

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Ж.К. Мышырова^{1*}, М.И. Тулепов¹, Р. Бускетс²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Школа наук о жизни, фармации и химии Кингстонского университета, Кингстон-на-Темзе, Великобритания

АННОТАЦИЯ

В работе исследовались электропроводность и физико-механические свойства композитов на основе жидких тиоколов, наполненных техническим углеродом марки К-354. Целью данной работы было получение недорогого электропроводящего композита с использованием тиоколовой матрицы. Было выявлено что добавление сажи к тиоколовой матрице приводит к существенному изменению электропроводности, так при увеличении содержания технического углерода в композиционном материале от 20 до 40 м.ч. происходило закономерное снижение удельного электрического объемного сопротивления с $1,28 \times 10^4$ до $2,34 \times 10$ (Ом \times м). При помощи сканирующей электронной микроскопии изучены структура поверхности композитов, распределение частиц в композитной матрице. С увеличением содержания наполнителя, упаковка агрегатов в матрице становится более плотной, что способствует более тесному контакту между частицами технического углерода, за счет чего создаются условия для образования электропроводящих цепочек. Полученный композит можно использовать в качестве электропроводящего герметизирующего материала.

Ключевые слова: полисульфиды, технический углерод, композит, удельное сопротивление, герметики.

1. Введение

На месторождениях нефтеперерабатывающей промышленности по всему миру ежегодно приходится около 70 млн. тонн элементарной серы [1]. Данная проблема актуальна и для Казахстана, где на месторождениях нефти скапливаются миллионы тонн элементарной серы. К примеру, на месторождении Тенгиз, при годовой выработке 3 млн. тонн нефти ежедневно производится около 1 000 тонн серы [2].

Наибольший интерес представляют в настоящее время полисульфиды, которые представляют собой класс полимеров с высоким содержанием серы, структурно подобны полимерной сере, но обладают улучшенной стабильностью и способностью к переработке. Полисульфиды широко используются в различных областях, например, в изготовлении герметизирующих материалов, солнечных элементов, рукавов, шлангов, покрытий, грунтовок и фотохромных соединений. Основными особенностями полисульфидных полимеров являются высокая устойчивость к растворителям, стойкость к УФ-излучению, низкая газопроница-

емость, столь востребованные в различных отраслях промышленности [3–8].

В качестве мономеров были испытаны различные дигалогенпроизводные алифатического и ароматического ряда. В таблице 1, приведены примеры полученных ранее поликонденсатов [9–13], было выявлено что свойства полученных соединений зависят от строения мономеров; полимерные формы образуются от дигалогенпроизводных углеводородов, пространственно не осложненных; получаемые тетрасульфидные формы полимероподобны, дисульфидные формы в звеньях которых находится меньше чем 4 атома углерода представляют собой порошкообразные соединения; порошки получают также при конденсации с моносернистыми металлами.

Наибольшее распространение полисульфидные полимеры получили в авиации, в качестве герметизирующих материалов для топливных баков, благодаря своей высокой стойкости, к агрессивным средам, также их используют при изготовлении трубопроводов, рукавов, шлангов, и других изделий соприкасающихся с бензином, ракетным топливом [14]. Однако полисульфиды

**Ответственный автор*
E-mail: zh.mk@mail.ru

уступают другим видам полимерам в физико-механических свойствах при возвратно-поступательном движении, в теплопроводности и в виду относительно дорогой стоимости имеют ограниченное применение и остаются полимерами специального назначения.

В настоящее время полисульфидные полимеры могут найти свое применение как электропроводящие полимеры в борьбе с электростатическими зарядами, которые возникают из-за движения топлива и накапливаются во время полета. Как известно накопление зарядов может привести к возникновению пожара или взрыва [15, 16]. Для устранения статического электричества обычно используются электропроводящие полимерные материалы. Исследования демонстрируют, что общепринятой стратегией получения электропроводящих и механически прочных материалов является непосредственное добавление соответствующих наполнителей в изолирующую полимерную матрицу, например графена [17-18], углеродных нанотрубок [19], наноразмерного оксида алюминия [20], наноглины [21].

В исследовании [17] был создан нанокомпозит из оксида графена (ГО)/полиуретана (ПУ) и полисульфидного каучука (ПСК), путем пропитки полисульфидным олигомерами (ПСО) трехмерного каркаса из полиуретана и оксида графена (3D) ГО-ПУ, в вакууме с последующей термообработкой. Композиты ГО-ПУ/ПСК показали

улучшенные проводящие свойства, чем чистый ПСК. Например, объемное удельное сопротивление композитов 0,5 мас.%-ГО-ПУ/ПСК составило $2,6 \times 10^6$ Ом·см и уменьшилось на 5 порядков по сравнению с чистым ПСК. Теплопроводность композита ГО-ПУ/ПСК повысилась до 0,598 Вт/(м·К) или на 153% по сравнению со значением для чистого ПСК.

Углеродные нанотрубки (УНТ) и графен, как наполнители обладают отличными физическими и механическими свойствами, но широкому использованию данных материалов препятствуют: высокая цена; введение их в полимер требует дополнительной обработки, модифицирования ввиду средней совместимости с полисульфидной матрицей [17-19]. В этом отношении использование ТУ как электропроводящего наполнителя является наиболее привлекательным для полисульфидных полимеров, ввиду недорогой стоимости и отсутствия дополнительных стадий при введении ТУ в матрицу.

3. Экспериментальная часть

Был синтезирован полисульфид с использованием хлороформа и ди-β-хлорэтилформаль. 26 г гидроксида натрия растворяли в 90 мл дистиллированной воды, добавляли 5,0 г хлористого магния, при постоянном перемешивании, затем нагревали образовавшуюся суспензию до 60 °С

Таблица 1

Физическое состояние поликонденсатов [9-13].

№	Галогенпроизводные углеводороды	Формула	Состояние поликонденсата
1	Йодистый метил	CH ₃ I	Полимера не образует
2	Хлористый этил	C ₂ H ₄ Cl	Полимера не образует
3	Хлористый метилен	CH ₂ Cl ₂	Полимера не образует
4	Хлороформ	CHCl ₃	Полимера не образует
5	Трихлорэтилен	Cl ₂ C=CHCl	Полимера не образует
6	Тетрахлорэтилен	Cl ₂ C=CCl ₂	Полимера не образует
7	1,3-Хлорбромпропан	ClCH ₂ CH ₂ CH ₂ Br	Полимероподобный хрупкий материал
8	1,2-Дихлорпропан	ClCH ₂ CHClCH ₃	Полимера не образует
9	2,3-Дихлорбутан	CH ₃ CHClCHClCH ₃	Полимера не образует
10	1,4-Дибромбутен	BrCH ₂ CH=CHCH ₂ Br	Жидкий олигомер
11	1,2,3,4-Тетрахлорбутан	ClCH ₂ CHClCHClCH ₂ Cl	Полимера не образует
12	п-Дихлорбензол	C ₆ H ₄ Cl ₂	Полимера не образует
13	Дихлорэтан	ClC ₂ H ₄ Cl	Тиокол, высокомолекулярный полимер
14	ди-β-хлорэтилформаль	ClCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ Cl	Жидкий олигомер
15	Стирол	C ₆ H ₅ CH=CH ₂	Низкомолекулярные полимеры

и добавляли серу в избытке 40 г. Затем раствор разогревали до 80 °С в течение 45 минут. Полученный раствор полисульфида фильтровали через стеклянный фильтр, вновь нагревали до 90 °С, и по каплям при постоянном помешивании добавляли 33 г ди-β-хлорэтилформала, и 1 г хлороформа, реакцию продолжали еще 1,5-2 ч. Далее проводили десульфирование добавлением гидроокиси натрия 15 г. Полученный олигомер, промывали несколько раз, осуществляли расщепление сернистокислым натрием в среде толуола [22]. Далее готовили герметизирующую композицию имеющую в своем составе в качестве наполнителя технический углерод (ТУ) марки К 354 канальный.

Физико-механические свойства герметизирующих материалов исследовали следующим образом: готовили составы смеси для вулканизации из жидких тиоколов; полученные вулканизаты формовали при помощи шаблона по ГОСТ 21751-76; отверждали при комнатной температуре в течение суток, затем отверждали при температуре (50±3) °С в течение еще одних суток. Образцы закрепляли в зажимном устройстве машины для испытаний на растяжение HT 400 Pneumatic Grip Controller (Tinius Olsen) и растягивали. В момент разрыва образца фиксировали силу и длину рабочей зоны.

Для исследования технического углерода методом ИК-анализа использовали метод таблеточного прессования (сухой метод). Порошок наполнителя перемешивали и растирали в ступке с осушенным бромистым калием в массовом соотношении 1:50. Далее измельченную смесь помещали в ручной пресс и формовали под давлением. Получали полупрозрачную таблетку, которую в дальнейшем использовали для измерений на ИК-спектрометре Spektrum 65 Perkin & Elmer.

Удельное объемное электрическое сопротивление образцов измеряли при помощи тераомметра Е6-13А.

Структуру электропроводящих композитов анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D 200i Dual system.

3. Результаты и обсуждение

При помощи ИК спектроскопии были получены и изучены спектры технического углерода и полисульфидного полимера. Структура технического углерода представляет собой сопряженную систему углеродных связей, которая характеризуется широкими и малоинтенсивными полосами

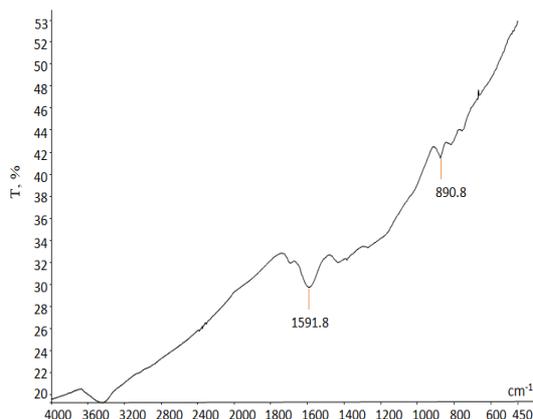


Рис. 1. ИК-спектр технического углерода.

поглощения. На рис. 1 представлен ИК спектр технического углерода, имеющий следующие полосы поглощения: колебания $-C=C-$ связи в области 1560-1600 cm^{-1} , обуславливающие полиароматические слои технического углерода; при 1000-800 cm^{-1} можно наблюдать широкие и малоинтенсивные полосы группы $C-C$; также можно увидеть широкие малоинтенсивные полосы в области 3200-3600 cm^{-1} , которые указывают на присутствие свободных групп OH [23, 24].

Инфракрасный спектр полученного тиокола представлен на рис. 2. Узкие и малоинтенсивные полосы в областях 490 cm^{-1} и 608–657 cm^{-1} , относят к серосодержащим соединениям, соответствуют колебаниям $S-S$ и $C-S$ соответственно [25]. Колебания в областях 727–842, 1109, 1189, 1248–1267, 1397, 2918 cm^{-1} соответствуют плоскостным колебаниям $C-H$, валентным колебаниям $C-C$, $-CH_2-$, деформационным крутильным колебаниям этиленовых сегментов, плоскостным ножничным колебаниям $C-H$, симметричным и асимметричным валентным колебаниям $C-H$ соответственно. Кроме того, полосы поглощения в областях 1630 и 3440 cm^{-1} приписываются ножничным колебаниям и симметричным колебаниям групп $-OH$ поглощенной влаги с KBr [25-27].

Были получены составы смеси для вулканизации, которые готовились согласно таблице 2. Содержание ТУ было выбрано от 20 до 40 м.ч., из предположений что данные концентрации являются оптимальными для формирования электропроводящих цепочек. Превращение тиоколового низкомолекулярного олигомера в каучукоподобный твердый полимер происходит при добавлении окислителей, которые способствуют процессу сшивания. Наиболее распространенными отвердителями являются органические гидропероксиды, диоксид свинца, бихромат натрия.

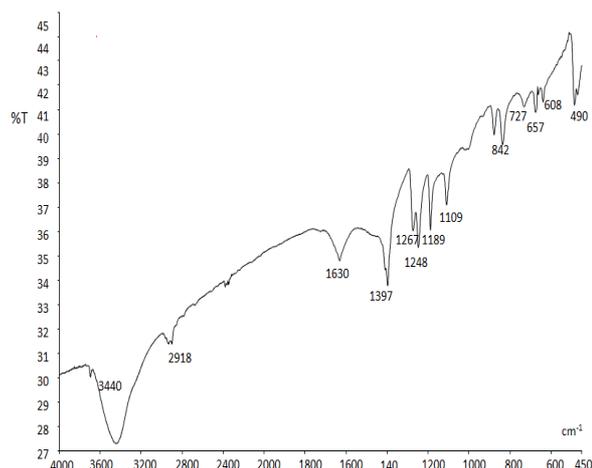


Рис. 2. ИК-спектрполисульфидного полимера с содержанием технического углерода 20 м.ч.

Благодаря вводимым окислителям, происходит окисление концевых меркаптановых групп, образуются дисульфидные мостики, и полимер приобретает сетчатую структуру. В полученных составах в качестве отвердителя был взят бихромат натрия, в качестве ускорителя дифенилгуанидин.

У полученных полисульфидных полимеров, содержание технического углерода составило от 20 до 40 м.ч., были исследованы электрические свойства в зависимости от количества наполнителя в составе. Введение технического углерода в жидкий полисульфидный полимер привело к значительному изменению электропроводности композита. Наполненный техническим углеродом композит продемонстрировал относительно высокую электропроводность, удельное объемное сопротивление составило 2.34×10 (Ом \times м), проявив себя проводником.

В таблице 3, представлены результаты электропроводности полученных композиционных материалов в зависимости от содержания ТУ. Было выявлено, что электропроводность значительно зависит от содержания ТУ.

Таблица 2

Состав смеси для вулканизации.

№	Наименование компонента	Количество, мас.ч
1	Жидкий тиокол	100
2	Технический углерод К 354	20; 30; 40
3	Дифенилгуанидин	0,4
4	Бихромат натрия (67%-ый водный раствор)	4,0

Таблица 3

Удельное электрическое сопротивление вулканизатов на основе жидкого тиокола в зависимости от содержания ТУ.

№	Содержание ТУ, м.ч.	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом \times м
1	20	$1,28 \times 10^4$
2	30	$5,35 \times 10^3$
3	40	$2,34 \times 10$

В таблице 4 представлены механические свойства композитов наполненных техническим углеродом. Условная прочность при разрыве с повышением концентрации ТУ возрастала, и при концентрации 40 м.ч. составила 1,45 МПа. Количество вводимого ТУ в целом положительно повлияло на улучшение физико-механических свойств. Относительное удлинение при разрыве также выросло, и достигло 102% при содержании ТУ в количестве 40 м.ч. ТУ является не только проводящим наполнителем, но также неплохим усилителем для тиоколовой смеси.

На рис. 3 представлены СЭМ снимки композита, наполненного ТУ с содержанием от 20 м.ч. до 40 м.ч. соответственно, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D 200i Dual system. На основании полученных изображений можно предположить, что распределение частиц ТУ в композите, равномерно и плотно упаковано. Поверхность композитов ровная, с мелкими агрегатами, которые увеличиваются с ростом содержания наполнителя. Более плотное распределение частиц способствует тесному контакту, благодаря чему создаются условия для формирования электропроводящих цепочек. Поэтому необходимо определенное заполнение композиции наполнителем для получения электропроводящих сетей.

Таблица 4

Физико-механические свойства композитов наполненных ТУ.

№	Содержание ТУ, %	Условная прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
1	20	1,27	86
2	30	1,38	98
3	40	1,45	102

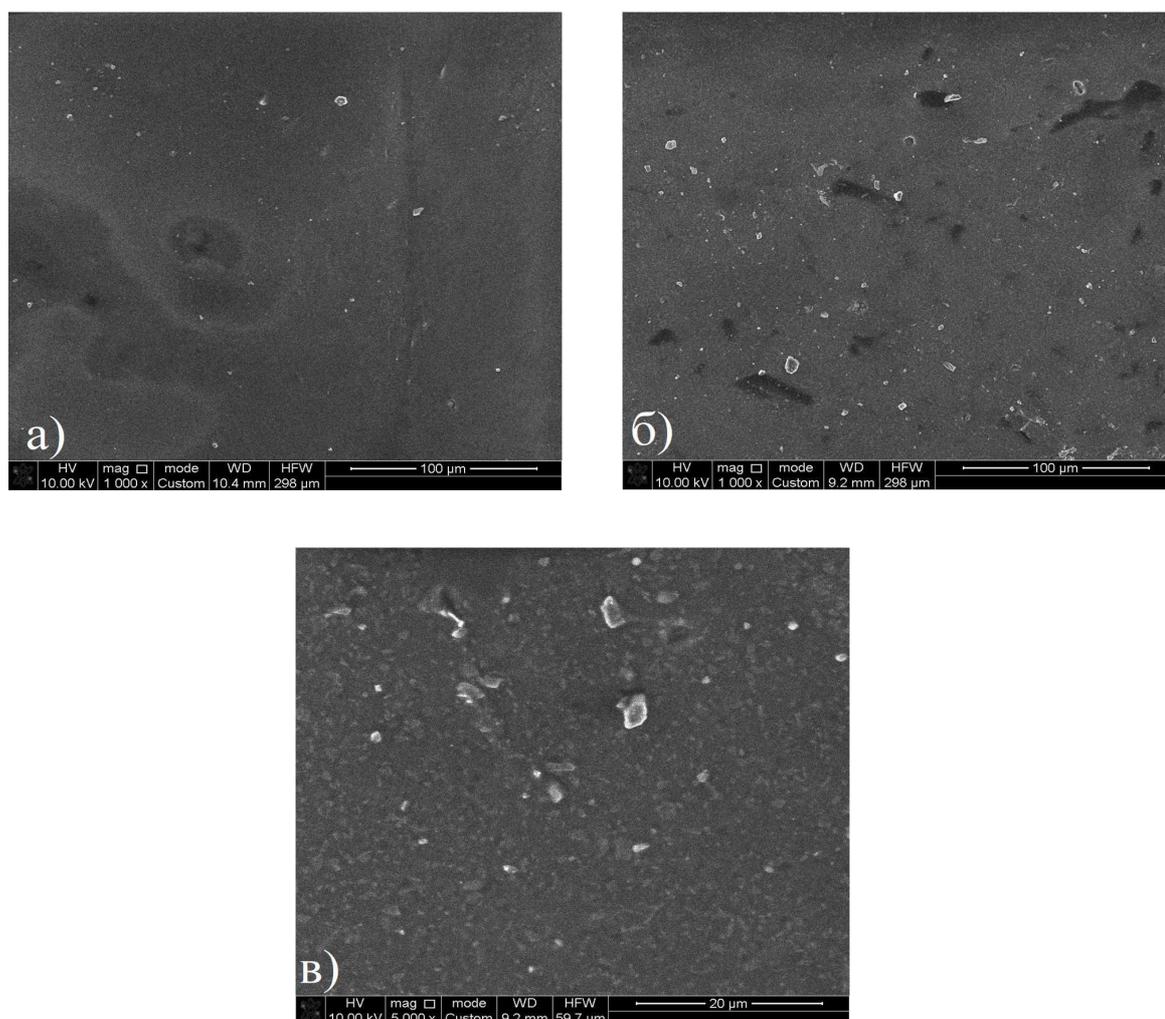


Рис. 3. СЭМ-изображения а) композита с содержанием ТУ 20 м.ч.; б) композита с содержанием ТУ 30 м.ч.; в) композита с содержанием ТУ 40 м.ч.

4. Заключение

Полисульфидные сополимеры а также нано-композиты могут иметь более интересные физические и механические свойства, чем обычные полисульфидные каучуки, создание и исследование композитов на основе тиоколов могут открыть новые отрасли применения данных полимеров. В данной работе был синтезирован и исследован полисульфидный полимер на основе жидких тиоколов, и изучена возможность использования полисульфидных полимеров в качестве электропроводящих композитов.

При увеличении содержания ТУ с 20 до 40 м.ч., удельное объемное электрическое сопротивление уменьшилось на несколько порядков, и составило $2,34 \times 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, что способствовало значительному улучшению электропроводимости композита. Также были исследованы физико-механические свойства полученных вулканизатов, при содер-

жании 40 м.ч. технического углерода условная прочность на разрыв составила 1,45 МПа, относительное удлинение при разрыве также увеличилось, и достигло 102%. Свойства композитов во многом зависят от характеристик наполнителя, распределения и размера его частиц в матрице. Технический углерод марки К-354, улучшает физико-механические свойства и имея низкие значения удельного сопротивления, может использоваться как электропроводящий наполнитель.

Список литературы

- [1]. Nayeem A., Faizal Ali M., Haslinda S.J. Synthesis and applications of inverse vulcanized polysulfides from bio-crosslinkers // *Materials Today: Proceedings.* – 2022. – Vol. 57, Part 3 – P. 1095–1100.
- [2]. Садиева Х.Р., Бишимбаева Г.К., Умбетова Ш.М., Матеева С.З., Джумабекова Г.Б. Произ-

- водство сульфида и полисульфида щелочных и щелочноземельных металлов на основе переработки нефтяной серы Тенгизского месторождения. Инновации для бизнеса России и Казахстана // Материалы Форума инновационных бизнес-лидеров Российской Федерации и Республики Казахстан. – Екатеринбург, 2015, – С.110.
- [3]. Kazerouni S.S., Kalaei M., Sharif F. Synthesis and characterization of poly(ethylene tetrasulfide)/graphene oxide nanocomposites by in situ polymerization method // *J Sulfur Chem.* – 2016. – Vol.37 – P.328–339.
- [4]. Kalaei M., Famili N., Mortezaei M. Polymerization of ethylene dichloride and sodium tetrasulfide: synthesis and kinetic studies // *J Sulfur Chem.* – 2010. – Vol.31 – P. 247–253.
- [5]. Murthy K.S., Kishore K., Mohan V.K. Vinyl monomer based polyperoxides as potential initiators for radical polymerization: an exploratory investigation with poly(α -methylstyrene peroxide) // *Macromolecules.* – 1994. – Vol.27 – P.7109–7114.
- [6]. Mahon A., Kemp T.J., Coates R.J. Thermal and photodegradation of MnO_2 -, $NaBO_3$ - and organic hydroperoxide-cured polysulfides: products and pathways // *Polym Degrad Stab.* – 1998. – Vol. 62 – P.187–198.
- [7]. Balakit A.A., Smith K., El-Hiti G.A. Synthesis and characterization of a new photochromic alkylene sulfide derivative // *J Sulfur Chem.* – 2018. – Vol.39 – P. 182–192.
- [8]. Pirayesh A., Salami-Kalajahi M. Roghani-Mamaqani H. Investigation of thermophysical and adhesion/mechanical properties of amine-cured epoxidized polysulfide polymer/epoxidized graphene nanocomposites // *Prog Org Coat.* – 2019. – Vol. 131 – P. 211–218.
- [9]. Зелинский Н. Д. Собрание трудов. Т. IV. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – 598 с.
- [10]. Tobolsky A.V., Macknight U. J. Polymer sulfur and related polymers. – New York: Polymer Rev., 1965. – P. 140.
- [11]. Kishore K., Ganesh K. Polymers containing disulfide, tetrasulfide, diselenide and ditelluride linkages in the main chain // *Adv. Pol. Sci.* – 1995. – Vol. 121 – P. 81.
- [12]. Ahmed A., Blanchard L. P. // *J. Appl. Polymer Sci.* – 1985. – Vol. 29 – P. 1225.
- [13]. Smith K., El-Hiti G.A., Al-Zuhairi A.J. The synthesis of polymeric sulfides by reaction of dihaloalkanes with sodium sulfide // *J Sulfur Chem.* – 2011. – Vol. 32 – P. 521–531.
- [14]. Song B., Wu F., Moon K.S., Wong C.P. Formulation and Processing of Conductive Polysulfide Sealants for Automotive and Aerospace Applications // *Electronic Components and Technology Conference.* – 2019. – P. 157–162.
- [15]. Wang X., Jin T., Wang H.W., Liao S.Z., Yang H.Y. Preparation and Characterization of Polysulfide Sealant Microcapsules Based on in situ Polymerization of Urea and Formaldehyde // *Chemical Journal of Chinese Universities* – 2018. – Vol. 39 – P. 397–404.
- [16]. Tupciauskas R., Irbe I., Janberga A., Buksans E. Moisture and decay resistance and reaction to fire properties of self-binding fibreboard made from steam-exploded grey alder wood // *Wood Mat Sci Eng* – 2017. – Vol. 12 – P. 63–71.
- [17]. Tao W., Zeng Sh., Xu Y., Nie W., Zhou Yi., Qin P., Wu S., Chen P. 3D Graphene – sponge skeleton reinforced polysulfide rubber nanocomposites with improved electrical and thermal conductivity // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* – 2021. – Vol. 143 – P. 106–293.
- [18]. Li X., Nie W., Xu Y., Zhou Y., Chen P., Zhang Ch. Functionalized GO/polysulfide rubber composites with excellent comprehensive properties based interfacial optimum design // *Composites Part B: Engineering.* – 2020 – Vol. 198 – P. 108–234.
- [19]. Слободкина К.Н., Макаров Т.В., Вольфсон С.И. Композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука и тиокола, модифицированные углеродными нанотрубками TUBALL // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2015. – №17 – С.104–106.
- [20]. Хакимуллин Ю. Н., Курбангалеева А. Р., Дресвянников А. Ф., Петрова Е. В. Влияние наноразмерного оксида алюминия на свойства герметиков на основе жидкого тиокола // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2012. – №3 – С. 47–49.
- [21]. Hadavand B.S., Pishvaei M., Hosseiniasari M. The role of nanoclay on surface roughness and characteristics of epoxy polysulfide nanocomposite // *Progress in Organic Coatings.* – 2019. – Vol. 131 – P.60–66.
- [22]. Патент 1840614. РФ, МПК C08G 75/16. Способ получения жидких тиоколов // Н.П. Апухтина, С.А. Бычкова, Р.Ф. Галимзянов, А.Д. Грункина, Л.Б. Егоров. – Оpub. 27.08.2007.
- [23]. Salame I., Bandosz T. Surface Chemistry of Activated Carbons: Combining the Results of Temperature-Programmed Desorption, Boehm, and Potentiometric Titrations // *Journal of colloid and interface science.* – 2001. – Vol.240 – P. 252–258.
- [24]. ASTM D 3849-04. “Test Method for Carbon Black: Morphological Characterization of Carbon Black Using Electron Microscopy”. – Book of Standards, 9, 2007.
- [25]. Moniruzzaman M., Winey K.I. Polymer

nanocomposites containing carbon nanotubes // *Macromolecules*. – 2006. – Vol.39 – P. 5194–5205.

- [26]. Chen X., Chen X., Lin M. Functionalized multi-walled carbon nanotubes prepared by in situ polycondensation of polyurethane // *Macromol Chem Phys*. – 2007. – Vol.208 – P. 964–972.
- [27]. Nasrabadi H., Kalae M., Mazinani S. Use of carbon nanotube to enhance thermal resistance of poly(ethylenetetrasulfide) via in situ polymerization method // *Polym Plast Technol Eng*. – 2014. – Vol.53 – P.767–774.
- ## References
- [1]. Nayeem A, Faizal Ali M, Haslinda SJ (2022) *Materials Today* 57:1095-1100. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.397>
- [2]. Sadieva KhR, Bishimbaeva GK, Umbetova ShM, Mateeva SZ, Dzhumabekova GB (2015) Production of sulfide and polysulfide of alkali and alkaline earth metals based on the processing of petroleum sulfur from the Tengiz deposit. *Innovations for business in Russia and Kazakhstan. Proceedings of the Forum of Innovative Business Leaders of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan. Yekaterinburg*, P.110.
- [3]. Kazerouni SS, Kalae M, Sharif F (2016) *Sulfur Chem* 37:328–339. <https://doi.org/10.1080/17415993.2016.1139114>
- [4]. Kalae M, Famili N, Mortezaei MJ (2010) *Sulfur Chem* 31:247–253. <https://doi.org/10.1080/17415993.2010.499565>
- [5]. Murthy KS, Kishore K, Mohan VK (1994) *Macromolecules* 27:7109–7114. <https://doi.org/10.1021/ma00102a017>
- [6]. Mahon A, Kemp TJ, Coates RJ (1998) *Polym Degrad Stab* 62:187–198.
- [7]. Balakit AA, Smith K, El-Hiti GA (2018) *J Sulfur Chem* 39:182–192. <https://doi.org/10.1080/17415993.2017.1413651>
- [8]. Pirayesh A, Salami-Kalajahi M, Roghani-Mamaqani H (2019) *Prog Org Coat* 131:211–218. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.02.035>
- [9]. Zelinsky ND (1960). *Collection of works*. T. IV. M.: Ed. Academy of Sciences of the USSR. P.598.
- [10]. Tobolsky AV, Macknight UJ (1965). *Polymer sulfur and related polymers*, *Polymer Rev.* New York. P.140.
- [11]. Kishore K, Ganesh K (1995) *Adv. Pol. Sci.* 121:81.
- [12]. Ahmed A, Blanchard LP (1985) *J. Appl. Polymer Sci.* 29:1225.
- [13]. Smith K, El-Hiti GA, Al-Zuhairi AJ (2011) *J Sulfur Chem.* 32:521–531. <https://doi.org/10.1080/17415993.2011.616589>
- [14]. Song B, Wu F, Moon KS, Wong CP, (2019) *Formulation and Processing of Conductive Polysulfide Sealants for Automotive and Aerospace Applications. Electronic Components and Technology Conference*, P.157-162.
- [15]. Wang X, Jin T, Wang HW, Liao SZ, Yang HY (2018) *Chemical Journal of Chinese Universities* 39:397–404. <https://doi.org/10.7503/cjcu20170417>
- [16]. Tupciauskas R, Irbe I, Janberga A, Buksans E (2017) *Wood Mat Sci Eng.* 12:63–71. <https://doi.org/10.1080/17480272.2015.1022876>.
- [17]. Tao W, Zeng Sh, Xu Y, Nie W, Zhou Yi, Qin P, Wu S, Chen (2021) *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 143:106293. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106293>.
- [18]. Li X, Nie W, Xu Y, Zhou Y, Chen P, Zhang Ch (2020) *Compos. B: Eng.* 198:108234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108234>.
- [19]. Slobodkina KN, Makarov TV, Wolfson SI (2015) *Bulletin of the Kazan Technological University* 17:104-106. (in Russian)
- [20]. Khakimullin YuN, Kurbangaleeva AR, Dresvyannikov AF, Petrova EV (2012) *Bulletin of the Kazan Technological University* 3:47–49. (in Russian)
- [21]. [21]. Hadavand BS, Pishvaei M, Hosseiniasari M (2019) *Progress in Organic Coatings* 131:60-66. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.02.024>.
- [22]. Apukhtina NP, Bychkova SA, Galimzyanov RF, Grunkina AD, Egorov LB (2007) *Method for obtaining liquid thiokols. Patent of the Russian Federation No1840614.IPC C08G 75/16*
- [23]. Salame I, Bandosz T, (2001) *Journal of colloid and interface science* 240:252-258. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.7596>.
- [24]. ASTM D 3849-04. “Test Method for Carbon Black: Morphological Characterization of Carbon Black Using Electron Microscopy” *Book of Standards*, 9, 2007.
- [25]. Moniruzzaman M, Winey KI, (2006) *Macromolecules* 39:5194–5205. <https://doi.org/10.1021/ma060733p>.
- [26]. Chen X, Chen X, Lin M, (2007) *Macromol Chem Phys* 208:964–972. <https://doi.org/10.1002/macp.200600593>
- [27]. Nasrabadi H, Kalae M, Mazinani S (2014) *Polym Plast Technol Eng* 53:767–774. <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.886039>

Electrically conductive sealing compositions based on polysulfide oligomers

Zh.K. Myshyrova^{1*}, M.I. Tulepov¹, R.Buskets²

¹Kazakh National University named after Al-Farabi, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Almaty, Kazakhstan

²School of Life Sciences, Pharmacy and Chemistry, Kingston University, Kingston upon Thames, UK

ANNOTATION

In this work, the electrical conductivity and physical and mechanical properties of composites based on liquid thiokols filled with technical carbon grade K-354 were studied. The aim of this work was to obtain an inexpensive electrically conductive composite using a thiokol matrix. It was found that the addition of carbon black to the thiokol matrix leads to a significant change in electrical conductivity, so with an increase in the content of carbon black in the composite material from 20 to 40 m.p. there was a regular decrease in the specific electrical volume resistance from 1.28×10^4 to 2.34×10 (Ohm \times m) occurred. Using scanning electron microscopy, the structure of the surface of the composites and the distribution of particles in the composite matrix were studied. With an increase in the filler content, the packing of aggregates in the matrix becomes denser, which contributes to closer contact between carbon black particles, thereby creating conditions for the formation of electrically conductive chains. The resulting composite can be used as an electrically conductive sealing material.

Key words: polysulfides, carbon black, composite, resistivity, sealants.

Полисульфидті олигомерлерге негізделген электр өткізгіш тығыздағыш композициялар

Ж.К. Мышырова^{1*}, М.И. Тулепов¹, Р.Бускетс²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, химия және химиялық технология факультеті, Алматы, Қазақстан

²Кингстон Университетінің Өмір туралы ғылымдар, фармацевтика және химия мектебі, Кингстон-Темза, Ұлыбритания

АНДАТПА

Жұмыста К-354 маркалы техникалық көмір тегімен толтырылған сұйық тиоколдарға негізделген композиттердің электр өткізгіштігі мен физика-механикалық қасиеттері зерттелді. Бұл жұмыстың мақсаты тиоколдық матрицаны қолдана отырып, арзан электр өткізгіш композит алу болды. Тиоколдық матрицаға күйе қосу электр өткізгіштігінің айтарлықтай өзгеруіне әкелетіні анықталды, сондықтан композициялық материалдағы техникалық көміртектің мөлшері 20-дан 40-қа дейін м.б. артқанда меншікті электрлік көлемдік кедергінің $1,28 \times 10^4$ -тен $2,34 \times 10$ (Ом \times м) дейін табиғи төмендеуі байқалды. Сканерлеуші электронды микроскопияның көмегімен композиттердің беткі құрылымы, композиттік матрицадағы бөлшектердің таралуы зерттелді. Толтырғыш құрамының жоғарылауымен матрицадағы қондырғылардың қаптамасы тығызырақ болады, бұл көміртегі бөлшектері арасындағы тығыз байланысқа ықпал етеді, соның арқасында электр өткізгіш тізбектердің пайда болуына жағдай жасалады. Алынған композитті электр өткізгіш тығыздағыш материал ретінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: полисульфидтер, техникалық көміртек, композит, меншікті кедергі, тығыздағыштар.