

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН  
РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ В ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И  
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ**

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

<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: vl.aleksenko@mail.ru

Антифрикционные полимерные композиционные материалы широко применяются в составе узлов трения и в качестве уплотнительных элементов в различных видах современной техники и медицине, определяя их надежность и долговечность. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (УНМВРЕ) занимает особое место среди полимерных смол благодаря хорошим деформационно-прочностным показателям, низкому коэффициенту трения и высокой износостойкости, химической стойкости к агрессивным средам, широкому температурному интервалу формостабильности. Выбором наполнителей можно целенаправленно изменять функциональные свойства и расширять область использования УНМВРЕ в машиностроении, химических технологиях, сельском хозяйстве и других областях техники [1-3]. В частности, углеродные волокна позволяют одновременно обеспечить повышение прочностных характеристик, а также повышение износостойкости композитов в различных условиях трибонагружения [4,5].

В настоящей работе исследованы механические и триботехнические характеристики композитов на основе СВМПЭ, наполненного углеродными волокнами различной размерности (нано-, микро- и милли) в условиях различных нагрузок и скоростей скольжения (60 Н×0,3 м/с, 60 Н×0,5 м/с, 140 Н×0,3 м/с, 140 Н×0,5 м/с).

Использовали порошок СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн. и размером частиц  $5 \div 15$  мкм, углеродные нановолокна «Таунит» ( $\varnothing=60$  нм), короткие углеродные микроволокна средней длиной  $\sim 70$  и  $200$  мкм ( $\varnothing 7,5$  мкм) и длинные волокна  $\sim 2$  мм. Механические характеристики определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки (ГОСТ 11262-80). Испытания на износостойкость проводили на машине трения 2071 СМТ-1 по схеме «вал-колодка». Для исследования поверхностей испытанных образцов использовали оптический профилометр New View 6200 (Zygo). Надмолекулярную структуру композитов наблюдали с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 (Carl Zeiss) при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте.

Показано, что прочностные характеристики (модуль упругости, предел текучести, твердость) возрастают при армировании СВМПЭ углеродными микро- и (милли)волокнами. Нановолокна в объеме 0,5 вес.% практически не изменяют прочностных свойств композита. Триботехнические характеристики (коэффициент трения, объемный износ) зависят от размера волокон и условий трибоиспытаний (нагрузка, скорость скольжения). При умеренных условиях трибонагружения (60 Н×0,3 м/с) наиболее эффективным наполнителем являются нановолокна, выполняющие роль твердой смазки (износостойкость повышается в 2,7 раза). В жестких условиях испытаний (140 Н×0,5 м/с) эффективными оказываются длинные углеродные волокна (2 мм), принимающие на себя действие сжимающей и сдвигающей нагрузки от контртела, защищая поверхность трибосоприжения от интенсивного изнашивания (износостойкость повышается вдвое). Обсуждаются механизмы изнашивания композитов на основе СВМПЭ с углеродными волокнами различной размерности.

Показано, что уровень упругого восстановления характеристик после трибоиспытаний композитов на основе СВМПЭ с углеродными волокнами может служить критерием выбора размера и содержания наполнителя, уровня нагрузок и скоростей при длительной эксплуатации изделий в трибоузлах.

**Благодарности.** Работы выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение № 14.604.21.0154, идентификатор проекта RFMEFI60417X0154).

**Список литературы**

1. Zoo V.S., An J.-W., Lim D.-Ph., Lim D.-S. Effect of carbon nanotube addition on tribological behavior of UHMWPE // Tribology Letters. – 2004. – Vol. 16, N 4. – P. 305–309.
2. Z. Wei, Ya-Pu Zhao, S.L. Ruan, P. Gao. A study of the tribological behavior of carbon-nanotube-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites// Surface and Interface Analysis. – 2006. – Vol. 38. – P. 883 – 886.
3. Brian J. Briscoe, Sujeet K. Sinha. Tribological applications of polymers and composites: Past, present and future prospects, Elsevier, – 2008. – P. 1–14.
4. S.V. Panin, L.A. Kornienko, V.O. Alexenko, L.R. Ivanova, S.V. Shilko. Extrudable composites based on UHMWPE: Prospects of application in additive technologies// Nanoscience and Technology, 8, Issue 2, 2017. – P. 85–94.
5. S.V. Panin, L.A. Kornienko, V.O. Alexenko et. al. Comparison on efficiency of carbon nano- and microfibers in formation physical-mechanical and tribotechnical properties of polymer composites based on highmolecular weight matrix //Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. – 2016. – Vol. 59. – N. 9. – P. 99–105 (in Russian).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СВЯЗУЮЩЕГО НА СТРУКТУРУ СПЕЧЕННОГО ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ЖЕЛЕЗА**

*А.И. АМАНОВ, Е.А. ДАРЕНСКАЯ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [darenskaya@tpu.ru](mailto:darenskaya@tpu.ru)

Связующее, входящее в состав фидстока, является важным элементом в процессе инъекционного формования. Оно должно придавать смеси (фидстоку) хорошую формуемость и легко удаляться при последующей обработке [1-4].

Цель работы: Исследование влияния состава связующего на свойства спеченного технического железа.

В работе исследованы три цилиндрических образца, полученных методом порошковой металлургии из смеси порошка карбонильного железа и двухкомпонентного связующего, состав которого представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав связующих

Номер связующего	Содержание, % масс.	
	Полипропилен	Парафиновый воск
1	20	75
2	25	65
3	35	35

Прессование формовок проводили на разрывной машине Р-20. Режим формования образцов: температура нагрева пресс-формы 110 °С и нагрузка 1 т. Спекали формовки в камерной вакуумной электропечи типа СВНЗ при температуре 1300 °С в течение 2 часов.

Металлографический анализ структуры образцов на подготовленных шлифах проведен на металлографическом микроскопу ЛабоМет-И с системой визуализации. Определение пористости образцов проводили с помощью программы «Анализатора