

Список использованных источников

1. Smart Cargo Delivery System based on Mesoporous Nanoparticles for Bone Disease Diagnosis and Treatment / P. Pan, Q. Yue, J. Li [et al.] – DOI 10.1002/advs.202004586 // Advanced Science. – 2021. – Vol. 8, № 12. – P. 1-26.
2. The mechanical properties and osteoconductivity of hydroxyapatite bone scaffolds with multi-scale porosity / J. R. Woodard, A. J. Hildore, S. K. Lan [et al. – DOI 10.1016/j.biomaterials.2006.08.021 // Biomaterials. – 2007. – Vol. 28, № 1. – P. 45-54.
3. Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite/Wollastonite Composite Powders by SolGel Processing / M. A. Encinas-Romero, S. Aguayo-Salinas, S. J. Castillo [et al.]. – DOI 10.1111/j.1744-7402.2008.02212.x // Int J Appl Ceram Technol. – 2008. – Vol. 5, № 4. – P. 401-411.
4. Fabrication and Characterization of Hydroxyapatite/Wollastonite Composite Bioceramics with Controllable Properties for Hard Tissue Repair / K. Lin, M. Zhang, W. Zhai [et al.]. – DOI 10.1111/j.1551-2916.2010.04046.x // Journal of the American Ceramic Society. – 2011. – Vol. 94, № 1. – P. 99-105.

УДК 678.046.3

**О.М. Касперович, А.В. Искрицкая, А.В. Касперович,
А.Ф. Петрушеня, Е.А. Марковская**

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОИСТЫМИ СИЛИКАТАМИ

***Аннотация.** В данном исследовании предложена методика модификации бентонитовой глины с целью придания ей органофильности и разработана технология ее введения в неполярную полимерную матрицу, исследованы деформационно-прочностные свойства полученных композиционных материалов.*

**O. M. Kasperovich, A.V. Iskritskaya, A.V. Kasperovich,
A.F. Petrushenya, E.A. Marcovskaya**
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

RESEARCH ON THE PROPERTIES OF POLYETHYLENE COMPOSITIONS MODIFIED WITH LAYERED SILICATES

***Abstract.** In this study, a method for modifying bentonite clay to impart organophilicity is proposed, and a technology for its incorporation into a non-polar polymer matrix is developed. The deformation and strength properties of the resulting composite materials are investigated.*

В последние десятилетия наблюдается значительный интерес к разработке и исследованию полимерных композитов, которые обладают улучшенными физико-механическими свойствами. Одним из перспективных направлений является модификация полимеров с помощью слоистых силикатов, например, бентонитовой глины. Данные материалы способны значительно повысить прочность, термостойкость и устойчивость к воздействию химических веществ полимерных материалов.

Полиэтилен является одним из самых распространённых термопластов, используемых в различных отраслях промышленности. Вопросам его модификации посвящено большое количество работ [1, 2]. Слоистые силикатные материалы, благодаря своей уникальной структуре и свойствам, возможно, также могут служить эффективными модификаторами, способствующими улучшению механических и термических характеристик полиэтилена.

Однако, существуют определенные трудности в смачиваемости гидрофильных глин гидрофобным полимером, интеркаляции полимера в межслойное пространство глины и распределении глины в высоковязкой полимерной матрице, поэтому для улучшения совместимости необходима модификация глины с целью придания ей гидрофобности. В качестве модификаторов в данном случае применяются различные химические вещества органического происхождения, в том числе и аммониевые соединения [3].

Целью данной работы являлось получение полиэтиленовых композиций, модифицированных бентонитовой глиной, и оценка их совместимости.

Методика получения композиций включала несколько этапов. На первом этапе осуществлялась модификация обогащенной и измельченной бентонитовой глины. В качестве модификатора в данном

исследовании применялось четвертичное аммониевое соединение – хлорид кокотриметиламмония марки Arquad 35. Состав углеродного скелета имел следующий вид: 6% – C₁₀, 50% – C₁₂, 19% – C₁₄. Модификация должна была увеличить расстояние между слоями бентонита, придать глине органофильность и облегчить условия распределения бентонита в полимерной матрице.

Следующим этапом являлось приготовление суперконцентрата на основе модифицированного бентонита (БГ_м) и малеинизированного полиэтилена в соотношении 30 масс.% модифицированной бентонитовой глины к 70 масс.% малеинизированного полиэтилена.

Полученные суперконцентраты вводились в полимерную матрицу – линейный полиэтилен низкой плотности марки Borstar FB4230 – в заданном процентном соотношении при помощи двухшнекового экструдера. Полученные в ходе экструдирования гранулы использовались для изготовления на термопластавтомате стандартных образцов для испытаний.

Для оценки эффективности предложенной технологии была проведена оценка совместимости глин с полимерной матрицей путем исследования деформационно-прочностных свойств разработанных композиций. Повышение свойств при введении дисперсных наполнителей в полимер свидетельствовало бы о совместимости компонентов.

Определение деформационно-прочностных характеристик проводилось согласно ГОСТ 11262–2017 при скорости растяжения 100 мм/мин на разрывной машине Alpha Technologies [4].

Поскольку введение дисперсных наполнителей оказывает существенное влияние на вязкостные характеристики композиций, был определен показатель текучести расплава (ПТР) на экструзионном пластометре XNR-400 согласно ГОСТ 11645–2021 при температуре 190°C с использованием груза массой 2,16 кг [5], с целью оценки способности к переработке разработанных композиций.

Результаты определения деформационно-прочностных свойств полученных композиций представлены в таблице 1.

Введение немодифицированной глины в полимерную матрицу оказалось неэффективным и связанным с технологическими трудностями.

Модификация бентонитовой глины по предлагаемой технологии позволяет незначительно повысить прочностные свойства композиций при значительном снижении деформационных свойств, однако при этом значительно повышается термостойкость полимерного композиционного материала.

Таблица 1 – Деформационно-прочностные композиций

Композиция	Прочность при разрыве, МПа	Деформация при разрыве, %	Модуль упругости при растяжении, МПа
Исходный полимер			
Полиэтилен (ПЭ)	13,02	519,50	156,50
Композиции с модифицированной глиной и полиэтиленом			
БГ _М 0,25 масс. %	13,91	500,37	163,3
БГ _М 0,5 масс. %	14,01	479,47	176,7
БГ _М 1,0 масс. %	14,11	467,37	200,1
БГ _М 1,5 масс. %	14,19	437,47	228,7

Как видно из представленных данных с увеличением содержания наполнителя прочность при разрыве и модуль упругости увеличиваются, в то время как деформация при разрыве незначительно уменьшается с увеличением количества глины. При этом увеличение модуля упругости составило 46 % в сравнении с исходным полимером.

ПТР показал незначительное уменьшение с увеличением содержания глины, что позволит перерабатывать разработанные композиции методом экструзии.

Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии, совмещенной с методом термогравиметрии позволяет определять энергетические эффекты, наблюдаемые при различных экзотермических (кристаллизация, окисление) и эндотермических (плавление, деструкция) процессах, а также для оценки изменения массы полимера в зависимости от температуры в результате протекания химических процессов.

Одной из важнейших характеристик, являющейся критерием термостабильности полимера и оценки скорости протекания процесса деструкции, является температура 50 %-ной потери массы образцом.

Для чистого ПЭ температура максимума пика плавления составила 127,0°C. Начало плавления наблюдалось при 112,02°C, окончание плавления – 134,61°C, таким образом плавление кристаллической фазы наблюдалось в интервале температур 22,59°C. Это обусловлено тем, что кристаллиты полимеров неодинаковы по размерам, обладают различной степенью дефектностью и плавятся с различной скоростью. Температура начала окисления чистого полиэтилена составила 240°C, температура начала деструкции около 340°C. Температура 50 %-ной потери массы составила 375°C. Температура, при которой происходит полное разложение вещества – конечная температура разложения – составила 442°C.

Температура максимума пика плавления для композиции, содержащей БГ_М 0,25 масс. %, составила 127,42°C, что соответствует максимальной температуре плавления для чистого полиэтилена. Начало плавления наблюдается при 109,98°C, окончание плавления при 135,38°C, таким образом, плавление кристаллической фазы наблюдается в интервале температур 25,4°C, что свидетельствует об увеличении температурного интервала плавления. Температура начала окисления композиции составляет 239,08°C, а температура начала деструкции около 382°C. Таким образом, видно, что температура начала окисления не изменяется при введении модифицированной бентонитовой глины с малеинизированным полиэтиленом, однако, температура начала деструкции значительно увеличивается по сравнению с чистым ПЭ на 42°C. Температура, при которой происходит полное разложение вещества – конечная температура разложения – составляет 440°C. Температура 50 %-ной потери массы $T_{50\%}=410^\circ\text{C}$, что на 35°C выше, чем у чистого ПЭ. Это свидетельствует о том, что интенсивность окислительных процессов, протекающих в ПЭ, содержащем 0,25 % бентонитовой глины, гораздо ниже.

Установлено, что использование модифицированных глин в количестве 0,25 масс. % в композициях полиэтилена приводит к увеличению термостабильности по сравнению с чистым полиэтиленом, о чем свидетельствует повышение температуры начала деструкции композиций на 42°C, а также повышение температуры 50 %-ной потери массы на 35°C.

Таким образом, на основании полученных данных было выявлено, что введение немодифицированных силикатов приводит к возникновению трудностей с переработкой данного полимерного композиционного материала и падению деформационно-прочностных свойств композиций. Модификация глины способствует уменьшению процессов агломерации, что позволяет достигать более высоких прочностных свойств, модуль упругости возрастает на 46 %.

К тому же введение модифицированной глины в полиолефиновую матрицу приводит к увеличению термостабильности и повышает термостойкость композиций.

Список использованных источников

1. Гусейнова, З.Н., Модифицирование полиэтилена низкой плотности 2,5-дигидрокси-2,5-диметилгексином-3 // Пластические массы. – 2016. – № 1-2. – с. 10-11.

2. Волков, В.П. Механохимическая модификация полиэтилена винилтриалколкисиланами / В.П. Волков [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 2004. – Т. 46, № 5. – с. 815-821.

3. Панасюгин, А.С. Модифицированные глины как сорбенты, катализаторы, носители активных каталитических фаз / А.С. Панасюгин, А.Р. Цыганов, Н.П. Машерова. – Минск: БГТУ, 2022. – 198 с.

4. Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 11262. – Введ. 01.10.2018. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2018. – 24 с.

5. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов: ГОСТ 11645–2021. – Введ. 01.09.2022. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2022. – 30 с.

УДК 378.1

E.A. Kozhuhova, Ye.A. Spirina, I.A. Samoylova

Karaganda Buketov University
Karaganda, Kazakhstan

A PROJECT-BASED LEARNING TO TEACHING STUDENTS

***Abstract.** Currently, there is a need to train specialists with professional and key personal competencies. Project-Based Learning is one of the competence-based approaches that allows you to gain practical experience in project development while studying at the university.*

Е.А. Кожухова, Е.А. Спирина, И.А. Самойлова

Карагандинский университет имени Е.А. Букетова
Караганда, Казахстан

ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ

***Аннотация.** В настоящее время возникает потребность подготовки специалистов, обладающих профессиональными и ключевыми личностными компетенциями. Project-Based Learning является одним из компетентностных подходов, который позволяет получить практический опыт разработки проектов еще во время обучения в университете.*