

ПОЛИМЕРНЫЕ ГИБРИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА И СКОРЛУПЫ ФУНДУКА

Перспективным направлением полимерного материаловедения является создание гибридных материалов на основе органико-неорганических систем. Эффективный способ решить эту проблему – модифицировать полимерную матрицу путем введения наполнителей [1]. Гибридными обычно называют композиты, наполненные двумя или более типами наполнителей.

В последнее время наблюдается растущий интерес исследователей к производству безопасных гибридных полимерных материалов, содержащих слоистые частицы алюмосиликата в качестве наполнителя [2]. Распространенные монтмориллонитовые и бентонитовые глины показывают наибольшие перспективы из всего диапазона слоистых алюмосиликатов [3]. Они анизометричны и при определенных условиях могут расслаиваться на отдельные листы толщиной около 1 нм и диаметром 20-250 нм.

Бентонит является сравнительно недорогим и экологичным материалом для использования. По этой причине многие ученые считают глинистые минералы материалом 21-го века. Он представляет собой абсорбирующую глину из филлосиликата алюминия, состоящую в основном из монтмориллонита. Бентонит обычно образуется в результате выветривания вулканического пепла, чаще всего в присутствии воды. Минеральный состав бентонитовой глины довольно изменчив.

А с другой стороны, в течение последнего десятилетия усиливающийся глобальный энергетический кризис и экологические риски привлекают все больше и больше исследовательских интересов в области композитов на биологической основе [4]. Лигноцеллюлозный материал обеспечивает неоспоримые преимущества перед обычными армирующими материалами, такие как низкая стоимость, низкая плотность, нетоксичность, возможность повторного использования, приемлемая прочность, экологичность, горючесть и минимальные проблемы с утилизацией отходов. Ореховые скорлупы – это один из источников возобновляемых лигноцеллюлозных материалов, которые могут быть получены в качестве побочных продуктов сельского хозяйства.

Фундук (лат. *Corylus avellana*) – является популярным и наиболее часто выращиваемым орехом после миндаля во всем мире. Скор-

лупа фундука – это возобновляемый лигноцеллюлозный материал, который получается в качестве побочных продуктов сельского хозяйства. В 2019/2020 году мировое производство фундука в скорлупе составило 646818 тонн [5], следовательно, вызывая большое количество (примерно 353807 тон) скорлупы фундука в качестве агроотхода. В Азербайджане имеются все необходимые погодные и климатические условия для выращивания и производства фундука. В настоящее время Азербайджан входит в число пяти ведущих производителей и экспортеров фундука (вместе с Турцией, Грузией, Италией и США). Скорлупа фундука – это малоиспользуемый сельскохозяйственный отход в Азербайджане, который не имеет промышленного использования и в настоящее время сжигается или выбрасывается.

Гибридные композиты предлагают лучший баланс механических свойств, чем негибридные композиты. Гибридизация дает нам возможность улучшить некоторые свойства композитов. Также обычно снижают производственные затраты, заменяя более дорогой наполнитель более дешевым. Используя гибридизацию, можно производить композиты, сочетающие в себе свойства обоих наполнителей.

Так как, гибридные нанокомпозиты с бентонитом и скорлупой лесного ореха до сих пор не исследованы, целью исследования было изучение влияния этих натуральных наполнителей на прочностные свойства гибридных нанокомпозитов на основе полиэтилена.

В качестве полимерной матрицы был использован полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки 15 803-020, который был предоставлен компанией «СОКАР ПОЛИМЕР» ООО, Сумгайыт, Азербайджан. Он имеет плотность 0.919 г/см^3 , прочность при разрыве 11.3 МПа, относительное удлинение при разрыве не менее 600% и индекс текучести расплава 2 г/10мин ($190^\circ\text{C}/2.16 \text{ кг}$).

Бентонитовая глина Даш-Салахлинского месторождения (Газах, Азербайджан) использовали в качестве наночастиц. Химический состав бентонитовой глины Даш-Салахлинского месторождения представлен в таблице 1. Добываемые бентонитовые глины Даш-Салахлинского месторождения содержат более 85% монтмориллонита, в обменном комплексе которого преобладают катионы натрия и магния. Содержание обменных катионов в среднем составляет 92-98 мг-экв/100г.

Таблица 1. Химический состав бентонитовой глины Даш-Салахлинского месторождения

Химическое соединение	Содержание, %	Химическое соединение	Содержание, %
SiO ₂	58.60	MgO	2.30
Al ₂ O ₃	13.40	P ₂ O ₅	0.11
Fe ₂ O ₃	4.70	SO ₃	0.25
FeO	0.18	K ₂ O	0.39
TiO ₂	0.39	Na ₂ O ₃	2.30
CaO	2.05	ППП	1.33

Сокращение по таблице: ППП – потери при прокаливании

А в качестве армирующего наполнителя использовали скорлупу фундука наиболее распространенного сорта Атабаба, который был предоставлен производителем сухих плодов фундука из города Хачмаз на севере Азербайджана.

Результаты анализа механических свойств при растяжении приготовленных композиционных материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Механические свойства при растяжении композитов

Состав композита, масс%	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, МПа
100ПЭНП	11.30	1230
90ПЭНП+10сф	10.69	1208
87ПЭНП+10сф+3бт	11.81	1372
85ПЭНП+10сф+5бт	10.38	1195
80ПЭНП+20сф	11.07	1316
77ПЭНП+20сф+3бт	12.71	1541
75ПЭНП+20сф+5бт	11.32	1334
70ПЭНП+30с ф	11.88	1402
67ПЭНП+30сф+3бт	13.22	1736
65ПЭНП+30сф+5бт	12.44	1611

Сокращение по таблице: сф – скорлупа фундука, бт – бентонит.

По данным таблицы 2 образцы, содержащие бентонит, продемонстрировали значительное улучшение предела прочности при растяжении и модуля упругости по сравнению с образцами без бентонита. Эти улучшения могут быть связаны с высоким аспектным отношением наночастиц глины, которое обеспечивает высокую площадь поверхности для адсорбции полимера. Кроме того, более высокие значе-

ния предела прочности при растяжении и модуля упругости могут быть связаны с более высокой дисперсией силикатных слоев наноглины в полимерной матрице и ограничением подвижности полимерных цепей внутри интеркалированных нанослоев глины. Конечно, стоит отметить, что улучшение механических свойств композитов за счет добавления наноглины может быть достигнуто только до определенной концентрации наноглины. В текущих исследованиях предел прочности при растяжении и модуль упругости гибридных композитов, наполненных наноглиной, увеличиваются с введением наноглины до 3 масс%, а потом начинает уменьшаться. Снижение модуля упругости и предела прочности при растяжении при более высоких концентрациях бентонита, вероятно, связано с агломерацией пластинок наноглины, которая резко снижает диспергирование частиц в матрице и, следовательно, эффективность усиливающих наночастиц в улучшении механических свойств.

Анализируя возможности использования наполнителей минерального (бентонит) и растительного (скорлупа фундука) происхождения вместе для получения гибридных нанокompозитных материалов можно сказать, что эти наполнители имеют тенденцию открывать новый путь применения в превращении агроотходов в полезные ресурсы в пластмассовой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alekseeva, O.V. Effect of the bentonite filler on structure and properties of composites based on hydroxyethyl cellulose / Alekseeva O.V., Rodionova A.N., Bagrovskaya N.A., et al. // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2019. – V.12. – P. 398-404.
2. Tunç, S. Preparation and characterization of biodegradable methyl cellulose/montmorillonite nanocomposite films / Tunç S., Duman O. // *Applied Clay Science*. – 2010. – V. 48. – P. 414-424.
3. Gil, A. Recent advances in the control and characterization of the porous structure of pillared clay catalysts / Gil A., Korili S.A., Vicente M.A. // *Catalysis Reviews*. – 2008. – V. 50. – P. 153-221.
4. Gholampour, A.A. A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications / Gholampour A.A., Ozbakkaloglu T. // *Journal of Materials Science*. – 2020. – V. 55. – P. 829-892.
5. Barbu, M.C. Walnut and hazelnut shells: untapped industrial resources and their suitability in lignocellulosic composites / Barbu M.C., Sepperer T., Tudor E.M., et al. // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10. – P. 6340-6350.