

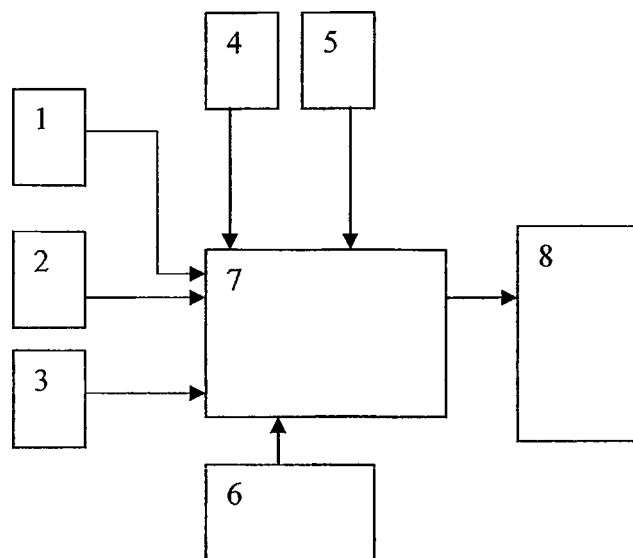


Рисунок 4. Блок-схема управления движением МТА

Использование предложенного алгоритма управления движением позволяет стабилизировать прямолинейность курсового движения, при этом происходит сближение следов передних и задних колес при повороте и уменьшается транспортный коридор транспортного средства.

УДК 541.12+669.295.691.5

ТЕХНОЛОГИЯ ФТОРОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Андрікевич В.В., Балейко А.В., Антонов А.С., Овчинников Е.В., Струк В.А. (ГТАУ)

Рассмотрены механохимические аспекты изготовления и применения фторкомпозитов в металлополимерных трибосистемах. Показано, что направленное использование механохимических процессов, обуславливающих образование активных радикальных продуктов термо-, механокрекинга, позволяет осуществлять целевое модифицирование компонентов материала и элементов пары трения, обеспечивающее увеличение показателей деформационно-прочностных и триботехнических характеристик деталей узлов трения автотракторной техники.

Введение

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) относится к числу наиболее распространенных полимерных материалов, используемых для изготовления герметизирующих изделий для статических и подвижных соединений [1-4]. При этом в зависимости от условий эксплуатации и требуемого эксплуатационного ресурса могут быть использованы изделия, как из исходного ПТФЭ, так и из композиций на его основе, содержащих волокнистые и дисперсные наполнители, модификаторы и функциональные добавки различного состава, технологии получения и дисперсности [1-4].

Существует устоявшееся мнение об уникальном сочетании показателей деформационно-прочностных, физико-химических, теплофизических и триботехнических характеристик, присущих ПТФЭ, которые выгодно отличают его от других видов полимерных материалов, прежде всего, термопластичных [1]. Вместе с тем, этому материалу, как и композитам на его

основе, свойственен ряд особенностей, ограничивающих области его практического применения, прежде всего, в машиностроении. К числу важнейших особенностей состава, структуры и технологии ПТФЭ и его композитов необходимо отнести [1-4]:

- отсутствие вязко-текучего состояния при температурах плавления кристаллической фазы, подобного состоянию других термопластов;
- практическое совпадение температуры термодеструкции и температуры плавления;
- низкая активность в процессах адгезионного взаимодействия с твердофазными подложками различного состава;
- высокие температуры и длительность процесса монолитизации уплотненных порошкообразных полуфабрикатов;
- достаточно высокий коэффициент трения, особенно при эксплуатации при повышенных значениях фактора PV , в т. ч. при смазывании составами на основе природных и синтетических компонентов;
- сравнительно невысокая износостойкость деталей трения, наиболее характерная при небольшом содержании наполнителей и модификаторов.

Эти особенности, обусловленные, главным образом, химическим строением молекулярной цепи, пространственной конфигурацией макромолекул и их надмолекулярной упаковкой, существенно ограничивают области практического применения изделий из ПТФЭ и композитов на его основе, увеличивают энергоемкость процесса производства и переработки, а также их себестоимость.

В связи с низким уровнем адгезионного взаимодействия ПТФЭ с практически любыми твердофазными частицами в большинстве композиционных материалов не удается сохранить исходные показатели деформационно-прочностных характеристик матрицы, прежде всего, показателей прочности при растяжении и ударной вязкости [1-4]. Поэтому основные усилия специалистов в области функционального материаловедения фторкомпозитов сосредоточены на разработке технологически простых и доступных методов увеличения адгезионного взаимодействия компонентов на границе раздела «матрица ПТФЭ – наполнитель».

Анализ литературных источников, посвященных проблемам формирования и применения композитов на основе ПТФЭ [1-3, 5], и наши исследования свидетельствуют о необходимости разработки новых методологических подходов, учитывающих специфические особенности матрицы, обуславливающие технологию функциональных материалов с повышенными потребительскими характеристиками.

Цель настоящей работы состояла в оценке эффективности использования механохимических (трибохимических) процессов, эффективность которых доказана при создании материалов на металлических и полимерных матрицах со свойствами ингибиторов изнашивания трибосистем [5], в технологии композитов на основе ПТФЭ для узлов трения автотракторной техники.

Материалы и методика исследований. Для проведения исследований использовали промышленно выпускаемые полимерные материалы – политетрафторэтилен марки Ф-4 с размером частиц не более 150 мкм (ГОСТ 1007-80, Россия) и гранулированный полиамид 6 (ПА 6) (ОАО «ГродноХимволокно»). Для модифицирования полимерных матриц использовали углеграфитовое волокно «Вискум» (ОАО «Светлогорское Химволокно»), графит, 1-2 мас.%, разбавленные растворы фторсодержащих олигомеров «Фолеокс» (Россия) и ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ), полученный по технологии термогазодинамического синтеза (ТГД) [6].

Композиционные материалы получали и перерабатывали по традиционной технологии, включающей операции смешивания, холодного прессования с последующим спеканием (монолитизацией) при температурах 350-370 оС. Для оценки влияния механохимических реакций на процессы формирования и фрикционного взаимодействия фторкомпозитов использовали специальную технологическую оснастку и операции активации компонентов в быстроходном и тихоходном смесителях [1-3, 7-9]. Зарядовое состояние модификаторов оценивали по спек-

трам термостимулированных токов (ТСТ) при нагревании образца между изолированными электродами. Триботехнические характеристики фторсодержащих материалов и покрытий определяли на машине трения по схемам испытаний «вал-частичный вкладыш» и «пальчик-диск». В качестве контртела использовали ролик и диск из стали 45, подвергнутый закалке, с чистотой поверхности $Ra \leq 1,2$ мкм. Фрикционные испытания проводили в диапазоне скоростей 0,1-1,0 м/с при нагрузках 0,1-10 МПа. Физико-механические, адгезионные и деформационно-прочностные характеристики композитов оценивали по стандартным методикам.

Результаты исследований и обсуждение. К числу наиболее эффективных методов повышения показателей служебных характеристик композиционных материалов различного состава относятся механохимические (трибохимические), которые основаны на управляемом взаимодействии компонентов в процессах измельчения, смешивания и эксплуатации [8, 9].

В технологии композитов на основе ПТФЭ необходимо подчеркнуть возможность инверсии некоторых особенностей структуры полимерной матрицы, неблагоприятно влияющих на показатели износостойкости, технологичности, прочности, в положительный фактор увеличения служебных показателей. К числу таких особенностей необходимо отнести возможность разрушения блока ПТФЭ под действием небольших тангенциальных нагрузок с образованием дисперсных фрагментов с большим числом макрорадикальных продуктов. Поэтому нам представляется, что один из путей повышения показателей триботехнических и технологических характеристик ПТФЭ-композитов, может быть реализован при направленном использовании процессов механо- (трибо-)крекинга матричного компонента или модификаторов на различных стадиях процесса формирования и применения материалов. Очевидным является предположение о необходимости введения в состав композиций на основе ПТФЭ ингредиентов, активирующих процессы механо- (трибо-)крекинга, и обеспечивающих взаимодействие образовавшихся продуктов с другими компонентами в процессе формирования структуры оптимального строения [5].

Применяя разработанную методологию [5], предполагающую направленное использование радикальных продуктов для синтеза ингибиторов изнашивания, осуществили комплекс исследований по анализу особенностей формирования и применения функциональных композитов на основе ПТФЭ в трибосистемах, в состав которых введен компонент с высокой активностью в радикальных процессах взаимодействия. В качестве такого компонента использовали ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ), промышленно выпускаемый под торговой маркой «Форум» [6].

Анализ особенностей строения УПТФЭ свидетельствует о наличии в составе частиц компонентов различной массы, формы и размеров, в т. ч. наноразмерных, чешуйчатой и сферической формы, сформированных полимер-олигомерными фракциями, отличающимися молекулярной массой и строением [6]. Термодинамически неравновесный процесс получения УПТФЭ приводит к формированию полифракционного продукта с различным соотношением полимер-олигомерных фракций. При этом олигомерная фракция также представляет собой совокупность компонентов различной молекулярной массы с концевыми группами $-CF = CF_2$ и $-CF_3$.

Особенности синтеза УПТФЭ обуславливают стерические затруднения протеканию процессов рекомбинации образующихся при термоокислительной деструкции макрорадикалов. Об этом свидетельствует широкий набор газообразных продуктов, образующихся при нагреве, данные ЭПР-спектроскопии и спектры ТСТ.

Таким образом, частицы УПТФЭ представляют собой полимер-олигомерный продукт, содержащий фракции макрорадикалов различной массы или олигомерные компоненты, легко деструктирующие с образованием активных макрорадикалов. Подобное строение УПТФЭ обуславливает многофункциональность его действия при контактировании компонентов материалов в различных технологических и нагрузочно-скоростных условиях при изготовлении материала или эксплуатации изделия в составе трибосистемы.

Следует предположить, что направленное использование механо- (трибо-)химических превращений УПТФЭ, как функционального компонента композитов или металлополимерных трибосистем, позволит достичь технически значимого эффекта повышения служебных характеристик на стадиях создания материалов и эксплуатации изделий из них.

Экспериментальную проверку этой гипотезы осуществляли при формировании композиционных материалов различного состава и назначения.

При введении УПТФЭ в состав пластичной литиевой смазки типа «Литол-24» или «Итмол-150М», или нефтяного моторного масла SAE наблюдается заметное повышение триботехнических характеристик трибосистемы. Исследования свидетельствуют об образовании на контактных поверхностях деталей трения разделительной композиционной пленки, состоящей, преимущественно, из фторсодержащих продуктов различной массы. Учитывая сравнительно небольшое время формирования многофункциональной пленки и ее устойчивость на поверхностях трения, можно предположить существенный вклад в механизм ее образования трибополимеризационных процессов, обусловленных рекомбинацией радикальных продуктов, присутствующих в исходном УПТФЭ, а также появляющихся в процессе трения из-за трибокинга полимерных фракций, инициированного температурными всплесками на пятнах фактического контакта. Активность образующихся радикальных фрагментов в процессах адсорбции и трибохимических превращений и их образование преимущественно вследствие передерформирования смазочного слоя обуславливают высокое значение коэффициента полезного использования УПТФЭ в качестве функциональной присадки.

Рассмотренный механизм формирования разделительного противоизносного и антифрикционного слоя на поверхностях трения трибосистемы в присутствии полимер-олигомерных фракций УПТФЭ подтверждают результаты триботехнических испытаний модельных композиционных покрытий. Покрытия представляют собой многослойный композит, внутренний слой которого сформирован из адгезионно-активного полиамида 6, а наружный – путем механического нанесения частиц УПТФЭ. Сформированное композиционное покрытие обладает небольшим периодом приработки и стабильностью фрикционных характеристик (рис.).

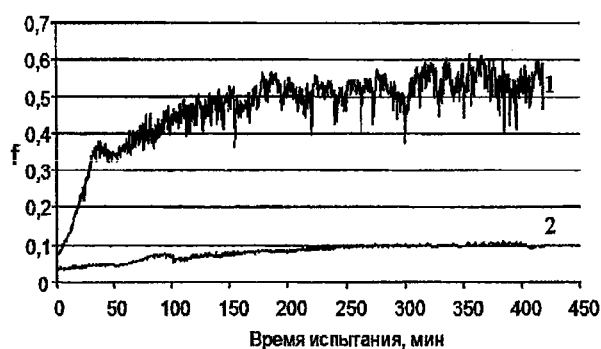


Рисунок 1. Зависимость коэффициента трения от времени контактирования для покрытия ПА 6 (1) и ПА 6+УПТФЭ (2). $V=0,5$ м/с; $P=10$ МПа. Контртело – сталь 45

Специфическое строение, как отдельных частиц УПТФЭ термогазодинамического синтеза, так и их олигомерных фракций с большой способностью макромолекул к радикальным превращениям под действием трибофакторов,

отличает механизм их действия от олигомерных продуктов типа перфторкислот различной молекулярной массы («Фолеокс», «Эпилам») [9].

Таким образом, специфическое молекулярное и морфологическое строение частиц УПТФЭ создает предпосылки для направленного использования механохимических процессов при различных видах контактного взаимодействия как при трении компонентов различных трибосистем. Учитывая, что функциональное взаимодействие компонентов происходит при формировании материала и полуфабрикатов (изделий) из него, следует ожидать значимого технического эффекта применения УПТФЭ в технологии фторкомпозитов.

Эффективность механохимических процессов при формировании композитов на основе ПТФЭ оценивали на стадиях подготовки компонентов и прессования полуфабрикатов.

Установлено, что механическое воздействие на частицы матрицы в присутствии фторсодержащих олигомеров и углеродных наполнителей приводит к их адсорбционному модифи-

цированию, увеличивающему адгезионное взаимодействие в композите. Благодаря этому обеспечивается повышение показателей прочности при растяжении ($\sigma_r=22-26$ МПа) и интенсивности изнашивания ($I=0,5-1,5 \cdot 10^{-7}$) вследствие увеличения фактической площади контакта.

Подобный эффект реализуется и при воздействии на порошкообразный полуфабрикат композиционного материала сдвиговых напряжений в течение 0,5-5 сек при температуре 20 ± 5 оС. Интенсивное фрикционное контактирование частиц ПТФЭ и наполнителя при действии сдвиговых деформаций способствует формированию перенесенных слоев из продуктов механокрекинга полимера в микродефектах углеграфитовых фрагментов. Благодаря этому формирование композитов из механохимически активированных компонентов при традиционных технологиях холодного прессования с последующим спеканием в свободном состоянии на воздухе позволяет повысить показатель прочности при растяжении не менее чем на 3-5 МПа.

Разработана технология формирования композитов на основе ПТФЭ, основанная на использовании механохимического активирования компонентов непосредственно в процессе монолитизации заготовки. Сущность технологии состоит в применении специальной оснастки для термообработки отпрессованных заготовок, препятствующей их свободному термическому расширению. Различие в коэффициентах термического расширения ПТФЭ и наполнителя обуславливает в условиях всестороннего сжатия механохимическое взаимодействие компонентов на микроучастках под действием сдвиговых напряжений, обусловленных различием их тепловых деформаций.

Механохимические процессы могут быть реализованы в технологии формирования фторкомпозитов и с использованием полимер-олигомерного продукта УПТФЭ, активирующего радикальные превращения между компонентами материала на разных стадиях. Разработаны составы фторкомпозитов, обладающие повышенными показателями прочности при растяжении ($\sigma_r=26-32$ МПа), износостойкости ($I=0,1-1,5 \cdot 10^{-7}$) при низком коэффициенте сухого трения $f=0,08-0,10$ [7].

Заключение

Анализ литературных источников и результаты проведенных исследований свидетельствуют об эффективности использования механохимических реакций на различных стадиях формирования композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и применения изделий из них в узлах трения. Особый интерес представляют реакции с участием радикальных продуктов, образующихся при термо-, механокрекинге полимерных и олигомерных компонентов фторопластовых композитов. Широкие возможности для формирования ингибиторов изнашивания в металлополимерных системах различного состава обеспечивают фторсодержащие олигомеры, способные к образованию активных радикальных фрагментов, модифицирующих компоненты материалов и поверхности фрикционного контакта трибосистемы.

Литература

1. Сиренко, Т.А. Антифрикционные карбопластики. – К.: Техніка, 1985. – 195 с.
2. Охлопкова, А.А. Физико-химические принципы создания триботехнических материалов на основе полимеров и ультрадисперсных керамик: Дисс. ... д-ра техн. наук. – Якутск, 2000. – 269 с.
3. Горбачевич, Г.Н. Структура и технология углеродных герметизирующих материалов для статических и подвижных уплотнений: Дисс. ... канд. техн. наук. – Гродно, 2002. – 138 с.
4. Петрова, П.Н. Разработка машиностроительных триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и природных цеолитов Якутских месторождений. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Якутск, 2001. – 18 с.
5. Гольдаде, В.А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. / В.А. Гольдаде, В.А. Струк, С.С. Песецкий. – М.: Химия, 1993. – 280 с.

6. Металлополимерные нанокompозиты (получение, свойства, применение) В.М. Бузник, В.М. Фомин, А.П. Алхимов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 260 с.
7. Струк, В.А. Способ изготовления изделия из композиционного материала на основе высоковязкого полимера (варианты) / В.А. Струк, Г.А. Костюкович, В.И. Кравченко и др. Патент Республики Беларусь на изобретение № 9396, 2007.
8. 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.
9. 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.

УДК 541.12+669.295.691.5

ТЕХНОЛОГИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Струк В.А., Балейко А.В., Воропаев В.В., Андрикевич В.В.

Рассмотрена технология изготовления изделий из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена методом спекания. Показана эффективность применения оптимизированных циклов для получения заготовок с повышенными показателями триботехнических характеристик для узлов трения автотракторной техники.

Введение

Фторопласты относятся к числу наиболее распространенных полимерных материалов, используемых для изготовления герметизирующих и триботехнических изделий для статических и подвижных соединений с повышенными техническими требованиями [1-3]. При этом в зависимости от условий эксплуатации, требуемого ресурса, параметров безопасности могут быть использованы изделия, как из базовых полимеров, в частности, политетрафторэтилена (ПТФЭ), так и из композиций на их основе, содержащие волокнистые и дисперсные наполнители, модификаторы и функциональные добавки различного состава, технологии получения и размеров [1-3].

Наиболее распространены в машиностроении, в т. ч. при производстве компрессорной и вакуумной техники, изделия из композитов (КМ), в составе которых присутствуют короткие фрагменты стеклянных, углеродных, арамидных, базальтовых волокон, порошки графита, в т. ч. термически расщепленного (ТРГ), углеграфитовых наночастиц детонационного синтеза (УДАГ, УДАВ), фторированной сажи (ФС), фуллеренов (ФЛ), углеродных нанотрубок (УН), порошков металлов, оксидов, керамик и др. соединений металлов и неметаллов, природных и синтетических углеродных и кремнийсодержащих соединений - кокса, слюд, глин, цеолитов, трепела [1-6].

Специфические особенности ПТФЭ и его композитов создали предпосылки применения специальных технологий изделий, основанных на формировании уплотненного полуфабриката дискретным (прессованием) или непрерывным (экструзией) методами с последующей его монолитизацией при температурах, превышающих температуру плавления кристаллической фазы, в течение длительной экспозиции на воздухе, в защитной среде или оправках [1, 3, 9]. Повышенные температуры монолитизации (350-370°C) и продолжительность этого процесса приводят к образованию низкомолекулярных фторсодержащих соединений, оказывающих негативное воздействие на персонал, технологическое оборудование и окружающую среду, а также к интенсивной деструкции наполнителей, например, коротких фрагментов углеродных волокон, в поверхностных слоях изделий (заготовок) [1].