

Вследствие этого создаются благоприятные возможности для модифицирования матрицы ПТФЭ наноразмерными частицами различного состава и происхождения – геосиликатов (глин, шунгита, терпела), оксидов металлов, углеродных нанотрубок. Необходимо подчеркнуть, что исследованные частицы модификаторов также представляют собой кластерные образования, сформированные единичными фрагментами с глобулярным и пластинчатым габитусом, обусловленным кристаллохимическим строением или технологической предисторией. Порошкообразные модификаторы представляют собой конгломераты единичных наночастиц с относительно небольшой прочностью межчастичных связей. Это обуславливает возможность разрушения кластерных структур при технологическом воздействии на полуфабрикат и образования механических смесей с достаточно высокой гомогенностью распределения компонентов. Особый эффект реализуется при совмещении активированных порошкообразных компонентов или при их совмещении с механохимическим воздействием. Развитая морфология дисперсных частиц полимерной матрицы и функционального модификатора способствует увеличению межфазного взаимодействия при формировании композиционных материалов с использованием механических и тепловых воздействий на полуфабрикат. Дополнительный эффект может быть реализован при высоком энергетическом воздействии на частицы – температурном, лазерном, механическом. Сочетания активного зарядового состояния частиц и характерной морфологии поверхностного слоя позволяет значительно повышать параметры деформационно–прочностных и триботехнических характеристик композиционных материалов на полимерных матрицах.

УДК 621.7:621.217

МАЛОПОЛНЕННЫЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ

Н.А. Антонович, Е.В. Овчинников, канд. техн. наук, В.В. Гаврилова,
Г.Н. Горбачевич, канд. техн. наук, В.В. Воропаев, В.В. Сорокин
ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным
производством», г. Солигорск
УМЦ «Промагромаш», ОАО «Белкард», г. Гродно
(Республика Беларусь)

Особое место в номенклатуре современных машиностроительных материалов принадлежит композитам на основе фторсодержащих матриц различного строения и молекулярной массы, которые применяют для изготовления элементов металлополимерных систем в виде деталей трения и тонких покрытий, понижающих коэффициент трения и уменьшающих интенсивность коррозионно–механического изнашивания. Перспективным направлением создания триботехнических фторматериалов является использование многоуровневого подхода, который позволяет получать структуру с определенным уровнем упорядочения, определяющего механизмы сопротивления разрушения при деформиро-

вании и трибовзаимодействии. Очевидно, что такие структуры могут быть сформированы в поверхностных слоях изделий из фторкомпозитов в процессе их применения под действием эксплуатационных факторов. В этом аспекте особый научный и практический интерес представляет собой тонкопленочные слои, сформированные на основе фторсодержащих компонентов различного состава, строения и молекулярной массы, которые обладают необходимым уровнем адгезионного взаимодействия и способностью к латеральному и знакопеременному переносу. Разработаны триботехнические композиционные материалы на основе фторсодержащих матриц, содержащие 1–3 мас.% наноразмерных частиц модификаторов различного состава. Введение в матрицу ПТФЭ наночастиц слоистых минералов и трепела, алмазографита (УДАГ) в исходном и термообработанном при температурах 873–1273 К состоянии позволяет существенно повысить показатель прочности при растяжении σ_r (с 18–20 МПа до 19–29,5 МПа), твердости НВ (с 18–27 НВ до 42–52 НВ) и износостойкости. Для узлов трения с повышенными эксплуатационными требованиями разработаны малонаполненные нанокомпозиты с применениями двухуровневого модификатора ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) и неорганического наполнителя (УПТФЭ + ТУ, УПТФЭ + трепел, УПТФЭ + глина). При одновременном введении в матрицу ПТФЭ полимер–олигомерных частиц УПТФЭ происходит пластифицирование граничных слоев, что способствует формированию надмолекулярных структур сферолитного типа, центрами кристаллизации которых являются наночастицы ТУ и силикатсодержащих минералов. Это приводит к синергическому повышению показателей деформационно–прочностных и триботехнических характеристик трибокомпозитов.

Прочностные и триботехнические характеристики фторкомпозитов

Материал	Прочность при разрыве, МПа	Плотность, г/см ³	Износ, $J 10^{-7}$, мм ³ /Н·м
Фторопласт–4 ПН	19,29	2147	238,72
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+0,1% ТУ П 234	22,47	2356	211,52
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+0,5% ТУ П 234	24,30	2292	81,51
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+1% ТУ П 234	24,90	2286	54,33
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+3% ТУ П 234	23,08	2292	26,70
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+5% ТУ П 234	22,47	2508	39,81
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+10% ТУ П 234	22,17	2243	30,94
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+0,1% ТУ П 803	23,08	2300	187,65
Ф–4ПН+2,0% «Форум»+0,5% П803	21,56	2292	213,52
Ф–4ПН+2,0% «Форум» +1% П 803	24,30	2299	77,14
Ф–4ПН+2,0% «Форум» +3% П 803	19,44	2243	66,66
Ф–4ПН+2,0% «Форум» +5% П 803	26,42	2260	66,79
Ф–4ПН+2,0% «Форум» +10% П 803	26,12	2239	49,52

Характерным признаком малонаполненных фторкомполитов с дфухуровневым модификатором является близкая эффективность действия наночастиц различного состава и технологии получения. Разработанные композиты предназначены для узлов трения с повышенными ресурсными требованиями. Разработана технология фторсодержащих композиционных материалов с различным уровнем структурного упорядочения. Для композитов, применяемых для изготовления конструктивных элементов трибосистем, предложен технологический процесс, включающий стадию активирования компонентов. Триботехнические изделия с лимитированным ресурсом эксплуатации целесообразно изготавливать по ускоренному процессу монолитизации, позволяющему снизить энергозатраты в 3–5 раза. При введении в состав матричного политетрафторэтилена допинговых количеств наномодификаторов (УДАГ, ТУ, кремня, трепела) обеспечивается структурирование на надмолекулярном уровне, достаточное для реализации необходимого эксплуатационного ресурса. Осуществлена апробация триботехнических композитов в виде элементов узлов трения и разделительных покрытий в конструкциях запорной арматуры трубопроводов низкого давления (ПУЧП “Цветлит”), узле привода самоцентрирующихся карданных патронов (ОАО “БелТАПАЗ”), шлицевом соединении карданных валов грузовых автомобилей (ОАО “Белкард”), узлах трения транспортных конвейеров (ЗАО “СИПР с ОП”), а также в технологических процессах изготовления деталей автомобильных агрегатов (ОАО “Белкард”) и специальной техники (ЗАО “СИПР с ОП”).

УДК 535.373 + 539.2 + 541.14 + 541.64+541.141

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ: ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

Э.И. Зенькевич¹, д-р. физ.–мат. наук, проф., К. фон Борцисковски², д-р, проф.

¹Белорусский национальный технический университет
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Институт физики, Технический университет Хемнитца
(г. Хемнитц, Германия)

Введение. В соответствии с решениями Европейской академии технологических исследований и Британского Королевской инженерной академии *Нанотехнология* – это совокупность процессов, позволяющих создавать и изучать устройства и материалы на атомарном, молекулярном или макромолекулярном уровне с размерами ≤ 100 нм, свойства которых существенно отличаются от таковых для более крупных структур. Принципиальными свойствами наноструктур являются самоорганизация и специфическая зависимость их физико-химических характеристик от размеров. Кроме того, резкое возрастание отно-