

Реакционная экструзия органо-неорганических гибридных гелей на основе модифицированных полиолефинов и аппретированных минеральных наполнителей

Reaction extrusion of organic-inorganic hybrid gels based on modified polyolefins and dressed mineral fillers

Н.Т. КАХРАМАНОВ¹, Р.В. КУРБАНОВА², А.Д. ГУЛИЕВ¹, В.С. ОСИПЧИК³

N.T. KAKHRAMANOV¹, R.V. KURBANOVA², A.C. QULIYEV¹, V.S. OSIPCHIK³

¹ Институт полимерных материалов Национальной АН Азербайджана

² Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

³ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

¹ Institute of Polymer Materials of the Azerbaijan National Academy of Sciences

² Azerbaijan State University of Oil and Industry

³ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

najaf1946@rambler.ru

В статье рассмотрены технологические особенности реакционной экструзии нанокompозитов на основе аппретированных природных минералов и модифицированного компатибилизатором полиэтилена высокой плотности и полипропилена. В качестве природных минералов использовали клиноптилолит, везувиан, бентонит и тальк. Выбран оптимальный технологический режим реакционной экструзии. В качестве агента вулканизации использовали перекись дикумила в количестве 0,25 и 0,5% масс. Рассмотрено влияние технологических особенностей реакционной экструзии на основные физико-механические свойства нанокompозитов на основе полиолефинов.

Ключевые слова: реакционная экструзия, вулканизация, минерал, технология, бентонит, тальк, перекись дикумила

The article discusses the technological features of the reaction extrusion of nanocomposites based on dressed natural minerals and high density polyethylene modified with compatibilizer and polypropylene. Clinoptilolite, vesuvian, bentonite and talc were used as natural minerals. The optimal technological mode of reaction extrusion was selected. Dicumyl peroxide in the amount of 0.25 and 0.5 wt.% was used as a vulcanization agent. The influence of technological features of reaction extrusion on the basic physicochemical properties of nanocomposites based on polyolefins is considered.

Keywords: reactive extrusion, vulcanization, mineral, technology, bentonite, talc, bentonite, dicumyl peroxide

DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-57-61

Экструзионный метод переработки пластмасс является наиболее распространенным методом осуществления их химической модификации. В процессе экструзии представляется возможным не только провести физическое смешение компонентов смеси с целью получения композитного полимерного конструкционного материала, но и осуществить возможность проведения химической реакции [1–3]. Под химической реакцией подразумевается смешение компонентов смеси с одновременной сшивкой или прививкой полярных мономеров или олигомеров к макроцепи полиолефина. Такой метод переработки полимеров носит название реакционной экструзии или механо-химического синтеза композитных материалов. В процессе механо-химического синтеза фактически получается полимер с новыми структурными особенностями и свойствами [4, 5].

Обычно в процессе реакционной экструзии получают синтезированные материалы на основе смесей полимеров или олигомеров. Однако по мере расширения областей применения композитов появляются все более сложные задачи, связанные с улучшением совместимости полимерной матрицы с неорганическим компонентом – частицами наполнителя. Как правило, полиолефины относятся к числу неполярных полимеров, а минеральные наполнители – полярных. Существование разнополярности у смешиваемых компонентов, собственно, и создает проблемы, связанные с их технологической совместимостью. Проводятся различные исследования для решения этих проблем. В большинстве случаев про-

блема технологической совместимости компенсировалась некоторым улучшением конечных свойств [6–8]. Но проводимые нами многочисленные исследования в этом направлении показали, что самым эффективным способом улучшения совместимости полимер-минеральных систем является аппретирование неорганического наполнителя кремнийорганическими соединениями. Введение аппрета обуславливает формирование химически связанных друг с другом органо-неорганических структурных образований. При этом введение полярных мономеров в состав полимерной матрицы позволяет достигнуть химического связывания полимерной матрицы с аппретом и частицами минерального наполнителя с образованием своеобразных кластеров, усиливающих прочность надмолекулярной структуры, и синтезированного композитного материала [9–11].

Принимая во внимание, что разработанные материалы относятся к числу сравнительно новых типов композитов, понятно, насколько важным является изучение технологических особенностей их переработки в процессе реакционной экструзии по мототрем-технологии. По этой технологии весь процесс смешения и химического модифицирования полимерной матрицы протекает в едином технологическом цикле.

Экспериментальная часть

В качестве полимерной матрицы использовали следующие полиолефины: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и полипропилен (ПП).

ПЭВП. Плотность – 0,946 г/см³, показатель текучести расплава (ПТР) – 5,6 г/10 мин., разрушающее напряжение – 31,3 МПа, модуль упругости при изгибе – 753 МПа, относительное удлинение – 435%, теплостойкость – 119°C, температура плавления – 131°C, степень кристалличности – 78%.

ПП. Плотность – 913 кг/м³, показатель текучести расплава (ПТР) – 0,72 г/10 мин, разрушающее напряжение (σ) – 27,6 МПа, модуль упругости при изгибе – 772 МПа, относительное удлинение – 155%.

В качестве компатибилизатора использовали маленинизированный ПП (ППМА) марки Fusabond P-353 с 5,6% масс. привитыми звеньями МА. Маленинизированные полимеры являются одним из широко известных семейств модифицированных полимеров и используются как активаторы и ускорители адгезии. Ангидридные группы могут вступать в реакцию с амино-, эпокси- и спиртовой группами. Маленинизированные полимеры также используются для увеличения адгезии пластика к металлу, улучшения когезии между полимером и частицами наполнителя. Значение показателя текучести расплава (ПТР) ПЭМА составляет 19,6 г/10 мин.

Клиноптилолит (КТЛ) Агдагского месторождения Азербайджана, имеет типичную оксидную формулу $(\text{Na}_2\text{K}_2)\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Мелкодисперсный клиноптилолит был представлен Институтом Геологии и Геофизики НАН Азербайджана.

Везувиан (ВЗ) – природный желто-зеленый минерал, силикат кальция и алюминия сложного состава со структурой островного типа из группы везувиана. Кристаллы везувиана часто имеют столбчатую, призматическую или пирамидальную форму. Крупные кристаллы обычно находят в известковых скалах. В данном случае в качестве природного минерального наполнителя используется везувиан Кедобекского месторождения Азербайджана следующего состава: $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_5 \cdot [\text{Si}_2\text{O}_7]_2(\text{OH})_4$.

Тальк (Тл) $(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$, ТУ-21-25-2-92 получен из горной породы талькина. Тальк использовали в работе для сравнения как классический минеральный наполнитель для полимеров.

Бентонит (Бт) представляет собой смесь природных алюмосиликатных минералов, основу которых составляет монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (60–70%). В бентонитах присутствуют каолинит и другие минералы.

Наночастицы вышеуказанных минеральных наполнителей размером 70–110 нм получали на аналитической мельнице А-11 при максимальной скорости вращения ротора 30000 об/мин.

Размер наночастиц определяли на приборе модели STA PT1600 Linseiz, Германия, он составлял 80–120 нм.

Аппретирование наночастиц минеральных наполнителей осуществляли при температуре 90°C в подкисленной HCl (pH = 3,5) дистиллированной воде в присутствии кремнийорганического соединения АГМ-9 (γ -аминопропилтриэтоксисилан) – $\text{H}_2\text{NC}_3\text{H}_6\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ в течение 8 часов. В результате алкоксидного метода золь-гель синтеза между гидроксильными группами молекул АГМ-9 и наполнителя на поверхности наночастиц формировался в виде паутины тонкий монослой сшитой структуры кремнийорганического соединения (гель). В результате этой реакции были получены аппретированные нанонаполнители на основе клиноптилолита – АКТЛ, везувиана – АВЗ, талька – АТЛ и бентонита – АБТ.

Реакционную экструзию нанокомпозиов проводили на одночервячном экструдере с длиной материального цилиндра 800 мм и диаметром шнека 35 мм. Все компоненты (полимерную матрицу и аппретированные наночастицы) подвергали предварительно сухому смешиванию. После этого подготовленную смесь вводили в бункер экструдера. Скорость вращения шнека регулировалась асинхронным двигателем мощностью 15 квт и составляла 25–50 об/мин. Давление экструзии регулировалось в пределах 30–60 МПа. Нагрев материального цилиндра осуществлялся с помощью нагревательных пакетов: 4 на материальном цилиндре и 1 на формующей головке. Формующая головка имела щелевое отверстие, позволяющее получать листы шириной 150 мм и толщиной 1,5–2 мм. Из этих листов вырубались образцы (лопатки) для определения разрушающего напряжения и относительного удлинения. Экструдер состоит из четырех зон: зоны питания, зоны пластикации, зоны дозирования и головки экструдера. Теплостойкость полимерных нанокомпозиов определяли по методу Вика.

Показатель текучести расплава (ПТР) определяли на капиллярном реометре марки MELT FLOW TESTER, CEAST MF50 (INSTRON, Италия) в температурном диапазоне 190–250°C и в интервале нагрузок – 2,16–21,6 кг, отношение длины сопла к диаметру капилляра – 24.

Испытания разрушающего напряжения, относительного удлинения нанокомпозиов проводили, соответственно, в соответствии с ГОСТ 11262-80. Результаты испытания обработаны статистически по ГОСТ 14359-69. Для определения каждого показателя прочностных характеристик испытывалось по 5 образцов.

Результаты и их обсуждение

Реакционная экструзия осуществлялась в результате термомеханического воздействия шнека на полимерную матрицу в материальном цилиндре. В процессе воздействия температуры происходило расплавление полиолефина и компатибилизатора с одновременным перемешиванием расплава композиции с аппретированными наночастицами природного минерала. Поступающая в зону питания смесь гранул и наполнителя заполняет межвитковое пространство, уплотняясь вследствие постепенного уменьшения глубины нарезки шнека. В этом случае образуется «пробка», которая, перемещаясь вдоль винтовой нарезки шнека, достигает зоны пластикации, где, собственно, происходит расплавление полимера. На этом участке перед входом в зону дозирования и резкого снижения глубины винтовой нарезки шнека возрастает давление экструзии, которое во многом определяется вязкостью полимерной матрицы и скоростью вращения шнека. Далее полимерная смесь под давлением попадает в зону дозирования, где в основном происходит гомогенизация и равномерное разогревание и смешение компонентов композита [12].

С одной стороны, сам процесс экструзии при термомеханическом смешении компонентов способствовал образованию полимерных макрорадикалов, которые, рекомбинируя между собой, приводили к формированию сшитой полимерной структуры. С другой стороны, не исключено, что под воздействием температуры и сильного напряжения сдвига в расплаве между макроцепями ПЭМА и аппретированным минеральным наполнителем возникала ковалентная связь ПЭМА–O–Si–O–Me–, а между молекулами аппрета –O–Si–O–Si–O–сшитые структуры [13]. Таким образом, в результате образования смешанных ковалентных связей были сформированы химически сшитые структуры – гель-фракции [14].

В ряде работ [10, 11, 14] нами было показано, что наиболее высокие значения прочностных свойств нанокомпозиов можно достигнуть при концентрации природных наполнителей в полиолефинах в количестве 5,0% масс. При этом с целью улучшения технологической совместимости компонентов смеси использовали компатибилизатор с содержанием 5,6% масс. МА. В задачу исследования входило не только изучить влияние типа аппретированного наполнителя, но и процесса вулканизации нанокомпозиов на технологические особенности реакционной экструзии.

Первоначально рассмотрим влияние компатибилизатора и типа аппретированного наполнителя на технологический режим экструзии нанокомпозиов. В данной работе в качестве объекта исследования были использованы нанокомпозиы только с 5,0% масс. содержанием наполнителя.

В таблице 1 приводится оптимальный технологический режим экструзии нанокомпозиов на основе ПЭВП с различными минеральными наполнителями. Анализируя данные в этой таблице, можно установить, что независимо от типа наполнителя с увеличением температуры материального цилиндра наблюдается снижение времени пребывания расплава в материальном цилиндре. Только при температуре в головке экструдера 230°C происходит обратный процесс, связанный с увеличением времени пребывания расплава композита в материальном цилиндре. По всей видимости, это обусловлено тем, что при сравнительно высокой температуре экструзии происходит резкое снижение вязкости ПЭВП, в результате которого в материальном цилиндре увеличивается обратный поток расплава. И действительно, в межвитковом пространстве в расплаве формируются несколько потоков, основными из которых являются прямой и обратный. Прямой поток (вдоль оси шнека) в основном характеризует производительность экструдера, а обратный возникает вследствие высокого давления, создаваемого в

Таблица 1. Влияние температурного режима материального цилиндра экструдера на основные физико-механические свойства нанокompозитов на основе ПЭВП, компатибилизатора и аппретированных природных минералов АКТЛ, АВЗ, АТЛ и АБТ.

№№	Состав (% масс.) и температурный режим материального цилиндра, °С	Время пребывания расплава в экструдере, сек	Разрушающее напряжение, вдоль/поперек, МПа	Относительное удлинение, вдоль/поперек, %
<u>93ПЭВП + 2ПЭМА + 5АКТЛ</u>				
1	140-160-170-180-185*	153	29,5/29,2	395/405
2	140-165-175-185-190*	141	30,9/30,3	380/405
3	140-165-175-190-200*	118	34,4/32,9	390/410
4	140-165-180-195-210*	97	31,5/28,7	390/410
5	140-170-185-210-230*	114	29,8/28,0	395/410
<u>93ПЭВП + 2ПЭМА + 5АВЗ</u>				
6	140-160-170-180-185*	145	30,4/30,0	355/370
7	140-165-175-185-190*	134	32,2/31,7	355/370
8	140-165-175-190-200*	112	34,9/32,3	360/370
9	140-165-180-195-210*	95	33,7/31,8	360/375
10	140-170-185-210-230*	124	31,9/29,5	355/375
<u>93ПЭВП + 2ПЭМА + 5АТЛ</u>				
11	140-160-170-180-185*	150	29,9/29,5	340/350
12	140-165-175-185-190*	139	31,4/30,8	340/350
13	140-165-175-190-200*	115	34,6/32,5	340/350
14	140-165-180-195-210*	86	30,2/28,1	340/355
15	140-170-185-210-230*	109	29,7/27,4	330/355
<u>93ПЭВП + 2ПЭМА + 5АБТ</u>				
16	140-160-170-180-185*	164	29,3/29,0	335/345
17	140-165-175-185-190*	141	31,4/30,7	335/340
18	140-165-175-190-200*	124	33,6/31,5	340/350
19	140-165-180-195-210*	100	35,8/33,7	340/350
20	140-170-185-210-230*	127	32,5/30,2	340/350

* температура в головке экструдера

Таблица 2. Влияние температурного режима материального цилиндра экструдера на основные физико-механические свойства нанокompозитов на основе ПП, ППМА и аппретированных природных минералов АКТЛ, АВЗ, АТЛ и АБТ.

№№	Состав (% масс.) и температурный режим материального цилиндра, °С	Время пребывания расплава в экструдере, секунд	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение, %
<u>93ПП + 2ППМА + 5АКТЛ</u>				
1	160-170-180-190-200*	141	34,6/34,2	105
2	160-175-185-190-200*	139	36,4/35,3	105
3	160-175-185-190-210*	112	39,8/37,9	115
4	160-175-185-195-215*	90	41,4/38,7	115
5	160-175-190-220-230*	108	38,8/36,9	115
<u>93ПП + 2ППМА + 5АВЗ</u>				
6	160-170-180-190-200*	140	35,4/35,0	95
7	160-175-185-190-200*	132	37,2/36,8	95
8	160-175-185-190-210*	108	39,7/37,3	100
9	160-175-185-195-215*	85	41,3/38,8	100
10	160-175-190-210-230*	114	39,2/37,2	105
<u>93ПП + 2ППМА + 5АТЛ</u>				
11	160-170-180-190-200*	152	35,8/35,5	100
12	160-175-185-190-200*	135	37,3/36,8	100
13	160-175-185-190-210*	111	39,5/37,6	100
14	160-175-185-195-215*	88	41,5/38,2	105
15	160-175-190-210-230*	112	37,9/35,4	105
<u>93ПП + 2ППМА + 5АБТ</u>				
16	160-170-180-190-200*	144	35,0/34,8	100
17	160-175-185-190-200*	136	36,5/36,2	100
18	160-175-185-190-210*	121	39,4/37,5	105
19	160-175-185-195-215*	97	40,3/38,0	105
20	160-175-190-210-230*	131	38,9/36,4	105

* температура в головке экструдера

зоне сжатия (пластикации) перед входом в дозирующую зону. Есть основание полагать, что при высокой температуре в зоне дозирования вязкость расплава снижается настолько, что возрастает вероятность возникновения обратного потока расплава, влияющего на снижение производительности экструдера. Этим, собственно, и объясняется увеличение времени пребывания полимерной матрицы в материальном цилиндре при высокой температуре [13].

В таблице 1 приводятся также данные, показывающие изменение разрушающего напряжения и относительного удлинения в зависимости от типа наполнителя и расположения вырубленной лопатки вдоль и поперек экструзионного листа. Как видно из этой таблицы, самые высокие значения разрушающего напряжения наблюдаются у образцов, лопатки которых были вырублены вдоль направления экструзии листа. Наибольшие различия в разрушающем напряжении проявляются в основном у тех образцов, которые были получены при сравнительно высоком температурном режиме экструзии.

При этом относительное удлинение образцов, вырубленных вдоль и поперек экструзии, лишь незначительно различаются между собой. Такое различие в значении разрушающего напряжения обусловлено тем, что тянущее устройство экструдера способствует увеличению ориентационного эффекта вдоль экструзии листового материала. Есть основание полагать, что чем выше температура и сильнее происходит растягивание листового материала в процессе экструзии, тем больше становится ориентационный эффект, увеличивающий разницу в значении разрушающего напряжения образцов, полученных вдоль и поперек листового изделия.

Представлялось интересным проверить, как тип полимерной матрицы влияет на режим экструзии. Так, например, в таблице 2 приводится технологический режим экструзии нанокompозитов на основе ПП, модифицированного компатибилизатором. Из сопоставительного анализа данных, приведенных в этой таблице, можно установить, что независимо от типа используемого аппретирован-

ного наполнителя с увеличением температурного режима экструзии наблюдается закономерное снижение времени нахождения полимерной матрицы в материальном цилиндре. Только при самом высоком температурном режиме материального цилиндра начинается процесс возрастания времени нахождения полимерной матрицы. Есть основание полагать, что и в рассматриваемом варианте при относительно высоком температурном режиме начинает возрастать скорость обратного потока расплава, что, несомненно, сказывается на снижении производительности экструдера. Наряду с этим можно заметить, что с увеличением температуры наблюдается возрастание разрушающего напряжения с максимумом при технологическом режиме 160–175–185–195–215*. Только при очень высоком температурном режиме расплава, независимо от типа используемого наполнителя, имеет место некоторое снижение разрушающего напряжения. Это обстоятельство, по-видимому, может быть связано с протеканием термодеструкции и резким перепадом температуры экструзионного полотна при его охлаждении, в результате которого нанокомпозит частично аморфизуется. В таких случаях не исключается некоторое снижение разрушающего напряжения. Относительное удлинение нанокомпозитов остается практически менее чувствительным к температурному режиму экструзии. Рассмотрено влияние образцов лопаток, вырубленных из экструзионных листов вдоль и поперек направления экструзии. Как видно из экспериментальных данных, в рассматриваемых композициях на основе ПП также установлены относительно высокие значения разрушающего напряжения образцов, вырубленных вдоль направления экструзии. Как и в случае композитов на основе ПЭВП, при сравнительно низком температурном режиме экструзии разница по разрушающему напряжению у образцов, полученных вдоль и поперек экструзионного листа, незначительна. Только с повышением температурного режима экструзии эта разница в значении разрушающего напряжения возрастает.

Следующим важным этапом исследования является изучение влияния технологических особенностей реакционной экструзии на процесс вулканизации нанокомпозитов. В качестве вулканизирующего агента использовали ПД. В ряде работ нами было показано, что оптимальным в составе композитов является содержание ПД в количестве, не превышающем 0,5% масс. [13]. При таком содержании ПД механо-химический синтез обеспечивает возможность получения нанокомпозитов, характеризующихся не только улучшенными прочностными показателями, но и способностью к переработке методами экструзии и литья под давлением.

В таблице 3 на примере нанокомпозитов на основе ПЭВП + ПЭМА + 5,0% масс. аппретированный наполнитель показано, что при выбранном оптимальном температурном режиме экструзии введение ПД в их состав оказывает заметное влияние на их основные физико-механические свойства. Анализируя экспериментальные данные, представленные в этой таблице, можно установить, что введение сшивающего агента (ПД) способствует увеличению разрушающего напряжения и теплостойкости нанокомпозитов при сохранении ПТР на достаточном для их переработки концентрационном уровне. Важно отметить, что при получении вулканизированных термопластов и их наполненных композитов первостепенное значение приобретает подбор таких температурных режимов переработки, при которых полимерная матрица не теряет бы способность расплава к течению. Введение небольших концентраций ПД

позволяет получить сшитые композиции с редкосетчатой структурой, что крайне важно для обеспечения их перерабатываемости методами экструзии и литья под давлением [15–17]. Следует также отметить, что при необходимости реакционная экструзия позволяет получить композиты также и в виде гранул. В этом случае представляется возможным использовать гранулированный вулканизированный нанокомпозит для получения конструкционных изделий методом литья под давлением.

Относительно высокие значения ПТР сшитых нанокомпозитов обусловлены тем, что имеющийся в составе нанокомпозита ПЭМА имеет значение ПТР на уровне 19,6 г/10 мин. Кроме того, используемые природные наполнители относятся к числу слоистых минералов, которые в процессе экструзии и термомеханического воздействия выделяют в полимерный расплав полярные поверхностно-активные вещества (ПАВ), глицерин, которые подобно агентам смазки способствуют улучшению ПТР нанокомпозитов [11]. Невулканизированный композит на основе ПЭВП + ПЭМА + 5,0% масс. наполнитель имеет значение ПТР 7,0–9,0 г/10 мин. В результате введения ПД в количестве 0,25 и 0,5% масс. наблюдается закономерное снижение ПТР исходного композита соответственно в 3–8 раз.

Эффективность действия слоистых алюмосиликатов проявляется в том, что в результате интеркаляции полимерных макроцепей в межслоевое пространство наночастиц происходит их эксфолиация на более мелкие образования с одновременным выделением ПАВ [18].

Аналогичным образом нами было изучено влияние концентрации ПД на свойства нанокомпозитов на основе ПП + ПЭМА + 5,0% масс. минеральный аппретированный наполнитель, результаты исследования которых сведены в таблицу 4. Как видно из представленных экспериментальных данных, и в данном случае наиболее эффективным оказалась концентрация ПД в пределах 0,25 и 0,5% масс. При более высоких концентрациях ПД композиты переходили в неплавкое стеклообразное состояние, что было крайне неприемлемым с точки зрения их переработки. Из сопоставительного анализа приведенных в таблице 4 данных можно заметить, что с увеличением концентрации ПД от 0,25 до 0,5% масс. наблюдается возрастание величины разрушающего напряжения и теплостойкости нанокомпозитов. В образцах на основе ПП характер изменения свойств идентичен случаю использования композитов на основе ПЭВП.

Следует отметить, что при выборе температурного режима реакционной экструзии мы исходили из того, что ПД относится к числу очень активных и чувствительных к температуре перекисных инициаторов. Кроме того, в результате протекания сшивки и формирования сшитой пространственной структуры происходило заметное повышение вязкости расплава. Поэтому выбор температурного режима экструзии основывался на максимально допустимых для переработки нанокомпозитов технологических возможностях экструзионного агрегата.

Таким образом, рассмотрены технологические особенности реакционной экструзии нанокомпозитов на основе модифицированных компатибилизатором полиолефинов и аппретированных минеральных наполнителей. Показано влияние различных минеральных природных наполнителей и температурного режима экструзии на основные свойства нанокомпозитов на основе ПЭВП и ПП. Установлено, что независимо от типа используемого природ-

Таблица 3. Влияние концентрации ПД на свойства вулканизированных нанокомпозитов на основе ПЭВП + ПЭМА + 5,0% масс. наполнитель при оптимальном температурном режиме экструзии 140–165–175–190–200*.

№№	Состав, % масс,	Разрушающее напряжение, МПа	Теплостойкость по Вика, °С	ПТР, г/10 мин,
1	ПЭВП + ПЭМА + 5АКТЛ + 0,25 ПД	34,2	135	2,85
2	0,50 ПД	35,8	152	1,02
3	ПЭВП + ПЭМА + 5АВЗ + 0,25 ПД	33,9	132	3,01
4	0,50 ПД	36,0	148	1,15
5	ПЭВП + ПЭМА + 5АТЛ + 0,25 ПД	34,5	134	2,79
6	0,50 ПД	35,7	150	1,12
7	ПЭВП + ПЭМА + 5АБТ + 0,25 ПД	35,4	136	2,88
8	0,50 ПД	36,8	155	1,05

Таблица 4. Влияние концентрации ПД на свойства вулканизованных нанокompозитов на основе ПП + ПЭМА + 5,0% масс. наполнителя при оптимальном температурном режиме экструзии 160–175–185–195–215*.

№№	Состав, % масс	Разрушающее напряжение, МПа	Теплостойкость по Вика, °С	ПТР, г/10 мин
1	ПП + ПЭМА + 5АКТЛ + 0,25 ПД	39,7	155	2,33
2	0,5 ПД	42,6	164	1,12
3	ПП + ПЭМА + 5АВЗ + 0,25 ПД	40,0	153	2,51
4	0,5 ПД	43,2	165	1,25
5	ПП + ПЭМА + 5АТЛ + 0,25 ПД	38,5	152	2,05
6	0,5 ПД	40,4	165	1,22
7	ПП + ПЭМА + 5АБТ + 0,25 ПД	39,3	154	2,61
8	0,5 ПД	42,6	165	1,42

ного минерального алюмосиликатного наполнителя оптимальный процесс экструзии нанокompозитов и его вулканизатов на основе ПЭВП протекает при оптимальном температурном режиме материального цилиндра 140–165–175–190–200*, а нанокompозитов на основе ПП в температурном поле 160–175–185–195–215*.

Установлено, что введение ПД в количестве 0,25–0,5% масс. способствует увеличению разрушающего напряжения и теплостойкости нанокompозитов.

Литература

1. Нгуен Минь Туан, Чалая Н.М., Осипчик В.С. Структура и физико-механические свойства смесей полипропилена и металлоценового этиленпропиленового эластомера. // Пластические массы, 2017, №9–10, с.12–16.
2. Симонов-Емельянов И.Д. Принципы создания и переработки композиционных материалов дисперсной структуры. // Пластические массы, 2005, №1, с.11–16.
3. Кравченко Т.П., Ермаков С.Н., Кербер М.Л. и др. Научно-технические проблемы получения композиционных материалов на основе конструкционных термопластов. // Пластические массы, 2010, №10, с. 32–37.
4. Помогайло А.Д. Молекулярные полимер-полимерные композиции. Синтетические аспекты. // Успехи химии, 2002, 71, №1, с. 5–38.
5. Кахраманов Н.Т., Азизов А.Г., Осипчик В.С., Мамедли У.М. Наноструктурированные композиты и полимерное материаловедение (обзор). // Пластические массы. 2016, №1–2, с.49–57.
6. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. М. Ксантоса, пер. с англ. Под ред. Кулезнева В.Н. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010, 462 с.
7. Дудочкина Е.А., Лямкин Д.И., Рудаков Г.Ф. Модификация технологических и механических свойств высоконаполненных полиэтиленовых композиций. // Пластические массы, 2018, №7–8, с.44–47.
8. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Трофимов А.Н. и др. Структурообразование, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокompозитов. // Пластические массы, 2012, №6, с.7–13.
9. Кахраманов Н.Т., Гулиев А.Д., Песецкий С.С. Динамически вулканизованные нанокompозиты на основе модифицированного рандом полипропилена, бутадиен-нитрильного каучука и каолина. // Композиты и наноструктуры, 2019, т.11, вып.4(44), с.131–136.
10. Kurbanova R.V., Kakhramanov N.T. Hybrid Nanocomposites Based on High-Density Functionalized Polyethylene and Sized Bentonite. // Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 1, pp. 106–111.
11. Курбанова Р.В., Кахраманов Н.Т. Гибридные нанокompозиты на основе функционализированного полиэтилена высокой плотности и аппретированного бентонита. // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2019, №7, с.17–25.
12. Мозжухин В.Б., Милов В.И., Беспалова О.В., Болдырева С.Д. Влияние технологического оборудования и технологии получения высоконаполненных композиций на основе полиолефинов на их физико-механические свойства. // Пластические массы, 2013, №1, с.54–56.
13. Kakhramanov N.T., Mustafayeva F.A., Allakhverdiyeva Kh.V. Technological features of extrusion of composite materials based on mixtures of high and low density polyethylene and mineral fillers. // Azerbaijan chemical journal, 2019, № 4, p.11–16.
14. Курбанова Р.В., Кахраманов Н.Т., Косева Н.С., Кахраманлы Ю.Н. Гибридные нанокompозиты на основе полипропилена и клиноптилолита. // Пластические массы, 2019, №3–4, с.32–34.
15. Атлуханова Л.Б., Козлов Г.В., Долбин И.В. Взаимосвязь структуры нанонаполнителя и свойств полимерных нанокompозитов: фрактальная модель. // Материаловедение, 2019, №7, с.19–22.
16. Лямкин Д.Н., Скрозников С.В., Жемерикин А.Н. Влияние способа сшивания на стабильность химической сетки полиэтиленовой изоляции кабельных изделий при термомеханическом воздействии. // Пластические массы, 2012, №2, с.25–28.
17. Машков Ю.К., Калистратова Л.Ф., Кропотин О.В. Развитие методов формирования эффективных структурно-фазовых состояний полимерных композитов на основе ПТФЭ. // Пластические массы, 2017, №3–4, с.12–14.
18. Кахраманов Н.Т., Арзуманова Н.Б., Алиева Ф.М., Гаджиева Р.Ш. Реологические свойства полимерных композитов на основе везувиана и термопластичного этилен-пропиленового блок-сополимера. // Пластические массы, 2018, №11–12, с. 3–6.