

физическое обоснование аналитического выражения для определения размера наночастиц, в котором в качестве критерия использовано значение температуры Дебая ( $\Theta_D$ ). Для анализа использована модель поведения фононов в условиях адиабатического приближения. Согласно этой модели для сферической изотропной частицы вещества с диаметром  $d$ , которая не обменивается энергией с окружающей средой, предложено допущение о флуктуирующем положении границы, которая имеет не фиксированную координату, а рассматривается как барьер с меняющимися размерами. Анализ модели показал, что одной из главных особенностей нанобъектов является обязательный учет строения и размеров граничных слоев с кристаллофизикохимическими, т.е. структурными свойствами, отличными от объемных. Размер этих поверхностных слоев  $\delta$  определяет границу между макро– и наночастицами и объясняет переход различных уровней энергии в энергетические зоны, которые перекрываясь устраняют влияние размерного фактора. При оценке наноразмерного состояния дисперсных частиц необходимо учитывать изменение энергии межатомного взаимодействия при различных температурах. Температурная зависимость параметров физико–химических характеристик наночастиц будет проявляться в значительно большей мере, чем в макрофазе того же вещества, и это будет обуславливать вероятность протекания в нанокompозите физико–химических превращений, не свойственных для обычных условий. Особенно важным является этот аспект при анализе нанокompозиционных материалов в виде тонких разделительных слоев между компонентами металлополимерной трибосистемы, которые подвержены воздействию температурных, деформационных, окислительных и др. факторов.

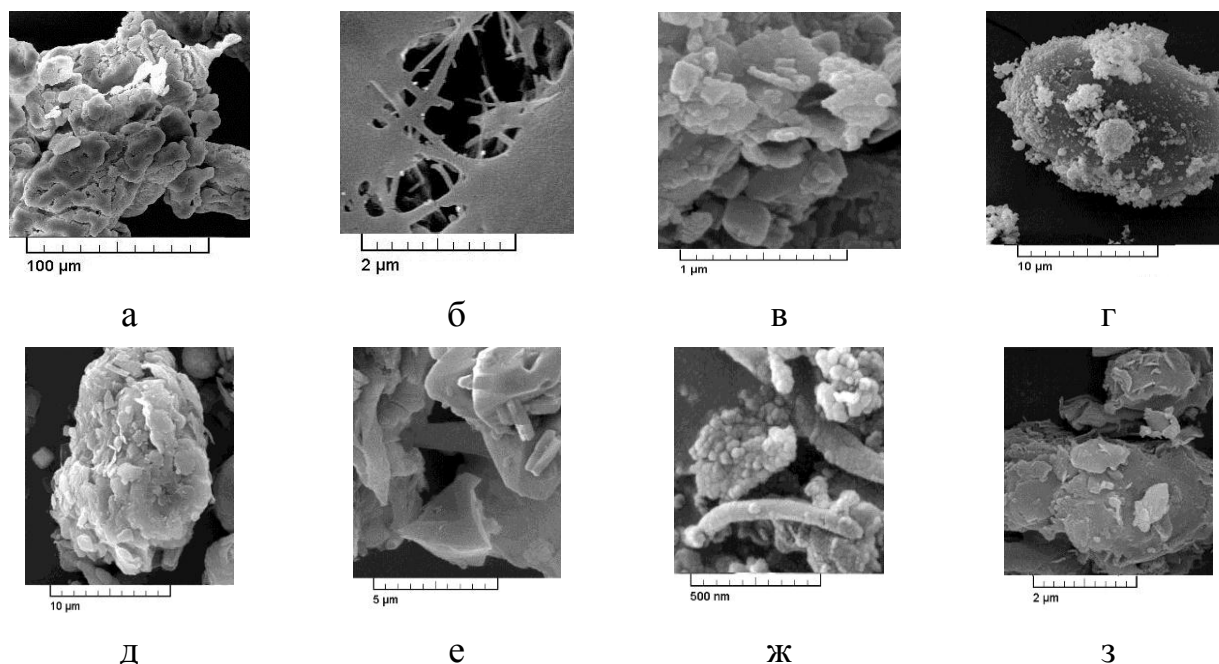
УДК 621.7:621.217

### **ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ.**

Н.А. Антонович, Е.В. Овчинников, канд. техн. наук,  
Е.И. Эйсымонт, А.В. Струк, В.И. Кравченко  
ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
с опытным производством», г. Солигорск  
УМЦ «Промагромаш», ОАО «Белкард», г.Гродно  
(Республика Беларусь)

Несмотря на большое число исследований, посвященных анализу механизмов формирования машиностроительных фторкомпозитов и их переработки в изделия, в настоящее время отсутствуют единые методологические подходы к оценке эффективности модифицирующего действия наполнителей различного состава, строения и дисперсности на структуру и триботехнические параметры олигомерных, полимерных и смесевых фторсодержащих матриц. Применение

традиционных методов наполнения, в т.ч. высокоактивными компонентами нанометровой размерности, в ряде случаев не обеспечивает адекватный эффект повышения параметров служебных характеристик триботехнических фторкомпозитов вследствие негативного влияния особенностей структуры и состава матриц на механизмы межфазного взаимодействия компонентов при формировании материалов и эксплуатации изделий из них. С другой стороны, высокие степени наполнения обуславливают гетерогенности структуры композита, которая не позволяет формировать структуру, обеспечивающую оптимальное сочетание деформационно–прочностных и триботехнических характеристик. Для обоснованного выбора компонентов при создании триботехнических материалов, применяемых в виде конструкционных изделий и покрытий, осуществлен анализ морфологических особенностей дисперсных частиц полуфабрикатов–ПТФЭ, оксидов металлов, глин, углеродных нанотрубок, шунгита, силикатных стекол. Анализ морфологии поверхностного слоя частиц полимерной матрицы (ПТФЭ) и нанонаполнителей, осуществленный с использованием данных РЭМ, свидетельствует об их кластерном строении, обуславливающем особое энергетическое состояние, характеризующееся нескомпенсированным зарядом согласно спектрам ТСТ. Единичные макрочастицы ПТФЭ представляют собой конгломераты, состоящие из наночастиц с близким к глобулярному габитусу, соединенных адсорбционными связями и проходными фибриллярными фрагментами. Подобная морфология единичных частиц промышленных марок политетрафторэтилена обусловлена особенностями синтеза в технологической среде с последующим диспергированием полученных полуфабрикатов с применением механических воздействий.



**Морфология частиц ПТФЭ (а, б), шунгита (в), оксидов металлов (г), глины (д), стекла (е), углеродных нанотрубок (ж), трепела (з)**

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

## **МАЛОНАПОЛНЕННЫЕ 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-