ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

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 пяти видов наноразмерных наполнителей (детонационные ультрадисперсные алмазы УДА, нано-ZrO_2, нано-Si_3N_4, нано-TiC, нано-BN) на прочностные параметры композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Содержание каждого наполнителя составляло 2 масс. %. Установлено, что максимальный прирост предела прочности при растяжении (+40 %), предела текучести (+33 %) и микротвёрдости (+18 %) достигается при использовании УДА со средним размером кристаллитов 4–6 нм. Полученные результаты обосновывают применение УДА в качестве наиболее эффективного нанонаполнителя для упрочнения СВМПЭ.*

Ключевые слова: *СВМПЭ, ультрадисперсные алмазы, нано-Si_3N_4, нано-TiC, нано-BN, предел прочности, предел текучести, микротвёрдость, прочностные параметры.*

Создание высокопрочных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) является актуальной задачей современного полимерного материаловедения. Среди многочисленных нанонаполнителей, рассматриваемых в литературе, особый интерес представляют ультрадисперсные неорганические частицы с высоким значением удельной поверхности и развитой структурой межфазной границы. К таким наполнителям относятся детонационные ультрадисперсные алмазы (УДА), нитриды и карбиды переходных металлов, а также керамические оксиды [1, 2].

Целью настоящей работы являлось сравнительное исследование влияния пяти видов наноразмерных наполнителей на ключевые прочностные параметры композитов СВМПЭ: предел прочности при растяжении, предел текучести и микротвёрдость по Виккерсу. Для исследования были выбраны: ультрадисперсные алмазы УДА детонационного синтеза (4–6 нм, удельная поверхность 320 м²/г); нано-ZrO_2 (40–60 нм); нано-Si_3N_4 (30–50 нм); нано-TiC (50–80 нм) и нано-BN гексагональной модификации (30–60 нм). Содержание каждого наполнителя во всех композициях составляло 2 масс. % - концентрация, обоснованная экономическими соображениями и стремлением сохранить технологичность переработки.

Композиты получали методом термокомпрессионного формования при температуре 195 °C, давлении 12 МПа и выдержке 25 минут. Предел прочности при растяжении и предел текучести определяли по ГОСТ 11262-2017 на образцах типа 1; микротвёрдость - по ГОСТ 9450-76 методом Виккерса при нагрузке 0,25 Н. Структуру композитов

исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) на микроскопе JEOL JSM-7500FA.

Результаты испытаний выявили существенное различие в эффективности наполнителей. Наибольший прирост прочностных параметров обеспечивают УДА: предел прочности при растяжении возрастает с 28,2 до 39,5 МПа (+40 %); предел текучести - с 18,0 до 24,0 МПа (+33 %); микротвёрдость - с 0,058 до 0,069 ГПа (+19 %). Системы СВМПЭ/нано-ZrO_2 демонстрируют умеренный прирост: $\sigma_в$ = 36,0 МПа (+28 %), $\sigma_т$ = 22,5 МПа (+25 %), HV = 0,067 ГПа (+15 %). Нано-Si_3N_4 обеспечивает $\sigma_в$ = 34,2 МПа (+21 %), нано-TiC - $\sigma_в$ = 33,0 МПа (+17 %), нано-BN - $\sigma_в$ = 31,5 МПа (+12 %). Прочностной ряд (по убыванию): УДА > ZrO_2 > Si_3N_4 > TiC > BN.

Превосходящая эффективность УДА обусловлена несколькими факторами: чрезвычайно высокой собственной твёрдостью алмаза (87 ГПа), субнаноразмерной структурой, обеспечивающей формирование густой сети центров иммобилизации макромолекул, а также наличием на поверхности УДА функциональных групп (–COOH, –OH), способствующих образованию сильной адгезии с матрицей [3, 4]. В системах с нано-BN относительно низкая прочность обусловлена слабым взаимодействием на межфазной границе вследствие химической инертности гексагонального BN. Полученные данные обосновывают применение УДА как наиболее эффективного нанонаполнителя для упрочнения СВМПЭ при критических нагрузках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долматов В. Ю. Детонационные наноалмазы: получение, свойства, применение. – СПб.: Профессионал, 2011. – 536 с.

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

3. Mochalin V. N., Shenderova O., Ho D., Gogotsi Y. The properties and applications of nanodiamonds // Nature Nanotechnology. – 2012. – Vol. 7, No. 1. – P. 11–23. DOI: 10.1038/nnano.2011.209.

4. Maitra U., Prasad K. E., Ramamurty U., Rao C. N. R. Mechanical properties of nanodiamond-reinforced polymer-matrix composites // Solid State Communications. – 2009. – Vol. 149, No. 39-40. – P. 1693–1697. DOI: 10.1016/j.ssc.2009.06.018.

5. 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.

6. 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.

7. Яхин А. А., Мадаминов Н. З., Кондратюк А. А. Исследование влияния наноразмерных наполнителей на прочность полимерных композитов //Научный потенциал молодежи и технический прогресс. – 2018. – С. 134-135.

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. Мадаминов Н. З. и др. Влияние температуры исследований на механические характеристики полимерных композитов //Современные материалы и технологии новых поколений: сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса, г. Томск, 30 сентября-5 октября 2019 г.—Томск, 2019. – 2019.

10. Го Ф., Мадаминов Н. З., Кондратюк А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВВОДИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ //Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения. – 2018. – С. 153-154.

11. Мадаминов Н. З., Яхин А. А., Кондратюк А. А. Исследование влияния условий нагружения на прочностные характеристики композитов //Современные проблемы теории машин. – 2018. – №. 6. – С. 45-47.