

4. Корягина, О. М. Использование трехмерного компьютерного моделирования в курсе начертательной геометрии / О. М. Корягина // Главный механик. – 2016. – № 2. – С. 47–50.

5. Хуснетдинов, Т. Р. Влияние 3D моделирования на курс инженерной графики / Т. Р. Хуснетдинов, Л. Г. Полубинская, А. С. Увайсова // Инновационное развитие. – 2018. – № 5(22). – С. 51–55.

6. Жирных, Б. Г. Начертательная геометрия : учебник / Б. Г. Жирных, В. И. Серегин, Ю. Э. Шарикян; под общ. ред. В. И. Серегина. – 1-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 168 с.

**А. А. Астапченко**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Е. В. Иноземцева**, ассистент

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Как показали исследования последнего времени, рациональное сочетание в композитах различных полимеров позволяет получать материалы с новым уровнем свойств. Смеси полимеров, по аналогии со сплавами металлов позволят и в будущем решать многочисленные материаловедческие задачи [1, 2].

При создании смесевых материалов важным положением является термодинамическая и технологическая совместимость полимеров, определяющая их взаимодействие и свойства композитов. Для усиления взаимодействия используют различные приемы модифицирования одного или обоих компонентов, вводят в состав композиций третий полимерный компонент или другие органические или неорганические вещества. В тех случаях, когда материалы предназначены для получения покрытий, на первое место выступают вопросы адгезии композитов к субстратам различной природы.

В современной технике для подобных целей широкое распространение нашел термопластичный полимер – политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4) [3]. Сочетая в себе комплекс ценных свойств, таких как: исключительную химическую стойкость в различных реагентах, высокие антифрикционные свойства, теплостойкость и др. он, казалось бы, наилучшим образом отвечает поставленным требовани-

ям. Однако такие факторы, как: невысокая прочность, ползучесть под действием нагрузки, сложность технологии переработки в изделия и др. ограничивает области применения материала.

Для улучшения механических свойств фторопласта-4, придания ему прочности, износоустойчивости, теплопроводности и т.д. разработан ряд композиций на его основе, предложены различные конструкции деталей и узлов трения, сочетающего его с металлами и другими материалами [4]. Однако, во-первых, химическая инертность фторопласта создает проблемы обеспечения его прочной адгезионной связи с другими материалами, а во-вторых, процессы переработки его в изделия требуют высоких температур и давлений, то есть связаны с большими затратами труда и энергии.

Целью работы является разработка рецептуры нового композиционного материала, обладающего высокой химической стойкостью, износостойкостью и способностью к переработке высокопроизводительными методами.

Традиционные методы улучшения антифрикционных свойств полимеров за счет введения наполнителей, выполняющих функции твердых смазок, для полиамидов оказались недостаточно эффективным. Основной причиной потери работоспособности является увеличение адгезионной составляющей силы трения, являющейся результатом взаимодействия активных (амидных) групп макромолекул полимера и поверхности металлического контртела. Наиболее эффективными модификаторами полиамидов оказались полиолефины, в частности полиэтилены высокой и низкой плотности.

Технико-экономическая эффективность модифицирования полиамидов полиэтиленами оказалась столь значительной, что большинство материалов антифрикционного назначения на основе полиамидов в своих рецептурах содержат в качестве основного компонента полиэтилен.

Одной из первых была предложена композиция, содержащая порошкообразный полиамид и антифрикционную добавку, в которую дополнительно был введен полиэтилен [6]. Композиция предназначалась для получения антифрикционных покрытий с улучшенными свойствами, в частности стойкостью к истиранию и пониженным значением коэффициента трения.

Дополнительного уменьшения коэффициента трения и повышения устойчивости материала к истиранию при повышенных нагрузках удалось достичь за счет введения в известную композицию дополнительного полимерного компонента – пентапласта, при этом содержа-

ние ингредиентов устанавливалось в следующих соотношениях (масс.%): полиамид 50–90, полиэтилен 5–20, антифрикционные добавки в виде порошков твердых минеральных смазок 0,5–5 и пентапласт 4,5–25 [4]. В качестве антифрикционной добавки композиция дополнительно содержит графит, дисульфид молибдена, окись кадмия и др.

Работоспособность и износостойкость материала повышается за счет введения в базовую композицию термостабилизаторов и ее наполнения некоторыми твердыми минеральными добавками. В частности, предложена полимерная композиция, которая дополнительно содержит стабилизатор (неозон А), трифенилфосфат и фосфогипс при следующем соотношении компонентов (мас.%): полиамид – 65–80, полиэтилен – 10–15, неозон А – 0,05–0,075, трифенилфосфат – 5–10, фосфогипс – 1–10 [5].

Эффекта снижения коэффициента трения достигают введением в состав композиции смазочного масла. Масло удерживается пористой структурой материала, которая создается за счет введения в состав композиции поглощающих веществ. Так известна композиция, содержащая полиамид и полиэтилен, которая дополнительно содержит смазочное масло, торф и йод при следующем соотношении компонентов: полиамид 60,5–78,4; полиэтилен низкой плотности 6–9; смазочное масло 8–14; торф 11–16; йод 0,2–0,5 [6]. Йод в данном составе выполняет функцию термической стабилизации полиамида.

Композиционные составы на основе ПА-6, содержащие в качестве компонента полиэтилен, работоспособны в температурном диапазоне от – 30 до + 120°С.

## Литература

1. Горяинова, А. В. Фторопласты в машиностроении / А. В. Горяинова, Г. К. Божков, М. С. Тихонова – М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.
2. Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев – М.: Химия, 1980. – 304 с.
3. Липатов, Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Ю. С. Липатов. – Киев : Наукова думка, 1980. – 260с.
4. Миронович, Л. Л. Новые композиционные покрытия антифрикционного назначения на основе полиамидов / Л. Л. Миронович, О. Р. Юркевич // Новые износостойкие полимерные материалы фрик-

ционного и антифрикционного назначения, их применение в промышленности. – Л. : ЛДНТП, 1980. – С. 71–74.

5. Семенов, А. П. Металло-фторопластовые подшипники / А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.

6. Полимеры в узлах трения машин и приборов / Под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : машиностроение, 1988. – 328 с.

**А. Г. Бердиев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

## **ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ**

Вакуумный синтез покрытий за счет распыления мишеней, изготовленных из оксидов металлов или кремния, является одним из основных методов формирования оптических покрытий. В настоящее время для просветления оптики широко используется электронно-лучевой метод формирования многослойных покрытий на основе оксидов [1, 2]. Задачей просветляющих покрытий является расширение рабочего спектрального диапазона и уменьшение отражения от поверхностей оптических элементов. Так при формировании покрытий, работающих в широком спектральном диапазоне, включающем ультрафиолетовую, видимую и ближнюю инфракрасную часть спектра, присутствуют некоторые трудности с подбором материала, который должен обладать необходимыми значениями показателя преломления, быть химически устойчивым, стойким к воздействию внешней атмосферы.

Цель данной работы исследование спектральных свойств многослойного покрытия на основе оксидов циркония и кремния для увеличения пропускания оптической подложки.

Многослойные покрытия  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$  формировались на вакуумной установке ВУ-1А, оснащенной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и встраиваемой системой спектрального (широкополосного) оптического контроля серии IRIS (ИРИС) компании ЭссентОптикс (Республика Беларусь). Осаждение покрытий осуществлялось при с максимальным ускоряющим напряжением 12 кВ и током эмиссии от 15 до 150 мА при остаточном давлении в камере  $6 \cdot 10^{-3}$  Па. В качестве исходных материалов в работе использовались стандарт-