ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТР ИЗНОСА КОМПОЗИТОВ УВЕЛИЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

Мадаминов Нодирбек Зафарбек Угли
Ассистент, кафедры Материаловедение и химическая инженерия, Андижанский государственный технический институт, Андижан, Узбекистан
e-mail: madaminovnodir1993@gmail.com

Аннотация. *В работе исследовано влияние увеличения содержания трёх видов наноразмерных модификаторов - нано-ZrO_2, нано-Al_2O_3 и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) - на параметр износа композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Содержание каждого модификатора варьировали в диапазоне 0–8 масс. %. Установлено, что для каждого вида модификатора существует индивидуальное оптимальное содержание: для МУНТ - 1 масс. % (1,5 мг/км), для нано-Al_2O_3 - 2 масс. % (2,5 мг/км), для нано-ZrO_2 - 3 масс. % (1,9 мг/км). Превышение оптимума приводит к ухудшению износостойкости вследствие агломерации наночастиц.*

Ключевые слова: *СВМПЭ, наноразмерные модификаторы, нано-ZrO_2, нано-Al_2O_3, МУНТ, концентрационная зависимость, интенсивность износа, оптимальное содержание, агломерация.*

Параметр износа полимерных композитов является многофакторной функцией состава, и зависимость его от концентрации

наноразмерных модификаторов носит существенно немонотонный характер. Существование оптимальной концентрации, при которой достигается минимум интенсивности износа, общепризнано для большинства полимерных нанокомпозитов, однако значение этого оптимума и его соотношение с физико-химической природой модификатора остаются предметом исследований [1, 2]. Систематическое сравнение концентрационных зависимостей для модификаторов различной природы имеет важное практическое значение для разработки износостойких составов СВМПЭ.

Целью настоящей работы являлось определение характера зависимости параметра износа композитов СВМПЭ от содержания трёх видов наноразмерных модификаторов: керамического тетрагонального нано-ZrO_2 (40–60 нм), оксидного нано-Al_2O_3 (30–50 нм) и углеродного МУНТ - многостенных углеродных нанотрубок (диаметр 10–20 нм, длина 1–10 мкм). Содержание каждого модификатора варьировали в широком диапазоне: 0; 0,5; 1; 2; 3; 5 и 8 масс. %, что позволяет выявить как восходящую (упрочняющую), так и нисходящую (агломерационную) ветви концентрационной зависимости.

Композиты получали ультразвуковым диспергированием модификатора в этаноле в течение 25 минут с последующим смешением с СВМПЭ, сушкой и термокомпрессионным формованием при температуре 195 °C, давлении 12 МПа и выдержке 25 минут. Трибологические испытания проводили на трибометре по схеме «палец-диск» при нагрузке 50 Н, скорости скольжения 0,3 м/с и пути трения 3 000 м (контртело - закалённая сталь ШХ15, HRC 62, Ra = 0,15 мкм).

Интенсивность массового износа рассчитывали как отношение потери массы образца к пути трения в мг/км.

Результаты испытаний выявили различные оптимальные концентрации для каждого вида модификатора. Для исходного СВМПЭ интенсивность износа составила 8,5 мг/км. Для системы СВМПЭ/нано-ZrO_2 минимум интенсивности износа 1,9 мг/км (снижение в 4,5 раза) достигается при 3 масс. %; при 5 масс. % значение возрастает до 2,8 мг/км, при 8 масс. % - до 5,4 мг/км. Для СВМПЭ/нано-Al_2O_3 оптимум наблюдается при 2 масс. % (2,5 мг/км; в 3,4 раза меньше исходного); при 5 масс. % - 4,1 мг/км; при 8 масс. % - 6,3 мг/км. Для СВМПЭ/МУНТ оптимум смещён в область наименьших концентраций - 1 масс. % (1,5 мг/км; снижение в 5,7 раза), что является абсолютно лучшим результатом среди исследованных систем; при 3 масс. % значение возрастает до 3,2 мг/км, при 8 масс. % - до 7,8 мг/км.

Различия в положении оптимальной концентрации обусловлены геометрическими и физико-химическими особенностями модификаторов. МУНТ обладают высоким аспектным отношением (50–500) и крайне развитой удельной поверхностью (200–400 м²/г), вследствие чего эффект упрочнения достигается уже при минимальных концентрациях; однако и склонность к агломерации проявляется при концентрациях выше 2 масс. %, что приводит к резкому смещению оптимума в сторону малых значений [3]. Сферические наночастицы ZrO_2 и Al_2O_3 имеют меньшую тенденцию к агрегации, что обеспечивает более широкий рабочий диапазон концентраций. Полученные данные позволяют рекомендовать в качестве оптимальных составов: СВМПЭ/1 % МУНТ - для приложений, требующих максимальной износостойкости;

СВМПЭ/3 % нано-ZrO_2 - для приложений с дополнительными требованиями к биосовместимости (медицинские имплантаты); СВМПЭ/2 % нано-Al_2O_3 - для эксплуатации при повышенных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kurtz S. M. UHMWPE Biomaterials Handbook. – 3rd ed. – Oxford: Elsevier, 2016. – 866 p. DOI: 10.1016/C2014-0-00772-X.

2. Bracco P., Bellare A., Bistolfi A., Affatato S. Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 7. – P. 791. DOI: 10.3390/ma10070791.

3. Galetz M. C., Bla T., Ruckdaschel H., Sandler J. K. W., Altstadt V., Glatzel U. Carbon nanofibre-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene for tribological applications // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol. 104, No. 6. – P. 4173–4181. DOI: 10.1002/app.26058.

4. Panin S. V., Kornienko L. A., Aleksenko V. O., et al. Wear resistance of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene filled with nanofibrous oxide ceramic fillers // Polymer Science, Series A. – 2018. – Vol. 60, No. 6. – P. 933–944. DOI: 10.1134/S0965545X18060125.

5. Senatov F. S., Kuznetsov D. V., Stepashkin A. A., et al. Tribological and mechanical properties of composites based on UHMWPE with carbon nanotubes // Composites Part B: Engineering. – 2014. – Vol. 66. – P. 134–142. DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.05.024.

6. Schwartz C. J., Bahadur S. The role of filler deformability, filler-polymer bonding, and counterface material on the tribological behavior of

polyphenylene sulfide (PPS) // Wear. – 2001. – Vol. 251, No. 1-12. – P. 1532–1540. DOI: 10.1016/S0043-1648(01)00799-2.

7. Tong J., Ma Y., Arnell R. D., Ren L. Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2006. – Vol. 37, No. 1. – P. 38–45. DOI: 10.1016/j.compositesa.2005.05.038.

8. Madaminov N., Umarova M. Optimization of energy consumption in the production of UHMWPE-based composites with nanomodifiers //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3331. – №. 1. – С. 040008.

9. Валюженич Л. Г., Кондратюк А. А., Мадаминов Н. З. Исследование влияния на износ полимерных композитов увеличения содержания модификаторов и их типа //Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения: сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции, Томск, 17–21 октября 2022 г. – Томский политехнический университет, 2022.