

**МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА, АРМИРОВАННЫХ  
РАЗЛИЧНЫМИ МИКРОВОЛОКНАМИ**

ЛЕ ТХИ МИ ХИЕП<sup>1</sup>, С. В. ПАНИН<sup>1,2</sup>, Л. А. КОРНИЕНКО<sup>2</sup>, В. О. АЛЕКСЕНКО<sup>1,2</sup>, Л. Р. ИВАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: myhiepru@gmail.com

Полифениленсульфид (ПФС) является перспективным высокотемпературным конструкционным термопластом, обладающим высокими показателями свойств теплостойкости, жесткости, ударопрочности, гидролизо-химической стойкости, технологичности, формостабильности, высокой адгезии к большому количеству материалов (стеклу, керамике, титану, бронзе, стали). Это определяет области его применения: машиностроение, авиационная и автомобильная, газовая и нефтяная промышленность, электротехника и т. п. Однако чистый ПФС обладает низкой износостойкостью и высоким коэффициентом трения (0,34), что ограничивает его применение в узлах трения.

Для повышения триботехнических свойств полимеров, как правило, используют различные типы наполнителей, в частности твердосмазочные микрочастицы (ПТФЭ, MoS<sub>2</sub>, графит,) и нанонаполнители (углеродные нановолокна/нанотрубки, оксиды) [1-3]. Совместное введение твердосмазочных и армирующих наполнителей в полимерную матрицу позволяет комплексно повысить трибомеханические характеристики, расширяя тем самым номенклатуру и области применения полимерных композитов с заданными эксплуатационными свойствами в узлах трения машин и механизмов.

В настоящей работе с целью применения микроволокон в качестве одновременно армирующих и твердосмазочных наполнителей были исследованы механические и триботехнические характеристики композитов на основе ПФС, армированных различными микроволокнами (углеродными, стеклянными, базальтовыми) в условиях сухого трения скольжения.

Использовали порошок ПФС фирмы Ticona Fortron (0205B4) со средним размером частиц 20 мкм, углеродные, стеклянные и базальтовые волокна со средней длиной 200 мкм. Композиты на основе ПФС получали методом горячего прессования. Твердость по Шору Д определяли на приборе Instron 902 в соответствии с ASTM D 2240. Испытания на трехточечный изгиб проводили с помощью электромеханической испытательной машины Instron 5582 согласно ISO 178: 2010.

Испытание образцов на изнашивание в режиме сухого трения проводили по схеме «шар-на-диске» при нагрузке  $P=10$  Н и скорости скольжения  $V=0.3$  м/с на трибометре CSEM CH-2000 в соответствии с ASTM G99. Диаметр контртела, выполненного из стали ШХ15, составлял 6 мм. Путь испытания равен 3 км, радиус траектории вращения - 10 мм. Для исследования поверхностей испытанных образцов использовали оптический профилометр New View 6200 (Zygo). Надмолекулярную структуру композитов исследовали 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.

В таблице 1 приведены механические характеристики композитов на основе ПФС, наполненных 40 вес. % углеродными, стеклянными и базальтовыми волокнами. Из таблицы следует, что твердость по Шору Д сильно возрастает при введении углеродных волокон. Добавление других волокон (стеклянных и базальтовых) незначительно повышает твердость материалов. Модуль упругости при изгибе возрастает при добавлении микроволокон. При этом добавление углеродных волокон позволяет повысить модуль упругости в 3,5 раза по сравнению с чистым ПФС. Предел прочности также значительно повышается при добавлении УВ. Наполнение стеклянными и базальтовыми волокнами приводит к

уменьшению предела прочности композитов. Деформация при разрыве существенно снижается при добавлении всех исследованных наполнителей.

Таблица 1 – Механические свойства композитов на основе ПФС, армированных различными микроволокнами

Материалы	Плотность г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору Д	Предел прочности, МПа	Модуль упругости на изгибе, МПа	Деформация при разрыве, %
ПФС	1,33	79,5±0,5	97,8±1,6	3930±71	2,56±1,4
40% УВ	1,47	84,1±0,4	147,8±4,3	13478±894	0,99±0,1
40% СВ	1,74	80,0±0,7	69,8±2	6773±714	1,1±0,1
40% БУ	1,68	80,7±0,5	75,1±7,3	8121±522	1,04±0,07

Результаты трибоиспытаний показаны на рисунке 1. Видно, что добавление в ПФС 40 вес. % углеродных и базальтовых микроволокон позволяет повысить износостойкость композитов в 4 раза по сравнению с чистым полимером. При этом, наполнение стеклянными волокнами в количестве 40 вес. % приводит к снижению износостойкости композитов на основе ПФС (износостойкость в 2 раза ниже по сравнению с чистым ПФС).

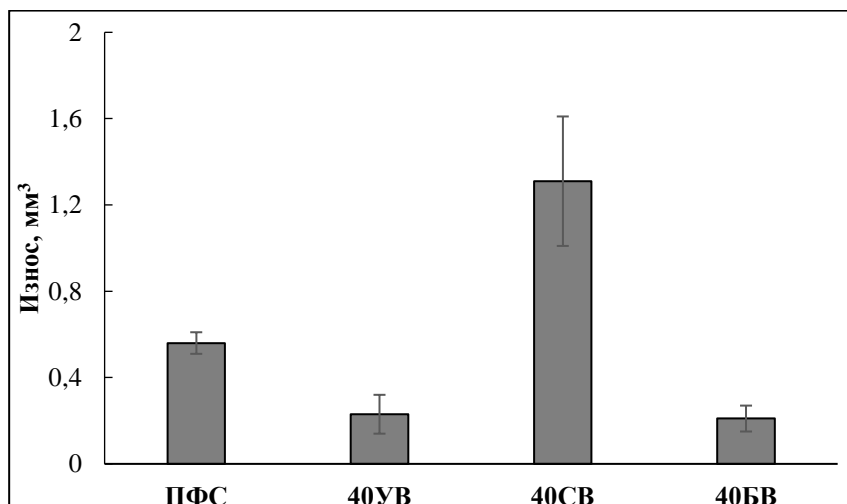


Рисунок 1 – Объемный износ ПФС и композитов на его основе с волокнами

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 16-48-700192\_p\_a, а также гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-5875.2018.8.

**Список литературы**

1. Laigui. W, Shengrong Yang, Weimin Liu and Qunji Xue. An investigation of the friction and wear behaviors of polyphenylene sulfide filled with solid lubricants. Polymer engineering and Science, Vol.40. No.8, (2000), pp.1825-1832.
2. M. H. Choa and S. Bahadura . A study of the thermal, dynamic mechanical, and tribological properties of polyphenylene sulfide composites reinforced with carbon nanofibers. Tribology Letters, Vol. 25, No. 3, (2006), pp. 237-245.
3. Díez-Pascual A M, Naffakh M, Marco C and Ellis G. Rheological and tribological properties of carbon nanotube/thermoplastic nanocomposites incorporating inorganic fullerene-like WS<sub>2</sub> nanoparticles. J Phys Chem B 2012; 116: 7959–7969.