

**МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА  
ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОЙ МАТРИЦЕ (СВМПЭ)**

*С.В. ПАНИН*<sup>1,2</sup>, *Д.Г. БУСЛОВИЧ*<sup>1,2</sup>, *С.А. БОЧКАРЕВА*<sup>2</sup>, *Б.А. ЛЮКШИН*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет

<sup>2</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [svp@ispms.tsc.ru](mailto:svp@ispms.tsc.ru)

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен, обладая приемлемыми для полимеров характеристиками прочности, а также низким коэффициентом трения, высокой износо- и химической стойкостью в агрессивных средах, используется для изготовления узлов трения машин и механизмов, а также широко используется в медицине в качестве деталей и узлов ортопедических имплантатов [1]. Однако в силу большой длины полимерных цепей он имеет крайне низкий показатель текучести расплава (ПТР - 0.06 г/10 мин) [2], что не позволяет перерабатывать порошковый СВМПЭ традиционными для конструкционных пластиков методами. С целью увеличения текучести расплава (ПТР) в высокомолекулярную матрицу добавляли полипропилен (ПП), имеющий высокий показатель текучести (ПТР=0,6 г/10 мин). Однако полипропилен, не имея термодинамического родства с СВМПЭ, не имеет адгезию к нему. По этой причине полипропилен, повышая текучесть расплава (технологичность порошковой композиции), резко снижает физико-механические свойства (прочность, удлинение до разрушения) образцов смесей СВМПЭ с полипропиленом.

Возможным способом создания композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), имеющих более высокие технологические свойства и повышенное сопротивление изнашиванию при сухом трении скольжения, является введение частиц полипропилена совместно с полиэтиленом низкого давления, привитым малеиновым ангидритом (HDPE-g-SMA). Выбор подобных наполнителей для введения в неполярную сверхвысокомолекулярную матрицу связан с необходимостью обеспечения адгезии между полимерными компонентами смеси. Задача исследований заключается в определении необходимой при этом степени наполнения.

Выбор полимерных компонент для сверхвысокомолекулярной матрицы с целью увеличения технологичности (экструдирруемости) СВМПЭ обусловлен поиском доступных (промышленно выпускаемых) и эффективных наполнителей для разработки износостойких экструдированных полимерных композитов для 3D-технологий производства. Это позволит изготавливать прочные и износостойкие изделия сложной формы для трибоузлов в машиностроении и медицине. Подход, основанный на усилении модифицирующих эффектов за счет образования более прочных связей на границе раздела фаз «полимер-полимер», является эффективным и перспективным на пути расширения перечня доступных износостойких экструдированных полимерных материалов для успешного их использования в аддитивных технологиях.

В работе использовали сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц порошка 5–15 мкм, порошок полипропилена PP<sub>21030</sub> (размер частиц порошка ~100–200 мкм), порошок полиэтилена низкого давления, привитого малеиновым ангидритом HDPE-g-SMA (размер частиц порошка ~100–200 мкм). Образцы полимерных композитов получали компрессионным спеканием при давлении 10 МПа и температуре 200 °С со скоростью последующего охлаждения 5 °С/мин.

Анализ полученных результатов (рис. 1) показал, что коэффициент трения полимер-полимерных композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена повышается практически у всех композиций относительно чистого СВМПЭ, кроме композиции «СВМПЭ<sub>2122</sub>+20 % HDPE-g-SMA +20 % PP<sub>21030</sub>».

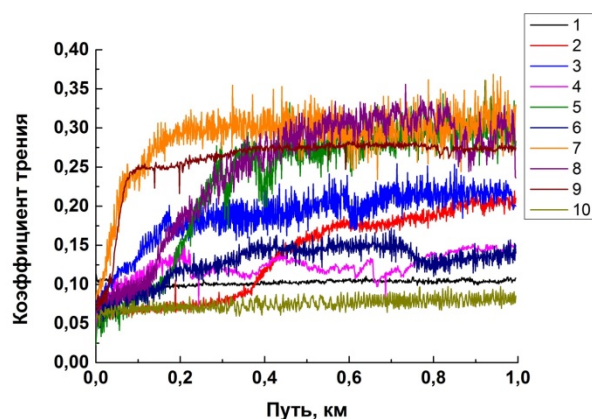


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента трения образцов на основе СВМПЭ от степени наполнения полипропилена: 1 - СВМПЭ<sub>2122</sub>, 2 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+10 % HDPE-g- SMA +10 % PP<sub>21030</sub>», 3 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+10 % HDPE-g- SMA +15 % PP<sub>21030</sub>», 4 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+10 % HDPE-g- SMA +20 % PP<sub>21030</sub>», 5 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+15 % HDPE-g- SMA +10 % PP<sub>21030</sub>», 6 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+15 % HDPE-g- SMA +15 % PP<sub>21030</sub>», 7 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+15 % HDPE-g- SMA +20 % PP<sub>21030</sub>», 8 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+20 % HDPE-g- SMA +10 % PP<sub>21030</sub>», 9 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+20 % HDPE-g- SMA +15 % PP<sub>21030</sub>», 10 - «СВМПЭ<sub>2122</sub>+20 % HDPE-g- SMA +20 % PP<sub>21030</sub>»

Износостойкость трехкомпонентных композитов на основе СВМПЭ представлена в таблице 1. Из таблицы следует, что величина износа полимер-полимерных композиций незначительно увеличивается относительно ненаполненного СВМПЭ ( $V=0,137 \text{ мм}^3$ ). При добавлении в исходный полимер 20 % HDPE-g- SMA +20 % PP<sub>21030</sub> износостойкость оказывается на 25 % выше, чем у чистого СВМПЭ. На основании полученных данных проведен поиск оптимального содержания исследованных полимерных наполнителей.

Таблица 1 – Зависимость характеристики износа ( $\text{мм}^3/\text{час}$ ) образцов на основе СВМПЭ от степени наполнения полипропилена

$\Phi_{\text{HDPE}}$ \ $\Phi_{\text{ПП}}$	10 % полипропилена	15 % полипропилена	20 % полипропилена
10 % HDPE-g-SMA	0,145	0,163	0,142
15 % HDPE-g-SMA	0,127	0,132	0,146
20 % HDPE-g-SMA	0,126	0,154	0,101

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" Министерства образования и науки РФ; Соглашение № 14.604.21.0154, идентификатор проекта RFMEFI60417X0154.

#### Список литературы

1. Kurtz S.M. The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. – L.: Academic press, 2004. 379 p.
2. Panin S.V., Kornienko L.A., Alexenko V.O., Buslovich D.G., and Dontsov Yu.V. Extrudable polymer-polymer composites based on ultra-high molecular weight polyethylene // AIP Conf. Proc. – 2017. – 1915. – pp 020005-1–020005-5.
3. Bochkareva S.A., Grishaeva N.Yu., Lyukshin B.A., Lyukshin P.A., Matolygina N.Yu., Panov I.L. Obtaining of specified effective mechanical, thermal, and electrical characteristics of compo-site filled with dispersive materials // Inorganic Materials: Applied Research. – 2017. – Vol. 8. – Issue 5. – pp. 651–661