

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С
НАПОЛНИТЕЛЕМ ДИОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ**

Мадаминов Нодирбек Зафарбек Угли

Ассистент, кафедры Материаловедение и химическая инженерия,
Андижанский государственный технический институт, Андижан,
Узбекистан

e-mail: madaminovnodir1993@gmail.com

***Аннотация.** В работе представлены результаты исследования прочностных свойств композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), наполненного диоксидом циркония (ZrO_2). Образцы изготовлены методом термокомпрессионного формования при температуре 195 °С, давлении 12 МПа и времени выдержки 25 минут с варьированием содержания наполнителя в диапазоне 0–7 масс. %. Определены показатели прочности при растяжении, изгибе, сжатии и ударе. Установлено, что при содержании 3 масс. % нано- ZrO_2 прочность при изгибе возрастает на 41 %, при растяжении - на 32 %, при сжатии - на 40 % относительно исходного СВМПЭ, тогда как удельная ударная вязкость снижается на 12 %.*

***Ключевые слова:** СВМПЭ, диоксид циркония, термокомпрессионное формование, прочность при растяжении, прочность при изгибе, прочность при сжатии, ударная вязкость, прочностные свойства.*

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) находит широкое применение в машиностроении, медицине и оборонной промышленности благодаря уникальному сочетанию высокой ударной вязкости, износостойкости и химической инертности [1]. Однако относительно низкие показатели прочности при растяжении и изгибе ограничивают возможности применения СВМПЭ в нагруженных конструкциях. Эффективным методом повышения прочностных свойств является введение в матрицу полимера наноразмерных керамических наполнителей, среди которых тетрагональный диоксид циркония (ZrO_2) занимает особое место благодаря высокой собственной прочности, биоинертности и трансформационному упрочнению [2].

Целью настоящего исследования являлось получение композитов СВМПЭ/нано- ZrO_2 и систематическая оценка их прочностных свойств при четырёх видах механического нагружения: растяжении, изгибе, сжатии и ударе. В качестве матрицы использовали порошок СВМПЭ марки GUR 4150 (молекулярная масса $9 \cdot 10^6$ г/моль), в качестве наполнителя - нанопорошок тетрагонального ZrO_2 , стабилизированного 3 мол. % Y_2O_3 , со средним размером частиц 40–60 нм и удельной поверхностью $28 \text{ м}^2/\text{г}$. Содержание наполнителя варьировали в диапазоне 0; 1; 2; 3; 5 и 7 масс. %.

Композиционные смеси получали ультразвуковым диспергированием в этанольной среде в течение 20 минут с последующей сушкой и термокомпрессионным формованием при температуре 195°C , давлении 12 МПа и выдержке 25 минут. Прочность при растяжении определяли по ГОСТ 11262-2017 на образцах в форме лопаток типа 1; прочность при изгибе - по ГОСТ 4648-2014 методом трёхточечного

нагружения; прочность при сжатии - по ГОСТ 4651-2014; ударную вязкость по Шарпи - по ГОСТ 4647-2015 на образцах без надреза. Для каждого состава испытывали по шесть образцов с расчётом среднего значения и стандартного отклонения.

Анализ полученных результатов выявил отчётливо немонотонную зависимость прочностных характеристик от содержания нано-ZrO₂ с экстремумом в области 3 масс. %. Для исходного СВМПЭ прочность при растяжении составила 28,2 МПа, при изгибе - 22,1 МПа, при сжатии - 35,4 МПа, а удельная ударная вязкость - 89,2 кДж/м². При содержании 3 масс. % ZrO₂ соответствующие значения возросли до 37,2 МПа (+32 %), 31,2 МПа (+41 %) и 49,4 МПа (+40 %), тогда как ударная вязкость снизилась до 78,5 кДж/м² (-12 %). Наибольший относительный прирост наблюдается для прочности при изгибе, что объясняется характером деформации трёхточечного образца, при котором поверхностные слои испытывают концентрированное напряжение и упрочняющее действие наполнителя проявляется наиболее эффективно [3].

Снижение ударной вязкости при введении нано-ZrO₂ обусловлено уменьшением подвижности макромолекул и формированием жёсткой межфазной структуры, препятствующей перераспределению напряжений при динамическом нагружении [4]. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя выше 5 масс. % приводит к падению всех прочностных показателей вследствие агломерации частиц. Таким образом, оптимальным содержанием нано-ZrO₂ для повышения прочностных свойств СВМПЭ является 3 масс. %, обеспечивающее значительное упрочнение при сохранении приемлемого уровня ударной вязкости. Полученные композиты перспективны для применения в качестве

конструкционных материалов в узлах с преобладанием статических нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kurtz S. M. UHMWPE Biomaterials Handbook. – 3rd ed. – Oxford: Elsevier, 2016. – 866 p. DOI: 10.1016/C2014-0-00772-X.
2. Hannink R. H. J., Kelly P. M., Muddle B. C. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics // Journal of the American Ceramic Society. – 2000. – Vol. 83, No. 3. – P. 461–487. DOI: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x.
3. Plumlee K., Schwartz C. J. Improved wear resistance of orthopaedic UHMWPE by reinforcement with zirconium particles // Wear. – 2009. – Vol. 267, No. 5-8. – P. 710–717. DOI: 10.1016/j.wear.2008.11.028.
4. 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.
5. Maksimkin A. V., Kaloshkin S. D., Tcherdyntsev V. V., et al. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the structure and mechanical properties of ultrahigh-molecular-weight polyethylene // Inorganic Materials: Applied Research. – 2012. – Vol. 3, No. 4. – P. 288–295. DOI: 10.1134/S2075113312040107.
6. 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.

7. Мадаминов Н. З., Кондратюк А. А. Разработка технологии получения полимерных композитов с наноразмерным оксидным наполнителем и исследование их свойств //Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, г. Томск, 9-13 октября 2017 г.—Томск, 2017. – 2017.

8. Непомнящих Н. Н., Мадаминов Н. З. Получение полимерных композитов с наполнителем ZrO_2 и исследование их свойств //Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г.—Томск, 2017. – 2017.