

ресурс] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131(07).

2. Патент на изобретение № 2668093 РФ, МПК А01G 23/00, В66F 9/22. Рекуперативный гидропривод лесовозного автомобиля [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, М. А. Латышева ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2017136631 ; заявл. 17.10.2017 ; опубл. 26.09.2018.

3. Никонов, В. О. Анализ конструктивных особенностей гидрофицированных технологических машин с рекуперацией потенциальной энергии рабочего органа с грузом [Текст] / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Е. В. Козлов, В. О. Бородкин // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 1, № 1 (27). – С. 4–19. Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2019/1-27-2019/4-19.pdf> – Загл. с экрана.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования системы рекуперации гидравлического манипулятора в процессе погрузки-разгрузки сортиментов [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев,; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2019617931 ; заявл. 13.06.2019 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.06.2019.

УДК 666.762:621.763

**Е.В. Овчинников, А.П. Возняковский,
А.А. Возняковский, В.И. Кравченко**

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы, ФГУП НИИСК

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Особое место в иерархии машиностроительных материалов занимают многофункциональные полимерные нанокомпозиционные материалы, которые заменяют традиционные композиты при создании демпфирующих сопряжений, узлов трения, герметизирующих элементов, медицинских протезов и устройств [1, 2]. Необходимый уровень триботехнической организации, определяющий устойчивость нанокомпозитов к воздействию эксплуатационных факторов, достигается

путем применения модификаторов определенной молекулярной массы, состава, внешней формы, геометрических размеров частиц, методов подготовки наполнителя, режимов переработки нанокпозиционных материалов, методов активации трущихся поверхностей, позволяющих изменять топографию контактирующих материалов, влияние внешних факторов, оказывающих основополагающий вклад в трибохимические процессы формирования устойчивых разделительных слоев в зоне фрикционного контакта.

Целью данной работы является разработка нанкомпозиционных материалов путем применения функционализированных нанокуглеродных частиц для увеличения физико-механических характеристик формируемых систем.

В качестве образцов получали композиционные материалы на основе полимерной полиамидной матрицы ПА 6 210/310 (производство ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот», Беларусь), который наполнялся нанодисперсными функционализированными углеродными частицами (НФУЧ). Применялся ультрадисперсный алмаз с размером единичных кластеров 4-6 нм. Процентное содержание наномодификатора в полимерной матрице составляло от 0,17 до 1 масс.%. Исходный полиамид подвергался обработке при криогенных температурах. Предварительно нанодисперсные частицы обрабатывались в растворе фторсодержащего олигомера. Композиционные образцы формовались методом литья под давлением на вертикальной литьевой машине производства РУП СКТБ «Металлополимер» (Беларусь). Образцы имели стандартизированные размеры: длина – 10 см, ширина – 1 см, толщина – 0,5 см. Трибоиспытания образцов проводили на машине трения FT-2 по схеме сфера–плоскость. В качестве контртела применяли сталь ШХ15, нагрузка составляла 30 Н, скорость скольжения $v = 0,06$ м/с.

Испытания по определению прочностных характеристик проводили на разрывной машине ИР 5047-50 универсального назначения с электронным силоизмерителем для испытания образцов на растяжение, сжатие и изгиб с пределом нагрузки в 50 кН. Для оценки физико-механических характеристик применяли прибор ИПМ-1К.

Согласно проведенных исследований [3], введение нанодисперсных частиц в полиамидную матрицу приводит к увеличению физико-механических характеристик. Для повышения износостойкости покрытия на основе ПА-6 его модифицировали «допинговыми» добавками наномодификаторов, выбранных из группы: УДАГ, шунгит, кремнь, наночастицы металлов и оксидов металлов (ОМ), гранитная мука, при их содержании от 0,01 до 1,0 мас.%. Благодаря комплексному модифицирующему действию наночастиц повышает-

ся адгезия композиционного покрытия к углеродистым и легированным сталям (ст 45, ст 40Х) и показателя износостойкости. Вместе с тем, несмотря на адсорбционное взаимодействие частиц модификаторов с полярными группами полимерной матрицы (амидной группой $-\text{NHCO}-$), обуславливающих высокие адгезионные характеристики полиамидных покрытий на металлах, сохраняются достаточно высокие значения коэффициента трения покрытий при контактном взаимодействии с металлическим контртелом без подвода внешней смазки ($f = 0,19 - 0,22$), обусловленные увеличением его деформационной составляющей при повышенном адгезионном взаимодействии [3]. Проведенные исследования по изучению значений прочности, твердости полиамида 6, модифицированного нанодисперсными частицами показали увеличение значений данных параметров по сравнению к исходному полимеру.

При введении допинговых добавок низкоразмерных частиц, обладающих нескомпенсированным зарядом обеспечивается синерггический эффект повышения прочностных, триботехнических и адгезионных характеристик. Эффект обусловлен формированием в периферии наночастицы квазикристаллического переходного слоя под действием электрического поля. Заряд наночастицы может быть сформирован в результате специального технологического воздействия (механического, трибохимического, температурного и т.п.) или обусловлен кристаллохимическим строением полуфабриката.

Данный эффект увеличения прочностных характеристик полиамидных композиций наблюдается при «допинговых» значениях концентраций наномодификатора в полимерной матрице. Увеличение концентрации (0,5–1 масс.%) нанодисперсных частиц в полиамиде приводит к снижению значений предела прочности при растяжении композиционных материалов (рис.1).

На рисунке 2–3 приведены значения динамического модуля упругости полиамида и его композиций, возрастает при криогенной обработке. Введение нанодисперсных модификаторов приводит к снижению значений динамического модуля упругости.

Проведенные исследования по изучению твердости разработанных композиций на основе полиамидов 6 показали хорошее согласование с результатами испытаний по определению значений прочности при растяжении для полимерных композиций. Для композиций полиамида, модифицированных нанодисперсными частицами в области малых концентраций модификатора, значения твердости увеличиваются на 22–27%. Дальнейшее увеличение содержания модификатора в композиции приводит к снижению значений прочно-

сти. Триботехнические испытания композиционных материалов, содержащих нанодисперсные частицы показали уменьшение значений коэффициента трения в паре трения со стальным контртелом при малых концентрациях модификатора. С увеличением концентрации нанодисперсных функционализированных углеродных частиц значения коэффициента трения возрастают пары нанокompозит-сталь возрастают. Проведенные исследования по изучению триботехнических характеристик разработанных полимерных композиций показали уменьшение значений коэффициента трения в 2 раза по отношению к исходному при содержании модификатора до 0.1 масс.%. Возрастание концентрации функционализированных нанодисперсных частиц в полимерной матрице до 1 масс.% приводит к увеличению значений коэффициента трения до 0,14.

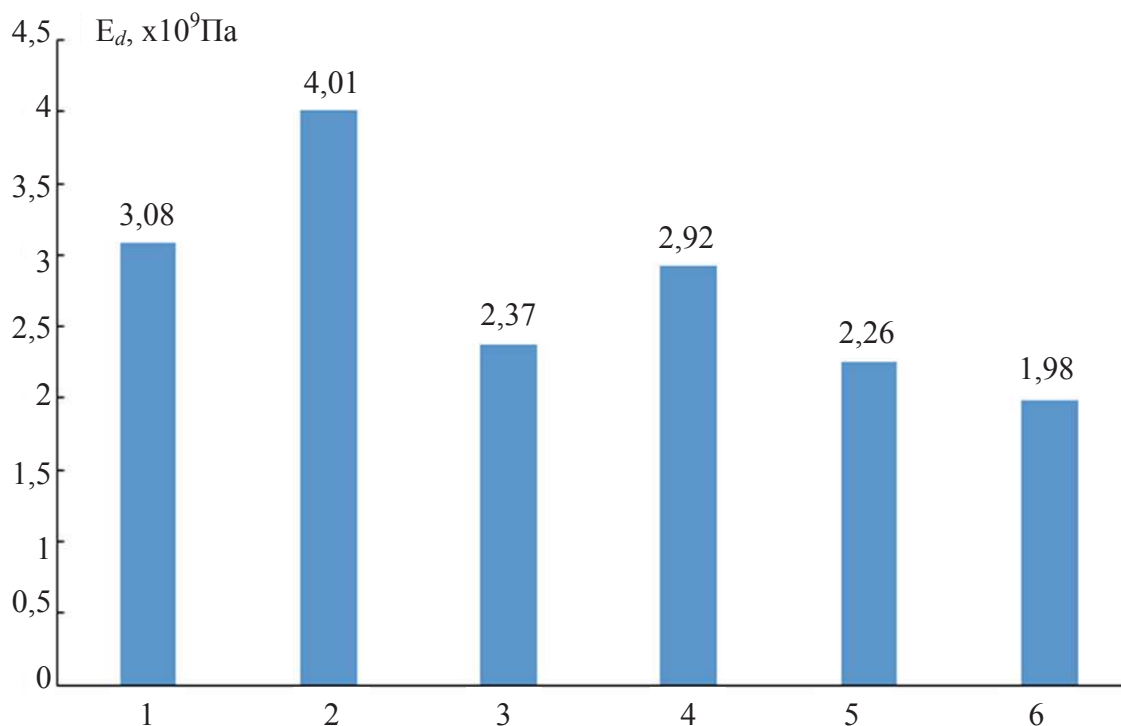
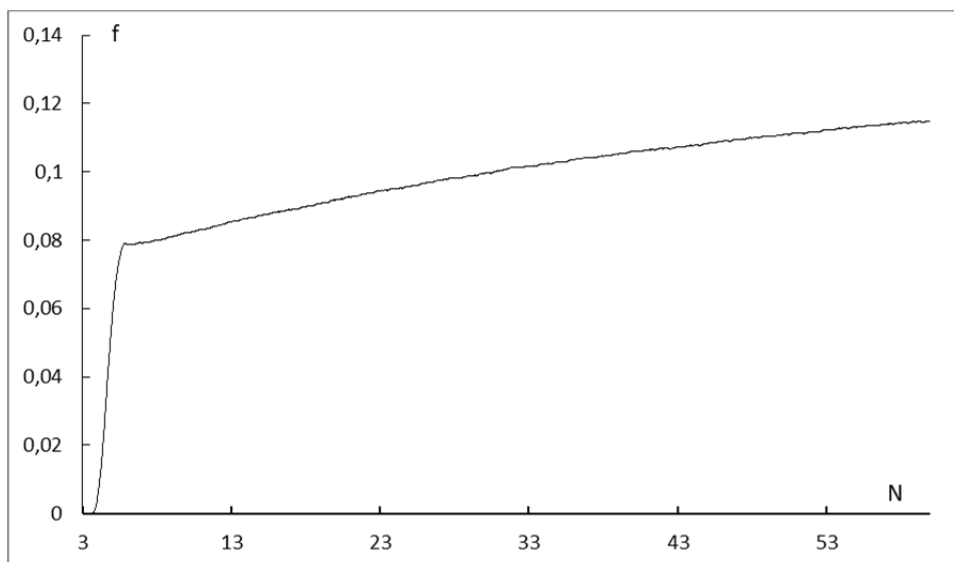
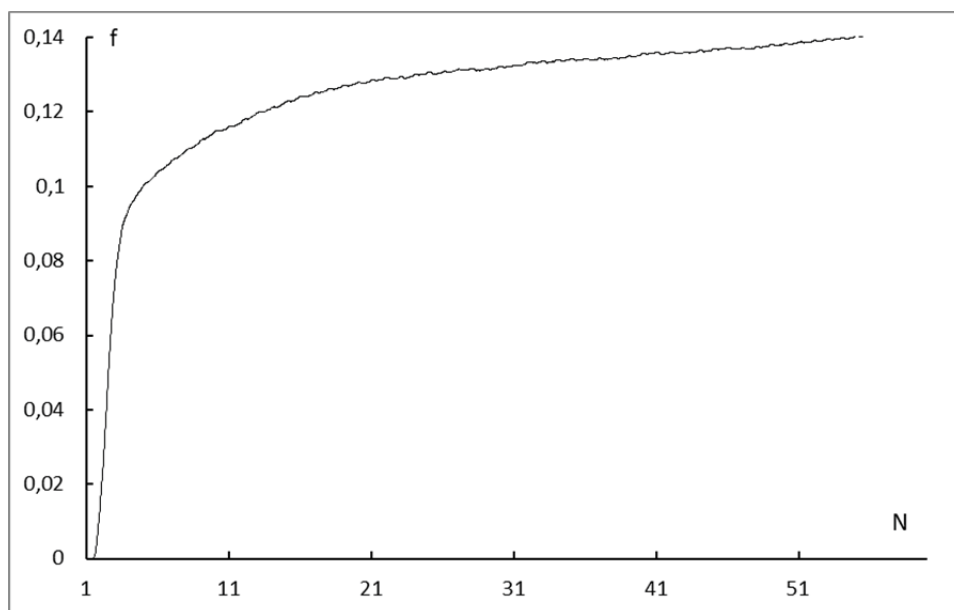


Рис. 1 – Значения динамического модуля упругости для полиамидных композиций: 1 – полиамид 6 (исходный); 2 – полиамид 6, подвергнутый криогенной обработке; 3 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,17 масс. %; 4 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,25 мас.%; 5 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 0,5 мас.%; 6 – полиамид 6, модифицированный нанодисперсными частицами углерода концентрацией 1 мас.%.



**Рис. 2 – Зависимость коэффициента пары трения
нанокomпозиционный материал-сталь от количества циклов.
Содержание модификатора в композите 0,17масс.%**



**Рис. 3 – Зависимость коэффициента пары трения
нанокomпозиционный материал-сталь от количества циклов.
Содержание модификатора в композите 1 масс.%**

Таким образом, введение нанодисперсных функционализированных частиц углерода приводит к увеличению физико-механических характеристик полиамидных композиций при «допинговых» концентрациях модификатора. Увеличение концентрации (0,5–1 масс.%) нанодисперсных частиц в полиамиде приводит к снижению значений предела прочности при растяжении композиционных материалов.

Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Нанокристаллические алмазы и перспективы их использования. / П.А. Витязь // Наноструктурные материалы: получение и свойства. – Минск: НАНБ, 2000. – С. 8-20.
2. Трение и износ материалов на основе полимеров. / В.А. Белый [и др.] – Минск: Наука и техника, 1976. – 250 с.
3. Металлополимерные нанокомпозиты: особенности структуры, технология, применение / А.А. Рыскулов, С.В. Авдейчик, М.В. Ищенко, Е.В. Овчинников. Под научн. ред. В.А. Струка, В.А. Лиопо. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 335 с.

УДК 621.893

**Е.В. Овчинников, Н.М. Чекан, А.И. Акула,
Е.И. Эйсымонт, В.И. Кравченко**

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы
Физико-технический институт НАН Беларуси

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПО ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Традиционными методами формирования тонкослойных покрытий являются плазмохимическое, физическое и химическое осаждение [1–2]. Получение устойчивых защитных слоев, обладающих высокой адгезией к субстрату позволяет создавать пленки толщиной порядка от 0,1 мкм до 8–10 мкм. Данные слои характеризуются высокими функциональными характеристиками: коррозионной стойкостью по отношению к действию агрессивных сред, низким коэффициентам трения и высокой износостойкостью. Применение данных покрытий позволяет увеличить производительность металлообработки режущим инструментом на 30–220 %, повысить эксплуатационный ресурс инструмента и технологической оснастки от 1,7 до 5 раз в зависимости от вида технологии обработки и типа материала. Эффективно применение тонкослойных вакуумных покрытий для модифицирования изделий, изготавливаемых из твердосплавных материалов в частности методами порошковой металлургии, что позволяет снизить расход дорогостоящего инструмента за счет уменьшения количества переточек.

Применением различного вида энергетического воздействия для модифицирования вакуумных покрытий, получаемых методами PVD, PCVD, CVD возможно достичь синергетического эффекта увеличения