УДК 544.77+661.18

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.13

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

© М. В. Базунова*, А. В. Смирнов, А. Р. Садригдинов

*Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.**Тел.: +7 (347) 229 97 24.***Email: mbazunova@mail.ru*

Работа посвящена исследованию условий получения полимерных композиционных материалов на основе полипропилена и оксида алюминия и изучению их физико-механических свойств. Установлено, что увеличение содержания оксида алюминия в композите приводит к увеличению максимального крутящего момента при вращении роторов в камере смешения пластиграфа при совмещении компонентов композиции по сравнению со значением максимального крутящего момента полипропилена без наполнителя. Подобраны условия, при которых происходит удовлетворительное смешение компонентов с равномерным распределением неорганического наполнителя по объему материала: температура в камере пластиграфа 180 °С, скорость вращения роторов 30 об/мин, время пребывания компонентов в камере пластиграфа 15 мин при нагрузке 200 Н, содержание оксида алюминия 5–7%. Показано, что при невысоких степенях наполнения (2–3%) композиты на основе полипропилена и оксида алюминия характеризуются удовлетворительными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: полипропилен, оксид алюминия, полимерные композиционные материалы, максимальный крутящий момент, физико-механические свойства.

Введение

В настоящее время среди конструкционных материалов на основе термопластов наибольший интерес в плане модификации свойств и широкого разнообразия областей применения представляют полимерные композиционные материалы (ПКМ) на их основе. Добавками, которые в максимальной степени способны изменить свойства полимерного связующего, являются наполнители. Твердые наполнители ПКМ подразделяют на три группы: дисперсные, волокнистые и листовые. Дисперсные наполнители являются самыми распространенными.

Среди дисперсных наполнителей особое внимание привлекают минеральные вещества, которые используются в первую очередь для улучшения прочностных характеристик, снижения усадки, остаточных напряжений и склонности к растрескиванию [1].

Экологические аспекты, такие как разложение под действием факторов окружающей среды, биосовместимость и перерабатываемость материала, также важны [2–3].

Многие термопласты, в том числе полипропилен (ПП), с одной стороны, обладают высокой жесткостью, низким удельным весом, хорошей прозрачностью, простотой переработки и высокой технологичностью, благодаря чему они получили признание на рынке [4], а с другой стороны термопласты известны как плохие проводники тепла [5]. У них обычно нет свободных электронов, доступных для механизмов электронной и теплопроводности. Для термопластов с низкой степенью кристалличности при 0–200 °С теплопроводность лежит в диапазоне 0.125–0.2 Вт/(м·К). Более высокая тепло-

проводность достигается только в присутствии определенных наполнителей [6].

С этой точки зрения перспективным дисперсным наполнителем ПКМ на основе ПП является оксид алюминия, который также может повысить огнестойкость композиции [7–8]. Однако, введение дисперсного наполнителя может привести к снижению технологических и механических свойств [9].

Следовательно, целесообразным является исследование условий получения ПКМ на основе ПП и оксида алюминия и изучение их перерабатываемости и физико-механических свойств.

Экспериментальная часть

В работе при создании ПКМ использованы полипропилен марки PP H120 GP/1 производства ООО «Томскнефтехим» (ПАО «Сибур») и оксид алюминия (х.ч.) с размером частиц 63–200 мкм.

Приготовление композитов проводили в расплаве на лабораторной станции (пластограф) Plastograph ЕС фирмы Brabender 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 7 000 кгс в течение 3 мин с последующим охлаждением или без охлаждения на прессе.

Физико-механические свойства полимерных композитов при разрыве определяли согласно ГОСТ 11262-80 на разрывной машине Shimadzu AGS-X (Shimadzu, Япония) при температуре 20 °С и скорости движения подвижного захвата разрывной машины 1 мм/мин.

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 прогрев 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

С целью определения оптимальных условий получения и оптимального состава композитов ПП-оксид алюминия, обеспечивающих удовлетворительные эксплуатационные свойства, была произведена отработка режимов приготовления композитов на лабораторной станции (пластограф) Plastograph ЕС и последующего прессования на автоматическом гидравлическом прессе.

Как показали исследования, увеличение содержания оксида алюминия в ПКМ приводит к увеличению максимального крутящего момента при вращении роторов в камере смешения пластографа по сравнению со значением максимального крутящего момента ПП без наполнителя (рис. 1), а

следовательно, и к некоторому усложнению переработки композиционного материала.

Рис. 1. Зависимость максимального крутящего момента композитов на основе ПП и оксида алюминия от содержания неорганической добавки в композиции.

Однако, в целом, при температуре в камере пластографа 180 °С и скорости вращения роторов 30 об/мин в течение 15 мин при нагрузке 200 Н и при содержании оксида алюминия 5–7% происходит удовлетворительное смешение компонентов композиции с равномерным распределением неорганического наполнителя по объему материала.

При исследовании реологических характеристик методом относительной реометрии (определение показателя текучести расплава) полученных композитов было установлено, что с увеличением содержания оксида алюминия в композиции происходит незначительное снижение показателя текучести расплава (рис. 2) как при прессовании композитов с охлаждением, так и без охлаждения на прессе. Очевидно, что введение неорганического наполнителя приводит к увеличению вязкости наполненных композиций в связи с увеличением доли нетекучего компонента.

Рис. 2. Зависимость ПТР композитов на основе ПП и оксида алюминия от содержания неорганической добавки в композиции.

Также необходимо отметить, что композиты с содержанием оксида алюминия более 5–7% подвержены короблению при прессовании, особенно если прессование не сопровождается последующим охлаждением на прессе.

Таким образом, особенности наполненного композита позволяют получать ПКМ на основе ПП и оксида алюминия с содержанием последнего до 5–7% традиционными технологическими способами, которые рекомендуются для переработки термопластов в изделия. Однако, факт уменьшения ПТР с повышением содержания неорганического наполнителя однозначно свидетельствует о незначительном усложнении процесса переработки композиционного материала, что должно быть учтено при составлении технологической карты производства.

Как показали проведенные физико-механические исследования на разрыв, при небольших степенях наполнения ПП оксидом алюминия (до 2–3%) прочность на разрыв композитов остается на уровне исходного ПП (рис. 3). Более высокая степень наполнения приводит к уменьшению прочности, что может быть обусловлено нарушением сплошности матрицы полипропилен/оксид алюминия за счет большего количества частиц добавки и «газовой фазы» [10].

Стоит отметить, что композиции с оксидом алюминия с малыми степенями наполнения (до 3%) характеризуются большими значениями удлинения при разрыве, чем исходный ПП, а при более высоких степенях наполнения удлинение при разрыве падает (рис. 4).

Рис. 3. Зависимость прочности на разрыв композитов на основе ПП и оксида алюминия от содержания неорганической добавки, полученных методом прессования с охлаждением.

Рис. 4. Зависимость удлинения при разрыве композитов на основе ПП и оксида алюминия от содержания неорганической добавки, полученных методом прессования с охлаждением.

Таким образом, введение оксида алюминия в полипропиленовую матрицу приводит к изменению всего комплекса физико-механических свойств, при этом, варьируя количество оксида алюминия, можно получать композиции, характеризующиеся принципиальными различиями в показателях.

Выводы

1. Установлено, что увеличение содержания наполнителя – оксида алюминия – в полимерных композитах на основе полипропилена приводит к увеличению максимального крутящего момента при вращении роторов в камере смешения пластографа по сравнению со значением максимального крутящего момента полипропилена без наполнителя.

2. Подобраны условия, при которых происходит удовлетворительное смешение компонентов композиции с равномерным распределением неорганического наполнителя по объему материала: температура в камере пластографа 180 °С, скорость вращения роторов 30 об/мин, время пребывания компонентов в камере пластографа 15 мин при нагрузке 200 Н, содержание оксида алюминия 5–7%.

3. Показано, что при невысоких степенях наполнения (2–3%) композиты на основе полипропилена и оксида алюминия характеризуются удовлетворительными физико-механическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Askeland D. R. The Science and Engineering of Materials, 2nd SI, ed. UK: Chapman and Hall, 1995. 888 p.

2. Хуснуллин А. Г., Бабунова М. В., Бабунова А. А., Кулиш Е. И., Захаров В. П. Влияние степени биодеструкции на перерабатываемость композиций на основе вторичного полипропилена и луги подсолнечника // Вестник Башкирского университета. 2019. Т. 24. №2. С. 345–350.
3. Бабунова М. В., Бакирова Э. Р., Бабунова 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 Технологич. ун-та. 2018. Т. 21. №1. С. 43–46.
4. Gupta A. P., Saroop U. K., Jha G. S. and Verma M.. 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. 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.
7. Agari Y, Ueda A, Nagai S. Thermal conductivities of composites in several types of dispersion systems // J Appl Polym Sci. 1991. Vol. 42. No 6. Pp. 1665–1669.
8. Razak J. A., Akil H. M., & Ong, H. Effect of Inorganic Fillers on the Flammability Behavior of Polypropylene Composites // Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2007. Vol. 20. No 2. Pp. 195–205.
9. Sufian A. S., Samat N., Sulaiman M. Y. M., & Paulus, W. (). Alumina Recovery from Industrial Waste: Study on the Thermal, Tensile and Wear Properties of Polypropylene/Alumina Nanocomposites // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2020. Vol 7. Pp.163–172.
10. Бабунова 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 Технологич. ун-та. 2018. Т. 21. №7. С. 37–40.

Поступила в редакцию 20.02.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.13

PRODUCTION AND PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES BASED ON POLYPROPYLENE AND ALUMINUM OXIDE

© M. V. Bazunova*, A. V. Smirnov, A. R. Sadritdinov

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 conditions for obtaining polymer composite materials based on polypropylene and aluminum oxide and the study of their physical and mechanical properties. It was found that an increase in the content of aluminum oxide leads to an increase in the maximum torque when the rotors rotate in the mixing chamber of the plastograph when combining the components of the composition, compared with the value maximum torque of polypropylene without filler. The conditions under which satisfactory mixing of the components with a uniform distribution of inorganic filler over the volume of the material occurs are as follows. The temperature in the plastograph chamber is 180 °C, the rotational speed of the rotors is 30 rpm, the residence time of the components in the plastograph chamber is 15 min at a load of 200 N, the content of aluminum oxide is 5–7%. It is shown that at low degrees of filling (2–3%), composites based on polypropylene and aluminum oxide are characterized by satisfactory physical and mechanical properties. Thus, the introduction of aluminum oxide into the polypropylene matrix leads to a change in the entire complex of physical and mechanical properties. By varying the amount of aluminum oxide, it is possible to obtain compositions characterized by fundamental differences in performance.

Keywords: polypropylene, aluminum oxide, polymer composite materials, maximum torque, 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. Askeland D. R. The Science and Engineering of Materials, 2nd SI, ed. UK: Chapman and Hall, 1995.
2. Khusnullin A. G., Bazunova M. V., Bazunova A. A., Kulish E. I., Zakharov V. P. Vestnik BashGU. 2019. Vol. 24. No. 2. Pp. 345–350.
3. Bazunova M. V., Bakirova E. R., Bazunova A. A., Kulish E. I., Zakharov V. P. Vestnik Tekhnologich. un-ta. 2018. Vol. 21. No. 1. Pp. 43–46.
4. Gupta A. P., Saroop U. K., Jha G. S. and Verma M.. 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. 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.
7. Agari Y., Ueda A., Nagai S. J Appl Polym Sci. 1991. Vol. 42. No 6. Pp. 1665–1669.
8. Razak J. A., Akil H. M., & Ong, H. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2007. Vol. 20. No 2. Pp. 195–205.
9. Sufian A. S., Samat N., Sulaiman M. Y. M., & Paulus, W. (). Alumina Recovery from Industrial Waste: Study on the Thermal, Tensile and Wear Properties of Polypropylene/Alumina Nanocomposites. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2020. Vol 7. Pp.163–172.
10. Bazunova M. V., Vasyukova A. S., Salikhov R. B., Zakharov V. P. Vestnik Tekhnologich. un-ta. 2018. Vol. 21. No. 7. Pp. 37–40.

Received 20.02.2021.