

4. Zhang J. et al. Disorder-to-order phase transition and multiple melting behavior of poly (L-lactide) investigated by simultaneous measurements of WAXD and DSC // *Macromolecules*. – 2008. – V. 41. – №. 4. – P. 1352-1357.
5. Loo J. S. C., Ooi C. P., Boey F. Y. C. Degradation of poly (lactide-co-glycolide)(PLGA) and poly (L-lactide)(PLLA) by electron beam radiation // *Biomaterials*. – 2005. – V. 26. – №. 12. – P. 1359-1367.
6. Milicevic D., Trifunovic S., Galovic S., Suljovrujic E. Thermal and crystallization behavior of gamma irradiated PLLA // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2007. – V. 76. – P 1376-1380.

Исследование свойств микро и нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена

Нгуен Суан Тьук, Л.А. Корниенко
Email: nxthuc1986@gmail.com

*Научный руководитель: С.В. Панин, д.т.н., проф. кафедры ММС, зам. директор ИФПМ-СО РАН
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет*

Введение. При создании твердосмазочных композитов в полимерную матрицу вводят дисперсные наполнители, например, графит и дисульфид молибдена, что расширяет возможности применения антифрикционных композитов в высоконагруженных узлах трения [1-3]. В работе [4] в качестве твердой смазки в СВМПЭ введен политетрафторэтилен (ПТФЭ), обладающий низким сопротивлением сдвигу, слабым адгезионным взаимодействием, способностью образовывать пленки переноса и коэффициентом трения наименьшим в сравнении с другими промышленно выпускаемыми полимерными материалами. Показано, что ПТФЭ выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания композиций СВМПЭ-ПТФЭ при сухом трении скольжения и в условии смазочной среды, увеличивая износостойкость кратно. Наилучшие показатели износостойкости показывает композиция СВМПЭ+10вес.% ПТФЭ (в 5 раз).

В данной работе было использовано использование нано и микрокомпозитов как способ повышения износостойкости изделий и расширения номенклатуры антифрикционных композитов для применения в различных отраслях техники и условиях эксплуатации трибосопряжений.

Методики исследований. Для определения износостойкости композитов в условиях сухого трения, граничной смазки и абразивного изнашивания в работе использовали порошок СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5-15 мкм, порошок политетрафторэтилена Ф-4ПН₂₀ (Ø 14 мкм), нановолокна углерода (УНВ - Ø 60 нм) и AlO(OH) (Ø 10 нм), наночастицы SiO₂ (Ø 90-100 нм), микрочастицы AlO(OH) (2-3 мкм) и Al₂O₃ (50 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200° С со скоростью последующего охлаждения 4°С/мин. Перемешивание смесей порошков СВМПЭ, ПТФЭ и наполнителей проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне.

Результаты. В таблице 1 приведены трибомеханические характеристики чистого СВМПЭ, матрицы СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ и композитов на основе гибридной матрицы.

Таблица 1. Механические свойства и коэффициент трения нано и микрокомпозитов на основе матрицы СВМПЭ+10 вес.%ПТФЭ при использовании частиц Ф4

Содержание наполнителя, вес.%	Плотность, ρ , г/см ³	Твердость по Шору D	Предел прочности σ_b , МПа	Удлинение до разруш. ε , %	Кристал. χ , %	Коэф. трения f
СВМПЭ	0,92	59,5±0,6	32,3±0,9	485±23,6	56,5	0,120
СВМПЭ+10ПТФЭ	1,00	59,6±0,6	27,0±1,2	428±25,1	41,6	0,089
0,5 AlO(OH) нано	1,00	58,3±0,5	29,7±1,2	439±23,5	40,5	0,099
0,5 SiO ₂ нано	1,00	58,6±0,4	28,8±0,9	409±19,5	42,3	0,098
0,5 УНВ нано	1,00	58,5±0,6	28,2±1,2	400±22,1	42,1	0,096
20 Al ₂ O ₃ микро	1,14	61,2±0,6	22,7±1,3	296±14,9	29,2	0,118
20 AlO(OH)микро	1,16	60,5±0,7	24,2±1,3	333±20,1	30,5	0,101

Из таблицы видно, что твердость по Шору D микрокомпозитов на основе смесей СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ незначительно уменьшается по сравнению с чистым СВМПЭ, твердость микрокомпозитов возрастает. Предел прочности и относительное удлинение при разрыве уменьшаются незначительно в микрокомпозитах, в микрокомпозитах эти характеристики уменьшаются существенно при наполнении матрицы крупными частицами AlO(OH) и Al₂O₃. При наполнении гибридной матрицы плотность материала возрастает (слабо в нано, значительно в микрокомпозитах). Кристалличность микрокомпозитов существенно не меняется по сравнению с матрицей и падает значительно в микрокомпозитах.

Анализ кинетических кривых изнашивания образцов СВМПЭ, СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ и композитов на ее основе (рис. 1. а) показал, что интенсивность изнашивания последних значительно меньше, чем таковая для чистого СВМПЭ и незначительно меньше в сравнении с гибридной матрицей. На рис. 1. b приведена диаграмма интенсивности изнашивания (I , мм²/мин) указанных выше композитов с наполнителями различной дисперсности, из которого следует, что интенсивности изнашивания композитов на основе матрицы СВМПЭ-ПТФЭ слабо зависят как от содержания, так и от размеров частиц наполнителя (на 10-35% в зависимости от типа наполнителя). Нанонаполнители более эффективны (столбцы 3-5), микрочастицы AlO(OH) лишь на 10% увеличивают износостойкость по сравнению с матрицей. Шероховатость поверхностей трения всех исследованных композитов аналогичным образом зависит от типа наполнителя (рис. 1. b).

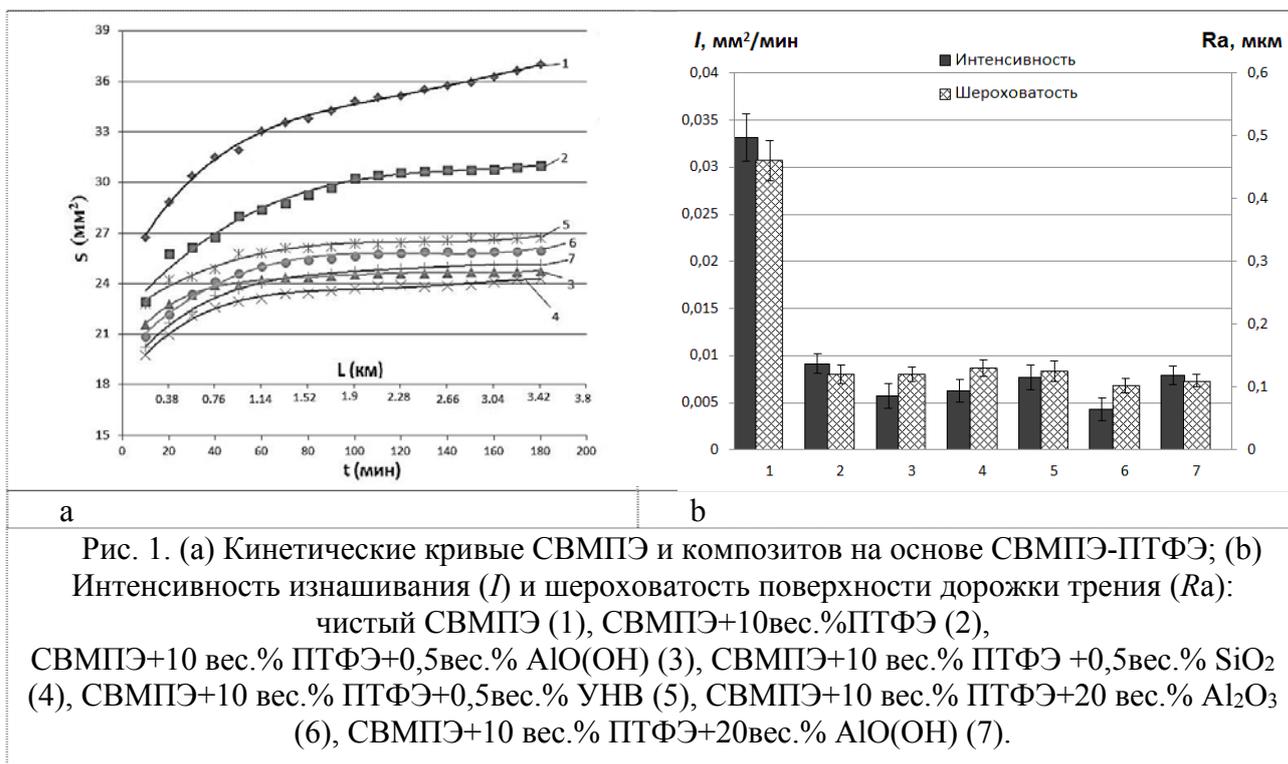
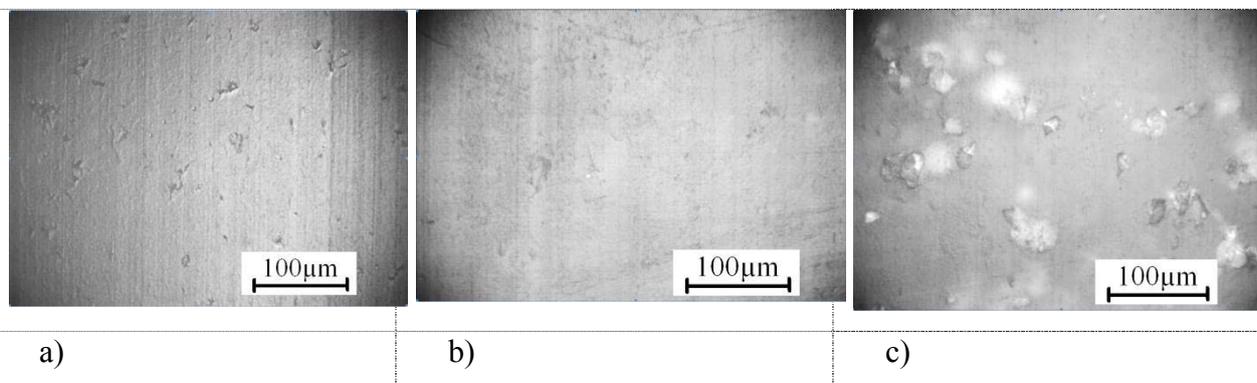
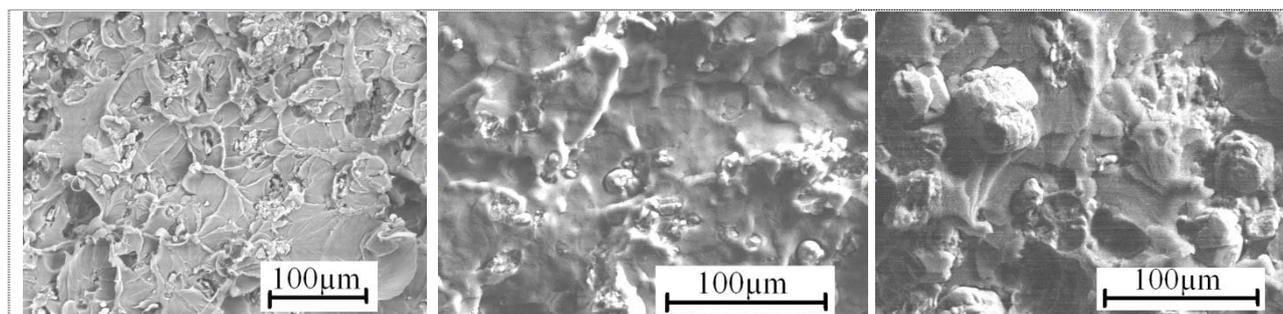


Рис. 1. (а) Кинетические кривые СВМПЭ и композитов на основе СВМПЭ-ПТФЭ; (b) Интенсивность изнашивания (I) и шероховатость поверхности дорожки трения (Ra): чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ+10вес.%ПТФЭ (2), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+0,5вес.% AlO(OH) (3), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ +0,5вес.% SiO₂ (4), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+0,5вес.% УНВ (5), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+20 вес.% Al₂O₃ (6), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+20вес.% AlO(OH) (7).

Для выяснения взаимосвязи между характером износа при сухом трении скольжения, сформированной структурой, и типом наполнителей в композициях на основе гибридной матрицы СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ на стадии установившегося изнашивания исследованы поверхности трения образцов, а также надмолекулярная структура композитов (рис. 2). Из рис. 2 следует, что наполнение гибридной матрицы наночастицами не приводит к изменению надмолекулярной структуры (е), тогда как микронаполнители подавляют формирование сферолитной структуры (f). Об этом свидетельствует и кристалличность (табл.1).

Сравнительный анализ триботехнических характеристик композитов (нано и микро) на основе СВМПЭ и гибридной матрицы СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ показал, что нанонаполнители как твердая смазочная среда эквивалентны адгезионной пленке фторопласта в условиях сухого трения скольжения [3,4]. Износостойкость композитов на основе СВМПЭ при наполнении его наночастицами (равно как и фторопластом) возрастает в 4-6 раз.





d)

e)

f)

Рис. 2. Микрофотографии поверхностей износа и надмолекулярной структуры СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ (a,d), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+0,5вес.% УНВ (b,e), СВМПЭ+10 вес.% ПТФЭ+20вес.% Al₂O₃ (c,f) в режиме сухого трения скольжения.

Политетрафторэтилен выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания в равной степени как в гибридной матрице СВМПЭ+ 10 вес.% ПТФЭ, так и в композитах на ее основе в условии сухого трения скольжения.

Эффективность использования гибридной матрицы СВМПЭ+10вес.% ПТФЭ для разработки твердосмазочных экструдруемых и износостойких композитов на высокомолекулярной матрице определяется условиями эксплуатации разрабатываемых композитов (медицина, высокие нагрузки, агрессивные среды).

Список литературы:

1. Myshkin N.K., Petrokovets M.I., Kovalev A.V. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear and mass-transfer // *Tribology International*. – 2005. – Vol. 38. – P. 910-921.
2. Гоголева О.В., Охлопкова А.А., Петрова П.Н. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для эксплуатации в экстремальных условиях // *Материаловедение*. – 2011. – № 9. – С.10–13.
3. Sergey V. Panin, Lyudmila A. Kornienko, Nguyen Xuan Thuc, Larisa R. Ivanova, Sergey V. Shilko. Role of Micro- and Nanofillers in Abrasive Wear of Composites Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene. *Advanced Materials Research* Vol. 1040 (2014). Pp. 148-154. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.148.
4. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Нгуен Суан, Л.Р. Иванова, М.А. Корчагин, С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский. Износостойкость композитов на основе полимер-полимерной матрицы СВМПЭ-ПТФЭ. Часть 1. Механические и триботехнические свойства полимер-полимерных композиций СВМПЭ-ПТФЭ // *Трение и износ*, 2015 (36), № 3, с.244-251.