

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ АНТИФРИКЦИОННЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭКСТРУДИРУЕМОЙ МАТРИЦЫ СВМПЭ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

^{1,2}С.В. Панин, д.т.н., проф., ¹Л.А.Корниенко, к.ф.-м.н., с.н.с.,
^{1,2}Д.Г. Буслович, аспирант гр. А7-48, ²Ю.В.Донцов, аспирант гр. А6-48
¹ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,
тел.(3822)-286-904

²ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-564-114

E-mail: svp@ispms.tsc.ru

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает рядом уникальных свойств (износостойкость, низкий коэффициент трения, биоинертность), определяющих его исключительные области промышленного и медицинского применения. СВМПЭ, обладая достаточно высокими характеристиками прочности, а также низким коэффициентом трения, высокой износо- и химической стойкостью в агрессивных средах, находит применение в узлах трения машин и механизмов, а также в медицине для изготовления ортопедических имплантатов [1—3]. Однако СВМПЭ при такой высокой молекулярной массе проявляет чрезвычайно высокую вязкость расплава, что делает его малоприспособным для обработки стандартными для полимеров методами (шнековая экструзия, литье под давлением и др.) [4]. В работе [5] на основе экспериментально полученных результатов показано, что экструдруемые полимер-полимерные композиты на основе сверхвысокомолекулярной матрицы, полученные методом 3D-печати, по совокупности трибомеханических свойств превосходят аналогичные характеристики композитов, полученных компрессионным спеканием.

Стекловолокно широко используют в качестве наполнителя для полимерных композиционных материалов, прежде всего для повышения их механических свойств [6]. В настоящей работе на основе экструдруемой многокомпонентной полимер-полимерной матрицы на основе СВМПЭ изготовлены композиты, содержащие в качестве наполнителя стекловолокно размером 200 мкм. Исследованы триботехнические характеристики экструдруемых, высокопрочных и антифрикционных композитов, полученных 3D-печатью, с целью их использования в узлах трения машин и механизмов, работающих в различных условиях эксплуатации.

В работе использовали порошки СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) с молекулярной массой 4,5 млн и размером отдельных частиц 5 мкм (слабо агломерированных в крупные фрагменты размером до 120-150 мкм). В качестве пластифицирующих добавок – привитый полиэтилен высокой плотности HDPE-g-SMA (молотый гранулят) и порошок полипропилена марки PP21030 (ПТР=3,0 г/10 мин). В качестве наполнителя использованы стекловолокна длиной 200 мкм в количестве 5 вес. %. С целью эффективного совмещения мелких частиц СВМПЭ (отдельные частицы размером менее 20 мкм) с крупными (сотни мкм) частицами пластификатора для реализации 3D-печати, проводили их экструзионное смешение (компаундирование) в двухшнековом экструдере «Rondol» (10 mm Twin Screw Extruders, Microlab). Температура на выходе экструзионной головки составляла $T = 210$ °С. Далее, гранулы со средним размером 3-5 мм получали путем последующего механического помола экструдата диаметром 3 мм на измельчителе «Rondol».

Объемные заготовки в форме плиток размером 65×70×10 мм (полимерных композитов) изготавливали: а) компрессионным спеканием двухкомпонентных

порошковых смесей при давлении $P = 10$ МПа и температуре $T = 200$ °С в лабораторной установке на базе гидравлического пресса «МС-500» (ООО «НПК ТехМаш»), оборудованного размыкаемой кольцевой печью (ООО ИТМ, Томск); скорость охлаждения заготовок без снятия давления составляла 5 °С/мин; б) компрессионным спеканием гранул двухкомпонентной смеси, полученных методом экструзионного смешения в двухшнековом экструдере (см. выше); в) методом FDM (Fused Deposition Modeling) из гранул тех же полимерных компонентов на лабораторном принтере ArmPrint – 2 (НИ ТПУ, Томск) с диаметром сопла 0,4 мм; температура стола, верхней и нижней областей подачи филамента (гранул) составляла $T = 90, 160$ и 200 °С соответственно; скорость послойного нанесения и толщина наносимого слоя материала составляла 20 мм/с и 0,3 мм соответственно. Из полученных всеми тремя способами заготовок с помощью вертикальной фрезы на станке с числовым программным управлением вырезали образцы требуемой формы.

Механические свойства материалов при растяжении определяли на испытательной машине Instron 5582 на образцах в форме двойной лопатки при количестве образцов одного типа не менее 4. Объемный износ образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «шар-по-дису» на трибометре CSEM H2000 (CSEM, Швейцария) при нагрузке $P = 5$ Н (расчетная величина контактного давления $P_{\max} = 31,8$ МПа) и скорости скольжения $V = 0,3$ м/с. Радиус контртела в виде шарика из стали ШХ15 составлял 6 мм.

Показано, что в композитах со стекловолокном, полученных прессованием из гранул, формируется более однородная надмолекулярная структура, прежде всего за счет двухшнекового компаундирования. Это и обеспечивает повышение механических характеристик. Наполнение экструдруемой матрицы «СВМПЭ + 17 вес. % HDPE-g-VTMS + 12 вес. % PP» стекловолокном в объеме 5 вес. % приводит к уменьшению объемного износа и коэффициента трения композитов, сформированных всеми тремя способами. При этом их значения близки друг другу независимо от способа получения композитов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг., а также поддержана грантом президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ НШ-5875.2018.8. Авторы выражают благодарность РФФИ за поддержку исследований, выполненных в рамках проектов № 19-38-90106 и 18-58-00037.

Список литературы:

1. Briscoe B.J., Sinha S.K. Tribological applications of polymers and composites: Past, present and future prospects // Elsevier. 2008. P. 1—14.
2. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K.W., Altstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications // Journal of Applied Polymer Science. 2007. 104. P. 4173—4181.
3. Б.А. Люкшин и др. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения. – М. «Наука», 2017. — 311 с.
4. Bala A.S., Wahab M.S., Ahmad M., Soon C.F., and Ramli M.S. Processability and Thermal Properties of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene/Polypropylene Blends // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, No. 8. – p. 5481–5486.
5. S.V. Panin, D.G. Buslovich, L.A. Kornienko, V.O. Alexenko, Yu.V. Dontsov and B. B. Ovechkin. Structure and tribomechanical properties of extrudable ultra-high molecular weight polyethylene composites fabricated by 3D-printing // AIP Conf. Proc. 2141. – p. 040011-1–040011-6 (2019).

ХII Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»

6. Mimaroglu A, Unal H, Arda T. Friction and wear performance of pure and glass fibre reinforced polyether-imide on polymer and steel counterface materials // *Wear.* – 2007. №262(11-12). – p. 1407-1413.