

**Физико-механические свойства динамически вулканизованных базальтопластиков
на основе компатибилизированного полиэтилена высокой плотности**
**Physical and mechanical properties of dynamically vulcanized basaltoplastics
based on compatibilized high density polyethylene**

H.T. КАХРАМАНОВ, О.М. ГУЛИЕВА, Х.В. АЛЛАХВЕРДИЕВА,

Н.Б. АРЗУМАНОВА, С.Р. АБДАЛОВА, Л.Х. ХАМЕДОВА

N.T. KAKHRAMANOV, O.M. GULIYEVA, H.V. ALLAHVERDIYEVA,

N.B. ARZUMANOVA, S.R. ABDALOVA, L.KH. KHAMEDOVA

Институт Полимерных Материалов Министерства Науки и Образования Азербайджана, г. Сумгайыт, Азербайджан

Institute of Polymeric Materials of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Sumgayit city

najaf1946@rambler.ru

Приводятся результаты исследования влияния компатибилизатора и базальта на основные физико-механические свойства композитов на основе полиэтилена высокой плотности. Показано влияние серы и перекиси дикумила на закономерность изменения прочностных показателей, теплостойкости, и на показатель текучести расплава динамически вулканизованных базальтопластиков.

Ключевые слова: базальт, перекись дикумила, сера, прочность при разрыве, предел текучести при растяжении, прочность при изгибе, теплостойкость, показатель текучести расплава

The results of a study of the influence of a compatibilizer and basalt on the main physical and mechanical properties of composites based on high-density polyethylene are presented. The influence of sulfur and dicumyl peroxide on the regularity of change in strength parameters, heat resistance and melt flow index of dynamically vulcanized basalt plastics is shown.

Keywords: basalt, dicumyl peroxide, sulfur, breaking stress, tensile yield strength, bending strength, heat resistance, melt flow rate

DOI: 10.35164/0554-2901-2024-02-24-28

Полиолефины, синтезируемые в промышленном масштабе, находят все более широкое применение в различных областях техники и технологии. Обусловлено это обстоятельство тем, что полиолефины наделены комплексом свойств, позволяющим получать на их основе высококачественные изделия практически всеми методами переработки полимеров [1, 2]. Однако развитие современной техники, в особенности в таких отраслях промышленности, как машиностроение, авиастроение, судостроение, военная и космическая техника и т.д., значительно повышают требования к качеству полимеров. В связи с этим во всем мире проводятся интенсивные исследования в направлении улучшения комплекса физико-механических свойств полиолефинов путем введения наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, смешением полимерных материалов и т.д. Разработка новых типов композитных материалов открыла не только перспективные возможности расширения их областей практического использования, но и способствовала значительному снижению себестоимости [3, 4].

Базальт в качестве наполнителя используется при разработке полимерных композитных материалов. Однако, анализируя последние достижения в этом направлении, можно заметить, что при исследовании базальтопластиков отсутствует системный подход к их изучению. В связи с чем в литературе приводятся зачастую противоречивые сведения, не позволяющие осуществить их систематизацию в единое цельное научное информационное пространство [5, 6].

Принимая во внимание вышеизложенное, нами в данной работе предпринята попытка на примере такой полимерной матрицы, как ПЭВП, рассмотреть влияние содержания базальта на структуру и основные свойства полимерных композитов.

Экспериментальная часть

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) марки PETILEN YU I668 (UV) (PETKIM): прочность при разрыве 31,3 МПа, предел текучести при растяжении, изгибающее напряжение при изгибе

34,4 МПа, относительное удлинение при разрыве 435%, плотность 965 кг/м³, теплостойкость по Вика 139°C, температура плавления 145°C, кристалличность 82%, показатель текучести расплава 5,6 г/10 мин. при 230°C и нагрузке 2,16 кг.

Базальт – эффузивная магматическая горная порода зелено-черного цвета, которая относится к основному составу нормального ряда щелочности группы базальтов. В переводе с эфиопского языка «базальт» означает «кипящий камень» («железосодержащий»). С химической и минералогической точек зрения у базальта сложная структура. В ней переплетаются кристаллические образования и мелкофракционные взвеси магнетита, силикатов и металлических оксидов. Структура полезного ископаемого состоит из аморфного вулканического стекла, кристаллов полевого шпата, сульфидных руд, карбонатов, кварца. Авгит и полевой шпат составляют основу минерала.

Содержание кремнезёма (SiO₂) колеблется от 42 до 52–53%, суммы щелочей Na₂+K₂ до 5%, в щелочных базальтах до 7%, пикнометрическая плотность 2670 кг/м³, диаметр волокна 2–5 мкм, длина волокна 10–14 см, температура плавления 1500°C.

Компатибилизатор – Exxelox PE1040 (ExxonMobil Chemical) ПЭМА – функционализированный малеиновым ангидридом ПЭВП и дополнительно модифицированный пластификатором S-(карбаллиокси)метил-N,N-диэтилдигиокарбоматом в количестве 3,0% масс. [7]. (ПЭМА) был предназначен для улучшения перерабатываемости и совместимости минеральных наполнителей со всеми типами полиэтилена. Экспериментально установлено, что оптимальным содержанием ПЭМА является 2,0% масс. После введения пластификатора показатель текучести расплава (ПТР) компатибилизатора увеличился практически в 10 раз и составил 34,0 г/10 мин (определяли при температуре 230°C и нагрузке 2,16 кг), плотность составила 955 кг/м³, а температура плавления – 130°C.

Сера – (CAS 7704-34-9, Kaspiigaz LLC, Россия) – порошок желтого цвета, плотность 2,07 г/см³, температура плавления 113°C, температура кипения 445°C.

Перекись дикумила – (Alfa Aesar, Германия) бис(1-метил-1-фенилэтил) перекись, химическая формула $(C_6H_5C(CH_3)_2O)_2$. Это кристаллический порошок от желтого до белого цвета с молекулярной массой 270,4 D, плотностью 1,0 г/см³ и температурой разложения 40–50°C. Используется в качестве сшивающего агента полиолефинов и эластомеров.

Электронно-микроскопический анализ проводился на трансмиссионном электронном микроскопе LEO 912 OMEGA (Германия).

Прочность при разрыве, предел текучести при растяжении и относительное удлинение при разрыве полимерных композитов определяли в соответствии с ГОСТ 11262–80. Образец типа 1А для испытания получали в процессе прессования при температуре 190°C. Общая длина образца составляет 170 мм, длина рабочей части – 80 мм, ширина – 10 мм и толщина – 4 мм. Среднее значение величин определяли по результатам пяти измерений. Скорость растяжения образцов на разрывной машине марки РМ-500 составляет 50 мм/мин.

Прочность при изгибе оценивали по ГОСТ 4648-2014 (ISO 178: 2010). Использовали образцы толщиной 5,0 мм и шириной 10 мм. Скорость измерения 20 мм/мин. Для определения каждого показателя прочностных характеристик испытывалось по 5 образцов. Результаты испытания обработаны статистически по ГОСТ 14359-69.

Теплостойкость определяли по методу Вика в среде воздуха в соответствии с ГОСТ 15088–2014 (ISO 306:2004), скорость нагрева 50°C/мин. Использовали образцы диаметром 10 мм и толщиной 4,0 мм при нагрузке 10 Н.

Метод ИК-спектроскопии был использован для идентификации структуры базальтопластов на ИК-Фурье-спектрометре ALPHA (Германия, Bruker Optic GmbH).

Гель-фракцию в сшитых образцах ПЭВП определяли в аппарате Сокслета путем промывки растворимой части полимерной матрицы в кипящем толуоле.

Показатель текучести расплава (ПТР) полимерных материалов определяли на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) при температуре 230°C и нагрузке 2,16 кг.

Аналитические данные по оценке физико-механических характеристик базальтопластиков получены по результатам пяти измерений, т.е. являются средними значениями. Относительная ошибка эксперимента не превышает 1,0%.

Приготовление композитов

С целью модификации свойств ПЭВП в его состав на горячих вальцах при температуре 150–170°C вводили вначале до 2,0 масс.% модифицированного пластификатором компатибилизатора ПЭМА, а затем в расплавленную полимерную смесь по частям добавляли волокнистый базальт. Фрикция вальцов составляла 1,29, диаметр валков – 100 мм, а зазор между валками – 2,0 мм.

Таблица 1. Физико-механические свойства композитов на основе ПЭВП и базальта.

| №№ | Состав композита ПЭВП+БЗ, масс. % | Прочность при разрыве, МПа | Предел текучести при растяжении, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Прочность при изгибе, МПа | ПТР, г/10 мин. | Теплостойкость, °С |
|----|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|----------------|--------------------|
| 1 | ПЭВП | 31,3 | 30,1 | 435 | 34,4 | 5,6 | 139 |
| 2 | ПЭВП + 1,0 БЗ | 32,5 | 31,3 | 450 | 35,8 | 5,2 | 140 |
| 3 | ПЭВП + 5,0 БЗ | 30,5 | 29,2 | 240 | 36,3 | 3,1 | 142 |
| 4 | ПЭВП + 10,0 БЗ | 34,6 | 35,9 | 75 | 37,8 | 1,6 | 143 |
| 5 | ПЭВП + 15,0 БЗ | 31,9 | 33,0 | 55 | 38,8 | 0,9 | 145 |
| 6 | ПЭВП + 20,0 БЗ | 28,6 | 28,9 | 15 | 39,5 | - | 145 |
| 7 | ПЭВП + 30,0 БЗ | 26,4 | 26,4 | 10 | 39,0 | - | 146 |

БЗ – базальт

Таблица 2. Физико-механические свойства композитов на основе компатибилизированного ПЭВП (ПЭВП*) и базальта.

| №№ | Состав композита ПЭВП* + БЗ, масс. % | Прочность при разрыве, МПа | Предел текучести при растяжении, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Прочность при изгибе, МПа | ПТР, г/10мин. | Теплостойкость по Вика, °С |
|----|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|---------------|----------------------------|
| 1 | ПЭВП* | 32,1 | 31,2 | 465 | 35,0 | 6,3 | 139 |
| 2 | ПЭВП* + 1,0 БЗ | 33,7 | 32,5 | 470 | 36,5 | 5,5 | 139 |
| 3 | ПЭВП*+5,0 БЗ | 31,4 | 30,3 | 265 | 37,6 | 3,8 | 140 |
| 4 | ПЭВП*+10,0 БЗ | 35,8 | 36,6 | 95 | 38,9 | 2,5 | 140 |
| 5 | ПЭВП*+15,0 БЗ | 32,7 | 33,9 | 75 | 39,7 | 1,7 | 141 |
| 6 | ПЭВП*+20,0 БЗ | 33,5 | 33,8 | 45 | 40,8 | 1,1 | 143 |
| 7 | ПЭВП*+30,0 БЗ | 29,2 | 29,2 | 15 | 39,7 | 0,3 | 143 |

БЗ – базальт, ПЭВП* – компатибилизированный ПЭМА

Экструзию композитов осуществляли в двухшнековом экструдере со встречным вращением. В этом оборудовании наполнители и различные сыпучие ингредиенты хорошо перемешиваются с расплавом и достаточно равномерно диспергируются. Диаметр шнеков 75 мм, отношение $L/D = 27$, максимальная скорость 226 рад/мин. (36 об/мин).

Результаты и их обсуждение

Для того, чтобы получить довольно полное представление о базальтопластиках, представлялось интересным на первом этапе провести комплексное исследование физико-механических характеристик композитов на основе ПЭВП+БЗ. Концентрацию базальта в составе ПЭВП варьировали в пределах 1,0–30,0 масс.%. Из сопоставительного анализа значений показателей композитов можно заметить, что с увеличением концентрации базальта до 15 масс.% значение прочности при разрыве сохраняется на сравнительно высоком уровне, и только при 20 и 30 масс.% содержания базальта этот показатель заметно снижается, максимальное значение прочности при разрыве наблюдается при 10 масс.% содержания базальта. Вместе с тем, следует отметить постоянное снижение относительного удлинения при разрыве с ростом содержания наполнителя. При содержании базальта свыше 15% образцы практически хрупко разрушаются, а значение прочности при разрыве и предела текучести при растяжении практически совпадают. Иными словами, это тот самый случай, когда пластическая деформация кристаллитов практически не реализуется и шейка у образца не образуется. Жесткий наполнитель уже при малых деформациях практически блокирует перемещение сегментов макромолекул в аморфной фазе, что вызывает накопление напряжений и, когда предел текучести матрицы станет выше прочности при растяжении, наступает разрушение [8].

Согласно данным, приведенным в таблице 1, с увеличением содержания базальта происходит постоянный рост прочности при изгибе. Только при 30 масс.% его содержания наблюдается некоторое снижение величины этого показателя. Согласно существующим представлениям о взаимосвязи «структура – свойство» в композитах, все эти обнаруженные закономерности, в первую очередь, связаны с процессами, протекающими в межферролитном аморфном пространстве. Обусловлено это обстоятельство тем, что в процессе охлаждения композитного полимерного материала процесс кристаллизации и рост кристаллов сопровождаются вытеснением инородных частиц наполнителя (в данном случае волокнистого базальта) в межферролитное пространство [9, 10]. По мере накопления твердых частиц в этом пространстве затрудняется подвижность «проходных» макроцепей, ответственных за пластическую деформацию. При очень больших концентрациях базальта подвижность проходных цепей в межферролитном

пространстве полностью блокируется, что приводит к появлению хрупкости композитов [11].

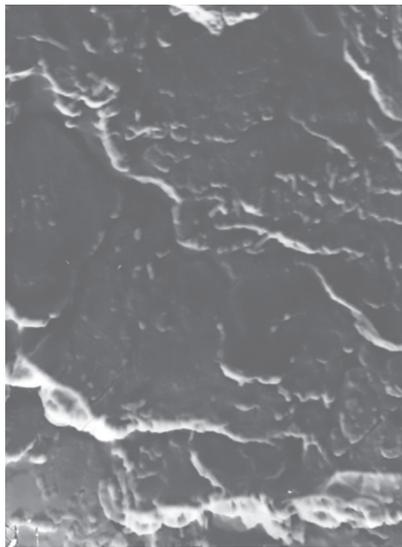
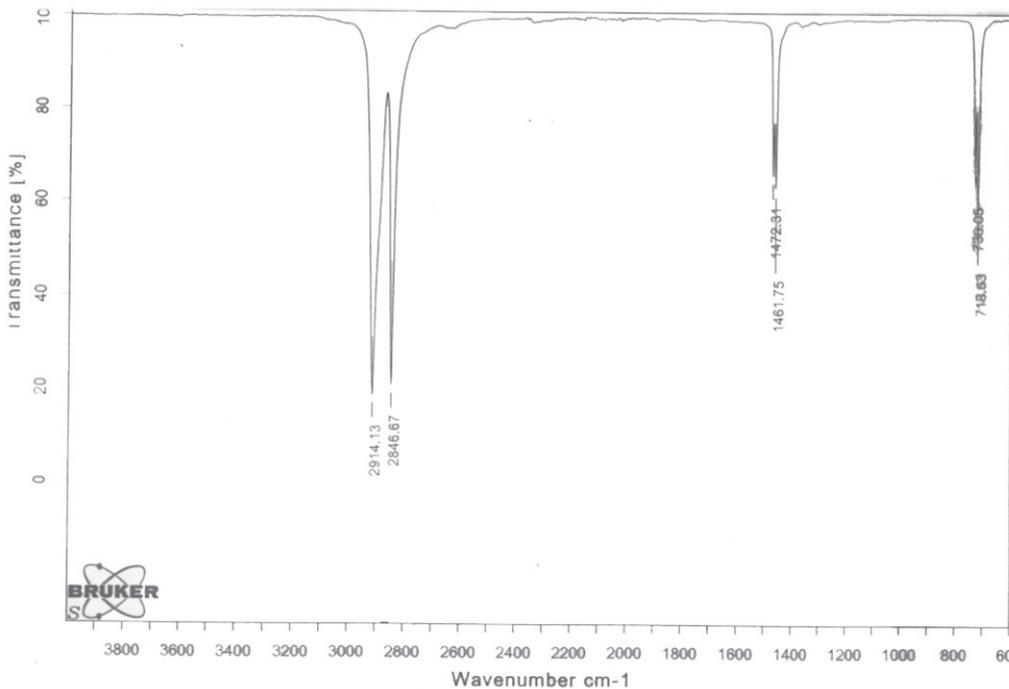


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок базальтопластика на основе ПЭВП + 10 масс.% БЗ при увеличении $\times 10000$.

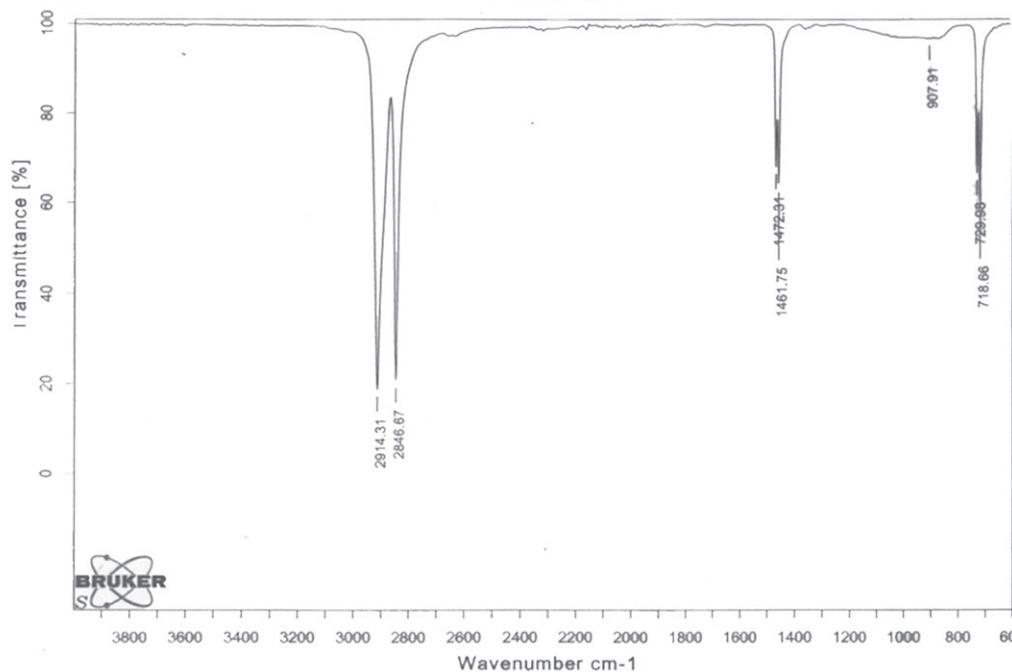
Подтверждением этому являются результаты электронно-микроскопического анализа базальтопластика, приведенные на рис. 1. Как видно из этого рисунка, волокна базальта вытеснены в межферолитную область и фактически очерчивают грани сферолитных образований ПЭВП.

Другим немаловажным показателем является ПТР композитов, как правило, весьма чувствительный к содержанию наполнителя в композите. Как видно из таблицы 1, с повышением содержания базальта наблюдается закономерное снижение ПТР, который при 20 и 30 масс.% его содержания становится равным практически нулю. Поэтому очень важно при выборе оптимального содержания твердых частиц наполнителя в полимерной матрице, чтобы наряду с высокими прочностными свойствами обеспечивались бы соответствующие технологические условия для их переработки, связанные с реологическими особенностями течения расплава композита.

Как и следовало ожидать, введение базальта сопровождается закономерным ростом теплостойкости композитных материалов. Подобный факт обусловлен тем, что по мере увеличения содержания базальта плотность межфазной области возрастает. В итоге подвижность проходных макроцепей замедляется настолько, что происходит повышение устойчивости в целом надмолекулярной структуры к температурному воздействию и



a



б

Рис. 2. ИК-спектры исходного ПЭВП (а) и наполненного 20 масс.% базальта (б).

Таблица 3. Физико-механические свойства модифицированных серой композитов на основе ПЭВП* и базальта.

| №№ | Состав композита ПЭВП* + БЗ + сера, % масс. | Прочность при разрыве, МПа | Предел текучести при растяжении, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Прочность при изгибе, МПа | ПТР, г/10мин. | Тепло- стойкость по Вика, °С |
|----|---|----------------------------------|--|--|---------------------------------|------------------|------------------------------------|
| 1 | ПЭВП* + 1 С | 32,7 | 31,9 | 465 | 36,3 | 6,0 | 140 |
| 2 | ПЭВП* + 3 С | 33,5 | 32,8 | 455 | 37,0 | 5,2 | 141 |
| 3 | ПЭВП* + 5 С | 34,0 | 33,6 | 240 | 37,7 | 4,8 | 142 |
| 4 | ПЭВП* + 7 С | 34,0 | 33,8 | 220 | 38,0 | 4,5 | 142 |
| 5 | ПЭВП* + 1,0 БЗ + 3 С | 34,8 | 33,5 | 470 | 37,5 | 5,5 | 142 |
| 6 | ПЭВП* + 5,0 БЗ + 3 С | 35,5 | 34,3 | 285 | 39,8 | 3,4 | 143 |
| 7 | ПЭВП* + 10 БЗ + 3 С | 36,0 | 36,9 | 115 | 40,5 | 2,1 | 145 |
| 8 | ПЭВП* + 15 БЗ + 3 С | 35,3 | 36,5 | 95 | 41,9 | 1,4 | 145 |
| 9 | ПЭВП* + 20 БЗ + 3 С | 34,7 | 35,2 | 55 | 43,5 | 0,8 | 146 |
| 10 | ПЭВП* + 30 БЗ + 3 С | 31,1 | 32,4 | 25 | 41,6 | 0,1 | 147 |

БЗ – базальт, С – сера

Таблица 4. Физико-механические свойства вулканизованных ПД базальтопластиков на основе ПЭВП*.

| №№ | Состав композита ПЭВП*+БЗ+ПД масс. % | Прочность при разрыве, МПа | Предел текучести при растяжении, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Прочность при изгибе, МПа | ПТР, г/10мин. | Тепло- стойкость по Вика, °С |
|----|--|----------------------------------|--|--|---------------------------------|------------------|------------------------------------|
| 1 | ПЭВП* + 0,25 ПД | 34,4 | 33,9 | 225 | 37,6 | 4,3 | 142 |
| 2 | ПЭВП* + 0,5 ПД | 36,3 | 36,5 | 105 | 37,9 | 2,7 | 148 |
| 3 | ПЭВП* + 1,0 ПД | 35,0 | 35,0 | 40 | 38,7 | 0,2 | 155 |
| 4 | ПЭВП* + 2,0 ПД | 33,2 | 33,2 | – | 39,5 | – | 178 |
| 5 | ПЭВП* + 1,0 БЗ + 0,5 ПД | 36,9 | 37,5 | 120 | 38,5 | 2,5 | 148 |
| 6 | ПЭВП* + 5,0 БЗ + 0,5 ПД | 37,7 | 38,3 | 85 | 40,7 | 1,9 | 149 |
| 7 | ПЭВП* + 10 БЗ + 0,5 ПД | 38,0 | 38,4 | 55 | 41,6 | 1,1 | 150 |
| 8 | ПЭВП* + 15 БЗ + 0,5 ПД | 37,3 | 37,9 | 35 | 42,8 | 0,3 | 150 |
| 9 | ПЭВП* + 20 БЗ + 0,5 ПД | 35,6 | 35,9 | 15 | 44,2 | – | 152 |
| 10 | ПЭВП* + 30 БЗ + 0,5 ПД | 33,4 | 33,4 | – | 40,3 | – | 154 |

БЗ – базальт, ПД-перекись дикумила.

оплавлению. Это обстоятельство является основным фактором, влияющим на увеличение теплостойкости композитных материалов.

Таким образом, введение базальта способствует ухудшению только относительного удлинения и ПТР композитов. Совершенно очевидно, что основополагающую роль при этом могло сыграть отсутствие совместимости базальта с ПЭВП. В данном случае речь идет о технологической совместимости смешиваемых компонентов композиции. Одним из эффективных способов улучшения технологической совместимости базальта с ПЭВП является введение компатибилизатора ПЭМА, который, как показано в таблице 2, способствовал существенному улучшению физико-механических характеристик композитов [12, 13]. Улучшение свойств композитов связано с тем, что частицы наполнителя и сегменты макроцепей, содержащих полярные группы малеинового ангидрида, в процессе кристаллизации и роста кристаллических образований вытесняются в межсферолитное пространство [14]. Концентрируясь в этой области, полярные группы ПЭМА способствуют улучшению совместимости макроцепей ПЭВП с волокнами базальта. Следует принять во внимание и тот факт, что ПЭВП относится к числу высококристаллических полиолефинов со степенью кристалличности, равной 82%. Исходя из этого, полагали, что основная масса наполнителя и компатибилизатора будет концентрироваться преимущественно в аморфной области, составляющей примерно 18%. А это значит, что концентрация наполнителя в аморфном пространстве межсферолитной области будет примерно в 5 раз больше. Так, например, если вводили 5 масс.% базальта в состав ПЭВП*, то его концентрация в межсферолитном аморфном пространстве будет составлять примерно 25 масс.% [15].

Таким образом, из сопоставительного анализа данных, приведенных в таблицах 1 и 2, следует, что при введении ПЭМА наряду с улучшением прочностных характеристик наблюдается некоторое повышение относительного удлинения при разрыве и ПТР композитов, в особенности при высоких концентрациях наполнителя. Следует отметить, что, если у образцов 6 и 7 (таблица 1) при 20 и 30 масс.% содержания базальта текучесть расплава отсутствует, то у этих компатибилизированных образцов (таблица 2) ПТР составил 1,1 и 0,3 г/10 мин. соответственно. Возрастание ПТР образцов может быть связано с тем, что введенный компатибилизатор характеризуется высокой текучестью расплава (ПТР = 32 г/10 мин.), в результате чего улучшается этот показатель.

На рис. 2 (а, б) приведены ИК-спектры исходного ПЭВП и наполненного базальтом ПЭВП. Анализируя ИК-спектры, можно установить, что, в отличие от спектра исходного ПЭВП, в ИК-спектре композита появляется широкая полоса поглощения с максимумом при 907 см⁻¹, характерная для базальта.

Динамическая вулканизация термопластичных полимерных композитов проводится, как правило, непосредственно в процессе экструзии, т.е. в динамическом режиме. В задачу исследования входило рассмотреть возможность химической модификации наполненных базальтом композитов и изучить влияние сшивающих агентов на их основные физико-механические свойства. Использовали серную сшивку и перекисную вулканизацию с применением перекиси дикумила (ПД).

В связи с этим, в таблице 3 приведены результаты исследования влияния содержания серы на физико-механические показатели базальтопластиков на основе ПЭВП.

В ПЭВП имеются концевые и трансвиниленовые двойные связи, которые под воздействием вулканизирующего агента разрываются, и по месту образовавшихся макрорадикалов присоединяются серные радикалы с образованием восьмичленных поперечных мостиков. При использовании ПД процесс сшивки протекает не только по двойным связям, но и по третичным углеродным атомам с образованием жестких межцепных –С–С– связей. При этом не исключается возможность сшивания макромолекул ПЭМА вулканизирующими агентами.

Сопоставляя данные, приведенные в этой таблице, можно установить, что увеличение содержания серы в исходном ПЭВП* от 1,0 до 7,0 масс.% приводит к некоторому улучшению прочностных показателей и незначительному снижению ПТР композитов.

Сам факт снижения ПТР образцов после серной сшивки подтверждает наше предположение о протекании «редкосетчатой» межцепной сшивки по месту разрыва концевых винильных и трансвиниленовых групп в макроцепи ПЭВП* и, возможно, ПЭМА. При этом следует обратить внимание на улучшение относительного удлинения и теплостойкости композитов, в особенности при содержании базальта 5,0–30 масс.%. Сшивка ограничивает подвижность сегментов и макроцепей. Именно поэтому ее используют для повышения теплостойкости термопластов.

Другим весьма важным моментом в процессе получения динамически вулканизованных композитов является использование

в качестве агента сшивки ПД. В связи с этим представлялось интересным изучить влияние концентрации ПД на физико-механические свойства базальтопластиков, результаты исследования которых представлены в таблице 4. Предстояло выявить оптимальное содержание ПД, при котором образцы характеризуются сравнительно высокими прочностными и теплофизическими свойствами при условии сохранения удовлетворительных значений ПТР для их переработки методами литья под давлением и экструзии.

Содержание вулканизирующего агента (ПД) варьировали от 0,25 до 2,0 масс.%. В данном случае мы имеем дело с формированием пространственной структуры полимеров. Использование ПД для сшивки ПЭВП* способствует образованию макрорадикалов, которые в результате рекомбинации образуют сшитую пространственную структуру [16, 17]. Чем больше содержание ПД, тем выше густота сетки в структуре ПЭВП*. Такое заметное влияние ПД на структуру композита существенным образом сказывается на закономерности изменения комплекса свойств. Так, например, при оценке гель-фракции при введении 0,25 масс.% ПД содержание гель-фракции в сшитом ПЭВП* составляло 18–20%, а при вулканизации 2,0 масс.% гель-фракция составляла 59–63%. Из сопоставительного анализа данных, приведенных в таблице 4, можно установить, что увеличение содержания ПД в композитах на основе ПЭВП* способствует повышению прочности при разрыве, предела текучести при растяжении с максимумом при 0,5 масс.% сшивающего агента. При этом прочность при изгибе непрерывно повышается с ростом концентрации ПД. Характерно, что, в отличие от серы, ПД способствует существенному снижению относительного удлинения и ПТР ПЭВП* (образцы 1–4). Так, например, при 2,0 масс.% концентрации ПД образцы становятся хрупкими и полностью теряют способность к течению расплава. При содержании ПД от 0,5 масс.% и выше прочность при разрыве уравнивается с пределом текучести при растяжении. Это обстоятельство имеет важное значение, поскольку позволяет делать утверждение о переходе пластической деформации в высокоэластическую. Подтверждением сказанному являлось отсутствие «шейки» при растяжении сшитых ПД композитов. Принимая во внимание, что сравнительно высокие прочностные характеристики ПЭВП* достигаются при 0,5 масс.% содержания ПД, представлялось интересным исследовать влияние именно этого количества агента вулканизации на свойства базальтопластиков. Анализируя данные, приведенные в таблице 4, можно заметить, что вулканизация базальтопластиков приводит к неоднозначному влиянию содержания базальта на процесс сшивки и формирование уровня физико-механических свойств композитов. Как видно из таблицы 4, максимальное значение прочностных свойств в вулканизатах достигается при 10 масс.% содержания базальта. При 20 и 30 масс.% содержания базальта значение ПТР вулканизатов становится равным нулю, что делает эти композиты непригодными для переработки методами литья под давлением и экструзии. Что касается теплостойкости, то, как и следовало ожидать, с увеличением содержания базальта и ПД наблюдается закономерное возрастание теплостойкости химически модифицированных композитов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно прийти к следующим выводам.

Введение базальтового волокна в состав ПЭВП* приводит к заметному повышению прочности при разрыве и предела текучести при растяжении с максимумом при его содержании 10 масс.%.

С увеличением содержания базальтового волокна в составе ПЭВП* наблюдается закономерное возрастание прочности при изгибе примерно на 17%.

Серная сшивка базальтопластика приводит к формированию редкосетчатой структуры, в результате которой наблюдается некоторое повышение прочностных показателей, относительного удлинения при разрыве и теплостойкости композитов. Снижение ПТР композитов свидетельствует о возникновении редкосетчатой структуры.

Перекисная вулканизация ПЭВП* при содержании ПД в количестве 0,5% масс. обеспечивает формирование сшитых композитов с относительно высокими значениями прочностных показателей.

При концентрации ПД свыше 0,5 масс.% наблюдается ухудшение прочностных характеристик и текучести расплава ПЭВП*.

Перекисная вулканизация базальтопластиков с различным содержанием наполнителя при 0,5 масс.% ПД способствует возрастанию прочностных показателей. При содержании базальта 10 масс.% и 0,5 масс.% ПД прочность при разрыве возрастает в сравнении с исходным ПЭВП* на 18%.

Литература

1. Kakhramanov N.T., Azizov A.G., Osipchik V.S., Mamedli U.M., Arzumanova H.B. Nanostructured composites and polymer materials // *International Polymer Science and technology*. 2017. Vol. 44, №2. P. 37–47.
2. Ашуров Н.Р., Долгов В.В., Садыков Ш.Г., Усманова М.М. Нанокompозиты полимеры этилена, наполненные слоистыми алюмосиликатами. – Ташкент: Фан. АН Узбекистан, 2016. 183 с.
3. Bulanov I.M., Tarasova T.V. Investigation of tribological properties of polymer composite materials based on bismaleimide binder // *Polymer Science-Series D*. 2011. –Vol. 4(2). P. 136–137.
4. 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, №4. С. 81–85.
5. Kakhramanov N.T., Allahverdieva Kh.V., Kakhramanly Y.N., Dadashova E.V. Physicomechanical Properties of Multicomponent Nanocomposites Based on Polyolefins // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2023. Vol. 14, №2. P. 424–429.
6. Wong D., Anwar M., Debnath S., Hamid A., Izman S. A Review: Recent Development of Natural Fiber-Reinforced Polymer Nanocomposites // *Nanomaterials and Composites for Energy Conversion and Storage*. 2021. Vol. 73. P. 2504–2515.
7. Кахраманов Н.Т., Керимов А.Х., Мустафаева Ф.А. и др. Пластифицированная полимерная композиция / Патент Азербайджана I 2021 0083. 04.01.2019.
8. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. М.: КолосС, 2007. 367с.
9. Wang X., Zhao J., Chen M., Ma L., Zhao X., Dang Z.-M., Wang Z. Improved Self-Healing of Polyethylene/Carbon Black Nanocomposites by Their Shape Memory Effect // *Journal of Physical Chemistry B*. 2013. Vol. 117. P. 1467–1474.
10. Калистратова Л. Ф., Егорова В. А. Упорядочение аморфной фазы как одна из характеристик надмолекулярной структуры аморфно-кристаллического полимера // *Материаловедение*. –2019. №1. С. 3–8.
11. 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.
12. Козлов Г.В., Долбин И.В. Перенос механического напряжения от полимерной матрицы к нанонаполнителю в дисперсно-наполненных // *Материаловедение*. 2018. №8. С. 23–28.
13. Атлуханова Л.Б., Козлов Г.В., Долбин И. В. Взаимосвязь структуры нанонаполнителя и свойств полимерных нанокompозитов: фрактальная модель. // *Материаловедение*. 2019. №7. С.19–22.
14. Дьяконов А.А., Данилова С.Н., Васильев А.П., Охлопкова А.А., Слепцова С.А., Васильева А.А. Исследование влияния серы, дифенилгуанидина и 2-меркаптобензотиазола на физико-механические свойства и структуру сверхвысокомолекулярного полиэтилена // *Перспективные материалы*. 2020. №1. С.43–53.
15. Allahverdiyeva Kh.V., Kakhramanov N.T., Gadzhieva R.Sh., Shukyurova A.A. Physical and Mechanical Properties of Filled Nanocomposites Based on Thermoplastic Copolymers of Ethylene with α -Olefins // *Polymer Science, Series D*. 2023. Vol. 16, No.1. P. 193–198.
16. Улитин Н.В., Дебердеев Т.Р. Некоторые вязкоупругие свойства плотносшитых сетчатых полимеров. Теоретический расчет // *Пластические массы*. 2012. №2. С. 34–39.
17. Kakhramanov N.T., Bayramova I.V., Pesetskiy S.S. Thermomechanical properties of nanocomposites on a basis klinoptilolite and a copolymer ethylene with hexane // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2020. Vol.11, №5. P. 1184–1190.