

## ЭКСТРУДИРУЕМЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (СВМПЭ)

*Д.Г.БУСЛОВИЧ*<sup>2</sup>, *С.В. ПАНИН*<sup>1,2</sup>, *Л.А. КОРНИЕНКО*<sup>1</sup>, *В.О. АЛЕКСЕНКО*<sup>1,2</sup>, *Ю.В. ДОНЦОВ*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск,

<sup>2</sup>НИ Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

E-mail: [dimon\\_261193@mail.ru](mailto:dimon_261193@mail.ru), [svp@ispms.tsc.ru](mailto:svp@ispms.tsc.ru)

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен, обладая приемлемыми характеристиками прочности, а также низким коэффициентом трения, высокой износ- 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 [1-3]. Однако в силу большой длины полимерных цепей он имеет крайне низкий показатель текучести расплава (ПТР - 0.06 г/10 мин), что не позволяет перерабатывать порошковый СВМПЭ традиционными для конструкционных пластиков методами, такими как литье под давлением, шнековая экструзия и др. При этом вопросы повышения технологичности (экструдированности) композитов на основе высокомолекулярной матрицы, в частности СВМПЭ, остаются не решенными.

Для получения экструдированных, износостойких, твердосмазочных полимерных композитов для использования в аддитивных технологиях производства исследованы механические и триботехнические характеристики полимер-полимерных композиций СВМПЭ с целью дальнейшего их использования в качестве матриц. Исследованы смеси СВМПЭ с привитыми и блок-сополимерами полиэтилена низкого давления (HDPE-g-VTMS, HDPE-g-SMA, HDPE-b-EVA), полипропиленом (ПП), блок-сополимерами полипропилена и полиамида с линейным полиэтиленом низкой плотности (PP-b-LLDPE, PA-b-LLDPE) и блок-сополимером сшитого полиэтилена (PEX-b). Выбор полимерных компонент для сверхвысокомолекулярной матрицы с целью увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ обусловлен поиском доступных (промышленно выпускаемых) и эффективных наполнителей для разработки износостойких экструдированных полимерных композитов для 3D технологий производства с целью изготовления прочных и износостойких изделий сложной формы для трибузлов в машиностроении и медицине [4-7].

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.

Исследованы механические характеристики, экструдированность и износостойкость полимер-полимерных композиций на основе СВМПЭ при сухом трении скольжения в условиях различных скоростей и нагрузок.

Показано, что величина износа полимерных смесей при большой скорости и умеренной нагрузке на образец (60 Н) возрастает по сравнению с чистым СВМПЭ, а при большой скорости и нагрузке на образец до 140 Н происходит кратное возрастание износа СВМПЭ и всех композиций на его основе (в 5-10 раз). Определены условия эксплуатации трибузлов из композитов на основе СВМПЭ для машиностроения и медицины.

Проанализированы наиболее эффективные наполнители для экструдированной матрицы СВМПЭ и показано, что композиты на их основе могут быть использованы в аддитивных технологиях получения изделий в узлах трения в машиностроении и медицине.

### Список литературы

1. Brian J. Briscoe and Sujeet K. Sinha, (2008) Tribological applications of polymers and their composites: Past, present and future prospects, Elsevier, p. 1–14.

2. Steven M. Kurtz, (2004) The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement, Academic press, 379 p.
3. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K.W., Alstadt V., (2007) Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications, Journal of Applied Polymer Science, 104, pp. 4173-4181.
4. Yas Khalil, Adam Kowalski, and Neil Hopkinson. (2016) Influence of laser power on tensile properties and material characteristics of laser-sintered UHMWPE. Manufacturing Rev. 3 (15). pp. 1-9.
5. Прут Э.В., Зеленецкий А.Н. Химическая модификация и смешение полимеров в экструдере-реакторе // Успехи химии.- 2001 (70), №1, 72-87.
6. Краснов А.П., Саид-Галиев Э.Е., Афоничева О.В. и др. Поведение при трении смесей несовместимых полимеров сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полиметилметакрилата, полученных в среде сверхкритического диоксида углерода // Трение и износ.- 2007(28), № 3, 288-295.
7. Панин С.В., Корниенко Л.А., Ваннасри С. и др. Сравнительный анализ влияния нано- и микронаполнителей окисленного Al на фрикционно-механические свойства СВМПЭ // Трение и износ.-2010(31), №5, 353-360.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧАЕМОГО МЕТОДОМ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Г.Е.ДУБИНЕНКО*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [dubinenko.gleb@gmail.com](mailto:dubinenko.gleb@gmail.com)

Аддитивные технологии предполагают изготовление физического объекта (детали) методом послойного нанесения материала, в отличие от традиционных субтрактивных методов формирования детали, за счёт удаления материала из массива заготовки. Послойное формирование представляет собой процесс построения в среде воздуха или инертного газа с нагревом и охлаждением определенных зон материала, либо подачей уже нагретого материала непосредственно в зону построения изделия. К числу широко используемых в настоящее время аддитивных технологий относятся моделирование методом послойного наплавления (FDM), выборочное лазерное плавление (SLM), электронно-лучевое плавление (EBM) [1-5].

При формировании отдельного слоя изделия из объема неуплотненного металлического порошка реализуются уникальные условия соединения контактирующих частиц порошка, обеспечивающиеся спеканием порошинок. Важным условием получения сплошной структуры отдельного слоя с необходимыми конечными свойствами является правильный подбор технологических параметров процесса аддитивного производства. На сегодняшний день существует проблема выбора технологических параметров процесса аддитивного плавления для новых и экспериментальных материалов, производство изделий из которых еще не было отработано [6-8].

Отдельный интерес представляют энергетические условия взаимодействия контактирующих частиц металлического. Источник энергии, подводя тепло непосредственно в область формирования слоя материала, инициирует оплавление частиц порошка, тем самым запуская механизмы соединения между отдельными порошинками. Прочность такого соединения порошинок в отдельном сформированном слое, в совокупности с правильно подобранным гранулометрическим составом порошка, имеет прямое влияние на плотность и пористость конечного изделия, полученного методом аддитивной технологии [4].