

Э. Т. Крутько, проф., д-р. техн. наук;  
К. В. Вишневский, директор РНПЦ НХПиП, канд. техн. наук;  
В. В. Боброва, асп. (БГТУ, г. Минск);  
В. А. Струк, проф., д-р. техн. наук  
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ИМИДОСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

При получении изделий из композиционных триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) с суммарным содержанием наполнителей и модификаторов более 5 мас. % для достижения повышенных параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик необходимо применять специальные методы, повышающие адгезионное взаимодействие на границе раздела «ПТФЭ-наполнитель».

Известен композиционный триботехнический материал на основе ПТФЭ, содержащий армирующий углеродный наполнитель – фрагменты углеродного волокна (УВ) с размером 50–150 мкм и сухую смазку – графит. Преимуществом этого материала перед аналогами является минимальное абразивное действие наполнителя на сопряженное металлическое контртело, что позволяет использовать изделия из него в узлах трения, вал которых выполнен из незакаленных углеродистых или легированных сталей, а также из цветных металлов (Ti, Al) и сплавов на их основе (латуни, бронзы). Вместе с тем, этому материалу присущ ряд недостатков, важнейшими из которых являются:

- невысокая прочность при растяжении, составляющая 17–20 МПа, что существенно ниже, чем исходная прочность ПТФЭ (30–32 МПа);
- сложная технология получения наполнителя, которая включает операцию графитизации волокна и трехстадийное измельчение полуфабриката со значительными затратами электроэнергии.

В данной работе предложен композиционный триботехнический материал на основе ПТФЭ с повышенными параметрами деформационно-прочностных и триботехнических характеристик, обладающий простой технологией получения и переработки. Отличие технологии его получения от известных аналогов заключается в том, что в качестве углеродсодержащего армирующего наполнителя используются продукты термоокислительной деструкции олигомеров, выбранных из группы: олигомалеамидокислоты аминофенилена, амингидроксифенилена, олигоаминофенилен, тетраамалеина-мидокислота дифе-

нилоксида, N,N',4,4'-бис-малеамидокислоты ряда ароматических диаминов, полученные при температуре 350–380 °С в течение 8–20 ч при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- олигоамидокислоты: 0,1–20,0;
- сухая смазка: 0,1–10,0;
- политетрафторэтилен: остальное.

Обнаружено, что армирующий эффект от введения продуктов термоокислительной деструкции олигоамидокислот существенно выше чем при использовании углеродных частиц, полученных по другим технологиям, т.к. частицы этих продуктов не уступают по прочности другим наполнителям, а по активности в процессах взаимодействия с матрицей – значительно их превосходят. Кроме того, форма и размеры исходных частиц олигоамидокислот и, соответственно, частиц продуктов их термоокислительной деструкции близки к форме и размерам частиц ПТФЭ. Поэтому в процессе смешивания компонентов в лопастных смесителях могут формироваться составы более высокой гомогенности без образования кластерных структур наполнителя, которые представляют собой дефекты, снижающие параметры прочности композита.

После смешения ПТФЭ с наполнителем получали образцы холодным прессованием с последующим спеканием в печи с температурой 350–380 °С в течение 8–20 ч (в зависимости от размеров заготовки). Установлено, что при этом происходит термоокислительная деструкция дисперсных частиц олигомеров, которая приводит к образованию углеродсодержащего продукта со сшитой трехмерной структурой. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о протекании процессов сшивки по месту функциональных групп С=О и кратных связей –С=С, обусловленных окислением и процессами структурирования. На основании данных ДТА сделан вывод об образовании аддукта с высокой термостойкостью, которая превышает термостойкость исходных олигомеров и политетрафторэтилена. Кроме того, возможно протекание процессов взаимодействия –CF<sub>2</sub>– групп макромолекулы ПТФЭ и функциональных групп, входящих в исходную структуру олигомеров, с образованием связей различного типа.

Благодаря термической обработке дисперсных частиц олигомеров в конечных продуктах увеличивается относительное содержание углерода, что превращает исходный олигомер в углеродный продукт с трехмерной структурой. Такие продукты в составе композита увеличивают коэффициент трения, так как не обладают характерными свойствами углеродных наполнителей. Повышение температуры обработки частиц олигомеров до 400–450 °С на воздухе приводит к об-

разованию большого количества летучих продуктов термической и термоокислительной деструкции, которые резко снижают прочностные характеристики структурированной частицы и препятствуют образованию бездефектной структуры композиционного материала.

Определение параметров деформационно-прочностных характеристик проводили на образцах в виде колец и столбиков. Триботехнические характеристики определяли на машине трения ХТИ-72 при трении 3-х образцов с полусферической головкой по полированной поверхности стального диска при нормальной нагрузке на 3 образца 300 Н и линейной скорости скольжения 1,0–3,0 м/с.

Составы полученных композиционных триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена по прочностным и триботехническим характеристикам превышают аналогичные показатели композиции прототипа – композиционного триботехнического материала на основе ПТФЭ «Флувис-20» («Флубон-20ЛЮ»), который выпускают на ОАО «Гродненский механический завод» по ТУ 6-05-14-69-79 и на ОАО «Гродно Азот» по ТУ 03535279.071-99. При этом технологический процесс изготовления изделий из разработанных составов не требует специальных операций диспергирования и активации, исключается стадия (циклодегидратации) имидизации олигоамидокислот, что существенно снижает материало- и энергоемкость процесса, снижая стоимость конечного продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глоба А. И. Синтез, регулирование структуры и свойств пленкообразующих имидосодержащих композиций для функциональных покрытий: Дис. к-та хим. наук: 02.00.06. – Минск, 2011. – 150 с.
2. Щербина А. Э., Матусевич Л.Г., Сенько И. В., Звонак А. М. Органическая химия. Реакционная способность основных классов органических соединений. Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей. – Мн.: БГТУ, 2000. – 624 с.