

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

***Пальянов Андрей Артемович***

канд. техн. наук, доцент, начальник отдела

АО «Российские космические системы»

г. Москва

***Машков Юрий Константинович***

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, профессор

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная

автомобильно-дорожная академия»

г. Омск, Омская область

***Байбарацкая Марина Юрьевна***

канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой

Омский автобронетанковый инженерный институт

ФГБОУ ВПО «Военная академия материально-технического

обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева» Минобороны России

г. Омск, Омская область

### **ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ**

*Аннотация:* в статье рассмотрены результаты исследования процессов структурной модификации полимерной матрицы при введении полидисперсных наполнителей и их влияние на структуру и износостойкость полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена. Установлено, что введение в ПТФЭ нитрида кремния и карбида титана в небольших концентрациях обеспечивает повышение триботехнических свойств создаваемых композиций в десятки раз по сравнению с ПКМ наполненным СКГ.

*Ключевые слова:* полимерные композиционные материалы, ультрадисперсные модификаторы, политетрафторэтилен.

Надежность и ресурс большинства изделий современной техники в значительной степени зависит от работоспособности и срока службы многочисленных узлов трения (трибосистем) различных систем и механизмов машин и их агрегатов. Надежность трибосистем определяется главным образом износостойкостью подвижно сопряженных деталей, которая в свою очередь зависит от эксплуатационных свойств материалов этих деталей и качества сопряженных поверхностей.

Проблема повышения надежности металлополимерных трибосистем, применяющихся во многих современных машинах, приборах и оборудовании, связана с задачей повышения износостойкости конструкционных полимеров. Получение таких материалов возможно методом структурной модификации – введением в полимерную матрицу наполнителей-модификаторов различного типа: волокнистых, дисперсных, ультрадисперсных, наноразмерных. Среди полимеров, применяющихся для изготовления деталей узлов трения, наиболее предпочтительным комплексом физико-химических и триботехнических свойств обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ), что объясняет его применение в узлах трения ответственных технических систем.

Результаты комплексных исследований полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе ПТФЭ позволили установить основные закономерности влияния отдельных (углеродное волокно, ультрадисперсный скрытокристаллический графит) и комплексных наполнителей на надмолекулярную структуру и свойства ПКМ [1–3]. Дальнейшее повышение износостойкости ПКМ возможно путем использования ультрадисперсных порошков, например, карбидов и нитридов и углеродных наномодификаторов (УНМ).

Целью работы является разработка и исследование ПКМ на основе ПТФЭ с ультрадисперсными карбидными, нитридными модификаторами и углеродными наномодификаторами. Использовали ПТФЭ (фторопласт-4). Образцы ПКМ, содержащие наполнитель скрытокристаллический графит (СКГ), марки ГЛС-3, изготавливались методом холодного прессования и последующего свободного спекания.

**Научные исследования: от теории к практике**

Композиции для образцов ПКМ, содержащих нано- и ультрадисперсные порошки карбидных и нитридных наполнителей-модификаторов, получали путем смешения компонентов в высокоскоростном смесителе лопастного типа. Образцы изготавливались методом холодного прессования при давлении 70–80 МПа с последующим свободным спеканием в печи при температуре 360°C.

Исследование триботехнических свойств ПКМ проводили на специальной установке – трибометре. В рабочем узле трибометра реализуется торцовая схема трения «палец-диск». Методика испытания предусматривает подготовку полимерных образцов и контртела. Комплект образцов перед началом испытаний проходит приработку до появления характерных следов трения и исчезновения следов механической обработки не менее чем на 80 % рабочей поверхности образца.

Образцы испытывали в течение трех часов при заданных скорости скольжения  $v=1,2$  м/с и контактном давлении 2,66 МПа. Взвешивание каждого образца производили на микроаналитических весах ВЛР-200 с погрешностью не более 0,15 мг до (по завершении приработки) и после испытания. Исследование поверхностей проводили на микроскопе ЛОМО МЕТАМ ЛВ-32. Результаты исследования скорости изнашивания образцов с ультрадисперсными наполнителями приведены в таблице 1.

Таблица 1

Скорость изнашивания композитов, мг/ч.

Состав композита	Концентрация, % масс.				
	1	2	3	5	8
ПТФЭ + СКГ	200,4	67,5	40,2	29,5	28,2
ПТФЭ + TiC	1,44	1,56	1,71	1,94	2,51
ПТФЭ + Si3N4	1,33	1,42	1,59	1,44	1,57

Приведенные результаты показывают, что при концентрации 1% масс, карбида титана скорость изнашивания уменьшается почти в 140 раз, а при введении 1% масс, нитрида кремния – почти в 150 раз по сравнению с образцами, наполненными ультрадисперсным СКГ той же концентрации. В интервале concentra-

ций от 1 до 3% масс. нитрида кремния скорость изнашивания незначительно увеличивается, а при дальнейшем повышении концентрации – практически не изменяется. В случае же с карбидом титана наблюдается увеличение скорости изнашивания в интервале концентраций 1–8% масс на 74%. С увеличением концентрации СКГ от 1 до 8% масс. в составе образцов, наблюдается снижение скорости изнашивания в 7 раз, но при этом в области концентрации 8% масс. скорость изнашивания образцов, наполненных СКГ превышает в 10–15 раз значения скорости изнашивания ПКМ карбидным и нитридным наполнителями той же концентрации. Зависимость скорости изнашивания образцов ПКМ, наполненных СКГ концентрацией 8% масс. и наномодификатором, концентрацией от 0,5% масс до 5% масс (рис. 1) показывает, что при увеличении концентрации УНМ от 1,0 до 1,5% масс % скорость изнашивания резко снижается почти в 2,0 раза и при дальнейшем увеличении концентрации УНМ монотонно возрастает почти на 70%. При этом в интервале концентрации 1,0–3,0% масс скорость изнашивания ПКМ с УНМ в 2 раза меньше по сравнению с ПКМ, содержащим ультрадисперсный нитрид кремния.

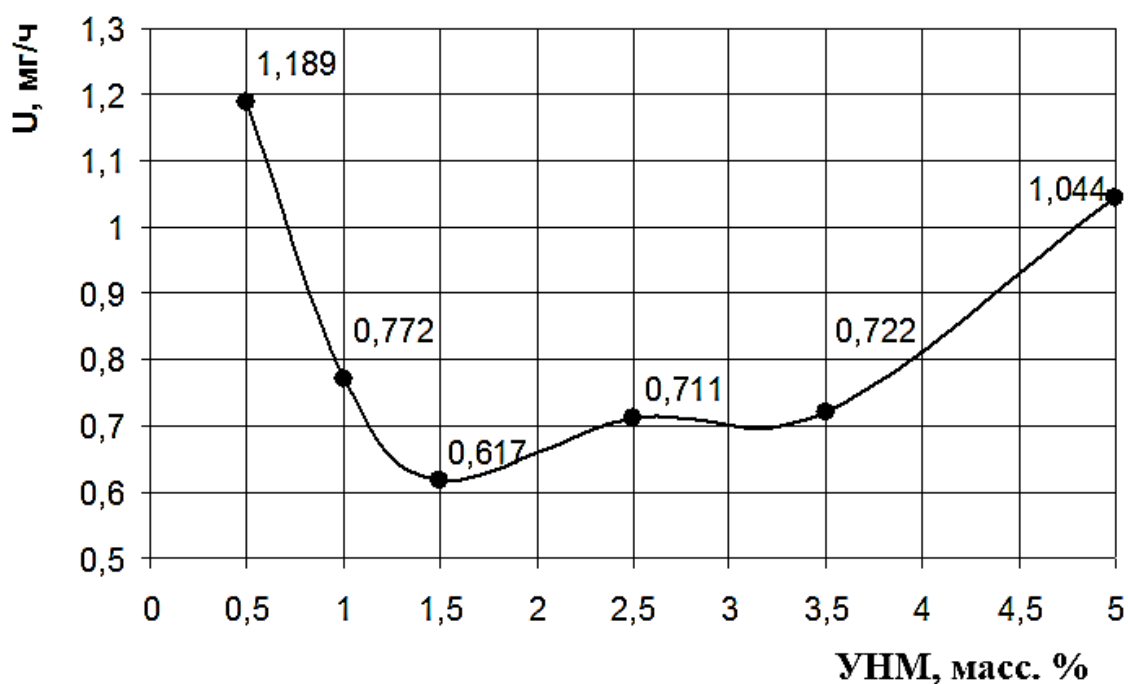


Рис. 1. Зависимость скорости изнашивания  $U$  от концентрации УНМ

Можно полагать, что это является следствием увеличения адгезии к контртелу частиц переноса за счет механо-активации компонентов и высокой активности наноразмерных наполнителей и способствует образованию пленок фрикционного переноса на стальном контртеле.

Исследование поверхности контртела показывает, что в процессе трения на ней образуется тонкая пленка фрикционного переноса (рис. 2), и дальнейшее трение происходит между поверхностями образца и пленки.

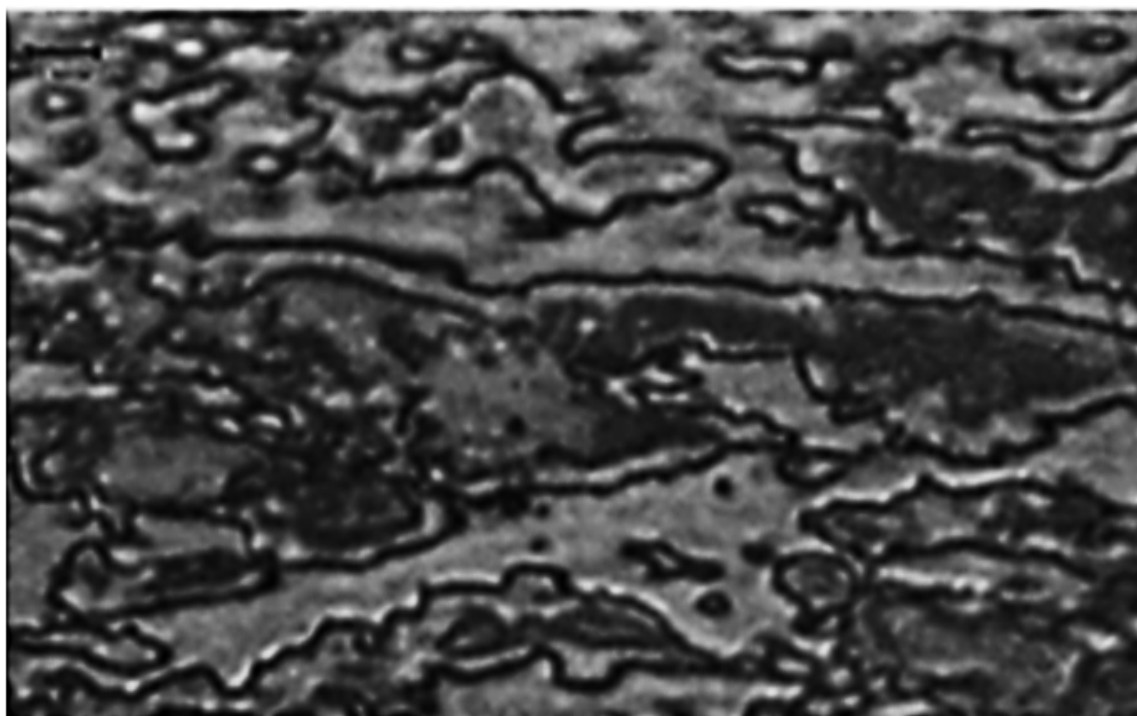


Рис. 2. Пленка переноса на поверхности контртела (ПТФЭ+3%Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

На рис. 2 видно, что пленка переноса покрывает не всю поверхность контртела и ее элементы ориентированы в направлении скольжения. Установлено, что пленка переноса состоит в основном из аморфной фазы ПТФЭ с включениями частиц наполнителя [4].

Введение в ПТФЭ нитрида кремния и карбида титана в небольших концентрациях обеспечивает развитие физико-химических процессов формирования пленки фрикционного переноса, локализации и более равномерного распределения деформаций в тонком поверхностном слое и, как следствие, снижение износа

образцов в десятки раз по сравнению с ПКМ наполненным СКГ. Введение в состав ПКМ дополнительно углероднаномодификаторов с концентрацией 1,0–3,0% масс позволяет получить дополнительное снижение скорости изнашивания практически в 2 раза.

### ***Список литературы***

1. Кропотин О.В. Влияние углеродных модификаторов на структуру и износостойкость полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена. / О.В. Кропотин, Ю.К. Машков, В.А. Егорова, О.А. Кургузова // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – №5. – С. 66–70.
2. Машков Ю.К. Теплоемкость и термодинамические функции состояния системы политетрафторэтилен – углеродные модификаторы / Ю.К. Машков, О.В. Кропотин, В.А. Егорова // Вестник Омского университета. – 2012. – №4 (66). – С. 77–83.
3. Машков Ю.К. Синтез углеродных модификаторов и исследование их влияния на триботехнические свойства полимерных нанокомпозитов / Ю.К. Машков, М.Ю. Байбарацкая, А.А. Байбарацкий, А.В. Сырьева, Т.А. Калинина, А.М. Сизиков // Омский научный вестник. – 2012. – №2 (110). – С. 82–85.
4. Машков Ю.К. Трибофизика и структурная модификация материалов трибосистем / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – 332 с.