

Список использованных источников

1. Бабкин О. Э., Ильина В. В., Бабкина Л. А., Сиротинина М. В. Покрытия ультрафиолетового отверждения для функциональной защиты // Журнал прикладной химии. 2016. Т.89. № 1. С. 83-89
2. Бабкин О. Э., Бабкина Л. А., Айкашева О. С., Ильина В. В. Принципы составления рецептур, определяющих свойства фотополимерных покрытий и изделий // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. № 48 (74). С. 63-67.
3. Бабкин О. Э., Бабкина Л. А. УФ-отверждаемые ЛКМ: основные характеристики и преимущества применения // Лакокрасочная промышленность. 2011. № 11. С. 14-20.
4. Бабкин О. Э., Бабкина Л. А., Айкашева О. С., Ильина В. В. Фотополимерные покрытия оптоволоконных кабелей // Химические волокна. 2018. № 6. С. 14-16.
5. Бабкин О. Э., Власов М. Ю., Айкашева О. С., Ильина В. В., Бабкина Л. А. Фотополимерные покрытия для АО «Оптическое волоконные системы» // Химическая технология. 2021. Т.22, № 2. С.53-39.

УДК 678.046

**О.М. Касперович¹, А.Ф. Петрушеня¹, А.В. Касперович¹,
Я.П. Казусик¹, Л.Е. Евсева², К.В. Николаева²,
С.М. Данилова-Третьяк², В.Г. Лещенко²**

¹Белорусский государственный технологический университет

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Беларусь

НАПОЛНИТЕЛИ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ В ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРАХ

Аннотация. В настоящей работе приведены данные по исследованиям влияния минеральных наполнителей с повышенной теплопроводностью на свойства термопластичных полимеров, с целью дальнейших разработок в области повышения теплопроводности полимеров и полимерных композиционных материалов.

V.M. Kasperovich¹, A. F. Petrushenya¹, A.V. Kasperovich¹,
Y.P. Kazusick¹, L.E. Evseeva², K. V. Nikolaeva²,
S.M. Danilova-Tretiak², V.G. Leschenko²

¹Belarusian State Technological University

²A.V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of
Sciences of Belarus
Minsk, Belarus

FILLERS WITH INCREASED THERMAL CONDUCTIVITY IN THERMOPLASTIC POLYMERS

Abstract. This paper presents data on the study of the effect of mineral fillers with increased thermal conductivity on the properties of thermoplastic polymers, with the aim of further developments in the field of increasing the thermal conductivity of polymers and polymer composite materials.

Электронные устройства, энергетическое оборудование (высоковольтные кабели, силовые трансформаторы, и т.д.), полимерные трубы для прокладки силовых кабелей – все эти изделия при повышении производительности выделяют большое количество тепла, что ухудшает работу устройств и сокращает срок их службы. В связи с этим возникает необходимость в эффективном отводе этого тепла.

Полимеры являются привлекательными материалами, учитывая их высокую технологичность, низкую плотность и соответственно малый вес, низкую стоимость и электроизоляционные свойства, но им не хватает высокой теплопроводности, что снижает скорость теплопередачи. Их теплопроводность ограничена значениями 0,1–0,5 Вт/м·К [1].

Для решения этой проблемы используются наполнители с высокой теплопроводностью, которые вводят в полимерную матрицу для повышения ее теплопроводности [2, 3]. Наиболее распространенными из них являются металлические частицы, наполнители на основе углерода, а также керамика, частицы оксида алюминия Al_2O_3 , карбида кремния SiC и гексагональный нитрид бора BN [4].

В ходе исследований предстояло определить изменение физико-механических свойств композиций на основе термопластичных полимеров при введении в них наполнителей, обладающих высокой теплопроводностью. Нами были использованы следующие материалы: полиэтилен в качестве базового термопластичного связующего, BN и SiC в качестве наполнителей.

В исследовании использовался полиэтилен марки M3204RUP,

который представляет собой линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), доступный в форме порошка, гексагональный BN с массовой долей BN не менее 98,0%, прошедшего через сито, со стороной ячейки в свету 100 мкм по ДСТУ ISO 3310-1, не менее 90%, SiC марки 63С F2000 с размером частиц 0,9-1,5 мкм.

В работе нам хотелось изучить возможность введения наполнителя в достаточно большом процентном соотношении. Предполагая возможные технологические сложности, связанные со значительным увеличением вязкости и абразивным износом оборудования, было принято решение применить технологию прессования для получения экспериментальных образцов. Однако данный способ имеет сложности с гомогенизацией получаемых композиций и требует, чтобы смеси были подготовлены до стадии прессования соответствующим образом. Получение смеси проводилось по авторской методике. Таким образом были приготовлены композиции с содержанием наполнителей от 5 до 60 мас.%

В ходе исследований были получены следующие результаты.

BN и SiC оказывают различное влияние на полимерную матрицу, и каждый из них формирует определенный комплекс деформационно-прочностных свойств.

Эластичность композиции при введении SiC снижается, но не так значительно, как с BN. При этом происходит заметное уменьшение прочности при разрыве уже при введении 5 мас. % SiC, в то время как у BN наблюдается увеличение прочности на 38% при таком же процентном содержании наполнителя.

Модуль упругости при введении SiC практически не изменяется, в то время как при введении BN происходит значительное увеличение этого показателя – на 36%.

Поскольку для изменения теплопроводящих свойств композиции, как известно из литературных источников, требуется введение значительного количества наполнителя, нами была изготовлена композиция с содержанием SiC 60 мас.%. При этом наблюдалось увеличение прочности при разрыве и значительное, практически в 4 раза увеличение модуля упругости, значение которого составило 1790 МПа. Но при этом следует отметить, что относительное удлинение при разрыве составило всего 1,4 %. При введении 60 мас.% BN измерить деформационно-прочностные свойства не представлялось возможным, поскольку наполнитель недостаточно смачивался полимерной матрицей и образец получался рыхлым.

Поскольку исследуемые наполнители имеют различное влияние

на полимерную матрицу, был проведен эксперимент по их совместному введению. При различных соотношениях наполнителей наблюдалось преимущественное влияние того или иного компонента на деформационно-прочностные свойства. В целом совместное применение наполнителей не привело к значительному изменению свойств.

BN в смеси наполнителей снижал значения предела текучести и прочности при растяжении, а так же значительно уменьшал деформационные свойства, в частности снижал относительное удлинение при разрыве, однако позволял значительно повысить прочность при разрыве и модуль упругости композиций, в которых в качестве наполнителя использовался SiC.

Введение всех типов наполнителей приводило к снижению показателя текучести расплава, однако даже при максимальных концентрациях наполнителя, ПТР оставался достаточным для переработки этих композиций стандартными методами.

Список использованных источников

1. Xuyen, N.T.; Ra, E.J.; Geng, H.-Z.; Kim, K.K.; An, K.H.; Lee, Y.H. Enhancement of conductivity by diameter control of polyimide-based electrospun carbon nanofibers. *J. Phys. Chem. B* 2007, 111, 11350–11353.
2. Lin, Z.; Mcnamara, A.; Liu, Y.; Moon, K.; Wong, C.-P. Exfoliated hexagonal boron nitride-based polymer nanocomposite with enhanced thermal conductivity for electronic encapsulation. *Compos. Sci. Technol.* 2014, 90, 123–128.
3. Wang, X.; Wu, P. Preparation of Highly Thermally Conductive Polymer Composite at Low Filler Content via a Self-Assembly Process between Polystyrene Microspheres and Boron Nitride Nanosheets. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2017, 9, 19934–19944.
4. Han, Z.; Fina, A. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review. *Prog. Polym. Sci.* 2011, 36, 914–944.