

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ ВВЕДЕНИИ ПЛАСТИФИКАТОРА

С.В. ПАНИН<sup>1,2</sup>, В.О. АЛЕКСЕНКО<sup>1,2</sup>, Д.Г. БУСЛОВИЧ<sup>1,2</sup>, Ю.В. ДОНЦОВ<sup>1</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 (СВМПЭ), 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 узлов ортопедических имплантатов [1]. Однако, из-за большой длины полимерных цепей СВМПЭ имеет чрезвычайно низкий показатель текучести расплава (ПТР - 0,06 г/10 мин) [2], что существенно сдерживает возможности его переработки традиционными для полимеров методами производства, такими как шнековая экструзия, литье под давлением и др. Таким образом, вопросы повышения технологичности (экструдированности) композитов на основе высокомолекулярной матрицы, в частности СВМПЭ, остаются не решенными.

Выбор полимерных компонент для введения в матрицу сверхвысокомолекулярного ПЭ с целью увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ обусловлен поиском доступных (промышленно выпускаемых) наполнителей. Это позволит разработать износостойкие экструдированные полимерные композиты для 3D-технологий производства прочных и износостойких изделий сложной формы для трибоузлов в машиностроении и медицине.

В работе исследовали полимер-полимерные композиции на основе СВМПЭ, наполненные промышленно выпускаемым полипропиленом марки 21030. Образцы изготавливали горячим прессованием двухкомпонентных композиций и методом 3D-печати из гранул, полученных путем помола экструдата, после экструзионного смешения тех же полимерных компонентов. Задача исследования – оценить влияние способа и режимов изготовления на формирование надмолекулярной структуры, механические и триботехнические свойства.

В работе использовали сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) фирмы Ticona (GUR-4120) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц порошка 15–50 мкм, порошок полипропилена ПП21030 (размер порошка ~100–200 мкм). Гранулы СВМПЭ после экструзионного смешения имели размер 3–5 мм. Образцы полимерных композитов получали компрессионным спеканием при давлении 10 МПа и температуре 200 °С со скоростью последующего охлаждения 5 °С/мин. Методом 3D-печати из гранул, полученных путем помола экструдата, после экструзионного смешения тех же полимерных компонентов, были получены образцы размером 65×70×10 мм.

На основании полученных результатов (рис. 1) показано, что износостойкость полимер-полимерных композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена при умеренных скоростях скольжения (0,3 м/с) и нагрузках (60 Н) остается на уровне чистого СВМПЭ. При большой скорости и нагрузке на образец (140 Н) происходит кратное возрастание износа СВМПЭ и всех композиций на его основе (в 5-10 раз). Из рис. 1 видно, что величины износа композитов на основе СВМПЭ, полученных экструзионным смешением и дальнейшей 3D-печатью, при нагрузках  $P=60$  Н и 140 Н и скоростях скольжения  $V=0,3$  м/с и 0,5 м/с близки таковым для композитов, полученных спеканием порошковых смесей.

Упругое восстановление [3] композитов незначительно меньше, чем у чистого СВМПЭ (снижается с 46,5 % до 19,6 % при скорости 0,3 м/с и нагрузке 60 Н).

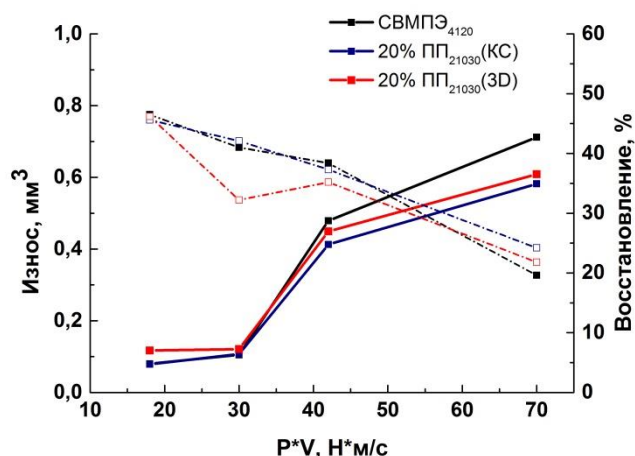


Рисунок 1 – Величина износа (мм<sup>3</sup>) и упругого восстановления (%) для СВМПЭ и композиций «СВМПЭ+20 вес.% ПП» полученных методом компрессионного спекания (КС) и 3D-печатью, в условиях сухого трения скольжения при скоростях 0,3 и 0,5 м/с, при нагрузках 60 и 140 Н на стадии установившегося изнашивания

Температура контртела (табл. 1.) при скорости трибонагружения 0,3 м/с в композите с полимерным наполнителем практически не изменяется и находится в пределе  $T=28\pm 2$  °С. При увеличении скорости до 0,5 м/с на поверхности ненаполненного СВМПЭ формируются наплывы и складки. С повышением нагрузки до 140 Н температура для всех композитов увеличивается до  $51\pm 2$  °С.

Таблица 1 – Значения температуры контртела после окончания трибоиспытаний СВМПЭ и композитов на его основе в различных условиях трибонагружения

Состав	Температура контртела °С			
	18 Н*м/с	30 Н*м/с	42 Н*м/с	70 Н*м/с
СВМПЭ	28	32	38,5	53
СВМПЭ+20%ПП (горячее прессование)	26,6	30,1	34,7	43,1
СВМПЭ+20%ПП (3D-печать)	27,2	32,1	32,3	43,5

В данной работе были определены приемлемые условия трибонагружения (скорость, нагрузка) для материалов из экструдированных полимер-полимерных композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для машиностроения и медицины.

**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. Белошенко В.А., Варюхин В.Н., Возняк Ю.В. Эффект памяти формы в полимерах. // Успехи химии. – 2005. – Т.74. – № 3. – С. 285-303