

## ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАРДАННЫХ ВАЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Андрикевич В.В., Балейко А.В.

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.** В автотракторной технике и технологическом оборудовании, применяемом в автотракторном и сельскохозяйственном производстве, широкое распространение получили карданные валы – агрегаты, обеспечивающие передачу крутящего момента от силовой установки к исполнительному механизму или трансмиссии [1,2].

Карданные валы представляют собой динамические тяжело нагруженные системы, подвергающиеся комплексному воздействию неблагоприятных эксплуатационных факторов: ударных нагрузок, абразивных и коррозионных сред, нестабильному изменению крутящего момента. Особенно интенсивно воздействие сочетания негативных факторов при эксплуатации карданных валов в конструкциях почвообрабатывающей и др. функциональной техники в связи с периодичностью ее применения и атмосферного воздействия – ультрафиолетового излучения, влаги, перепада температур окружающей среды [1 – 4].

Важнейшими элементами карданной передачи, определяющими ее ресурс, являются универсальные шарниры и шлицевое соединение, обеспечивающие передачу крутящего момента в условиях изменения мощности силовой установки и межосевого расстояния между силовой установкой и трансмиссией [1].

Эффективным методом повышения технических характеристик карданных валов является использование композиционных триботехнических материалов на основе термопластичных полимеров для изготовления деталей трения – уплотнительных элементов, подшипников, покрытий шлицевых соединений [1].

Цель настоящей работы состояла в разработке составов и технологии переработки композиционных триботехнических материалов на основе полиамидных и фторсодержащих матриц, которые в настоящее время широко применяют в машиностроении.

**Методика исследований.** В качестве основы для получения композиционных триботехнических материалов использовали алифатические полиамиды марок ПА6 и ПА11 (Rilsan) в состоянии промышленной поставки.

Порошки из полиамида 6 получали криогенным измельчением гранул, охлажденных в жидком азоте. Покрытия из композиций на основе ПА6 и ПА11 на металлические подложки из ст. 45 наносили осаждением из псевдооживленного слоя или газотермическим методом по общепринятой технологии.

Для формирования триботехнических фторсодержащих покрытий использовали материалы различной молекулярной массы, технологии синтеза и состава – продукты термогазодинамического синтеза (ТГД-синтеза), называемые ультрадисперсным политетрафторэтиленом (УПТФЭ). Промышленно выпускаемый продукт ТГД-синтеза – УПТФЭ представляет собой порошкообразную дисперсию с размером частиц не более 1 мкм. Покрытие из частиц УПТФЭ формировали механическим натиранием – ротапринтным способом.

Для проведения сравнительных испытаний применяли фторсодержащие олигомеры, выпускаемые промышленно под торговыми марками «Фолеокс», «Эпилам» в виде 1-2 мас. % растворов в хладоне и фреоне.

В качестве подложек для нанесения защитных покрытий из фторсодержащих компонентов использовали металлические (ст45, ст08кп, медь М-1, алюминий А01, латунь Л62), полимерные (полиамиды: ПА6, ПА11, композиции на их основе – Гроднамид и др.) и стеклянные (натриевое стекло) пластины, толщиной до 2 мм в состоянии промышленной поставки. Анализ состава сформированных на твердых подложках защитных покрытий осуществляли методом ИК-спектроскопии с использованием спектрометра «Bruker».

Анализ топографии поверхностного слоя покрытий осуществляли методом атомной силовой микроскопии на приборе NT-206 с применением методов компьютерной визуализации и обработки изображения.

Параметры энергетических характеристик фторпокрытий на твердых подложках оценивали по величине краевого угла смачивания различными жидкостями при помощи микроскопа с угломерной насадкой. Вычисление значений поверхностной энергии и ее составляющих осуществляли по выражению [7]:

$$1 + \cos \Theta \approx \left[ \frac{\left( \gamma_s^d \right)^{1/2} \left( \gamma_1^d \right)^{1/2}}{\gamma_1} + \frac{\left( \gamma_s^h \right)^{1/2} \left( \gamma_1^h \right)^{1/2}}{\gamma_1} \right],$$

где  $\gamma_1$  и  $\gamma_1^d, \gamma_1^h$  – поверхностное натяжение жидкости и его дисперсионная и полярная составляющие,  $\gamma_s^d, \gamma_s^h$  – дисперсионная и полярная составляющая поверхностной энергии твердой подложки.

Защитные характеристики фторсодержащих покрытий оценивали по показателям коррозионной стойкости в парах водного раствора NaCl при 70°C и триботехническим характеристикам, определенным по схемам «вал – частичный вкладыш», «палец – диск» на машинах трения УМТ и ПД-1А.

**Результаты и обсуждение.** Полимерные покрытия предотвращают износ контактных поверхностей в условиях комплексного воздействия неблагоприятных эксплуатационных факторов [1]. Разработаны составы композиционных материалов на основе алифатических полиамидов (ПА6, ПА11) для покрытий шлицевых соединений карданных валов, применяемых в автотракторной и сельскохозяйственной технике с повышенным эксплуатационным ресурсом. Эффект достигается введением в состав базовых полиамидов низкоразмерных модификаторов различного состава и технологии получения – геосиликатов, ультрадисперсных кластеров, детонационного синтеза (УДАГ), продуктов термогазодинамического синтеза (ТГД-синтеза) политетрафторэтилена и др. [2,5,6].

Эффект противоизносного и антифрикционного действия низкоразмерных модификаторов в полимерных матрицах обусловлен структурирующим действием на периферийные области нескомпенсированного заряда, сформированного вследствие кристаллохимических и технологических особенностей [6].

Разработана технология получения низкоразмерных частиц геосиликатов, основанная на термическом воздействии на дисперсный полуфабрикат. Повышенные температуры обработки приводят к процессам дегидратации и дегидроксиляции, в результате которых разрушается слоистая структура природных силикатных частиц и образуются низкоразмерные фрагменты с размером единичных частиц 10-50 нм. Наночастицы силикатов обладают высокой активностью в процессах взаимодействия с полимерной матрицей и обеспечивают эффект формирования нанокомпозиционного материала с повышенными адгезионными и деформационно-прочностными характеристиками.

Разработана технология формирования композиционных триботехнических покрытий на деталях трения автомобильных агрегатов и сельскохозяйственной техники путем осаждения порошкообразных компонентов на рабочие поверхности. При технологии оса-

ждения покрытия из псевдооживленного слоя возможно получение многослойных покрытий с различными показателями адгезионных, прочностных, триботехнических и защитных характеристик. На первой стадии процесса формируют адгезионно-активный подслои с оптимальной прочностью. Вторая стадия получения покрытия состоит в осаждении на подслои, находящийся в вязко-текучем состоянии, рабочего слоя, содержащего преимущественно противоизносные и антифрикционные модификаторы. Единая матрица, используемая для обоих слоев, обеспечивает их термодинамическую совместимость и создание градиентной структуры с управляемыми параметрами служебных характеристик по сечению. Важным аспектом разработки технологии является возможность использования в качестве модификаторов дисперсных частиц разного состава и строения, в том числе частиц материалов с низкой адгезией к металлическим подложкам (например, политетрафторэтилена, полиэтилена и др.).

Для ремонта и восстановления агрегатов автотракторной и сельскохозяйственной техники в полевых условиях разработана технология газопламенного нанесения покрытий на основе термопластичных матриц. Сущность технологии во введении в высокотемпературную зону факела механической смеси дисперсных частиц полимерной матрицы и функционального модификатора. Высокотемпературное воздействие на дисперсные частицы в безокислительной среде вызывает плавление частиц полимерной матрицы и активацию частиц наполнителя вследствие разложения или деградации.

Механическое воздействие газопламенной струи придает ускорение активным частицам компонентов и формирует покрытие с более высокими адгезионными характеристиками по сравнению с покрытиями, нанесенными из псевдооживленного состояния, благодаря закреплению в микронеровностях рельефа. При использовании в качестве модификаторов терморазлагающихся соединений металлов возможно получение металлсодержащих нанокпозиционных покрытий с повышенными показателями служебных характеристик, в том числе стойкости и воздействия термоокислительных сред.

Композиционные триботехнические материалы на основе полиамида 6 («Гродноамид» ОАО «Гроднохимволокно») обладают высокой износостойкостью в сочетании с адгезионной прочностью и являются полноценной альтернативой для замены покрытий на основе импортного аналога «Rilsan». Разработанные покрытия используют при изготовлении и восстановлении карданных валов для сельскохозяйственной техники и автотракторного оборудования. Разработанные композиционные материалы на основе алифатических полимеров и технологии формирования функциональных покрытий различной структуры (в том числе многослойных и градиентных) защищены серией патентов на изобретения Беларуси, России, Украины.

Защитные покрытия, сформированные из фторсодержащих компонентов УПТФЭ, Ф1 (Ф14) и 6СФК-180-05 по различным технологиям, различаются по фазовому составу, структуре и топографии поверхностного слоя (рисунок 1). Покрытия из фторсодержащих олигомеров представляют собой тонкие пленки с характерной топографией.

При использовании подложки в состоянии промышленной поставки топография покрытия в значительной мере повторяет топографию твердой поверхности. Термическая обработка сформированных олигомерных покрытий приводит к образованию в его объеме упорядоченных надмолекулярных структур, которые выполняют функцию армирующих компонентов. Структура олигомерной пленки и ее дефектность в значительной мере определяются составом твердой подложки и параметрами ее шероховатости. Наличие в составе молекулы олигомеров полярной кислотной группы  $-\text{COOH}$  способствует увеличению энергии адгезионного взаимодействия на границе раздела «покрытие – подложка» и повышению защитных характеристик растворного покрытия.

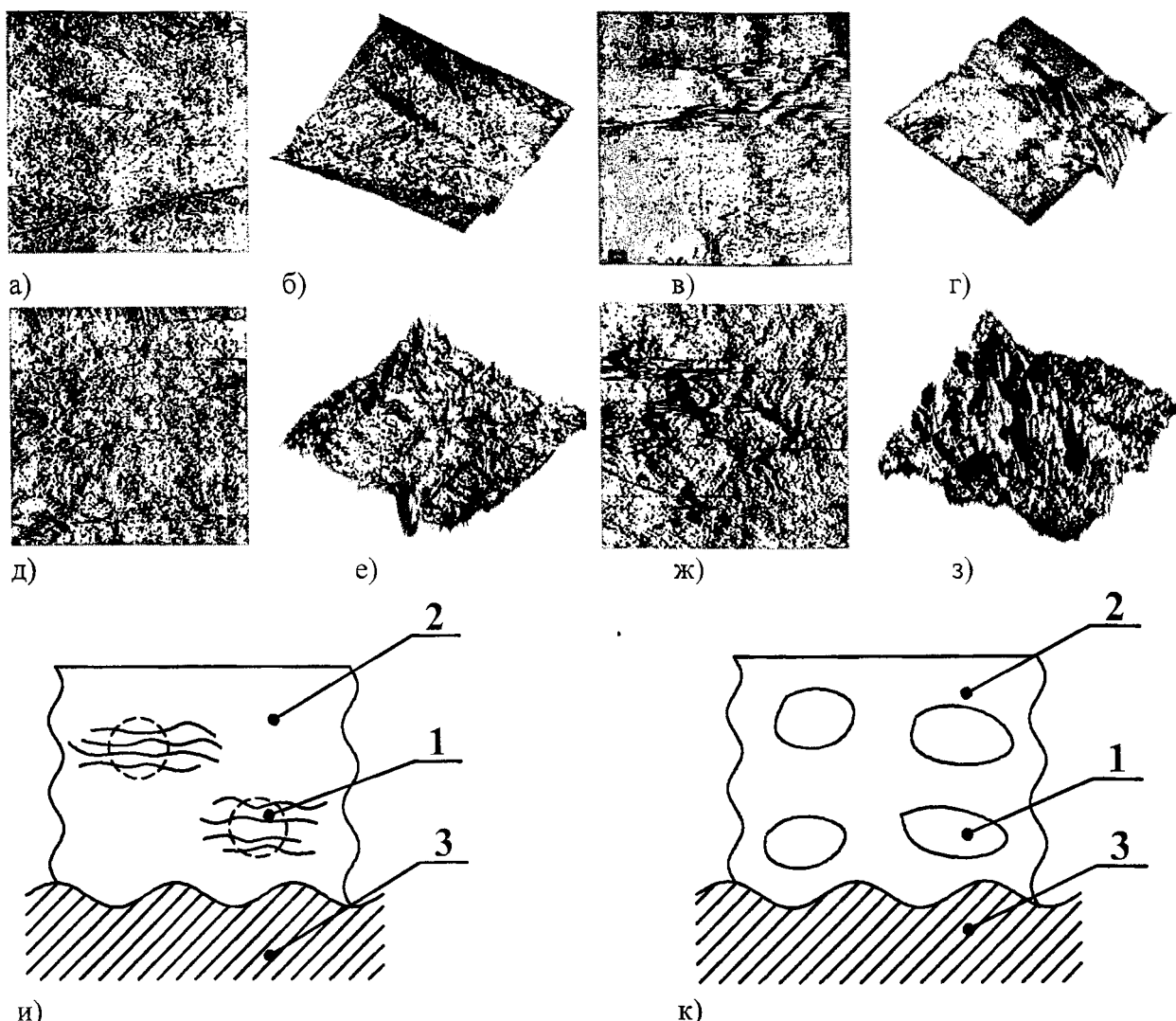


Рисунок 1 – Характерная топография (а, в, д, ж), трехмерное изображение (б, г, е, з) и принципиальная фазовая структура (и, к) покрытий на стали 45, сформированных из раствора олигомера Ф-1 (а, б, д, е, и), частиц УПТФЭ (в, г, ж, з, к), исходных (а, б, в, г) и термообработанных при 150°C (д, е, ж, з): 1 – армирующий наноразмерный полимерный компонент или надмолекулярный агрегат; 2 – олигомерная матрица; 3 – подложка

Характерное химическое строение макромолекулы олигомеров Ф1 (Ф14), 6СФК-180-05 обуславливает изменение параметров поверхностной энергии твердых подложек. Независимо от состава подложки при нанесении покрытий из растворов фторсодержащих олигомеров наблюдается увеличение краевого угла смачивания водой и глицерином, что свидетельствует об общности механизма защитного действия.

Защитные покрытия, сформированные из частиц УПТФЭ ротапринтным методом, имеют характерную топографию и фазовый состав, которые отличают их от покрытий, полученных по растворным технологиям (рисунок 1).

Ротапринтные покрытия из частиц УПТФЭ по энергетическим характеристикам не уступают растворным покрытиям из олигомеров при более высоких значениях краевого угла смачивания.

Полимерная фракция в объеме покрытия из УПТФЭ распределена достаточно равномерно, о чем свидетельствуют результаты АСМ-анализа после термообработки образцов при 150°C в течение 20 мин. (рисунок 1з).

Эффективность защитного действия покрытий из УПТФЭ в коррозионно-активной среде при 70°C не уступает действию растворных олигомерных покрытий, что свидетельствует о различной степени их дефектности при близких энергетических параметрах [8-10].

Фторсодержащие компоненты, обеспечивающие повышение триботехнических характеристик, могут быть нанесены и на рабочую поверхность полиамидных композиционных покрытий. При такой технологии достигается значительное удешевление стоимости покрытия, благодаря применению сочетания методов нанесения различных слоев с использованием традиционного оборудования. Фторсодержащие покрытия, нанесенные растворной или ротационной технологией, существенно увеличивают износостойкость шлицевого соединения карданного вала и уменьшают силу трения, что благоприятно сказывается на эксплуатационном ресурсе элементов подвески транспортного средства.

Сформированное многослойное композиционное покрытие обладает небольшим периодом приработки и стабильностью фрикционных характеристик (рисунок 2).

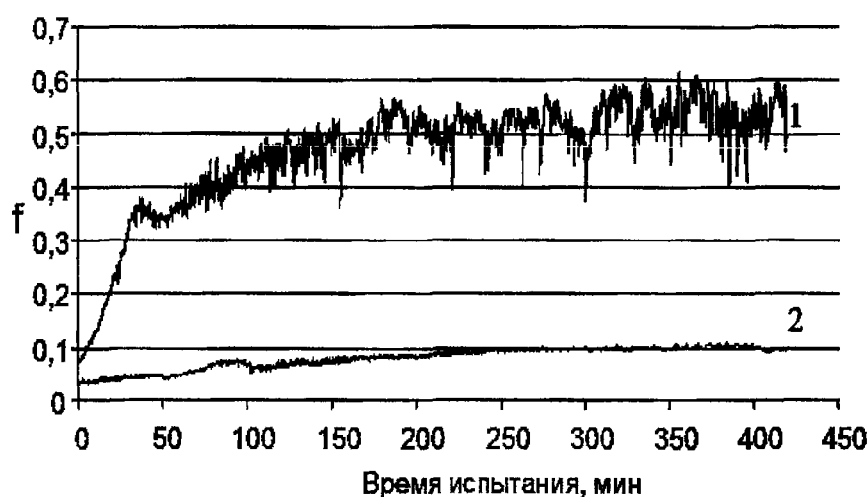


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от времени контактирования для покрытия ПА 6 (1) и ПА 6+УПТФЭ (2).  $V=0,5$  м/с;  $P=10$  МПа. Контртело – сталь 45

Разработанные составы композиционных триботехнических покрытий на основе полиамида 6 для шлицевых соединений карданных валов автотранспортной и сельскохозяйственной техники являются полноценной альтернативой покрытиям из импортного аналога Rilsan, который в настоящее время применяют на предприятиях по производству грузовых автомобилей, тракторов и сельскохозяйственного оборудования.

Новые материалы и технологии формирования покрытий защищены серией патентов на изобретения Беларуси, России и Украины.

**Выводы.** Разработаны составы композиционных триботехнических покрытий на основе алифатических полиамидов. Показано, что введение в состав термопластичных матриц низкоразмерных модификаторов приводит к увеличению показателей триботехнических и адгезионных характеристик.

Разработаны составы и технология формирования многослойных покрытий, наружный слой которых состоит из фторсодержащих компонентов, снижающих износ трибосопрежения. Разработанные составы и технология могут быть использованы при серийном производстве и ремонте карданных валов автотракторной и сельскохозяйственной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение. / В.В. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Мн.: Тэхналогія, 2006. – 409с.
2. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение. / С.В. Авдейчик и [др.] под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431с.
3. Сиренко, Т.А. Антифрикционные карбопластики. – К.: Техніка, 1985. – 195 с.
4. Охлопкова, А.А. Физико-химические принципы создания триботехнических материалов на основе полимеров и ультрадисперсных керамик: Дисс. ... д-ра техн. наук. Якутск, 2000. – 269 с.
5. 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: ГТАУ, 2007, 2008. – 320с., – 395 с.
6. К механизму действия минеральных ультрадисперсных модификаторов полимеров / С.В. Авдейчик, В.А. Лиопо, В.А. Струк и др. // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 2. 2003 №1 (19). – С. 52-62.
7. Напрєв, И.С. Исследования трибологических свойств металлических и металлополимерных сопряжений, имеющих эпиламированные рабочие поверхности // Физика конденсированных сред: Тез. докл. конф. – Гродно, 1997. – С. 112.
8. Овчинников, Е.В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров / Е.В. Овчинников, В.А. Струк, В.А. Губанов. - Гродно: ГТАУ, 2007. - 326 с.
9. Наноконпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с.
10. Металлополимерные наноконпозиты (получение, свойства, применение). / В.М. Бузник, В.М. Фомин, А.П. Алхимов и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 260 с.

## Аннотация

### **Триботехнические композиционные покрытия для ремонта и восстановления карданных валов сельскохозяйственного оборудования**

Композиционные триботехнические материалы на основе полиамида 6 обладают высокой износостойкостью в сочетании с адгезионной прочностью и являются альтернативой для замены покрытий на основе импортного аналога «Rilsan». Разработана технология нанесения покрытий на шлицевые соединения карданных валов для автотракторной техники с применением установок псевдоожиженного и газопламенного нанесения.

## Abstract

### **Tribotechnical composite coatings for the repair and restoration of cardan shafts for agricultural equipment**

Composite tribotechnical materials on the basis of polyamide 6 have high wearing capacity in combination with adhesion strength and must be a choice to change coating on the basis of imported analog «Rilsan». The method of plating on spline connections of cardan shafts for auto-tractor technique using the fluidized and flame spraying units is devised.