

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

© М. В. Базунова*, Э. Р. Султанов, А. А. Базунов,
А. Б. Глазырин

Бакирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

Тел.: +7 (347) 229 97 24.

*Email: mbazunova@mail.ru

Работа посвящена изучению влияния ультрадисперсного оксида кремния на технологические и эксплуатационные свойства полимерных композитов материалов на основе полипропилена и оксида кремния и исследование их устойчивости к факторам внешней среды. Установлено, что компаунды характеризуются высокой термостойкостью. При проведении климатических испытаний показано, что композиции с незначительным содержанием оксида кремния (3–5%) характеризуются большей устойчивостью к фотодеструкции, чем ненаполненный полипропилен. При анализе деформационных свойств установлено, что присутствие оксида кремния приводит к незначительному росту модуля упругости композита на 2.5–3%. После проведения ускоренного старения наблюдается незначительное повышение модуля упругости композита с ростом содержания оксида кремния. Показано, что воздействие факторов внешней среды приводит к потере прочности образцов, причем для композитов с незначительным содержанием диоксида кремния (до 3%) потеря прочности минимальна.

Ключевые слова: полипропилен, диоксид кремния, полимерные композиционные материалы, термическая устойчивость, физико-механические свойства.

Введение

Полимерные материалы обычно имеют модуль упругости и прочность ниже, чем у металлов или керамики. Их механические и некоторые другие свойства могут быть эффективно улучшены при относительно низких затратах путем наполнения частицами минеральных наполнителей микро- или наноразмеров. Используя такой подход, можно эффективно улучшить деформационно-прочностные свойства полимерного материала, сохраняя при этом его высокую пластичность, низкую плотность и простоту переработки [1–2].

Известно, что благодаря низкой стоимости, высокой химической стойкости и хорошо сбалансированным физико-механическим свойствам полипропилен (ПП) является одним из наиболее широко используемых термопластов. Наполнение ПП минеральными дисперсными наполнителями может привести к расширению областей его применения [3–7].

Однако введение дисперсных наполнителей в полиолефины, в т.ч. и ПП, оказывает значительное влияние на процессы их термической, термо- и фотоокислительной деструкции, а, следовательно, и на сроки эксплуатации изделий на его основе [8–9].

Благодаря своим диэлектрическим и оптическим свойствам, а также высокому сопротивлению тепловому старению одним из перспективных наполнителей полимерных композиционных материалов считается ультрадисперсный диоксид кремния [9–11].

Применение диоксида кремния в составе полимерных композитов обусловлено также тем, что

одним из доступных источников диоксида кремния («белой сажи») является зола, остающаяся от сжигания рисовой шелухи. Российскими специалистами разработаны способы получения высокочистого (до 99.99%) аморфного диоксида кремния из рисовой шелухи как в периодическом, так и непрерывном безотходном, энергосберегающем и экологически чистом процессе.

Следовательно, целью данной работы являлось изучение влияния ультрадисперсного диоксида кремния на технологические и эксплуатационные свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) ПП-диоксид кремния и исследование их устойчивости к факторам внешней среды при использовании ускоренного климатического старения.

Экспериментальная часть

В работе при создании ПКМ использованы полипропилен марки PP H120 GP/1 производства ООО «Томскнефтехим» (ПАО «Сибур») и диоксид кремния (х.ч.) с размером частиц 400–600 нм.

Приготовление композитов проводили в расплаве на лабораторной станции (пластограф) «Plastograph EC» фирмы Vrabender при температуре смесительной камеры 180 °С и скорости вращения роторов 30 об/мин в течение 5–15 мин при нагрузке 200 Н.

Прессование осуществляли на автоматическом гидравлическом прессе "AutoMH-NE" (Carver, США) при 210 °С и выдержке под давлением 7000 кгс в течение 3 мин с последующим охлаждением или без охлаждения на прессе.

Оценка степени диспергирования частиц диоксида кремния в объеме полимерной матрицы

производилась на основе микрофотографий поверхности криосколов ПКМ, полученных с использованием сканирующего электронного микроскопа Supra-55 фирмы Carl Zeiss, Германия.

Физико-механические свойства полимерных композитов при разрыве определяли согласно ГОСТ 11262-2017, ГОСТ 4648-2014, ГОСТ-4651-2014 на универсальной испытательной машине «Shimadzu AGS-X» (Япония).

Для определения термической устойчивости и других термических характеристик образцов полимерных композитов использовали метод термогравиметрического анализа (ТГА) на приборе TGA-DSC («Mettler Toledo», Швейцария).

Ускоренное климатическое старение ПКМ на основе ПП и оксида кремния в лабораторных условиях проведено с помощью везерометра (климатокамеры) QUV производства Q-Lab (Огайо, США) в режиме УФ-излучения (интенсивность излучения 89 Вт/м² при 340 нм, температура 25 °С, 30 °С) с орошением. Съемы образцов для оценки изменения деформационно-прочностных свойств проводили через определенные промежутки времени (2, 3, 4, 6 суток).

Показатель текучести расплава (ПТР) композитов определяли при условиях, регламентируемых ГОСТ 11645-73, на приборе ИИРТ-М при 190 °С и массе груза 2.16 кг с использованием стандартного капилляра из закаленной стали длиной 0.8 мм и внутренним диаметром 2.095 мм. Предварительно прогрет ПКМ осуществляли в экструзионной камере в течение 4 мин, деление композиции на отрезки производили каждые 30 с, затем взвешивали каждый из полученных образцов, выбирали не менее 5 не различающихся по массе на 0.001 г и рассчитывали средний вес. Индекс расплава вычисляли по формуле:

$$I = \frac{10 \cdot m}{t}, \text{ г/10 мин},$$

где m – средний вес отрезка в граммах; t – промежуток времени в минутах.

За результат испытаний принимали среднее арифметическое результатов двух определений на трех отрезках материала, расхождение по массе между которыми не превышает 5%.

Обсуждение результатов

Одним из актуальных минеральных наполнителей ПКМ является диоксид кремния, который обладает уникальными свойствами, такими как термическая стабильность, механическая прочность, невысокая плотность, незначительный коэффициент линейного термического расширения. Следовательно, применение диоксида кремния в

рецептурах полимерных композитов является актуальной задачей.

Особенно целесообразным является применение диоксида кремния в композициях на основе ПП для повышения термической стабильности композиции.

При разработке полимерных композитов необходимо обращать внимание на морфологию их поверхности, т.к. в системе возникает фазовая гетерогенность, которая влияет на перерабатываемость полимерной композиции и ее деформационно-прочностные характеристики. Поэтому однозначные выводы о равномерности распределения неорганического наполнителя по объему композита можно сделать только по результатам сканирующей электронной микроскопии [12–13].

Для оценки рельефа композитов были сделаны микрофотографии криосколов поверхности образцов полимерных композитов на основе ПП и диоксида кремния с помощью сканирующего электронного микроскопа. Также произведена оценка степени диспергирования частиц диоксида кремния на поверхности, а, следовательно, и в объеме полимерной матрицы.

Как видно из микрофотографий (рис. 1), при концентрации наполнителя до 5 масс.% диоксид кремния достаточно равномерно диспергируется в объеме ПП-матрицы, однако местами наблюдаются агломераты овальной формы со средним размером до 2 мкм (рис. 1, б). Введение больших концентраций дисперсных частиц приводит к увеличению размеров агрегатов (рис. 1, в, г). Так, при концентрации 10 масс.% SiO₂ (рис. 2, г) их размер может достигать 40 мкм.

Также необходимо отметить, что композиты с содержанием диоксида кремния более 7 масс.% подвержены короблению при прессовании, особенно если прессование не сопровождается последующим охлаждением на прессе.

Методом ТГА изучена термостабильность полимерных композитов на основе ПП и диоксида кремния [14]. Параметры термического разложения композитов были сопоставлены с аналогичными параметрами исходного ПП (табл. 1).

Установлено, что компаунды ПП, содержащие диоксида кремния, характеризуются сравнительно высокой термостойкостью: основные показатели термостабильности компаундов – температура начала разложения T_n (228–235 °С), параметры T_1 (237–245 °С) и T_5 (256–266 °С) (соответствующие снижению массы образца на 1 и 5% от первоначальной массы) изменяются в узком интервале и они выше, чем аналогичные значения для исходного ПП. Таким образом, полученные композиты характеризуются стабильностью термических характеристик.

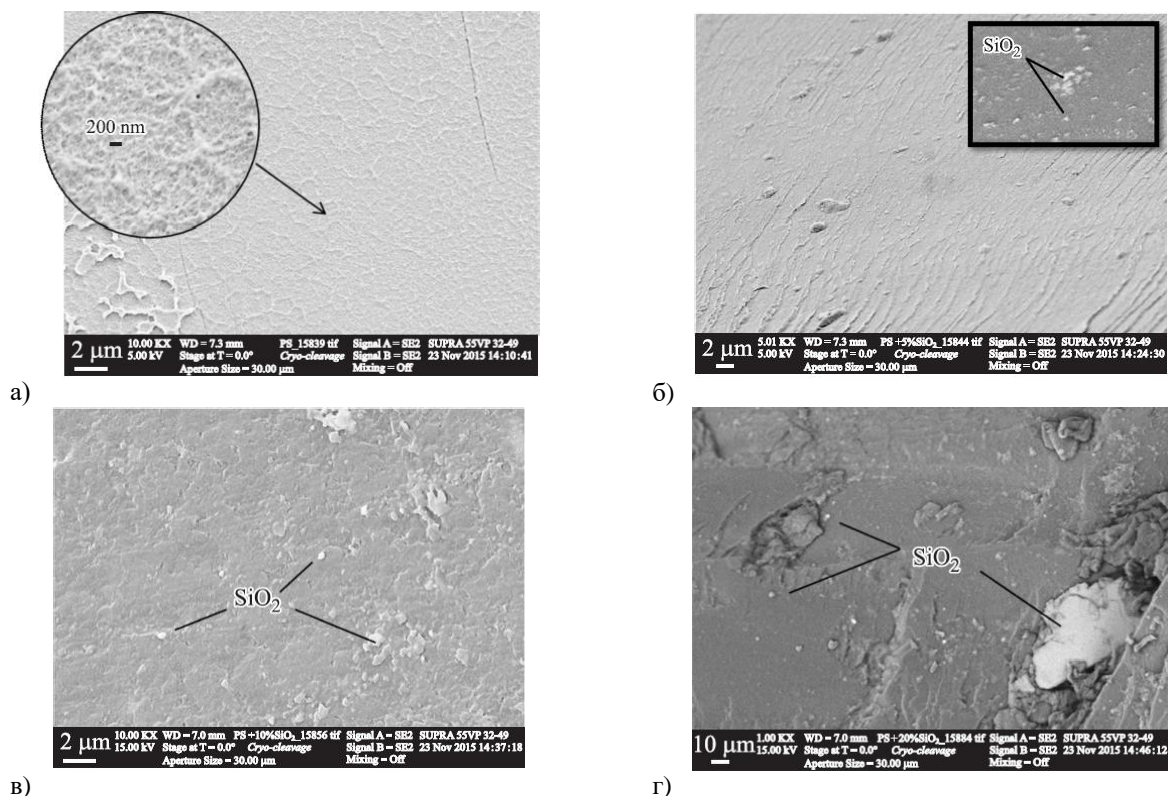


Рис. 1. Микрофотографии поверхности криосколов образцов ПП и ПКМ:
 а – чистый ПП; б – ПП+3 масс. % SiO₂; в – ПП+5 масс.% SiO₂;
 г – ПП+10 масс.% SiO₂.

Таблица 1

Параметры термического разложения образцов композитов ПП, содержащих диоксид кремния

Образец	T _{н.р.} , °C	T ₁ , °C	T ₅ , °C	Остаток, %		T _{max} (ДТГ), °C		T _{max} (ДСК), °C	T _{пл.} , °C
				при 400 °C	при 600 °C	1	2		
ПП после пластографа	209	241	256	4.5	0.6	309	486	480	172
ПП + 3 масс. % SiO ₂	228	237	256	11.2	11.8	370	447	371, 447	169
ПП + 5 масс. % SiO ₂	234	241	259	13.2	12.8	363	446	366, 449	169
ПП + 10 % масс. SiO ₂	235	245	266	12.6	9.7	359	438	373, 441	169

Особенностью термического разложения исследуемых компаундов является большое содержание остатка продукта после нагрева образца до температур 400 °C (11.2–12.6%) и 600 °C (3.7–10.8%). Следует также отметить, что масса остатка продукта после нагрева образца до температуры 600 °C, характеризующая наличие в продукте термически устойчивых неорганических примесей, близка к содержанию в композите неорганического наполнителя (табл. 1).

Из анализа термограмм ТГА следует, что введение наполнителя приводит к смещению процесса разложения компаунда в более высокотемпературную область по сравнению с ненаполненным полимером: наблюдается смещение пиков на кривой ДТГ, характеризующих максимальную скорость разложения компаунда (T_{max} на ДТГ), в область бо-

лее высоких (на 35–50 °C) температур, по сравнению с исходным ПП.

Установлено также, что введение диоксида кремния практически не влияет на процесс плавления полимерной фазы и не приводит к изменению температуры плавления кристаллической фазы в ПП-композите (табл. 1).

Ультрафиолетовое излучение, способное инициировать фотоокислительную деструкцию, значительно снижает долговечность полимерных материалов и соответственно является одним из основных факторов, влияющих на срок службы полимерного изделия. В связи с этим произведена оценка изменения технологических и эксплуатационных свойств ПКМ на основе ПП и диоксида кремния в результате старения под действием факторов внешней среды.

В данной работе ускоренное старение в везерометре (климатокамере) проводилось в условиях, приближенные к натурным, т.е. наряду с УФ-облучением образцы ПКМ на основе ПП и диоксида кремния подвергались воздействию повышенной влажности, циклической смене температуры и дождеванию.

Как следует из данных, приведенных на рис. 2, при увеличении времени экспозиции в целом происходит снижение вязкости расплавов композитов на основе ПП и диоксида кремния, обусловленное деструкцией макромолекул под действием УФ-излучения. Также необходимо отметить, что композиции с незначительным содержанием диоксида кремния (3–5%) характеризуются несколько большей устойчивостью к фотоокислительной деструкции, что, вероятно, связано с дополнительным структурированием ПП-матрицы при введении частиц диоксида кремния и уменьшением размеров надмолекулярных структур – сферолитов.

Результаты исследования изменения ПТР композитов при ускоренном старении согласуются с результатами физико-механических испытаний (рис. 3–5). Деструкция макромолекул ПП в ПКМ при воздействии факторов внешней среды приводит к потере их прочности, причем для композитов с незначительным содержанием диоксида кремния потеря прочности минимальна.

При анализе деформационных свойств установлено, что наполнение ПП ультрадисперсными частицами диоксида кремния приводит к незначительному росту модуля упругости композита на 2.5–3% (рис. 4), что свидетельствует о повышении

жесткости материала. Следовательно, микротрещины, которые возникают и развиваются в полимерной матрице, встречают препятствия на границе матрица – наполнитель. Армирующий элемент тормозит их распространение, задерживая на некоторое время их рост.

После проведения ускоренного старения также наблюдается незначительное повышение модуля упругости композита с ростом содержания оксида кремния. При этом чем больше период экспозиции материала в климатокамере, тем меньшие значения модуля упругости он приобретает. Вероятно, такие изменения жесткости композиции при ускоренном старении связаны с «выжиганием» на поверхности материалов микродефектов и возрастанием пористости поверхности.

На основании проведенных исследований в качестве основного критерия при определении срока эксплуатации ПКМ на основе ПП и оксида кремния в заданных условиях выбрана прочность при разрыве [15].

Определение срока эксплуатации проведено следующим образом. Построена зависимость остаточной прочности при разрыве в процентах от исходного значения σ_0 от времени экспозиции в климатокамере. После математической обработки полученных данных по методу наименьших квадратов полученные экспериментальные результаты обобщены линейной зависимостью в координатах «остаточная прочность при разрыве (в %) – логарифм времени экспозиции» и определен тангенс угла наклона A полученной прямой.

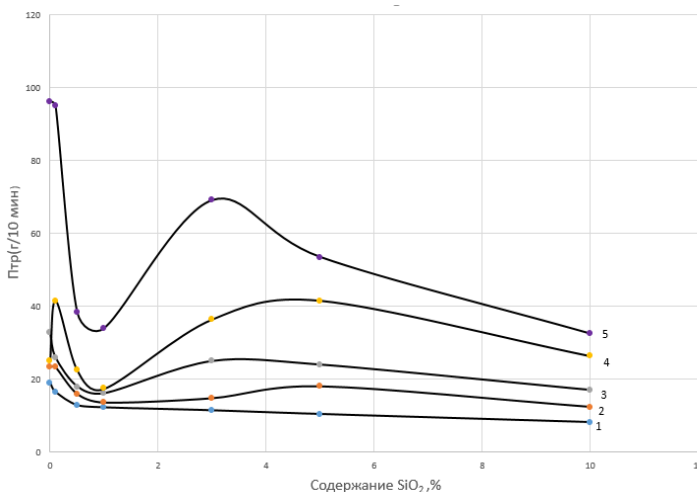


Рис. 2. Зависимость показателя текучести расплава композитов на основе ПП и оксида кремния от содержания неорганической добавки в композиции: 1 – до старения в климатокамере; 2 – после 2 суток старения в климатокамере; 3 – после 3 суток старения в климатокамере; 4 – после 4 суток старения в климатокамере; 5 – после 6 суток старения в климатокамере.

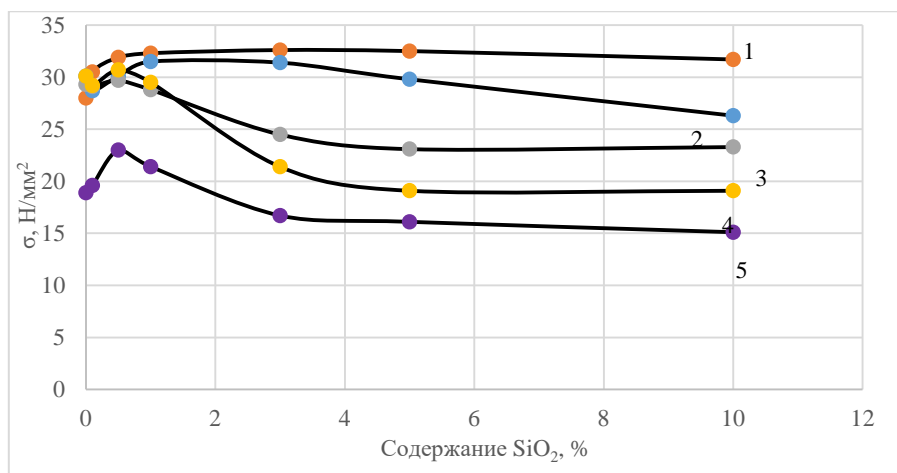


Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве композитов на основе ПП и оксида кремния от содержания неорганической добавки в композиции: 1 – до старения в климатикамере; 2 – после 2 суток старения в климатикамере; 3 – после 3 суток старения в климатикамере; 4 – после 4 суток старения в климатикамере; 5 – после 6 суток старения в климатикамере.

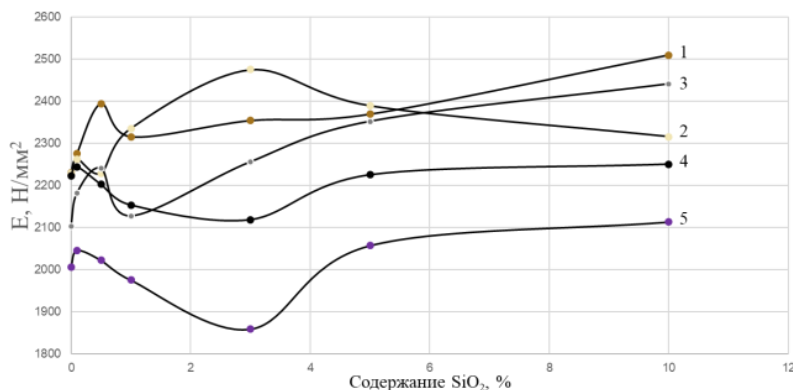


Рис. 4. Зависимость модуля упругости композитов на основе ПП от содержания оксида кремния: 1 – до ускоренного старения; 2 – после 2 суток ускоренного старения; 3 – после 3 суток ускоренного старения; 4 – после 4 суток ускоренного старения; 5 – после 6 суток ускоренного старения.

Результаты математической обработки уравнения 1 позволяют экстраполировать полученные данные на более длительный период испытаний:

$$\sigma_{\text{ост}}(\%) = \sigma_0 - A \cdot \lg \tau, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{ост}}(\%)$ – остаточная величина прочности при разрыве (в %) после экспозиции в везерометре; σ_0 – исходная величина прочности при разрыве (в %), равная 100; A – величина, численно равная тангенсу угла наклона зависимости в остаточной прочности при разрыве (в %) от логарифма времени экспозиции; τ – время экспозиции в везерометре.

Расчет срока эксплуатации ПКМ на основе ПП и оксида кремния произведен, исходя из значения потери прочности за 1 год с последующим определением срока, в течение которого при данном значении потери прочности за 1 год остаточная прочность достигнет значения 40% от первоначальной. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Как следует из данных, представленных в табл. 2, образцы полимерных композитов ПП-оксид кремния имеют незначительно более высокие сроки эксплуатации в условиях воздействия основных факторов внешней среды (УФ-излучение, влажность, циклическое изменение температуры), по сравнению со сроками эксплуатации материалов из ненаполненного ПП. Однако предложенные композиции не могут эксплуатироваться в окружающей среде без стабилизаторов.

Таким образом, введение диоксида кремния в композиции на основе ПП приводит к изменению всего комплекса физико-механических свойств, при этом, варьируя количество минеральной добавки, можно получать композиции, характеризующиеся принципиальными различиями в климатической устойчивости.

Таблица 2

Результаты расчета срока эксплуатации ПКМ ПП-оксид алюминия

Наименование показателя	Значение						
	ПП	ПКМ с содержанием SiO ₂ 0.1%	ПКМ с содержанием SiO ₂ 0.5%	ПКМ с содержанием SiO ₂ 1%	ПКМ с содержанием SiO ₂ 3%	ПКМ с содержанием SiO ₂ 5%	ПКМ с содержанием SiO ₂ 10%
Прочность при разрыве до экспозиции в везерометре, МПа	26.4	30.5	31.9	32.3	32.6	32.5	31.7
A (величина, численно равная тангенсу угла наклона зависимости остаточного разрывного напряжения (в %) от логарифма времени экспозиции)	14.65	13.08	12.62	12.80	13.30	13.41	13.53
Потеря прочности, соответствующая воздействию факторов окружающей среды в течение 1 года, %	57.7	51.4	50.3	50.4	52.4	52.8	53.3
Период, в течение которого величина остаточной прочности достигнет 40% от первоначальной (срок эксплуатации), лет	1.04	1.17	1.19	1.18	1.15	1.14	1.13

Выводы

1. Установлено, что компаунды ПП, содержащие диоксид кремния, характеризуются сравнительно высокой термостойкостью: основные показатели термостабильности компаундов – температура начала разложения и температуры, соответствующие снижению массы образца на 1 и 5% от первоначальной массы, изменяются в узком интервале и они выше, чем аналогичные значения для исходного ПП. Введение наполнителя приводит к смещению процесса разложения компаунда в более высокотемпературную область по сравнению с ненаполненным полимером: наблюдается смещение пиков на кривой ДТГ, характеризующих максимальную скорость разложения компаунда, в область более высоких (на 35–50 °С) температур, по сравнению с исходным ПП.

2. При проведении ускоренных климатических испытаний установлено, что композиции с незначительным содержанием диоксида кремния (3–5%) характеризуются несколько большей устойчивостью к фотоокислительной деструкции, чем ненаполненный ПП.

3. При анализе деформационных свойств установлено, что наполнение ПП ультрадисперсными частицами диоксида кремния приводит к незначительному росту модуля упругости композита на 2.5–3%, что свидетельствует о повышении жесткости материала. После проведения ускоренного старения также наблюдается незначительное повышение модуля упругости композита с ростом содержания оксида кремния. При этом чем больше пери-

од экспозиции материала в климатокамере, тем меньшие значения модуля упругости он приобретает.

4. Показано, что деструкция макромолекул ПП в ПКМ при воздействии факторов внешней среды приводит к потере их прочности, причем для композитов с незначительным содержанием диоксида кремния (до 3%) потеря прочности минимальна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейнова З. Н. Г., Кахраманов Н. Т., Мамедов Б. А., Осипчик В. С., Мамедли У. М. Г. Термоэластопласты на основе термопластичных полиолефинов и бутилкаучука // Перспективные материалы. 2018. №7. С. 33–42.
2. Базунова М. В., Смирнов А. В., Садригдинов А. Р. Получение и свойства полимерных композитов на основе полипропилена и оксида алюминия // Вестник Башкирского университета. 2021. Т. 26. №1. С. 79–83.
3. Базунова М. В., Бакирова Э. Р., Базунова А. А., Кулиш Е. И., Захаров В. П. Изучение биодеструкции биоразлагаемых полимерных композитов на основе первичных и вторичных полиолефинов и природных наполнителей растительного происхождения // Вестник Технологического ун-та. 2018. Т. 21. №1. С. 43–46.
4. Gupta A. P., U. K. Saroop G. S. Jha and M. Verma. Studies on the Effect of Coupling Agent on Glass Fiber Filled Polypropylene // Polymer Plastics, Technology and Engineering. 2003. Vol. 42. No 2. Pp. 297–309.
5. Huang X. Y., Jiang P. K. and Tanaka T. A review of dielectric polymer composites with high thermal conductivity // IEEE Electr. Insul. Mag. 2011. Vol. 27. No. 4. Pp. 8–16.
6. Глазырин А. Б., Захаров В. П., Садригдинов А. Р., Базунова М. В., Захарова Е. М. Устойчивость к горению композитов на основе вторичного полипропилена в присутствии антипиренов // Химическая промышленность сегодня. 2019. №6. С. 52–57.
7. Sadritdinov A. R., Chernova V. V., Bazunova M. V., Zakharova E. M., Zakharov V. P. Strength characteristics of

- polymer composites based on recycled polypropylene filled with rice husk during moisture absorption and natural aging // *Periodico Tche Quimica*. 2020. Vol. 17. No 36. Pp. 845–855.
8. Базунова М. В., Псянчин А. А., Захарова Е. М., Садритдинов А. Р., Хуснуллин А. Г., Захаров В. П. Термо- и фотоокислительная деструкция вторичного полипропилена, наполненного аломосиликатными микросферами // *Бутлеровские сообщения*. 2020. Т. 61. №3. С. 28–35.
 9. Sumita M., Ookuma T., Miyasaka K. Effect of ultrafine particles on the elastic properties of oriented low-density polyethylene composites // *Journal of Applied Polymer Science*. 1982. Vol. 27. P. 3059.
 10. Sumita M., Tsukihi H., Miyasaka K., Ishikawa K. Dynamic mechanical properties of polypropylene composites filled with ultrafine particles // *Journal Applied Polymer Science*. 1984. Vol. 29. P. 1523.
 11. Jeon I.-Y., Baek J.-B. Nanocomposites Derived from Polymers and Inorganic Nanoparticles // *Materials*. 2010. Vol. 3. Pp. 3654–3674.
 12. Salikhov R. B., Bazunova M. V., Salikhov T. R., Bazunova A. A., Zakharov V. P. Study of the effect of photooxidative processes on the surface morphology and physico-mechanical characteristics of biodegradable materials based on secondary polypropylene and chalk additives // *Letters on Materials*. 2020. Vol. 10. No 3. Pp. 288–293.
 13. Базунова М. В., Васюкова А. С., Салихов Р. Б., Захаров В. П. Изучение влияния структуры поверхности полимерных композиционных материалов на основе вторичного полипропилена и природных наполнителей различного происхождения на физико-механические свойства // *Вестник Технологического ун-та*. 2018. Т. 21. №7. С. 37–40.
 14. Salikhov R. B., Bazunova M. V., Bazunova A. A., Salikhov T. R., Zakharov V. P. Study of thermal properties of biodegradable composite materials based on recycled polypropylene. *Letters on Materials*. 2018. Vol. 8. No 4(32). Pp. 485–488.
 15. Филатов И.С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. М.: Наука, 1983. 216 с.

Поступила в редакцию 30.05.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.25

OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES BASED ON POLYPROPYLENE AND SILICON DIOXIDE

© M. V. Bazunova*, E. R. Sultanov, A. A. Bazunov, A. B. Glazyrin

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.**Phone: +7 (347) 229 97 24.***Email: mbazunova@mail.ru*

The work is devoted to the study of the influence of ultradispersed silicon dioxide on the technological and operational properties of polymer composite materials based on polypropylene and silicon oxide and the study of their resistance to environmental factors using accelerated climatic aging. It was found that the compounds containing silicon dioxide are characterized by relatively high thermal stability. Accelerated climatic tests have shown that compositions with a low silicon dioxide content (3–5%) are characterized by a slightly higher resistance to photooxidative degradation than unfilled polypropylene. When analyzing the deformation properties, it was found that filling polypropylene with ultrafine particles of silicon dioxide leads to an insignificant increase in the elastic modulus of the composite by 2.5–3%, which indicates an increase in the rigidity of the material. After accelerated aging, a slight increase in the elastic modulus of the composite was also observed with an increase in the silicon oxide content. In this case, the longer the exposure period of the material in the climatic chamber, the lower the values of the elastic modulus it acquires. It is shown that the destruction of polypropylene macromolecules in a composite under the influence of environmental factors leads to a loss of their strength, and for composites with an insignificant content of silicon dioxide (up to 3%), the loss of strength is minimal.

Keywords: polypropylene, silicon dioxide, polymer composite materials, thermal stability, physical and mechanical properties.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Guseinova Z. N. G., Kakhramanov N. T., Mamedov B. A., Osipchik V. S., Mamedli U. M. G. *Perspektivnye materialy*. 2018. No. 7. Pp. 33–42.
2. Bazunova M. V., Smirnov A. V., Sadritdinov A. R. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2021. Vol. 26. No. 1. Pp. 79–83.
3. Bazunova M. V., Bakirova E. R., Bazunova A. A., Kulish E. I., Zakharov V. P. *Vestnik Tekhnologicheskogo un-ta*. 2018. Vol. 21. No. 1. Pp. 43–46.
4. Gupta A. P., U. K. Saroop G. S. Jha and M. Verma. *Studies on the Effect of Coupling Agent on Glass Fiber Filled Polypropylene*. *Polymer Plastics, Technology and Engineering*. 2003. Vol. 42. No 2. Pp. 297–309.
5. Huang X. Y., Jiang P. K. and Tanaka T. *IEEE Electr. Insul. Mag.* 2011. Vol. 27. No. 4. Pp. 8–16.
6. Glazyrin A. B., Zakharov V. P., Sadritdinov A. R., Bazunova M. V., Zakharova E. M. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*. 2019. No. 6. Pp. 52–57.
7. Sadritdinov A. R., Chernova V. V., Bazunova M. V., Zakharova E. M., Zakharov V. P. *Periodico Tche Quimica*. 2020. Vol. 17. No 36. Pp. 845–855.
8. Bazunova M. V., Psyanchin A. A., Zakharova E. M., Sadritdinov A. R., Khusnullin A. G., Zakharov V. P. *Butlerovskie soobshcheniya*. 2020. Vol. 61. No. 3. Pp. 28–35.
9. Sumita M., Ookuma T., Miyasaka K. *Journal of Applied Polymer Science*. 1982. Vol. 27. Pp. 3059.
10. Sumita M., Tsukihi H., Miyasaka K., Ishikawa K. *Journal Applied Polymer Science*. 1984. Vol. 29. Pp. 1523.
11. Jeon I.-Y., Baek J.-B. *Materials*. 2010. Vol. 3. Pp. 3654–3674.
12. Salikhov R. B., Bazunova M. V., Salikhov T. R., Bazunova A. A., Zakharov V. P. *Letters on Materials*. 2020. Vol. 10. No 3. Pp. 288–293.
13. Bazunova M. V., Vasyukova A. S., Salikhov R. B., Zakharov V. P. *Vestnik Tekhnologicheskogo un-ta*. 2018. Vol. 21. No. 7. Pp. 37–40.
14. Salikhov R. B., Bazunova M. V., Bazunova A. A., Salikhov T. R., Zakharov V. P. *Study of thermal properties of biodegradable composite materials based on recycled polypropylene*. *Letters on Materials*. 2018. Vol. 8. No 4(32). Pp. 485–488.
15. Filatov I.S. *Klimaticheskaya ustoichivost' polimernykh materialov [Weather resistance of polymeric materials]*. Moscow: Nauka, 1983.

Received 30.05.2021.