

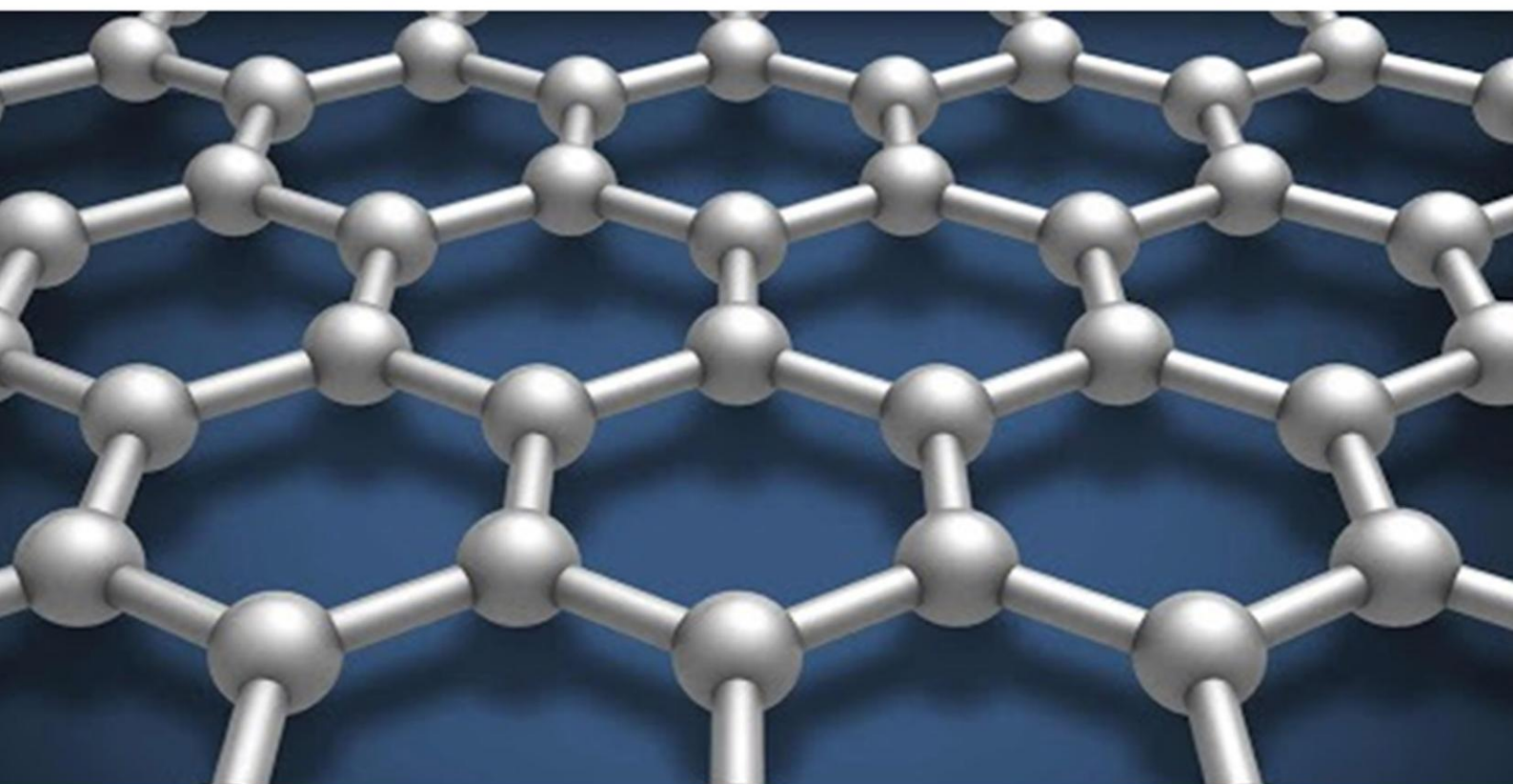
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 678.742:678.746:678.027.3:539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫМИ ИНГРЕДИЕНТАМИ

Тухтаев Феруз Садуллоевич¹, Мусоева Дилшода Норкуловна¹, Мардонова Махлиё Зокировна¹,
Махмудова Махлиё Маруповна¹, Негматов Сойибжон Садикович²

¹Навоийский государственный университет, ²ГУ «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ

Аннотация. В данном исследовании были получены композитные полимерные гранулы, модифицированные минеральными наполнителями на основе переработанных отходов полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП), и проведена всесторонняя оценка их структурной и морфологических свойств, а также физико-механических и термических характеристик. Смеси ПП/ПЭ характеризуются плохой межфазной адгезией и фазовым расслоением из-за их взаимной термодинамической несмешиваемости, что приводит к снижению механической прочности. Для решения этой проблемы матричная композиция была сформирована из 55 мас.% ПП и 15 мас.% ПЭ, а для упрочнения межфазной границы использовался компатибилизатор, привитый к полипропилену (МАПП) с 5 мас.% малеинового ангидрида.

Ключевые слова: полиэтилен, полипропилен, минерал, бентонит, каолин, смесь, наполнитель.

Введение. В последние годы объем пластиковых отходов и полимерных изделий значительно увеличился во всем мире, а их побочные продукты оказывают негативное воздействие на окружающую среду. В результате возникла необходимость в совершенствовании технологий их переработки. Отходы полиэтилена и полипропилена из домашних хозяйств составляют значительную часть потока термопластичных материалов, и их эффективная переработка стала центральным компонентом политики создания устойчивых материалов [1]. В то же время, из-за термодинамической несовместимости полиэтилена и полипропилена в смеси этих полимеров наблюдается процесс фазового разделения, что приводит к недостаточной адгезии на границе раздела фаз и ослабляет взаимодействие между компонентами [2]. Реактивные модификаторы типа МАПП улучшают дисперсное распределение полимерных компонентов за счет снижения свободной поверхностной энергии на границе раздела фаз. В результате повышается межфазная адгезия и обеспечивается эффективная передача нагрузки, что приводит к повышению механической стабильности и прочностных показателей, переработанных композитных полимерных материалов [3]. Однако модификации с использованием только модификатора может быть недостаточно для полного достижения эксплуатационных свойств, считающихся важными для строительных материалов, таких как твердость, термическая стабильность и геометрическая стабильность размеров. Минеральные

наполнители, а именно карбонат кальция (CaCO_3), каолин и бентонит, широко используются в композитных материалах для улучшения физических и механических свойств получаемого сырья, а также для стабилизации процесса производства [4]. CaCO_3 является дешевым и эффективным наполнителем в полимерных системах и может снижать различные свойства полимерных систем, включая высокую прочность на растяжение и ударопрочность.

Материалы и методики. Описание сырья и материалов В ходе научных исследований из отходов ПП и ПЭ, образующихся в результате потребления в народном хозяйстве, были получены композитные полимерные гранулы, которые использовались в качестве образца полимерного сырья. ПП и ПЭ являются основными компонентами композитных гранул, которые добавлялись в составы в различных весовых процентах, и был определен состав. Они условно следующие: 1-состав: (ПП-55%, ПЭ-15%, МАПП-5%, бентонит 3%, CaCO_3 -16%, каолин-6%)-ПППЭ-1; 2-состав: (ПП-60%, ПЭ-20%, МАПП-5%, бентонит 5%, CaCO_3 -10%, каолин-0%)-ПППЭ-2; 3-состав: (ПП-55%, ПЭ-15%, МАПП-5%, бентонит 10%, CaCO_3 -0%, каолин-15%)-ПППЭ-3; Состав 4: (ПП-55%, ПЭ-15%, МАПП-5%, бентонит 10%, CaCO_3 -5%, каолин-10%)-ПППЭ-4; Состав 5: (ПП-50%, ПЭ-30%, МАПП-5%, бентонит 0%, CaCO_3 -5%, каолин-10%)-ПППЭ-5. Для уменьшения хрупкости гранул композитного полимера и повышения ударопрочности использовались образцы ПЭ, поскольку полимерные цепи ПЭ обладают высокой эластичностью и

удлинением. Показатель текучести расплава (ПТО) полимеров определяли в соответствии с ISO 1133. В качестве модификатора для улучшения межфазной адгезии использовали 5% МАПП. Содержание МАПП составляло 0,8–1,0%, размер частиц CaCO_3 – 2–3 мкм, размер частиц каолина – 1–5 мкм, а размер частиц бентонита – 5–8 мкм. 2.2. Приготовление композитных гранул. Первоначально минеральные наполнители для приготовления сырья сушили в сушильном шкафу при 105 °С в течение 6 часов. Это делалось для предотвращения возможных проблем, связанных с влажностью. Композитную смесь экструдировали в экструдере со скоростью вращения шнека 100 об/мин в течение 2-3 минут, затем охлаждали в водяной бане и готовили в виде гранул. Для каждого состава готовили не менее трех образцов, что позволяло уменьшить экспериментальную погрешность.

Результаты и обсуждение. Введение минеральных наполнителей (CaCO_3 /каолин/бентонит) значительно увеличило модуль упругости при растяжении (E_t) и модуль упругости при изгибе (E_f) композитных материалов. Это объясняется наличием высокотвердых неорганических частиц в качестве несущей фазы в полимерной матрице.

Были получены образцы с 5 различными составами: PPPE-1: $\phi_f \approx 0,1027$, $E_{\text{theor}} \approx 7,902$ ГПа, $E_{\text{exp},1} = 6,56$; PPPE-2: $\phi_f \approx 0,0576$, $E_{\text{theor}} \approx 4,897$ ГПа, $E_{\text{exp},1} = 3,1$; PPPE-3: $\phi_f \approx 0,1059$, $E_{\text{theor}} \approx 7,136$ ГПа,

$E_{\text{exp},1} = 4,78$; PPPE-4: $\phi_f \approx 0,1052$, $E_{\text{theor}} \approx 7,309$ ГПа, $E_{\text{exp},1} = 5,57$; PPPE-5: $\phi_f \approx 0,0579$, $E_{\text{theor}} \approx 4,837$ ГПа, $E_{\text{exp},1} = 2,9$, а модуль упругости объектов находится в диапазоне модуля $\text{PP} \approx 1,5$ ГПа, модуля $\text{PE} \approx 0,8$ ГПа, $\text{МАПП} \approx 1,3$ ГПа, $\text{CaCO}_3 \approx 70$ ГПа, каолина ≈ 60 ГПа, бентонита ≈ 50 ГПа, который обладает значительно большей твердостью по сравнению с полимерной матрицей (≈ 1 –1,5 ГПа). Следовательно, общий модуль композиции увеличивается в результате введения 25% наполнителя.

Теоретический модуль упругости первоначально был оценен на основе правила смесей:

$$E_c = E_m(1 - \phi_f) + E_f\phi_f \quad (1)$$

Здесь: E_c - модуль композита, E_m - модуль матрицы, E_f - модуль наполнителя, ϕ_f - объемная доля наполнителя.

Расчетные результаты близки к экспериментальным значениям для композитов, с относительным отклонением 17–40%. Это различие может быть обусловлено эффективностью межфазного взаимодействия и геометрической формой частиц. Результаты исследований изменений объемной доли наполнителя, теоретического модуля упругости, экспериментального модуля и относительного отклонения, обусловленного различием массовых долей компонентов композита, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ массовых долей, объемной доли наполнителя (ϕ_f), теоретического модуля упругости (E_{theor}), экспериментального модуля (E_{exp}) и относительного отклонения (δ) композитных материалов

Состав	ПП (%)	ПЭ (%)	МАПП (%)	Бентонит (%)	CaCO_3 (%)	Каолин (%)	ϕ_f (объем)	E_{theor} (ГПа)	E_{exp} (ГПа)	δ (%)
PPPE-1	55	15	5	3	16	6	0,1027	7,902	6,56	17,0
PPPE-2	60	20	5	5	10	0	0,0576	4,897	3,10	36,7
PPPE-3	55	15	5	10	0	15	0,1059	7,136	4,78	33,0
PPPE-4	55	15	5	10	5	10	0,1052	7,309	5,57	23,8
PPPE-5	50	30	5	0	5	10	0,0579	4,837	2,90	40,0

Как видно из таблицы, введение минеральных наполнителей повышает модуль упругости композитов. Максимальное значение (6,56 ГПа) получено для композиции 1, что подтверждает эффективность CaCO_3 как упрочняющей фазы. Отклонение 17% от теоретического значения (7,902 ГПа) указывает на хорошее межфазное взаимодействие. Рост содержания бентонита увеличивает модуль, но отклонение 23–33% свидетельствует об агломерации и межфазных потерях. В целом,

композиция 1 является оптимальной.

Для анализа распределения минеральных наполнителей, агломерации частиц и состояния межфазной границы использована сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Морфология излома подтверждает эффективность передачи нагрузки и структурную целостность. Результаты показали хорошую адгезию частиц к матрице и минимальное межфазное разделение.

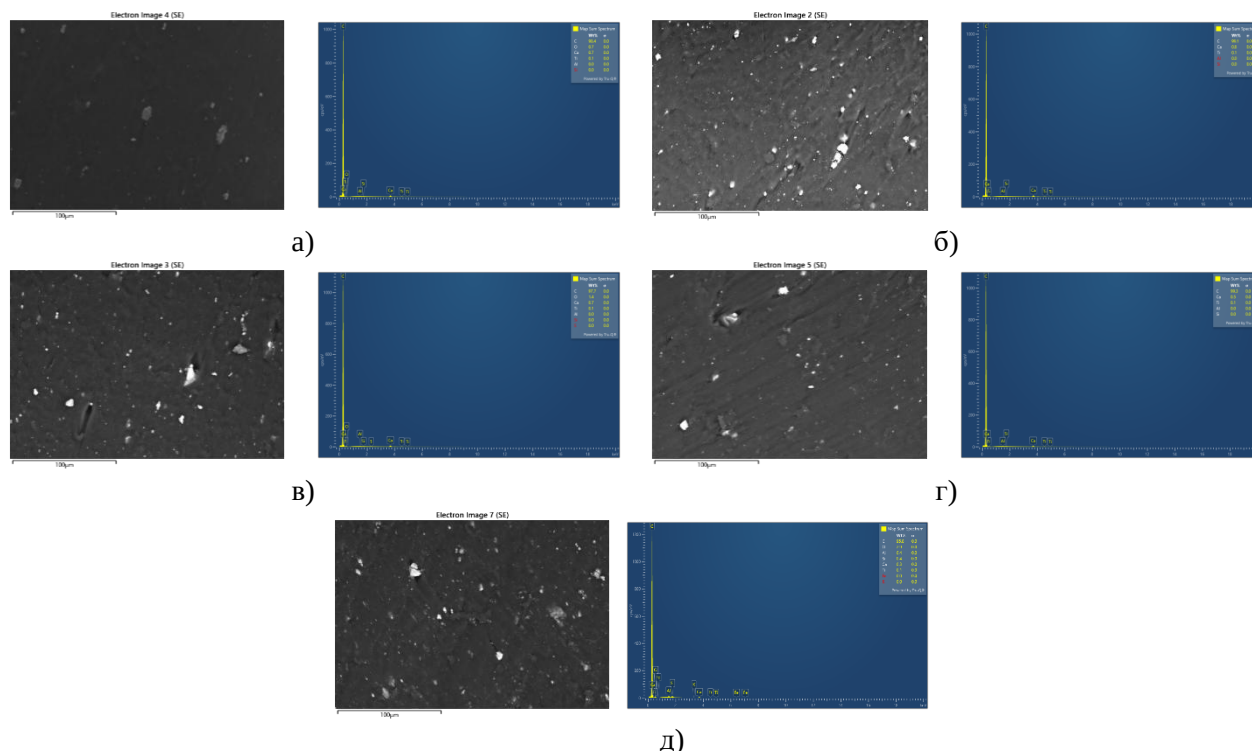


Рис 1. Изображение композитов, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа: а) PPPE-1, б) PPPE-2, в) PPPE-3, г) PPPE-4, д) PPPE-5

Наблюдения СЭМ показали, что распределение наполнителя и состояние межфазной границы существенно влияют на механические свойства композитов. В композиции 1 частицы распределены равномерно, агломерация минимальна, что соответствует высоким показателям ($E = 6,56$ ГПа, $\beta = 0,83$, $\delta = 17\%$, $\xi_{\text{eff}} = 166$). В композициях 3 и 4 увеличение бентонита приводит к агломерации и росту δ до 23–33%, однако CaCO_3 частично стабилизирует структуру ($\xi_{\text{eff}} \approx 91$). В составах 2 и 5 наблюдается снижение β до 0,60–0,63 и рост δ до 36–40% из-за неоднородной дисперсии. В целом результаты СЭМ подтверждают оптимальность состава 1 и согласуются с моделью Halpin–Tsai.

Заключение. В работе комплексно проанализированы структура и физико-механические свойства композитов на основе вторичного ПП и ПЭ с минеральными

наполнителями (CaCO_3 , каолин, бентонит). Установлена положительная корреляция между объёмной долей наполнителя ($\phi_f \approx 0,058\text{--}0,106$) и модулем упругости, при этом комбинированные наполнители обеспечивают упрочнение на 15–30% выше по сравнению с индивидуальными системами. Показано, что сочетание CaCO_3 со слоистыми наполнителями формирует синергетический эффект, тогда как рост минеральной фазы увеличивает концентрацию напряжений. Введение ПЭ и компатибилизатора MAPP способствует переходу к пластической деформации и повышению ударной стойкости. Результаты ДСК подтвердили роль минеральных частиц как центров кристаллизации (60–63%), что дополнительно усиливает прочностные характеристики материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste. Waste Management, 2009, 29, 2625–2643.
2. Gahleitner M., et al. Structure–property relationships in polypropylene blends. Polymer Testing, 2013, 32, 131–140.
3. Karger-Kocsis J., Bárány T. Polypropylene handbook: morphology and properties. Springer, 2015.
4. Kim H.S., et al. Compatibilization of polypropylene/polyethylene blends. Polymer, 1996, 37, 213–219.

ОКТАБРЬ

№ 3(108)

2026

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокмпозитов

Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Исмаилов Р.И., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю. Экспериментальное исследование процесса обезвоживания отработанного масла с применением деэмульгатора «КХД-М-1».....	3
Абед Н.С., Негматов С.С., Бухаров С.Н., Сергиенко В.П., Туляганова В.С., Сохобиддинова Ф.Ж., Эшкobilов О.Х., Джабаров Б.Т., Шамсиева С.С. Научно-технологические принципы создания и применения антиэлектростатических полимерных композитов и покрытий	6
Kucharov A.A., Yusupov F.M., Qurbonov A.R., Xalilov S.U., Toshboboyeva R.A. Sirt faol moddalarning ko'mirni boyitishdagi kolloid-kimyoviy mexanizmlari	11
Sayimova D.Q., Amonov M.R., Ramazonova Z.Y. Sorbentning sorbsion xossasiga kislotalik muhiti va sirt g'ovaklik o'lchamlarini ta'siri	16
Азизова Х.М., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Равновесные и кинетические характеристики сорбции меди(II) гранулированным амидоксимным ионитом	19
Umarova S.R., Ibragimova K.S., Xusenov A.Sh., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Monokarboksilinulinning sintezi va fizik-kimyoviy xossalari o'rganish	22
Berdiqulov B.Sh., Ixtiyarova G.A., Safarov A.R. Kaolin va Apis mellifera xitozan asosidagi kompozit biosorbentni sintez qilish va dastlabki tavsiflash	26
Abdurazakov S.E., Maksumova O.S., Fozilova U.J. Metakril kisloata asosida antipiren sintezi	30
Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю., Исмаилов Р.И. Методики определения физико-химических свойств отработанного масла после обработки композиционным деэмульгатором.....	33

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

Негматов С.С. Теоретические основы контактного взаимодействия антифрикционных композиционных полимерных материалов машиностроительного назначения с хлопком-сырцом	36
Тухтаев Ф.С., Мусоева Д.Н., Мардонова М.З., Махмудова М.М., Негматов С.С. Исследование физико-механических свойств полимер-полимерных композиционных материалов, наполненных минеральными ингредиентами	41
Каримов Ш.А., Алимбабаева З.Л. Темир кукуни асосли юкори ғовакли материал олиш ва унинг хоссалари	44
Yusupova S.Yu., Kamalova D.I. Polipropilen grafit kompozitlarining tuzilishi va mexanik xossalari grafit miqdorining ta'siri	46
Djabarov B.T. Elektrotexnika sanoati uchun polimer kompozit materiallarning elektrofizik xususiyatlari va ularni boshqarish usullari tadqiqoti	49
Кабулова Л.Б., Оразимбетова Г.Ж. Влияние глинистого сланца на физико-механические свойства и пуццолановую активность композиционного портландцемента	51
Тилабов Б.К. Анализ состава, свойств и структуры сталей, чугунов и сплавов и их термическая обработка	53
Axmedova M.F., Ubaydullayeva D.H. Ko'p davrli cho'zilish deformatsiyasini baholash metodikasini takomillashtirish	57
Arabov J.S., Matismailov S.L., Urmanov N.T., Islomova M.S., Ergashova J.J. Qutblangan elektr maydonida sintetik tolalarni emulsiyalashning fizik asoslarini tadqiq etish	59
Karimov K.A., Shaxobutdinov R.E., Karimova A.R., Xo'jamov A. Zoldir prokatlash valogi rebordalariga 35V9X3CF markali kukunli sim qoplama qoplash orqali ish unumdorligini oshirish istiqbollari	63
Абдурахимова М.И., Тухташева М.Н., Сапаров Б.Ж., Рахимов М.Ю. Оптимизация технологических параметров и исследование механических свойств композиционного покрытия ADC12/SiC для поверхностей корпуса редуктора	66