость, их противоизносное действие не проявляется в полной мере [1-6].

Основным видом изнашивания узлов трения сельскохозяйственной техники является коррозионно-механический с различным соотношением коррозионного и механического (абразивного) компонентов в зависимости от конструкции узла трения, условий его эксплуатации и обслуживания. Поэтому при разработке (при подборе) смазочных материалов для узлов трения тракторов и сельскохозяйственного оборудования (почвообрабатывающей и функциональной техники) необходим системный подход, учитывающий совокупное действие многочисленных факторов: конструкционных, технологических, материаловедческих, эксплуатационных, экономических [2].

К числу наиболее эффективных направлений повышения эксплуатационного ресурса автотракторного и сельскохозяйственного оборудования относится применение материалов, обеспечивающих формирование разделительных покрытий в зоне фрикционного контакта на стадиях изготовления или практического применения.

Цель настоящей работы состояла в оценке эффективности применения смазочных материалов различного состава и технологии в узлах трения автотракторной и сельскохозяйственной техники.

**Методы исследований.** Для получения смазочных слоев в зоне фрикционного контакта исследовали различные подходы, заключающиеся в формировании твердосмазочных покрытий на основе олигомеров сшивающихся смол, ротационных покрытий из фторсодержащих компонентов и применении пластичных смазок с присадками, способными в процессе эксплуатации узла трения формировать разделительный слой, предотвращающий явления схватывания и задира.

В качестве связующего для твердосмазочных покрытий использовали олигомер фенолформальдегидной смолы ФФС в состоянии промышленной поставки (40%-ный спиртовой раствор). В состав связующего вводили дисперсные сухие смазки – коллоидный

графит, порошкообразный фторопласт различной дисперсности. Покрытия формировали на металлической подложке распылением с последующей сушкой и термообработкой при  $150 \pm 5^\circ\text{C}$ . Ротапринтные покрытия на поверхности трения наносили из ультрадисперсных частиц политетрафторэтилена (УПТФЭ) марки «Форум» (производства Института химии ДВО РАН). Исследуемый УПТФЭ представляет собой высокодисперсный порошок с размером единичных частиц не более 1 мкм, склонных к образованию агломератов.

Анализ состава и теплофизических характеристик УПТФЭ осуществляли методами ИК-спектроскопии и дифференциально-термического анализа по общепринятым методикам. Зарядовое состояние частиц УПТФЭ оценивали методом термостимулированных токов (ТСТ). Морфологию частиц и топографию поверхностей трения изучали методом атомной силовой микроскопии (АСМ) и оптической микроскопии фазового контраста.

Разделительный слой на поверхности трения модельной системы наносили ротапринтным и термическим методами, используя порошок УПТФЭ в состоянии промышленной поставки. Триботехнические параметры УПТФЭ в виде покрытий и присадок к смазочным композициям оценивали на машине трения УМТ-1 по схеме «палец - диск» при скоростях скольжения 0,1 - 0,5 м/с и нагрузках 0,1-1 МПа и на модельной трибосистеме.

Пластичные смазочные композиции получали введением в состав базовой смазки марки Литол-24, Циатим-201 или их аналогов высокодисперсных частиц присадок заданного состава.

Результаты и обсуждение. Для деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) автомобильных и тракторных двигателей разработано твердосмазочное противоизносное и противозадирное покрытие, которое наносят на гильзу или юбку поршня. Особый эффект повышения эксплуатационного ресурса узлов трения автотракторной и сельскохозяйственной техники обеспечивает применение низкоразмерных модификаторов на основе природных силикатов и полимер- олигомерных фторсодержащих продуктов, которые образуют на поверхностях трения устойчивые разделительные слои, предотвращающие явления схватывания и заедания, в т. ч. в условиях ограничения или прекращения подачи смазочного материала в трибосистему [7].

Для тяжело нагруженных узлов трения автомобильных агрегатов рассмотрены нанокомпозиционные смазки на основе нефтяных масел и комплексных загустителей. Использование комплексного загустителя, состоящего из солей щелочных металлов органических жирных и неорганических кислот позволяет повысить коллоидную стабильность состава и нагрузочную способность при применении в узлах трения, эксплуатируемых при воздействии знакопеременных и ударных нагрузок, вибрации.

Наличие в составе смазочной композиции полимерного, металлополимерного или полимер-олигомерного компонента обуславливает образование в зоне контакта устойчивого разделительного слоя, предотвращающего изнашивание элементов пары трения.

Для установления механизма формирования такого разделительного слоя из частиц УПТФЭ использовали модельную трибосистему, состоящую из 2-х стеклянных пластин, между которыми помещали слой частиц УПТФЭ. Первоначальный разделительный слой толщиной 10-15 мкм ротапринтным способом формировали на одной пластине модельной системы. После приведения пластин в контакт при относительном реверсивном перемещении пластин со скоростью 0,05 м/с под контактным давлением 0,1 ~ 10 Н происходит перенос частиц УПТФЭ с поверхности обработанной пластины на противоположную. Благодаря особым оптическим характеристикам стеклянных пластин методом оптической микроскопии фазового контраста произведена оценка кинетики формирования перенесенного слоя с течением времени фрикционного взаимодействия (числа фрикционных контактов  $n$ ) элементов модельной системы.

Исследованиями установлено, что площадь перенесенного слоя из частиц УПТФЭ в зависимости от числа циклов контактирования характеризуется зависимостью  $S =$

$f(n)$  с наличием ряда экстремумов. С повышением значения контактной нагрузки характер зависимости сохраняется при изменении значений площади переноса  $S$  от числа циклов контактирования  $n$ . После некоторого числа циклов контактирования в модельной трибосистеме формируется разделительный слой специфического строения, обладающий свойством знакопеременного переноса, который адгезионно закреплен на поверхностях трения обоих элементов трибосистемы. При этом наблюдается стабилизация триботехнических характеристик пары трения и контактной температуры. Модельные эксперименты свидетельствуют о том, что даже при относительно небольших нагрузочно-скоростных режимах взаимодействия компонентов трибосистемы частицы УПТФЭ формируют разделительную пленку по механизму фрикционного переноса, которая способна к знакопеременному переносу.

Анализ строения частиц УПТФЭ свидетельствует об их полифракционном составе, представляющем набор олигомерных продуктов с различной массой и температурой плавления и полимерных продуктов различной молекулярной массы, но близким строением основной цепи. Об этом свидетельствуют данные ИК-спектроскопии и ДТА.

Наличие в составе частиц УПТФЭ олигомерных низкоплавких фракций в сочетании с высокомолекулярными высокоплавкими [8] обуславливает специфические особенности их трансформирования в зоне фрикционного взаимодействия под влиянием сдвиговых напряжений и контактных температур. Олигомерный компонент частиц вследствие низких деформационно-прочностных характеристик сравнительно легко переносится на сопряженное тело трибосистемы, заполняя микронеровности его поверхностного слоя. Пластичность олигомерных воскоподобных фракций обеспечивает высокие значения механической составляющей силы адгезионного взаимодействия сформированных фрагментов перенесенного слоя, превышающие аналогичные значения для олигомерных слоев, например, нанесенных из растворов олигомеров. Благодаря высокой пластичности и способности к многократному передеформированию без разрушения олигомерный компонент образует устойчивую пленку практически на любых подложках металлических, полимерных, керамических, силикатных и др., в том числе, имеющих высокую гладкость поверхности (низкие значения показателя  $Ra$ ).

В составе частиц УПТФЭ кроме олигомерной присутствует и низкоразмерная высокомолекулярная фаза, близкая по строению и массе исходному полуфабрикату ПТФЭ. Специфические условия образования частиц УПТФЭ приводят к формированию их особого зарядового состояния. Поэтому каждая единичная частица, состоящая из полимерного ядра и олигомерного обрамления, представляет собой активный компонент трибосистемы, трансформирующийся под действием контактных процессов и имеющий свое характерное строение.

При фрикционном взаимодействии компонентов трибосистемы в разделительном слое происходят трибохимические процессы, обуславливающие разрушение олигомерных оболочек частиц УПТФЭ и образование обобщенной низкомолекулярной матрицы, в которой расположены низкоразмерные высокомолекулярные частицы, выполняющие функцию армирующих компонентов.

Реверсивное или поступательное контактирование компонентов пары трения обуславливает перенос и закрепление низкоразмерных полимерных частиц в адгезионно активном слое олигомера. Учитывая наноразмеры и особое зарядовое состояние частиц полимерной фракции УПТФЭ, создается возможность их знакопеременного переноса в процессе фрикционного контактирования элементов трибосистем.

Формирующийся в зоне контакта разделительный слой благодаря композиционному строению обладает высокой несущей способностью, превышающей аналогичный показатель олигомерных и низкомолекулярных фторсодержащих компонентов типа «Эпилам» и «Фолеокс» [6], и коэффициентом трения, существенно более низким, чем коэффициент

трения олигомерных пленок и блочных образцов из ПТФЭ в условиях взаимодействия без внешней смазки [5]. При динамическом фрикционном контактировании компонентов трибосистемы происходит многократное передеформирование олигомерной матрицы разделительного слоя, сопровождаемое знакопеременным переносом олигомерных и полимерных компонентов частиц УПТФЭ, что обеспечивает его устойчивость и стабильность показателей триботехнических характеристик.

При этом, благодаря специфическому строению макромолекул, составляющих УПТФЭ, и их термостойкости минимизируются процессы структурирования межмолекулярного сшивания, характерные для других полимерных и олигомерных связующих. Поэтому триботехнические характеристики разделительного слоя, сформированного из продуктов ТГД-синтеза, сохраняют свои стабильные значения на протяжении длительного времени эксплуатации трибосистемы.

Практический опыт применения продуктов ТГД-синтеза (УПТФЭ) в узлах трения различных машин, механизмов и технологического оборудования, эксплуатируемых при различных условиях нагружения и смазывания, свидетельствует об эффективности их действия как комплексного ингибитора изнашивания трибосистем различного состава.

**Заключение.** Применение нанокмпозиционных смазочных материалов, формирующих устойчивые разделительные слои в зоне фрикционного контакта элементов узлов трения, позволяет повысить их эксплуатационный ресурс. Выбор состава смазочного материала и технологии его применения определяется конструктивным исполнением, требованиями, предъявляемыми к агрегату по эксплуатационному ресурсу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нанокмпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения /С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с.
2. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Мн.: Тэхналогія, 2006. – 409с.
3. Сиренко, Т.А. Антифрикционные карбопластики. – К.: Техніка, 1985. – 195 с.
4. Авдейчик, С.В. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов: ч. 1, ч. 2. / С.В. Авдейчик и [др.] под ред. В.А. Струка, Ф.Г. Ловшенко. – Гродно: ГГАУ, 2007, 2008. – 320 с., – 395 с.
5. Новиков, И.И. Бессмазочные поршневые уплотнения в компрессорах /И.И. Новиков, В.П. Захаренко, Б.С. Ландо //Л.: ЛО «Машиностроение», 1981. – 238 с.
6. Овчинников, Е.В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров /Е.В. Овчинников, В.А. Струк, В.А. Губанов. – Гродно: ГГАУ, 2007. - 326 с.
7. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение. / С.В. Авдейчик и [др.] под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.
8. Металлополимерные нанокмпозиаты (получение, свойства, применение). /В.М. Бузник, В.М. Фомин, А.П. Алхимов и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 260 с.

## Аннотация

### **Нанокмпозиционные смазочные материалы для эксплуатации автотракторной и сельскохозяйственной техники**

Разработаны составы твердосмазочных покрытий, моторных и пластичных смазок, обеспечивающих повышение ресурса узлов трения, эксплуатируемых в условиях коррозионно-механического изнашивания. Особый эффект повышения эксплуатационного ресурса

узлов трения сельскохозяйственной техники обеспечивает применение низкоразмерных модификаторов на основе природных силикатов и полимер-олигомерных фторсодержащих продуктов.

### **Abstract**

#### **Composite lubricants for the operation of automotive and agricultural machinery**

The compositions of hardlubricant coatings, motor and viscous lubrications guaranteeing rising life time of friction unit running in condition of mechanochemical wear are worked up. The application of lowmeasuring modifiers on the basis of natural silicates and polimer-oligomeric fluorine-containing article is support specific effect of rising life time of tribotechnical systems of agricultural equipment.

УДК 631.3.02

#### **ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ МОЛИБДЕНА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**Лойко В.А.**, к.т.н., доцент, **Лизун А.В.**, магистрант  
*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Проблемы борьбы с износом весьма актуальны и для нашей республики, как страны с высоким уровнем развития машиностроения и практически при полном отсутствии горнодобывающей и горно-металлургической промышленности. Наиболее остро эти проблемы проявляют себя в автомобильной и тракторной отраслях, являющихся производствами с серийным и массовым характером.

Статистика показывает, что более 80% машин и механизмов выходят из строя в результате износа деталей, работающих в условиях различных видов трения [4].

Наиболее характерная особенность покрытий, наносимых вакуумно-плазменным методом, – это отсутствие переходной зоны между покрытием материалом прецизионной детали. Это обстоятельство является весьма важным, так как создается возможность придать рабочим поверхностям детали комплекс дополнительных свойств без снижения параметров шероховатости поверхности.

Возможность широкого варьирования температуры (200-500 °С) в зонах осаждения позволяет использовать вакуумно-плазменные методы в качестве метода восстановления прецизионных деталей с различными геометрическими параметрами без изменения структуры металла детали, что позволяет исключить последующую термическую и механическую обработку.

Метод вакуумно-плазменного напыления универсален также и с точки зрения возможности нанесения гаммы однослойных, многослойных и композиционных покрытий. Следует также отметить относительно высокую скорость формирования покрытий и безопасность вакуумно-плазменного напыления для окружающей среды, т.к. процесс нанесения реализуется в вакуумной камере, что предотвращает выброс вредных веществ для человеческого организма и окружающей среды.