

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРСУЛЬФОНА (ПЭС) АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ

¹ЧАНЦЗЮНЬ ХЭ., ²Д.Г. БУСЛОВИЧ., ²Л.А. КОРНИЕНКО., ^{1,2}С.В. ПАНИН

¹Томский политехнический университет, Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

E-mail: syhk9912@163.com

Полиэфирсульфон (ПЭС) представляет собой аморфный инженерный термопласт. Температура термодформации и стеклования ПЭС достигает 200 и 225 °С соответственно, что обеспечивает его исключительную термостойкость при температуре эксплуатации до 180 °С [1]. Благодаря этим замечательным свойствам, ПЭС очень перспективен в таких областях, как, медицина, микроэлектроника, автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и т.д. [2]. Однако относительно низкие прочность, модуль упругости и износостойкость ограничивают его широкое применение. Для улучшения механических и трибологических характеристик ПЭС были предложены различные подходы, включая смешивание с другими полимерами, включение нанонаполнителей и волокнистых тканей и т.д. [3].

В данной работе были исследованы трибологические свойства двухкомпонентных композитов на основе ПЭС, наполненных углеродными волокнами трех различных длин (100 мкм, 200 мкм, 2 мм), а также трехкомпонентных композитов на основе ПЭС/20УВ_{2мм} (вес.%), дополнительно наполненных различными твердосмазочными включениями (графит, MoS₂) либо наночастицами (SiO₂, SiC) при скорости скольжения (0,3 м/с) и нагрузки 60Н.

В настоящей работе использован порошок ПЭС и размером частиц 10 мкм, молотые углеродные волокна (l = 100мкм, 200мкм), рубленные углеродные волокна (l = 2 мм), Оксид графена (∅ = 10–100нм), MoS₂ наночастицы (∅ ≈ 20нм), галлуазит нанотрубки (a = 3.14Å, b = 8.9Å, c = 7.21 Å), SiO₂ наночастицы (∅ = 25–30нм), SiC наночастицы (∅ = 25–30нм).

Трибологические свойства композитов были испытаны на машине трения СМТ-1 по схеме «вал-колодка». Скорость скольжения составляла 0,3 м/с, нагрузка на образец - 60Н. Образцы обрабатываются в прямоугольные формы размером 10 x 6,35 x 16 мм. Диаметр контртела составлял 35мм. Контртела изготовлены из подшипниковой стали ШХ15 и керамики Al₂O₃. Морфология поверхности образцов после испытаний на трение анализируется с помощью контактного профилометра Alpha-Step IQ. Структура исследована с помощью растрового электронного микроскопа.

На рисунке 1 приведены зависимости, иллюстрирующие влияние длины углеродных волокон на трибологические свойства двухкомпонентных композитов ПЭС-УВ.

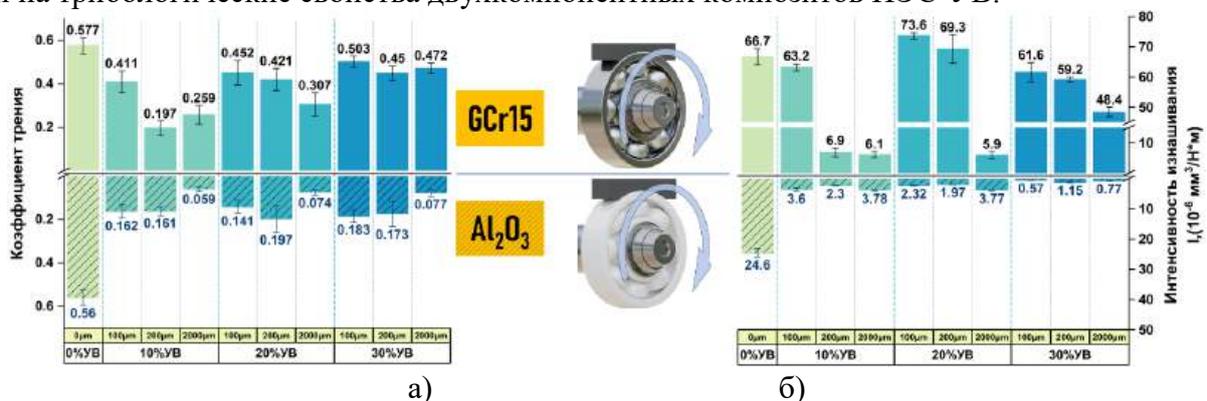


Рисунок 1. Трибологические свойства композитов на основе ПЭС, наполненных углеродными волокнами различной длины и массовой доли:

а) коэффициент трения б) интенсивность износа

Показано, что введение рубленных УВ длиной 2мм значительно повысило износостойкость композитов. Введение 10 % УВ_{2мм} снизило коэффициент трения ПЭС на 56 % до 0,259 (рисунок 1, а). При этом интенсивность изнашивания снизилась в 11 раз до $6,1 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м (рисунок 1, б).

Интенсивность изнашивания композитов, содержащих 10 % УВ_{200мкм} и 20 % УВ_{2мм} была минимальной, это связано с образованием трибослоя на дорожке трения. Введение до 30 % УВ_{2мм} повысил коэффициент трения и интенсивность изнашивания композитов, до 0,472 и $48,4 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, что было близко к показателям ненаполненного ПЭС.

В работе проведено исследование роли введения ряда твердосмазочных наполнителей на сопротивление изнашиванию композитов на основе ПЭС/20УВ_{2мм}. Массовая доля наночастиц составляла 1 %.

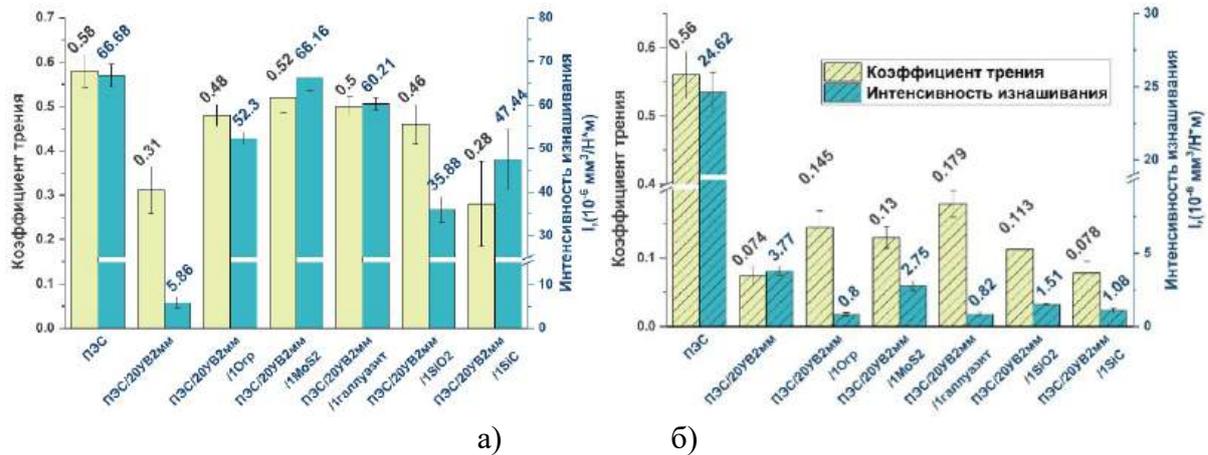


Рисунок 2. Влияние твердосмазочных наполнителей на трибологические свойства композитов ПЭС/20УВ_{2мм}

а) контртело - ШХ15 б) контртело - Al₂O₃

Видно, что введение всех пяти наночастиц приводит к значительному увеличению интенсивности изнашивания, когда в качестве контртела используется металл. Это связано с тем, что в условиях низкой нагрузки наночастицы неэффективно удаляют оксиды с металлического контртела, а агломерация наночастиц, выделяющихся на границе трения, вызывает абразивный износ. Трибослой также трудно сформировать на поверхности композита в активной химической среде, что приводит к увеличению интенсивности изнашивания. При использовании керамики в качестве контртела, благодаря стабильным химическим свойствам, не происходит химической реакции между керамическим контртелом и матрицей. В то же время нанонаполнители как дисперсные упрочняющие частицы укрепляют композиционный материал ПЭС/20УВ_{2мм}, упрочняют трибослой, и снижают интенсивность изнашивания.

Видно, что введение наночастиц снижает интенсивность износа композита ПЭС/20УВ_{2мм}. Снижение значений CoF до 0,1~0,2 указывает на формирование трибослоя, а одновременное введение наночастиц еще больше снизило интенсивность износа в 1,4–4,7 раза. Композиты с нанотрубками галлуазита, наночастицами SiO₂ и SiC показали наилучшие трибологические характеристики.

На поверхности ПЭС/20УВ_{2мм}/1ОгР и ПЭС/20УВ_{2мм}/1галлуазит было обнаружено большое количество разрушенных УВ_{2мм} и фрагментов, прикрепленных к дорожке износа и обеспечивших формирование стабильных трибослоев (рисунок 3, а и б). Согласно рисунку 3, в, матрица также была разрушена и повреждена локально. На дорожке трения ПЭС /20УВ_{2мм}/1 SiO₂ и ПЭС/20УВ_{2мм}/1SiC были обнаружены целые УВ (рисунок 3, г и д, соответственно). Это позволяет предположить, что они могут быть частью сформировавшегося трибослоя.

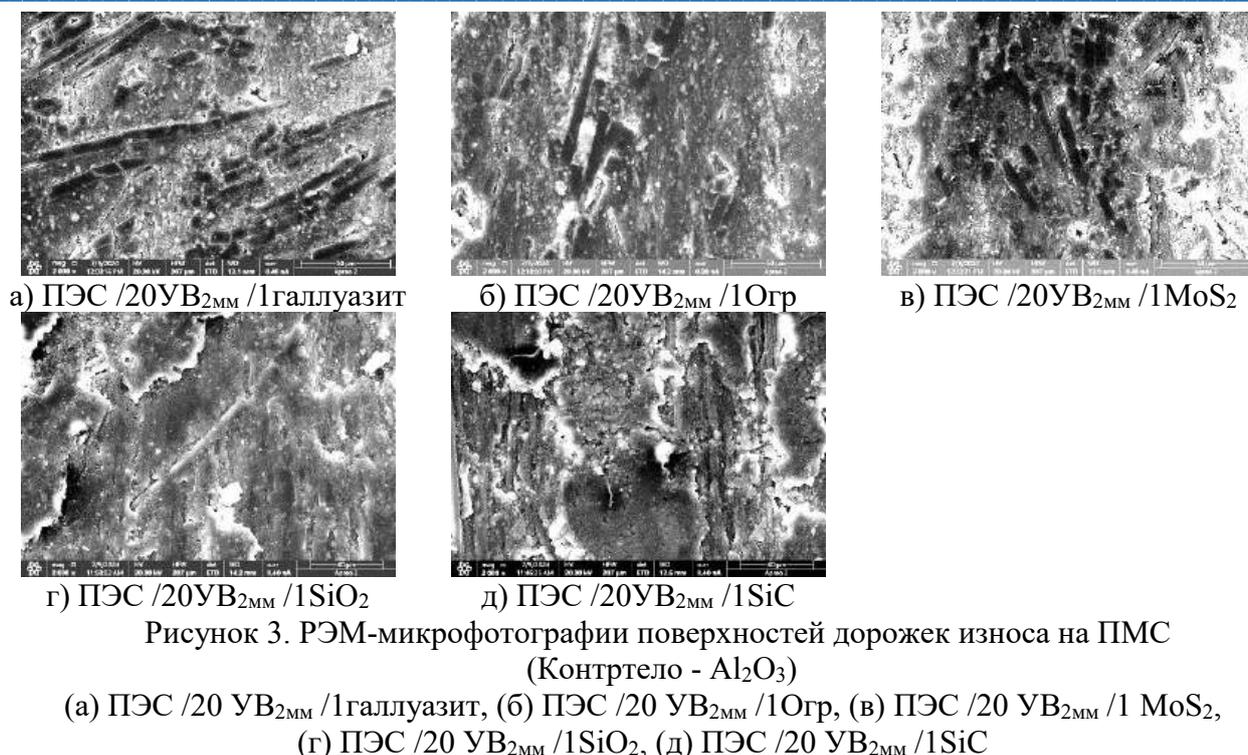


Рисунок 3. РЭМ-микрофотографии поверхностей дорожек износа на ПМС (Контртело - Al₂O₃)

(а) ПЭС /20 УВ_{2ММ} /1галлуазит, (б) ПЭС /20 УВ_{2ММ} /1Огр, (в) ПЭС /20 УВ_{2ММ} /1 MoS₂, (г) ПЭС /20 УВ_{2ММ} /1SiO₂, (д) ПЭС /20 УВ_{2ММ} /1SiC

Заключение

Показано, что введение рубленных УВ длиной 2 мм значительно повысило износостойкость композитов. Коэффициент трения образца ПЭС/30 вес. %УВ_{2ММ} снизился до 0,077, что по сравнению с ненаполненным ПЭС на 7 раз меньше; интенсивность изнашивания снизилась в 32 раза, с 24,62 до 0,77.

В случае использования металла в качестве контртела, введение наночастиц не приводит к снижению интенсивности изнашивания композита, что связано с химической реакцией между металлическим контртелом и композитом. При использовании керамики в качестве контртела, дополнительное введение 1 вес. % наночастиц галлуазита, SiO₂ и SiC, в качестве дисперсных упрочнителей, развитию процесса формирования трибослоя (путем перемешивания материала матрицы и волокон в процессе трения), а одновременное добавление наночастиц еще больше снизило интенсивность износа в 1,4-4,7 раза.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0010.

Список литературы

1. Fei Li, Yu Liu, Cheng-Bing Qu. Enhanced mechanical properties of short carbon fiber reinforced polyethersulfone composites by graphene oxide coating // Polymer – 2015. – Vol. 59. – P. 155–165.
2. Scamporrino, E., Mineo, P., Scamporrino, A. Polyethersulfone-epoxy terminated materials as thermosetting resins for microelectronic devices. // J. Polym. Sci. A Polym. Chem. – 2009. – Vol. 47. – P. 5682-5689.
3. Sen-Sen Du, Fei Li, Hong-Mei Xiao. Tensile and flexural properties of graphene oxide coated-short glass fiber reinforced polyethersulfone composites // Composites Part B: Engineering – 2016. – Vol. 99. – P. 407-415.