

УДК 539.23;678.046

**С.М. Данилова-Третьяк, Л.Е. Евсева, А.В. Касперович,
О.М. Касперович, Л.А. Ленартович, К.В. Николаева, А.Ф. Петрушеня**

СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ ВВЕДЕНИИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

В настоящей работе приведены данные по исследованиям влияния введения минеральных наполнителей с повышенной теплопроводностью на свойства, в том числе теплофизические, термопластичных полимеров.

Ключевые слова: теплопроводность, термопластичный полимер, наполнитель, полимерная матрица, деформационно-прочностные свойства.

**S.M. Danilova-Tretiak, L.E. Evseva, A.V. Kasperovich,
O.M. Kasperovich, L.A. Lenartovich, K.V. Nikolaeva, A.F. Petrushenya**

PROPERTIES OF POLYETHYLENE WITH THE INTRODUCTION OF FILLERS WITH INCREASED THERMAL CONDUCTIVITY

This paper presents data on studies of the effect of the introduction of mineral fillers with increased thermal conductivity on properties, including thermophysical properties, of thermoplastic polymers.

Keywords: thermal conductivity, thermoplastic polymer, filler, polymer matrix, deformation-strength properties.

Полимеры обладают низкой теплопроводностью, около 0,1–0,5 Вт/м·К, и являются теплоизоляторами [1, 2], что ограничивает их использование в приложениях, требующих повышенного теплоотвода. В то же время полимерные композиты с повышенной теплопроводностью широко используются в различных отраслях промышленности, в системах возобновляемой энергетики, в электронных системах, для скрытой прокладки силовых кабелей.

В качестве перспективных наполнителей для целей повышения теплопроводности полимерных композитов были рассмотрены гексагональный нитрид бора (BN) и карбид кремния (SiC) [3, 4].

В ходе исследований предстояло определить изменение физико-механических и теплофизических свойств композиций на основе термопластичных полимеров при введении в них наполнителей, обладающих высокой теплопроводностью.

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. Концентрации наполнителей BN и SiC составили от 5 до 60 мас. %

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, мы приняли 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. %.

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.

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.

Исследования теплофизических свойств проводились на приборе LFA547 MicroFlash (NETZSCH, Germany), на котором методом лазерной вспышки экспериментально определялся коэффициент температуропроводности (a), а также на приборе DSC214 Polyma (Netzsch, Германия), на котором определялась удельная теплоемкость (C_p) материала. Затем, с учетом плотности образцов, рассчитывался коэффициент теплопроводности (λ).

Введение высокотеплопроводных наполнителей в малой концентрации не оказывает влияния на значение теплопроводности полимерного композита в сравнении с чистым ЛПЭНП. Увеличение концентрации наполнителя приводит к увеличению коэффициентов температуропроводности и теплопроводности. При концентрации 60 мас. % BN значение теплопроводности полимерного композита составляет 1,620 Вт/м·К, а при той же концентрации SiC – 1,197 Вт/м·К, что практически в 5 и 3 раза больше чистого полимера, соответственно. При этом удельная теплоемкость с увеличением концентрации уменьшается линейно.

Список литературы

1. Enhancement of conductivity by diameter control of polyimidebased electrospun carbon nanofibers / N.T. Xuyen, E.J. Ra, H.-Z. Geng, K.K. Kim, K.H. An, Y.H. Lee // *J. Phys. Chem. B.* – 2007. – Vol. 111. – P. 11350–11353.
2. Exfoliated hexagonal boron nitride-based polymer nanocomposite with enhanced thermal conductivity for electronic encapsulation / Z. Lin, A. Mcnamara, Y. Liu, K. Moon, C.-P Wong // *Compos. Sci. Technol.* – 2014. – Vol. 90. – P. 123–128.
3. Boron Nitride, Thermal Properties. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.io_e.ru/SVA/NSM/Semicond/BN/thermal (дата обращения: 06.12.2022).
4. Boron nitride (BN) // *Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe* / S.L. Rumyantsev, M.E. Levinshtein, A.D. Jackson [et. al.]. – New York, USA, 2001. – P. 67–92.

Об авторах

Данилова-Третьяк Светлана Михайловна – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, заведующий лабораторией теплофизических измерений, Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, e-mail: dts@hmti.as.by

Евсеева Людмила Евгеньевна – старший научный сотрудник лаборатории теплофизических измерений, Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, e-mail: evseeva@itmo.by

Касперович Андрей Викторович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Полимерные композиционные материалы», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: andkasp@belstu.by

Касперович Ольга Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Полимерные композиционные материалы», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: kasperovichvolha@yandex.by

Ленартович Лилия Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Полимерные композиционные материалы», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: liliya.porova@mail.ru

Николаева Кристина Викторовна – научный сотрудник лаборатории теплофизических измерений, Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, e-mail: nikolajewa@hmti.ac.by

Петрушеня Александр Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Полимерные композиционные материалы», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: petraf@belstu.by