ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/270

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН И ДИСУЛЬФИДА
ВОЛЬФРАМА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА**

¹Васильев А.П., ^{1,2} Охлопкова А.А., ¹Стручкова Т.С., ¹Алексеев А.Г., ³Гракович П.Н.

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

²Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН, Гомель, Беларусь

В работе проведено исследование влияния углеродных волокон совместно с дисульфидом вольфрама на структурные параметры, физико-механические и триботехнические свойства политетрафторэтилена. Модификация политетрафторэтилена комбинированными наполнителями сохраняет низкий коэффициент трения, износостойкость композитов повышается в 65-705 раз по сравнению с ненаполненным полимером.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, углеродные волокна, дисульфид вольфрама, износостойкость, коэффициент трения, полимерный композиционный материал.

Введение. В настоящее время полимеры, используемые в машиностроении не обладают достаточной морозо- и износостойкостью, что ведет к относительно низкой работоспособности материалов в условиях холодного климата, что становится причиной от 30 до 50% отказов изделий [1]. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) являются актуальными материалами для узлов трения [2]. Однако, большинство промышленно выпускаемых материалов на основе ПТФЭ, являются композитами с высокой степенью наполнения, что приводит к увеличению их жесткости, интенсифицирует повышение температуры в зоне контакта и приводит к абразивному воздействию на сопряженное контртело [2, 3]. В связи с этим разработка ПКМ с относительно низкой степенью наполнения и высокой износостойкостью является актуальной задачей. Для направленного улучшения свойств ПТФЭ вводят одновременно несколько наполнителей для улучшения всего комплекса эксплуатационных свойств [4].

Материалы и методы исследования. Полимерной матрицей служил ПТФЭ марки ПН, (ГалоПолимер, Россия). Размер частиц составляет 46-136 мкм. Наполнителями служили: модифицированные короткие углеродные волокна (УВ) марки «Белум», (Светлогорск Химволокно, Беларусь). Диаметр филамента УВ составляет 7-10 мкм, длина волокон 50-500 мкм. Дисульфид вольфрама (WS₂) марки «MicroLubrol» (США), размер частиц составляет ~0,6 мкм. Частицы дисульфида вольфрама механоактивированы в течение 2 мин в планетарной мельнице Активатор-2S при центростремительном ускорении шаров 90G.

Физико-механические характеристики ПТФЭ и ПКМ определены согласно ГОСТ 11262-80 и ГОСТ 4651–2014. Триботехнические характеристики исследованы по стандартной методике (ГОСТ 11629-75) на трибомашине UMT-3 (CETR, США) по схеме трения «палец – диск». Скорость изнашивания оценены по потере массы образцов в единицу времени. Плотность ПТФЭ и ПКМ на его основе определены согласно ГОСТ 15139-69. Исследования надмолекулярной структуры и поверхностей трения ПТФЭ и ПКМ проведены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-7800F LV (JEOL, Япония). Рентгеноструктурный анализ (РСА) проведено на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific, Швейцария).

Результаты исследований.

В таблице 1 приведены результаты физико-механических и триботехнических характеристик, плотность и степень кристалличности ПТФЭ и ПКМ.

Как видно из табл. 1, при введении комбинированных наполнителей (УВ и WS₂) в ПТФЭ сохраняет деформационно-прочностные характеристики на уровне исходного полимера. Значения прочности на сжатие и модуль упругости при растяжении ПКМ повышаются относительно исходного ПТФЭ с увеличением содержания волокон. Износостойкость ПКМ, с увеличением содержания волокнистого наполнителя, повышается в 65-705 раза по сравнению

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

с исходным ПТФЭ. Коэффициент трения ПКМ во всем диапазоне наполнения сохраняется на уровне ненаполненного ПТФЭ. Плотность композитов с увеличением содержания волокнистого наполнителя снизилась, а степень кристалличности ПКМ повысилась по сравнению с исходным ПТФЭ.

Таблица 1. Характеристики ПТФЭ и ПКМ

Образец	σ_p , МПа	ε_p , %	$\sigma_{сж}$, МПа	E_p , МПа	I , мг/ч	f	ρ , г/см ³	α , %
Исходный ПТФЭ	20±1	320±16	16±1	430±22	120	0,22	2,16	63
ПТФЭ+1 мас.% УВ+1 мас.% WS ₂	18±1	323±17	17±1	432±21	1,83	0,18	2,15	65
ПТФЭ+3 мас.% УВ+1 мас.% WS ₂	18±1	347±17	19±1	476±23	0,89	0,19	2,14	70
ПТФЭ+5 мас.% УВ+1 мас.% WS ₂	19±1	296±14	20±1	497±24	0,40	0,20	2,09	69
ПТФЭ+8 мас.% УВ+1 мас.% WS ₂	18±1	299±14	21±1	511±25	0,17	0,20	2,06	70
ПТФЭ+10 мас.% УВ+1 мас.% WS ₂	17±1	264±13	22±1	521±25	0,22	0,19	2,04	71

Примечание: ε_p – относительное удлинение при разрыве, σ_p – прочность при растяжении, $\sigma_{сж}$ – напряжение при сжатии при 10% деформации, E_p – модуль упругости при растяжении; I – скорость массового изнашивания; f – коэффициент трения; ρ – плотность; α – степень кристалличности методом РСА.

На рис. 2 представлены результаты исследования надмолекулярной структуры и поверхность трения ПКМ методом РЭМ.

Рис. 1. Микрофотографии ПКМ: а) надмолекулярная структура ПКМ; б) поверхность трения ПКМ

Как видно из рис. 1, в надмолекулярной структуре ПКМ, слоистые частицы WS₂ идентифицированы и обнаружены между волокнами в полимерной матрице и на поверхностях трения композитов (указаны стрелками). Возможно, на поверхностях трения углеродные волокна совместно с WS₂ локализуясь на поверхностном слое ПКМ защищают его от разрушения, за счет этого происходит увеличение износостойкости при сохранении низкого коэффициента трения.

Выводы. Показано, что модификация ПТФЭ комбинированными наполнителями (1-8 мас.% УВ и 1 мас.% WS₂) приводит к повышению износостойкости при сохранении деформационно-прочностных характеристик и коэффициента трения на уровне ненаполненного полимера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания МОН РФ № 11.1557/4.6 и № 11.7221.2017/6.7.

Литература

1. Охлопкова А.А., Виноградов А.В. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик // Трение и износ. 2002. Т. 23. № 6. С. 653-660.
2. Охлопкова А.А., Виноградов А.В., Пинчук Л.С. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями. Гомель: ИММС НАНБ. 1999. 164 с.
3. Авдейчик С.В. Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение: монография. Под. науч. ред. В.А. Струка. Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы. 2012. 339 с.
4. Кропотин О.В., Машков Ю.К., Егорова В.А., Кургузова О.А. Влияние углеродных модификаторов на структуру и износостойкость полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена // Журнал технической физики. 2014. Т. 84. №. 5. С. 66-70.