Физико-механические характеристики и структура СВМПЭ наполненного механоактивированным флогопитом

Марков А.Е., студент

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск*

E-mail: aital.markov@gmail.com

*Научный руководитель:
к.т.н., Никифоров Л.А.*

В данной статье представлены результаты физико-механических испытаний композитов на основе СВМПЭ, флогопита и механоактивированного СВМПЭ. Было выявлено увеличение износостойкости в 40 раз по сравнению с исходным СВМПЭ и в 13 раз по сравнению с ПКМ только с флогопитом.

Среди всего разнообразия полимерных матриц одними из наиболее распространенных являются термопласты, которые характеризуются возможностью модифицировать их свойства путем использования различных добавок [1]. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) является одним из наиболее перспективных полимеров среди термопластов благодаря своим уникальным свойствам: высокая прочность, износостойкость, агрессивностойкость, низкий коэффициент трения [2].

Совершенно новые перспективы в области разработок ПКМ открывается при использовании в качестве наполнителей слоистых силикатов [3]. Такие ПКМ, характеризуются повышенными жесткостью, деформационной тепло- и термостойкостью, прочностью и износостойкостью [4]. Кроме того, природные слоистые силикаты являются одними из самых дешевых наномодификаторов.

Несмотря на значительное количество исследований [5,6] влияния слоистых силикатов на свойства СВМПЭ, слюды недостаточно исследованы в качестве наполнителей для СВМПЭ. Таким образом, целью данной работы является исследование влияния слоистых силикатов класса слюда на деформационно-прочностные характеристики СВМПЭ.

В качестве полимерной матрицы использовали СВМПЭ марки Ticona GUR 4022 с молекулярной массой более 5 млн. СВМПЭ предварительно сушили при 80 °C в течение 3 ч. В качестве наполнителей были выбраны флогопит (Фл) $(\text{KMg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}] \cdot (\text{F}, \text{OH})_2)$, относящиеся к классу слюд из Инаглинского месторождения (Республика Саха (Якутия), Россия). Слоистые силикаты предварительно механоактивировали на планетарной мельнице «Активатор 2S» (Активатор, Россия) и сушили при 120 °C в течение 3 ч. Компоненты смешиваем в лопастном смесителе в течение 2 минут.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получали методом горячего прессования при 175 °C и удельном давлении прессования 10 МПа.

Физико-механические свойства определяли на универсальной испытательной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ 11262-80. Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском порошковом дифрактометре ARL X'Tra (Thermo Fisher Scientific, Швейцария). Длина волны рентгеновского

излучения составляет 1,54056 Å.

Триботехнические испытания проводили на универсальном трибометре UMT-2 фирмы CETR (США), согласно ГОСТ 11629-75, по схеме трения 2 «палец-диск» линейная скорость 0,5 м/с. Нагрузка 150 Н.

ИК спектры регистрировали на ИК-Фурье степ-скан-спектрометр FTS 7000 Varian (США), на приставке НПВО (нарушенное полное внутреннее отражение).

Были проведены деформационно-прочностные исследования ПКМ для выявления влияния механоактивированного СВМПЭ (СВМПЭ-М) на ПКМ, содержащие флогопит. Начиная с концентрации 0,1 мас. % флогопита относительное удлинение при разрыве ПКМ с СВМПЭ-М значительно уменьшается, в сравнении с исходным СВМПЭ. В целом добавление СВМПЭ-М вызвало значительное уменьшение относительного удлинения при разрыве по сравнению с СВМПЭ, наполненного только флогопитом. Это может быть объяснено тем, что полярные окисленные функциональные группировки СВМПЭ-М обладают слабым взаимодействием с неполярным СВМПЭ и действуют в качестве концентраторов напряжения. Тем самым можно сделать вывод о том, что 5 мас. % СВМПЭ-М избыточно для данного диапазона концентраций и размера частиц флогопита.

Предел прочности при растяжении ПКМ с СВМПЭ-М повышается на 10% относительно исходного СВМПЭ при концентрации флогопита 0,5 мас. %.

При добавлении СВМПЭ-М в ПКМ происходит повышение верхнего предела текучести.

Кроме того, были исследовано изменение твердости и плотности в зависимости от степени наполнения СВМПЭ. Результаты представлены на таблице 1.

Таблица 1

Плотность и твердость СВМПЭ и композитов на его основе

Образец	Содержание наполнителя, мас. %	Средняя плотность, г/см ³	Твердость
СВМПЭ	0,0	0,930±0,003	35,0
СВМПЭ+ флогопит +СВМПЭ-М	0,1	0,985±0,013	25,2
	0,2	0,987±0,013	17,6
	0,5	0,994±0,002	21,4
	1,0	0,992±0,002	27,1
	2,0	0,994±0,013	16,8
СВМПЭ+ флогопит	0,1	0,941±0,005	29,5
	0,2	0,945±0,006	29,5
	0,5	0,945±0,0006	29,5
	1,0	0,945±0,002	-
	2,0	0,956±0,001	26,2

Добавление в ПКМ СВМПЭ-М привело к повышению плотности и снижению твердости.

Износостойкость ПКМ с 1 мас. % флогопита и с добавкой СВМПЭ-М повысилась в 40 раз по сравнению с исходным СВМПЭ и в 13 раз по сравнению с ПКМ только с флогопитом. Подобное резкое увеличение износостойкости может быть объяснено тем,

что в составе ПКМ имеется компонент, содержащий окисленные функциональные группировки.

Добавление флогопита способствовало снижению коэффициента трения по сравнению с исходным СВМПЭ. Однако отличий коэффициентов трения ПКМ полученных с использованием СВМПЭ-М и без использования отличаются незначительно.

Добавление СВМПЭ-М приводит к снижению таких характеристик как предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве относительно ПКМ наполненных только флогопитом. Это может быть объяснено тем, что полярные окисленные функциональные группировки СВМПЭ-М обладают слабым взаимодействием с неполярным СВМПЭ и действуют в качестве концентраторов напряжения. Однако, повышается предел текучести ПКМ.

Плотность ПКМ, полученных с использованием СВМПЭ-М выше, чем у ПКМ наполненных только флогопитом.

Износостойкость ПКМ с 1 мас. % флогопита и с добавкой СВМПЭ-М повысилась в 40 раз по сравнению с исходным СВМПЭ и в 13 раз по сравнению с ПКМ только с флогопитом. Подобное резкое увеличение износостойкости может быть объяснено тем, что в составе ПКМ имеется компонент, содержащий окисленные функциональные группировки.

ПКМ полученные с добавлением СВМПЭ-М обладают в целом более оптимальными характеристиками для использования в качестве материалов для узлов трения по сравнению с ПКМ, полученными наполнением только флогопитом.

Список литературы:

1. Шур А.М. Высокомолекулярные соединения / Шур А.М. - 2nd ed. Москва: «Высшая школа», 1971. – 520 p.
2. Akelah A & Moet A Polymer-clay nanocomposites: Free-radical grafting of polystyrene on to organophilic montmorillonite interlayers / Akelah A, Moet A // Journal of Materials Science. – 1996. – Vol. 31, № 13. – P. 3589–3596.
3. И.Н. Андреева & Е.В. Веловская Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / И.Н. Андреева, Е.В. Веловская. Ленинград: Химия, 1982. – 80 p.
4. Вшивков С. А. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ / Вшивков С. А. // Уральский государственный университет им. А.М. Горького. – P. 123.
5. Харьковская, Е.М. et al. Наноккомпозиты и высокомолекулярные волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и силикатов. Получение, строение, свойства / Е.М. Харьковская et al. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2014. – Vol. 56, № 1. – P. 78.
6. Nikiforov, L.A. et al. Surfactant effects on structure and mechanical properties of ultrahigh-molecular-weight polyethylene/layered silicate composites / L.A. Nikiforov et al. // Molecules. – 2017. – Vol. 22, № 12.