

Физико-механические свойства нанокompозитов на основе смеси графита, технического углерода и металлонаполненных полиолефинов

Physicomechanical properties of nanocomposites based on a mixture of graphite, technical carbon, and metal-filled polyolefins

*Х.В. АЛЛАХВЕРДИЕВА¹, Н.Т. КАХРАМАНОВ¹,
М.И. АБДУЛЛИН², Л.Х. ХАМЕДОВА¹, С.С. АЛИЕВА¹*

*KH.V. ALLAHVERDIYEVA¹, N.T. KAKHRAMANOV¹,
M.I. ABDULLIN², L.KH. KHAMEDOVA¹, S.S. ALIYEVA¹*

¹ Институт полимерных материалов национальной академии наук Азербайджана, г. Сумгайыт

² Башкирский государственный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан

¹ Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences, Sumgayit

² Bashkir State University, Republic of Bashkortostan, Ufa

najaf1946@rambler.ru

В работе представлены результаты исследования влияния концентрации графита, технического углерода, алюминия и меди на физико-механические свойства нанокompозитов на основе полиолефинов. В качестве полиолефина использовали полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности и полипропилен. Для улучшения технологической совместимости смешиваемых компонентов смеси использовали компатибилизаторы, представляющие собой сополимеры полиэтилена и полипропилена с малеиновым ангидридом.

Ключевые слова: полипропилен, полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности, графит, технический углерод

The paper presents the results of a study of the effect of the concentration of graphite, technical carbon, aluminum and copper on the physicomechanical properties of nanocomposites based on polyolefins. High-density polyethylene, low-density polyethylene and polypropylene were used as polyolefin. To improve the technological compatibility of the mixed components of the mixture, compatibilizers were used, which are copolymers of polyethylene and polypropylene with maleic anhydride.

Keywords: polypropylene, high density polyethylene, low density polyethylene, graphite, technical carbon

DOI: 10.35164/0554-2901-2022-1-2-37-40

По мере совершенствования техники и технологии промышленного производства значительно возрос интерес к разработке высококачественных композитных материалов на основе полиолефинов, предназначенных для замены цветных металлов. В связи с этим особую значимость стали приобретать исследования, направленные на получение нанокompозитных полимерных материалов. Преимущество нанокompозитов проявляется в том, что, во-первых, используя минимальное количество наполнителя, можно достигнуть значительного улучшения их эксплуатационных характеристик, во-вторых, наночастицы в большей степени склонны адсорбировать макроцепи на своей развитой поверхности с образованием гетерогенных центров зародышеобразования. Наряду с этим, в литературе приводятся весьма скудные и противоречивые сведения о влиянии смеси наполнителей на свойства полиолефинов. Хотя именно при использовании нескольких наполнителей представляется возможным сочетать в полимерной матрице множество полезных свойств.

В связи с этим основная цель данной работы заключалась в изучении влияния ряда наполнителей на закономерность изменения физико-механических свойств нанокompозитов на основе полиолефинов.

Экспериментальная часть

ПЭВП характеризуется следующими свойствами: разрушающее напряжение 31,3 МПа, прочность на изгиб 34,4 МПа, относительное удлинение 435%, плотность 957 кг/м³, теплостойкость по Вика 139°C, температура плавления 145°C, кристалличность 82%, показатель текучести расплава (ПТР) 4,65 г/10 минут.

ПЭНП имеет следующие свойства: разрушающее напряжение 13,1 МПа, прочность на изгиб 16,2 МПа, относительное удлинение 720%, теплостойкость по Вика 85°C, температура плавления 101°C, степень кристалличности 59%, плотность 931 кг/м³, ПТР 6,9 г/10 минут при температуре 190°C и нагрузке 5,0 кг.

ППП характеризуется следующими свойствами – разрушающее напряжение 33,0 МПа, прочность на изгиб 35,0 МПа, относительное удлинение 130%, теплостойкость по Вика 160°C, температура плавления 169°C, плотность 903 кг/м³, кристалличность 65%, ПТР 3,6 г/10 минут.

Компатибилизатор (ПЭМА) – функционализированный малеиновым ангидридом (МА) полиэтилен высокой плотности – Exxelcor PO1040 (ПЭМА) для всех марок полиэтилена и Exxelcor PO1020 – для полипропилена (ППА). Степень прививки МА в обоих компатибилизаторах составляет 5–6% масс.

Графит (Гр) – одна из аллотропных модификаций углерода, имеет слоистую структуру. Слои кристаллической решётки, располагаясь относительно друг друга, образуют целый ряд структурных модификаций, с симметрией от гексагональной сингонии до тригональной. Слои слабоволнистые, почти плоские, состоят из шестиугольных слоёв атомов углерода. В качестве объекта исследования использовали графит с размером частиц в пределах 80–110 нм.

Технический углерод (ТУ) марки Printex XE 2B фирмы Orion Engineered Carbons (США) производится в виде наночастиц размером 18–20 нм и представляет собой высокоструктурированную аморфную газовую сажу.

В качестве металлического наполнителя использовали алюминиевую пудру (АП) с размером частиц 80 нм и медь с размером частиц 105 нм.

С целью модификации свойств вышеуказанных полиолефинов в их состав на горячих вальцах при температуре 170°C вводили вначале до 5,0% масс. ПЭМА, а затем в расплавленную полимерную смесь по частям добавляли наночастицы графита, АП, ТУ. Количество графита в составе полиолефинов варьировали в пределах 1,0, 3,0, 5,0, 10, 15, 20, 30% масс.

Размер частиц графита и металлических дисперсных частиц определяли на приборе модели STA PT1600 Linseiz, Германия.

Теплостойкость нанокompозитов определяли по методу Вика.

Разрушающее напряжение, предел текучести при растяжении и относительное удлинение полиолефинов и их нанокompозитов определяли в соответствии с ГОСТ 11262-80, прочность на изгиб – по ГОСТ 9550-81.

ПТР полимерных материалов определяли на капиллярном реометре марки CEAST MF50 (Instron, Италия) при температуре 190°C и нагрузке 5 кг.

Температуру плавления оценивали по данным дериватографического анализа системы Паулик, Паулик и Эрдеи.

Результаты и их обсуждение

В данной работе основное внимание уделяется исследованию влияния графита, ТУ, АП и меди на основные физико-механические свойства нанокompозитов на основе полиолефинов. Выбор полиолефинов и таких наполнителей был обусловлен необходимостью изучения совместного влияния рассматриваемых наполнителей на закономерность изменения свойств нанокompозитов. В качестве полиолефина использовали ПЭВП, ПЭНП и ПП, обладающие достаточно хорошими свойствами и легко перерабатывающиеся методами экструзии, литья под давлением, вакуум-пневмоформования; позволяющие получить на их основе широкий набор конструкционных изделий. Именно эти преимущественные особенности полиолефинов являются гарантией получения на их основе высококачественных наполненных композитов.

Для получения более подробной информации о характерных особенностях нанокompозитов представлялось интересным перейти к исследованию раздельного и совместного влияния графита, АП и ТУ на физико-механические свойства ПЭВП, ПЭНП и ПП. В таблице 1 представлены результаты исследования влияния различных типов наполнителей на основные физико-механические свойства нанокompозитов на основе ПЭВП. Исследовали такие свойства, как предел текучести при растяжении, разрушающее напряжение, относительное удлинение, теплостойкость, предел прочности на изгиб. Важно было выяснить, как наполнители в отдельности или в группе с другими компонентами влияют на закономерность изменения свойств нанокompозитов. Однако для достижения поставленной задачи необходимо было решить вопросы, связанные

с совместимостью смешиваемых компонентов смеси. Так, например, анализируя данные, приведенные в этой таблице, можно заметить, что при введении графита от 1,0 до 5,0% масс. прочностные свойства практически мало отличаются друг от друга. При концентрации 10% масс. наблюдается заметное снижение прочности образцов. Наиболее приемлемыми можно признать образцы с концентрацией графита в пределах 3,0–5,0% масс. Для улучшения совместимости смешиваемых компонентов смеси использовали компатибилизатор (ПЭМА), который, согласно приведенным данным, благоприятно сказывается на улучшении свойств нанокompозитов (образец 5). Второй компонент смеси – алюминиевую пудру – вводили в количестве 5,0% масс. вместе с ПЭМА. Из сопоставительного анализа данных, приведенных в этой таблице, можно установить, что введение АП в состав ПЭВП сопровождается некоторым возрастанием прочностных характеристик. При этом происходит закономерное снижение относительного удлинения (образцы 6–9). Аналогичный эффект был достигнут при использовании в качестве второго компонента наночастиц меди. Снижение относительного удлинения в процессе увеличения концентрации наполнителей в объеме полимерной матрицы – это ожидаемое изменение величины этой характеристики. Обусловлено это обстоятельство тем, что в процессе смешения компонентов в режиме расплава происходит формирование гетерогенных центров зародышеобразования с участием наночастиц графита и металлов. По-видимому, при охлаждении рассматриваемых смесей гетерогенные центры зародышеобразования преобладают в центры кристаллизации, которые совместно с гомогенными центрами способствуют формированию мелкосферолитных структурных образований. Именно такая структура в нанокompозитах является основным критерием улучшения комплекса их физико-механических характеристик.

Третьим представителем из числа используемых наполнителей является технический углерод, введение которого в состав ПЭВП приводит к некоторому снижению предела текучести при растяжении, разрушающего напряжения и относительного удлинения. И это вполне объяснимо, поскольку одновременное введение трёх различных типов наполнителей в состав неполярной полимерной матрицы не может обеспечить постоянный рост прочностных показателей. Однако, несмотря на некоторое снижение величины прочностных показателей, их значения в многокомпонентном ПЭВП остаются еще на достаточно высоком уровне.

Введение серы в качестве вулканизирующего компонента приводит к определенному росту прочностных показателей и относительного удлинения. Интерпретируется это обстоятельство тем, что, несмотря на незначительное количество двойных связей в структуре ПЭВП, представляется возможным получение редкосетчатой структуры в полимерной матрице. Улучшение вышеперечисленных свойств является тому подтверждением.

Кроме того, нами были исследованы такие свойства нанокompозитов, как ПТР, теплостойкость и температура плавления. Результаты проведенных исследований показали, что, если у нанокompозитов

Таблица 1. Физико-механические свойства нанокompозитов на основе ПЭВП, графита (Гр), ТУ, АП, меди и ПЭМА.

№	Состав композита, %масс.	Предел текучести при растяжении МПа	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %	Теплостойкость по Вика, °С	Прочность на изгиб, МПа
1	ПЭВП + 1 Гр	32,5	31,6	150	140	34,1
2	ПЭВП + 3 Гр	32,9	31,8	85	140	34,4
3	ПЭВП + 5 Гр	32,0	31,5	40	141	35,0
4	ПЭВП + 10 Гр	29,3	28,8	25	141	35,6
5	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр	35,8	34,5	110	140	36,3
6	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 1 АП	36,9	35,7	80	141	37,5
7	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 3 АП	37,6	36,1	65	141	38,6
8	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 АП	37,8	36,5	55	142	39,9
9	ПЭВП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 АП	36,4	35,3	50	142	39,2
10	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 1 Cu	36,4	35,2	80	142	37,3
11	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 3 Cu	37,1	36,8	60	142	39,0
12	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 Cu	36,4	35,2	45	142	40,4
13	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 3 АП + 5 ТУ	34,3	35,8	30	142	40,0
14	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 АП + 5 ТУ	35,0	35,5	30	142	41,3
15	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 3 Cu + 5 ТУ	34,1	35,2	30	142	41,5
16	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 Cu + 5 ТУ	33,0	34,8	25	142	41,5
17	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 АП + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	37,2	36,6	55	144	42,0
18	ПЭВП + 2 ПЭМА + 3 Гр + 5 Cu + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	36,5	35,2	45	144	42,6

С – сера, СЦ – стеарат цинка

(образец 14 и 16) значение ПТР составляло соответственно 2,85 и 2,55 г/10 минут, то после серной вулканизации их значения изменились следующим образом: 2,42 и 2,15 г/10 минут (образцы 17–18). При этом температура плавления нанокомпозитов до сшивки составляла 145°C, а после – 147°C, теплостойкость возросла на 2°C и составила 144°C. Снижение величины ПТР и увеличение температуры плавления на 2°C однозначно свидетельствовали о протекании незначительной сшивки, способствующей увеличению вязкости расплава нанокомпозита и термоустойчивости надмолекулярной структуры.

В таблице 2 представлены результаты исследования физико-механических свойств нанокомпозитов на основе ПЭНП и вышеуказанных наполнителей и модификаторов. Из сопоставительного анализа данных в этой таблице можно заметить, что, как и в случае ПЭВП, введение наполнителей оказывает заметное влияние на физико-механические свойства нанокомпозитов ПЭНП. На примере образцов 1–5 можно заметить, что оптимальная концентрация графита в составе ПЭНП, при которой наблюдаются сравнительно высокие значения прочностных показателей, составляет 10% масс. Увеличиваются предел текучести при растяжении, разрушающее напряжение, теплостойкость, предел прочности на изгиб. Как и следовало ожидать, происходит существенное снижение относительного удлинения. Такое резкое снижение относительного удлинения свидетельствует о плохой совместимости смешиваемых компонентов смеси. Использование компатибилизатора (ПЭМА) позволяет существующим образом повлиять на улучшение прочностных характеристик нанокомпозитов. Это обстоятельство подтверждает сам факт улучшения совместимости полимерной матрицы с наполнителем.

С повышением концентрации АП от 1,0 до 5,0% масс. (образцы 7–9) и меди (образцы 10–12) в составе нанокомпозитов, содержащих 10% масс. графита, наблюдается возрастание предела текучести при растяжении, разрушающего напряжения и предела прочности на изгиб. При этом относительное удлинение несколько снижается с повышением концентрации металлического наполнителя. Изучение такого последовательного раздельного влияния компонентов смеси на свойства нанокомпозитов позволяет получить достаточно полную информацию о процессах, протекающих в многокомпонентных полимерных системах. Согласно полученным данным, сравнительно лучшими свойствами обладают нанокомпозиты, содержащие в своем составе 10% масс. графита и 5,0% масс. АП, а также 10% масс. графита и 5,0% масс. меди.

Третьим наполнителем нанокомпозитов был ТУ, введение которого в состав полимерной матрицы сопровождается некоторым снижением прочностных показателей. Такое снижение прочностных показателей интерпретируется тем, что три разнородных наполнителя в полимерной матрице создают серьезные стерические препятствия для ориентационных процессов и подвижности «проходных макроцепей», которые, как известно, располагаются преимущественно в межфазной аморфной области.

Рассмотрено влияние серной вулканизации на характер изменения физико-механических свойств. Из сопоставительного анализа данных, представленных в таблице 2, можно установить, что в результате серной вулканизации имеет место некоторое возрастание прочностных показателей и относительного удлинения. Такое существенное влияние серной сшивки на свойства можно интерпретировать так, что в результате разрыва двойных связей в структуре макроцепи ПЭНП происходит формирование редкосетчатой структуры, которая положительно влияет на характер изменения его прочностных характеристик (образцы 17–18). При этом установлено возрастание температуры плавления образцов 14 и 16 нанокомпозитов от 101°C до 103°C после сшивки (образцы 17–18), а теплостойкости – от 87 до 89°C. Согласно полученным данным, установлено, что ПТР образцов 14 и 16, соответственно, снижается следующим образом: от 3,6 и 3,2 г/10 минут до 2,0 и 1,6 г/10 минут (образцы 17–18). Таким образом, повышение температуры плавления, теплостойкости, а также снижение ПТР нанокомпозитов свидетельствуют о протекании в образцах сшивки с образованием редкосетчатой пространственной структуры.

Другим представителем полиолефинов является изотактический ПП, который также широко используется в различных областях техники и машиностроения. В связи с этим представлялось интересным рассмотреть возможность улучшения физико-механических характеристик этой полимерной матрицы путем последовательного введения в её состав приведенных в таблицах 1 и 2 наполнителей. Каждый тип полиолефина по-своему реагирует на введенный в его состав тот или иной минеральный наполнитель, что, как правило, выражается в изменении физико-механических свойств композитов. В таблице 3 приводятся результаты исследования последовательного введения графита, АП, меди и ТУ на свойства композитов на основе ПП. Из сопоставительного анализа данных, приведенных в таблице 3, можно заметить, что введение графита способствует появлению максимума прочностных показателей: предела текучести при растяжении и разрушающего напряжения при его содержании 5,0% масс. С увеличением содержания графита от 1,0 до 5,0% масс. относительное удлинение снижается более, чем в 2 раза. Все это свидетельствует в пользу того, что графит плохо совмещается с полиолефинами. Вместе с тем, наблюдается некоторое возрастание ПТР графитсодержащих нанокомпозитов – от 4,1 до 8,2 г/10 минут.

Наряду с этим, для увеличения совместимости графита с ПП в состав последнего вводили компатибилизатор ПМА (сополимер ПП с малеиновым ангидридом), который, согласно полученным данным, способствует существенному улучшению свойств. Представлялось интересным выяснить, как повлияет сам процесс последовательного смешения различных наполнителей на свойства нанокомпозитов. Как видно из таблицы 3, введение 3–5% масс. АП в состав нанокомпозита с 5,0% масс. содержанием графита приводит к тому, что в образцах 8 и 9 наблюдаются сравнительно высокие зна-

Таблица 2. Физико-механические свойства нанокомпозитов на основе ПЭНП, графита, АП, меди, ТУ и ПЭМА.

№	Состав композита, % масс.	Предел текучести при растяжении МПа	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение %	Теплостойкость по Вика, °C	Прочность на изгиб, МПа
1	ПЭНП + 1 Гр	12,7	13,9	200	85	16,9
2	ПЭНП + 3 Гр	14,6	14,0	115	85	17,4
3	ПЭНП + 5 Гр	15,1	14,5	60	87	18,0
4	ПЭНП + 10 Гр	15,6	15,0	35	87	19,5
5	ПЭНП + 15 Гр	15,2	14,9	25	87	21,8
6	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр	17,0	16,2	70	87	24,6
7	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 1 АП	17,6	16,7	60	87	24,9
8	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 3 АП	18,2	17,8	55	87	25,8
9	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 АП	19,5	19,0	40	88	26,2
10	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 1 Cu	17,3	16,2	55	87	24,1
11	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 3 Cu	17,9	17,2	50	87	24,6
12	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 Cu	18,0	17,6	35	88	25,5
13	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 3 АП + 5 ТУ	17,4	16,2	30	87	24,6
14	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 АП + 5 ТУ	16,5	16,0	30	87	25,5
15	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 3 Cu + 5 ТУ	16,2	16,1	20	88	25,0
16	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 Cu + 5 ТУ	15,2	15,2	10	88	24,6
17	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 АП + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	18,5	17,6	45	89	27,8
18	ПЭНП + 2 ПЭМА + 10 Гр + 5 Cu + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	18,0	17,2	40	89	28,6

С – сера, СЦ – стеарат цинка.

Таблица 3. Физико-механические свойства нанокомпозитов на основе ПП, графита, АП, меди, ТУ и ПЭМА.

№	Состав композита, % масс.	Предел текучести при растяжении, МПа	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %	Теплостой- кость по Вика, °С	Прочность на изгиб, МПа
1	ПП + 1 Гр	35,3	33,6	110	160	36,7
2	ПП + 3 Гр	36,6	35,2	75	160	37,4
3	ПП + 5 Гр	38,1	36,5	50	161	38,0
4	ПП + 10 Гр	35,2	34,6	25	163	39,6
5	ПП + 15 Гр	31,5	31,2	15	163	41,4
6	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр	39,7	38,1	60	160	40,8
7	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 1 АП	40,3	38,8	55	160	41,3
8	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 3 АП	41,2	39,8	45	161	42,9
9	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 АП	41,0	40,2	30	161	43,8
10	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 1 Cu	40,7	38,4	60	160	41,6
11	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 3 Cu	41,6	40,5	40	160	42,3
12	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 Cu	40,5	39,9	25	161	43,3
13	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 3 АП + 5 ТУ	38,4	37,6	35	161	41,0
14	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 АП + 5 ТУ	37,6	37,1	25	161	40,6
15	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 3 Cu + 5 ТУ	38,0	37,4	30	161	42,0
16	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 Cu + 5 ТУ	36,7	36,5	15	161	42,4
17	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 АП + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	38,8	38,0	55	163	44,5
18	ПП + 2 ПЭМА + 5 Гр + 5 Cu + 5 ТУ + 5 С + 1 СЦ	37,9	37,1	60	163	44,6

С – сера, СЦ – стеарат цинка

чения предела текучести при растяжении и разрушающего напряжения. Максимальное значение предела прочности на изгиб наблюдался у образца с 5,0% масс. содержанием АП (образец 9). При этом теплостойкость этих образцов оставалась в пределах 160–161°С.

Аналогичный эффект наблюдался в образцах, содержащих медь (образцы 10–12). Анализируя данные, представленные в таблице 3, можно заметить, что у медь- и графитсодержащих нанокомпозитах прочностные свойства сравнительно ниже, чем у образцов, содержащих алюминий (образцы 7–9). Все это свидетельствует о том, что каждый наполнитель вносит свой вклад в процесс формирования надмолекулярной структуры и конечных свойств в нанокомпозитах. Следует обратить внимание и на то обстоятельство, что в рассматриваемых образцах заметных изменений в значении теплостойкости нанокомпозитов не наблюдается.

Независимо от типа используемого металлического наполнителя введение серы в состав нанокомпозитов приводит к определенным изменениям свойств образцов в сторону их увеличения. В частности, наряду с существенным ростом прочностных показателей, наблюдается некоторое повышение теплостойкости и относительного удлинения нанокомпозитов (образцы 17–18). Вместе с тем, при изучении ПТР этих образцов установлено некоторое снижение величины этого показателя – от 3,3 до 2,2 г/10 минут (образец 17) и от 3,9 до 2,9 г/10 минут (образец 18). Установлено повышение теплостойкости нанокомпозитов от 161 до 163°С. Все эти неопровержимые факты свидетельствуют в пользу протекания серной сшивки на уровне формирования редкосетчатой пространственной структуры нанокомпозитов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно констатировать, что разработанные многокомпонентные нанокомпозиты на основе полиолефинов, графита, ТУ, АП и меди в присутствии компатибилизатора обладают достаточно хорошими физико-механическими свойствами, позволяющими получать на их основе конструкционные изделия специального назначения. Наиболее перспективное направление использования вышепересмотренных многокомпонентных нанокомпозитов предполагается в машиностроении (взамен цветных металлов) и в электронной промышленности.

Литература

- Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошман В.Г. Принципы создания композиционных материалов. М.: Химия, 1990, 240 с.
- Kakhramanov N.T., Azizov A.G., Osipchik V.S., Mamedli U.M., Arzumanova N.B. Nanostructured composites and polymer materials // International Polymer Science and technology, 2017, Vol. 44, No 2, p. 37–47.
- Старокадомский Д.Л. Физико-механические свойства и микроструктура эпоксидных композитов наполненных, гипсом, мелом и цементом. // Композиты и наноструктуры, 2018, т. 10, №1, с. 39–51.
- Арзуманова Н.Б., Кахраманов Н.Т. Полимерные нанокомпозиты. Сумгайыт: Азери, 2020, 256 с.

- Terekhina S.M., Malysheva G.V., Ашууров Н.Р., Долгов В.В., Садыков Ш.Т., Усманова М.М. Нанокомпозиты полимеры этилена, наполненные слоистыми алюмосиликатами, 2016. Ташкент: Фан. АН Узбекистан. 183 с.
- Bulanov I.M., Tarasova T.V. Investigation of tribological properties of polymer composite materials based on bismaleimide binder // Polymer Science-Series D. 2011. 4(2), p. 136–137.
- Kakhramanov N.T., Gasimova G.Sh., Pesetsriy S.S., Kakhramanly Y.N. Physical and mechanical properties of nanocomposites based on block copolymer propylene with ethylene and graphite. // Chemical problems, 2019, №1, с. 72–80.
- Алоев В.З., Жирикова З.М., Тарчокова М.А. Эффективность использования нанонаполнителей разных типов в полимерных композитах. //Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2020, т. 63, вып. 4, с. 81–85.
- Атлуханова Л.Б., Козлов Г.В., Долбин И.В. Взаимосвязь структуры нанонаполнителя и свойств полимерных нанокомпозитов: фрактальная модель. // Материаловедение, 2019, №7, с. 19–22. DOI: 10.31044/1684-579X-2019-0-7-19-22
- Allahverdiyeva X.V., Kakhramanov N.T., Namazly U.V. Thermomechanical properties of composites based on high density polyethylene and aluminum.// Polymer Science, Series D, 2021, v. 14, No.4, p. 598–602.
- Allahverdiyeva Kh.V., Kakhramanov N.T., Ismayilov I.A. Physicomechanical properties of composites based on various types of polyethylene and aluminum. // Inorganic Materials: Applied Research, 2021, v. 12, No.2, p. 477–481.
- Калистратова Л.Ф., Егорова В.А. Упорядочение аморфной фазы как одна из характеристик надмолекулярной структуры аморфно-кристаллического полимера // Материаловедение, 2019, №1, с. 3–8.
- Евтушенко Ю.М., Рудакова Т.А., Григорьев Ю.А., Озерин А.Н. Полиэтилен низкого давления, модифицированный органомонтмориллонитом. //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. №8. с. 12–16. DOI: 10.31044/1994-6260-2018-0-8-12-16
- Kakhramanov N.T., Ismailzade A.D., Arzumanova N.B., Mammadli U.M., Martinova Q.S. Filled composites based on polyolefins and clinoptilolite. // American Scientific Journal, №4 (4), 2016, p. 60–65.
- Кахраманов Н.Т., Аллахвердиева Х.В., Намазлы У.В. Механизм и кинетика ступенчатой кристаллизации композитов на основе полиэтилена высокой плотности и алюминия. // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020, №12, с. 2–7.
- Козлов Г.В., Долбин И.В. Перенос механического напряжения от полимерной матрицы к нанонаполнителю в дисперсно-наполненных. //Материаловедение. 2018. №8. с. 23–28. DOI: 10.31044/1684-579X-2018-0-8-23-27
- Майникова Н.Ф., Ярмизина А.Ю., Трофимов Д.В., Костромина Н.В. Исследование влияния углеродных нанонаполнителей на свойства композитов на основе полипропилена // Пластические массы, 2020, №3–4, с. 23–25.