

**СИНТЕЗ И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ
И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

**SYNTHESIS AND PROCESSING OF POLYMERS
AND POLYMERIC COMPOSITES**

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-3-70-77>

УДК 678.4, 541.1

Влияние электрического поля на адгезионные характеристики системы полихлоропрен–шунгит

Н.Н. Комова^{1,@}, В.И. Солодилов², Э.В. Прут², Е.Э. Потапов¹

¹МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

²Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва 119991, Россия

@Автор для переписки, e-mail: kotova@mail.ru

Исследовано влияние температуры и внешнего электрического поля на адгезионные характеристики в системе полихлоропрен–шунгит. Показано, что повышение температуры и ориентация макромолекул полихлоропрена во внешнем электрическом поле существенно увеличивают прочность связи между исследованными компонентами. Обнаруженные эффекты объяснены с точки зрения возможности непосредственного химического взаимодействия шунгита с ориентированными определенным образом макромолекулами полихлоропрена в области формирования адгезионного соединения. Этому способствуют особенности строения шунгита (наличие в шунгите парамагнитных центров, фуллереноподобных структур, оксидов металлов) и полихлоропрена, являющегося полярным эластомером, а также создание оптимальных режимов для реализации такого взаимодействия. Для оценки прочности взаимодействия между полихлоропреном и поверхностью шунгита в работе использован метод определения напряжения отслаивания полимерной пленки от поверхности шунгитовой пластинки. Установлено, что наибольший эффект в упрочнении связи между полихлоропреном и поверхностью шунгита достигается при формировании полимерной пленки из раствора в четыреххлористом углероде на отрицательном электроде (катоде). Прочность связи шунгита с полихлоропреновой пленкой, сформированной на катоде, более, чем в два раза превышает этот параметр при формировании такой же пленки на аноде. Анализ изменения надмолекулярной структуры полихлоропрена в системе полихлоропрен–шунгит в результате ориентационного воздействия внешнего электростатического поля произведен с помощью температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь исследуемых систем. Показано, что пленка полихлоропрена, сформированная в электростатическом поле, имеет более упорядоченную структуру по сравнению с аналогичным образцом, но сформированном без поля. Об этом факте свидетельствует сдвиг максимумов в сторону больших температур в спектрах релаксации дипольной поляризации для системы, сформированной без воздействия поля, и системы, сформированной на катоде. Пленка полихлоропрена, содержащая в качестве наполнителя мелкодисперсный шунгит и сформированная на катоде, характеризуется повышенным значением тангенса угла диэлектрических потерь и увеличенным количеством пиков дипольной релаксации в исследованной температурной области.

Ключевые слова: система полихлоропрен–шунгит, ориентация макромолекул в электрическом поле, прочность связи, дипольная релаксация, тангенс угла диэлектрических потерь, надмолекулярная структура.



The Influence of Electric Field on the Adhesion Characteristics of the Polychloroprene–Shungite System

Ninel' N. Komova^{1,@}, Vitaly I. Solodilov², Eduard V. Prut², Evgeny E. Potapov¹

¹MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

²N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow 119991, Russia

@Corresponding author e-mail: komova_@mail.ru

The effect of temperature and external electric field on the adhesion characteristics in the polychloroprene–shungite system was investigated. It is shown that an increase in temperature and orientation of macromolecules of polychloroprene in an external electric field significantly increase the bond strength between the studied components. The detected effects are explained from the viewpoint of the possibility of direct chemical interaction of shungite with polychloroprene macromolecules oriented in a certain way in the region of an adhesive compound formation. This is facilitated by the structural features of shungite (the presence of paramagnetic centers, fullerene-like structures, metal oxides) and polychloroprene in shungite, as well as by the creation of the most optimal modes for implementing this interaction. To assess the strength of the interaction between polychloroprene and the surface of shungite we used a method for determining the stress of exfoliation of a polymer film from the surface of a shungite plate. It was established that the greatest effect in strengthening the bond between polychloroprene and the surface of shungite is achieved when a polymer film is formed from a solution in carbon tetrachloride on a negative electrode (cathode). The strength of the bond between shungite and the polychloroprene film formed on the cathode is more than two times higher than this parameter when forming the same film on the anode. The energy expended during the peeling of a film formed on the cathode is twice the energy of exfoliation from the shungite plate of the film formed on the anode. The analysis of the change in the supramolecular structure of polychloroprene in the polychloroprene–shungite system as a result of the orientational influence of an external electrostatic field was carried out using the temperature dependence of the tangent of the dielectric loss angle of the systems under study. It is shown that a polychloroprene film formed in an electrostatic field has a more ordered structure compared to a similar sample formed without a field. This fact is evidenced by the shift of the maxima toward higher temperatures in the relaxation spectra of the dipole polarization for the system formed without the field, and the system formed on the cathode. The polychloroprene film containing finely dispersed shungite as a filler and formed on the cathode is characterized by an increased value of the tangent of dielectric loss angle and an increased number of peaks of dipole relaxation in the temperature range studied.

Keywords: polychloroprene–shungite system, orientation of macromolecules in an electric field, bond strength, dipole relaxation, dielectric loss tangent, supramolecular structure.

Введение

В последние годы в полимерном материаловедении возникло новое направление, связанное с увеличением использования в качестве наполнителей полимерных материалов природных минеральных соединений, что существенно облегчает решение экологических и экономических проблем, а также проблем, связанных с импортозамещением. Очень часто природные минеральные соединения используются в полимерном материаловедении не только в качестве инертных наполнителей, но и в качестве активных ингредиентов. В этом отношении чрезвычайно интересный интерес представляет пара «полихлоропрен–

шунгит», так как ранее было показано, что шунгит является структурирующим агентом для эластомеров [1], одновременно являясь электропроводящим продуктом. При создании композитного материала на основе рассматриваемой системы полимер–наполнитель очень важными являются вопросы возможности использования электропроводящих свойств шунгита в рамках влияния на формирование адгезионного взаимодействия с макромолекулами полимера, а также влияния на формирование супрамолекулярных структур на границе раздела полихлоропрен–шунгит внешних электрических полей. Исследование этих вопросов позволит целенаправленно воздействовать на комплекс физико-химических и эксплуатацион-

ных свойств соответствующих изделий, которые представляют большой интерес для различных отраслей промышленности России.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали полихлоропреновый каучук марки Неопрен (Neopren WD, DuPont) (ПХП) [2]. Макромолекула α -полихлоропрена содержит 85-90% звеньев 1,4-*транс*-изомеров, что обуславливает его способность к кристаллизации. Доля кристаллической фазы при комнатной температуре колеблется от 8 до 30%. Дипольный момент макромолекулы ПХП, рассчитанный на мономерное звено, составляет 1.45 D ($4.8 \cdot 10^{-30}$ Кл·м) [3]. Средневязкостная молекулярная масса, определенная в растворе бензола, – 151 300.

Полихлоропреновую пленку для исследований получали формированием из раствора в четыреххлористом углероде двумя методами: 1) на подложке при отсутствии электростатического поля и 2) на подложке-электроде в постоянном электрическом поле (на катоде и аноде раздельно) при напряжении 30 В. Пленки, содержащие мелкодисперсный шунгит в равном весовом соотношении с полихлоропреном, получали аналогично из раствора в четыреххлористом углероде на измерительных электродах при отсутствии электростатического поля и на катоде.

Исследование прочности связи полихлоропрена с шунгитом проводили на шунгитовых пластинках размером 30×40×3 мм, весом от 12 до 14 г, с матовой шлифованной поверхностью, применяемых для защиты от электромагнитных излучений [4].

Прочность связи шунгита с полихлоропреном определяли по методике, описанной в работе [5]. Поскольку удельная свободная поверхностная энергия межфазных границ определяется работой адгезии (W_a) – работой изотермического процесса разделения двух фаз вдоль межфазной поверхности единичного сечения [3], то удельную поверхностную энергию (Ad) оценивали отношением усилия расщипывания ($P = \sigma l$, где l – длина межфазной поверхности) к ширине образца (b): $Ad = P/b$.

После отслаивания пленки полихлоропрена фрагменты эластомера, оставшиеся на поверхности пластины шунгита, исследовали на спектрофотометре Helios Alpha Local Control System (TermoSpectronic, США) в УФ-области. Для этого пластинку после отслаивания пленки полимера (ПХП) помещали в бокс, заливали 10 мл четыреххлористого углерода и оставляли на сутки. Полученный раствор анализировали на предмет наличия растворимых фрагментов полихлоропрена. Для количественного анализа при сравнении интенсивностей поглощения при определенной длине волны (280 нм) исследовали спектры 0.1% раствора полимера в четыреххлористом угле-

роде. В качестве оценки концентрации растворимых фрагментов ПХП, оставшихся на шунгитовой пластинке, использовали отношение интенсивностей поглощений при 280 нм исследуемого раствора к интенсивности поглощения контрольного раствора с известной концентрацией при этой же длине волны.

Состав поверхности шунгита оценивали методом МНПВО [6] на ИК-Фурье-спектрометре EQUINOX 55 (Bruker, Германия).

Структурные изменения в пленках полихлоропрена, наполненных мелкодисперсным шунгитом, при формировании их в электростатических полях оценивали методом диэлектрической релаксации, анализируя температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь [7]. Для нахождения температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь пленку, сформированную из раствора полихлоропрена в четыреххлористом углероде с добавлением мелкодисперсного порошка шунгита (в равном соотношении массовых частей), помещали между двумя стальными электродами. Electroды располагались в термостате, где с точностью до 2° происходил контроль температуры термопарой хромель–копель. Прогрев исследуемых образцов осуществляли в интервале 290–423 К. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь проводилось с помощью цифрового LCR-метра Hewlett-Packard 4284A в эквивалентной схеме параллельно соединенных резистора и конденсатора при частоте 1 кГц.

Результаты и их обсуждение

Прочность связи полихлоропрена с поверхностью шунгита характеризует среднее значение напряжения при отслаивании дублированной полихлоропреном ткани от шунгитовой пластинки. Диаграмма «напряжение отслаивания – расстояние между отслаиваемыми поверхностями» имеет пилообразный характер, с резкими скачками (рис. 1). Такой характер свидетельствует об образовании прочных локализованных связей полимера с поверхностью шунгита. Вид кривых отслаивания полихлоропрена от поверхности шунгита имеет разный характер в зависимости от температуры, при которой происходило взаимодействие между этими поверхностями под постоянным давлением в течение 60 мин. С увеличением температуры контактирования под давлением исследуемых поверхностей количество локальных экстремумов уменьшается, и кривая становится более гладкой при температуре взаимодействия 150 °С. Это дает основание сделать предположение об одновременном протекании процессов разной природы (физического и химического) при создании контакта между слоем полихлоропрена и поверхностью шунгита.

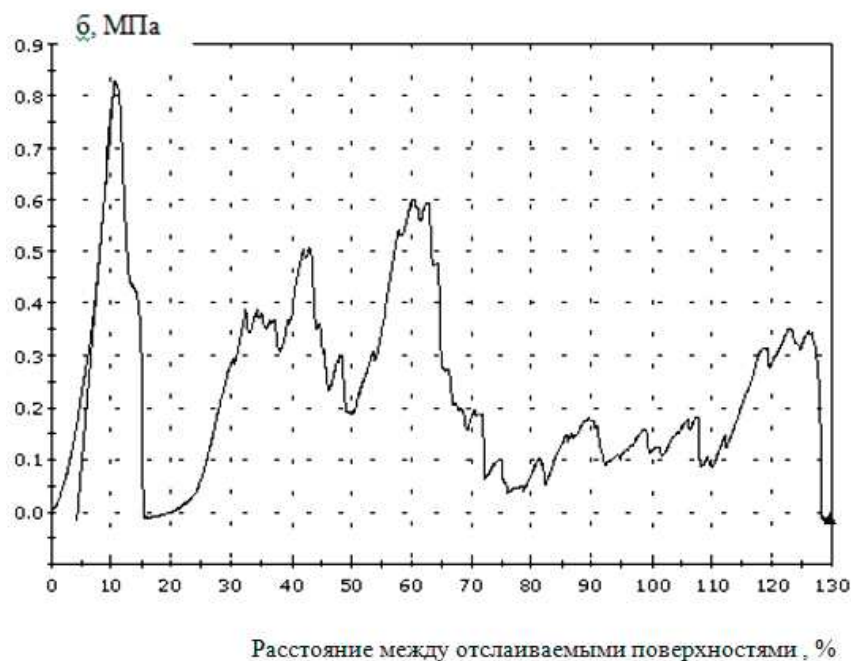


Рис. 1. Зависимость напряжения отслаивания от увеличения расстояния между концами отслаиваемых слоев, полученная для системы ПХП–шунгит. Скорость увеличения расстояния между концами отслаиваемых поверхностей 5 мм/мин при комнатной температуре. (Контакт поверхностей сформирован при давлении 5 кПа, время контактирования 60 мин при 100 °С).

Прочность связи ПХП–шунгит, определяемая средним значением напряжения отслаивания слоев шунгита от поверхности ПХП, растет с увеличением температуры формирования адгезионного соединения (рис. 2).

Зависимость прочности связи ПХП–шунгит, определяемая по величине напряжения при отслаивании, от температуры формирования контакта исследуемых поверхностей достаточно хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью (достоверность аппроксимации составляет 0.9) (рис. 3), что дает возможность определить суммарную энергетическую характеристику взаимодействия эластомера с поверхностью пластинки шунгита. Полученная энергия активации процесса повышения адгезии с ростом температуры составляет

35 кДж/моль. Эта величина превышает энергию активации вязкого течения для каучуков [8], что дает основания сделать вывод о значительном вкладе в прочность связи на границе полихлоропрен–шунгит химических взаимодействий между макромолекулами эластомера и поверхностью шунгита наряду с чисто диффузионными процессами при уменьшении вязкости полимера.

Анализ фрагментов эластомера, смытых четыреххлористым углеродом с поверхности пластинки шунгита, методом УФ-спектроскопии показал, что для всех образцов этой серии наблюдается четко выявленный пик поглощения в области 280 нм. Поглощение в этой области определяется $\pi \rightarrow \pi^*$ -переходами в длин-

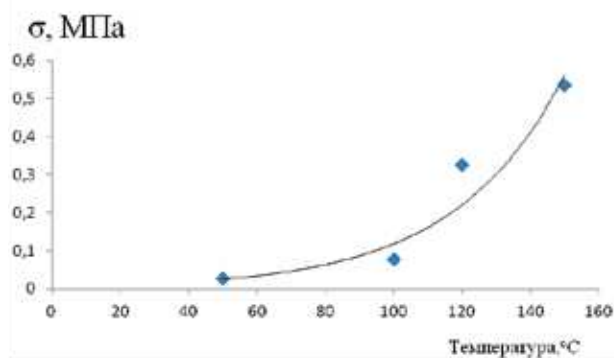


Рис. 2. Влияние температуры формирования контакта (взаимодействия поверхностей) полихлоропрена с поверхностью шунгита на напряжение отслаивания (давление 5 кПа, время контактирования 60 мин).

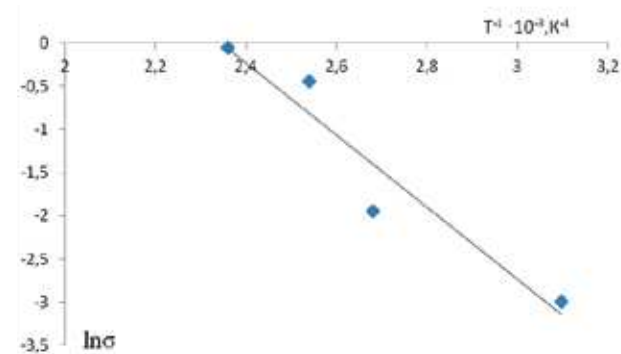


Рис. 3. Полулогарифмическая анаморфоза зависимости прочности связи системы полихлоропрен–шунгит от температуры выдержки в контакте под давлением 5 кПа в течение 60 мин в термостате.

ных полиеновых цепях, содержащих атом хлора [9]. При количественном анализе остатков полимера на пластинке шунгита были использованы данные по поглощению света с длиной волны 280 нм полимерных смывов в растворе четыреххлористого углерода. Предварительный анализ УФ-спектров исходного каучука в этом растворителе показал, что полихлоропрен используемой марки имеет узкий пик при 280 нм ($A = 2.93$ при концентрации раствора 0.01 г/мл). Результаты спектрального анализа позволили оценить относительную концентрацию остатков полимера (соответствующую полосе поглощения 280 нм) на пластинке шунгита после отслаивания. Результаты представлены на рис. 4.

Такой характер зависимости объясняется смесью механизма взаимодействия цепей эластомера с поверхностью шунгита с ростом температуры. До температуры 100 °С взаимодействие скорее имело физическую природу, и остатки полимера достаточно легко удалялись растворителем с поверхности. С ростом температуры взаимодействие активных групп на поверхности пластинки с фрагментами макромолекул полихлоропрена приобретает химический характер, и даже тонкий межфазный слой позволяет достичь большей прочности сцепления двух фаз.

Этот факт означает, что прочность связи в исследованных объектах (полихлоропрен – поверхность

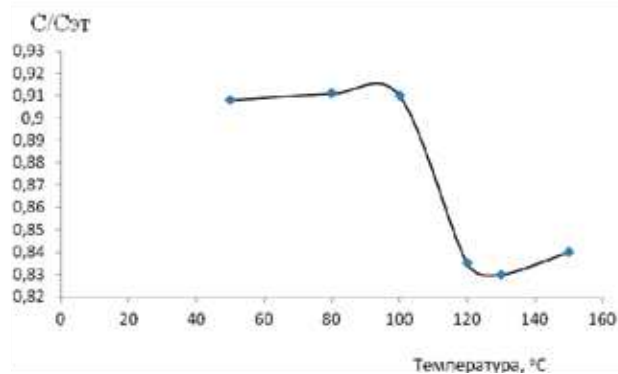


Рис. 4. Зависимость относительной концентрации функциональных групп растворимых фрагментов полихлоропренового каучука (полоса поглощения 280 нм), оставшихся на шунгите после отслаивания, от температуры получения образцов.

шунгита) зависит от наличия в макромолекулах полимера функциональных групп, способных образовывать прочные связи с поверхностью шунгита, и от физических условий формирования таких связей (в частности, температуры).

Наличие соединений, способных образовывать прочные связи с макромолекулами, содержащими функциональные группы, на поверхности шунгитовой пластинки подтверждает ИК-спектр МНПВО шунгитовой пластинки (рис. 5).

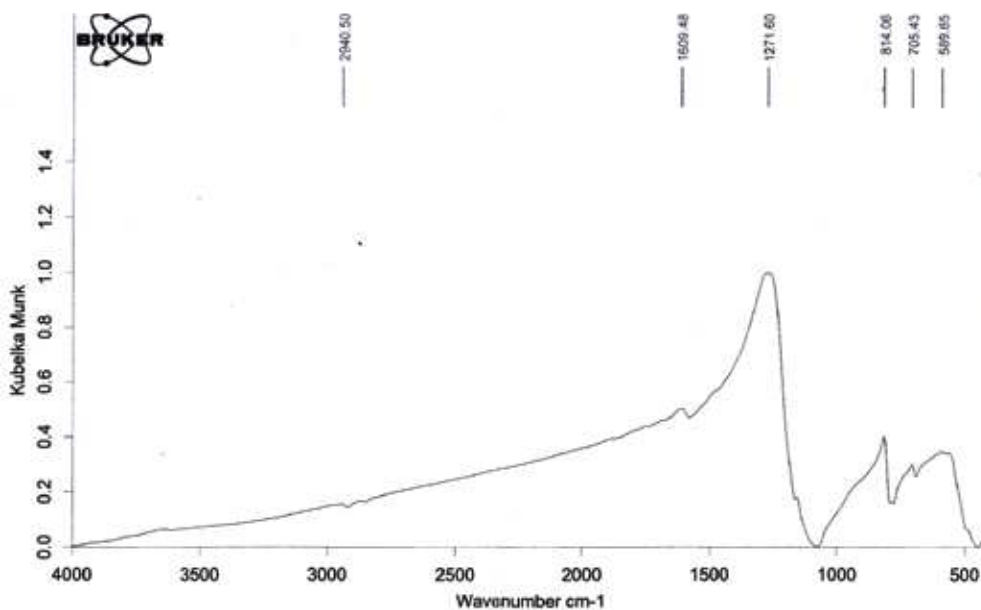
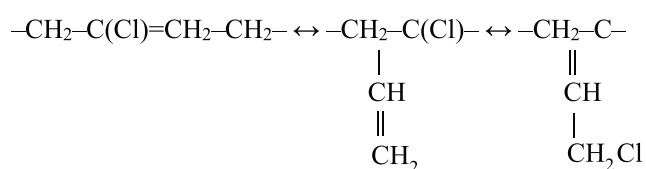


Рис. 5. ИК-спектры многократного отражения (МНПВО) поверхности шунгитовой пластины.

На спектре хорошо видны пики поглощения таких соединений как MgO (815.4 cm^{-1}), SnO (816.1 cm^{-1}), CaO (707 cm^{-1}), MnO (550–565 cm^{-1}) [10–12]. Полученные результаты показывают, что на поверхности пластины находятся оксиды металлов, способные вступать в реакции с активными группами, входящими в состав эластомеров. Достаточно высокой ре-

акционной способностью обладает аллильный хлор, который образуется в молекуле полихлоропрена при его полимеризации по механизму 1-2. В приповерхностных слоях системы полихлоропрен–шунгит в результате перестройки структуры макромолекул ПХП увеличивается концентрация групп, содержащих аллильный хлор:



Оксиды металлов, находящиеся на поверхности шунгита, способны взаимодействовать с аллильным хлором макромолекулярных цепей полихлоропрена с образованием хлоридов металлов и спиртовых групп, которые затем могут образовать поперечные эфирные связи. Доказательством того, что оксиды металлов или их гидроксиды, входящие в состав шунгита, могут взаимодействовать с аллильным хлором, содержащимся в полихлоропрене, является то, что шунгит вызывает структурирование этого каучука. Данный процесс описан в работах [13–15].

Кроме влияния температурного фактора, на усиление взаимодействия полихлоропрена с поверхностью шунгита такого же эффекта можно ожидать и при создании преимущественной ориентации группы $-\text{CH}_2\text{Cl}$ в процессе формирования пленки ПХП в постоянном электрическом поле.

Исследования влияния электростатического поля на прочность связи ПХП с поверхностью шунгита проводилось в постоянном электрическом поле на двух разных электродах: на катоде и

аноде (в обоих случаях подводимое напряжение составляло 30 В). Пленку эластомера, сформированную под действием электрического поля, приводили в контакт с пластинкой шунгита и выдерживали в условиях, описанных выше, без нагрева, но на соответствующем электроде.

Прочность связи, образованной при таких условиях, оценивали по методу, описанному в работе [5]. Зависимости напряжения от увеличения расстояния между отслаиваемыми поверхностями, полученные для системы шунгит–полихлоропрен при отслаивании после выдержки в контакте на катоде и на аноде, имеют аналогичный характер.

Данные измерения прочности связи при расслоении системы полихлоропрен–шунгит, полученные в разных условиях (при разных температурах, в присутствии и отсутствии электростатического поля), представлены в таблице. Из таблицы следует, что прочность связи поверхности шунгита с пленкой полихлоропрена, сформированной на катоде, в два раза больше, чем прочность с пленкой этого эластомера, сформированной на аноде. Прочность связи системы полихлоропрен–шунгит, оцениваемой по напряжению отслаивания, при действии только температурного фактора в процессе формирования такого контакта, уступает прочности связи этой системы, сформированной под действием электрического поля.

Значения прочности связи системы полихлоропрен–шунгит, сформированной при различных условиях

Условия создания контакта	50 °С, $P = 5$ кПа, без поля	100 °С, $P = 5$ кПа, без поля	120 °С, $P = 5$ кПа, без поля	150 °С, $P = 5$ кПа, без поля	ПХП, сформированный на аноде при 30 °С	ПХП, сформированный на катоде при 30 °С
Прочность связи, МПа	0.05	0.142	0.84	0.95	1.2	2.5

Расчет энергии отслоения пленки ПХП, сформированной на электродах, от поверхности шунгита показал, что наибольшая работа затрачивается при отслаивании пленки, сформированной на катоде (116.64 Дж), по сравнению с пленкой, сформированной на аноде (54.5 Дж).

Анализ изменения молекулярной и надмолекулярной структуры полимера в результате ориентации макромолекул может быть произведен с помощью температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь исследуемых систем, поскольку изменение ориентации макромолекул и их структурное расположение влияют на релаксацию дипольной поляризации, что отражается на температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь (D).

На рис. 6 показана температурная зависимость D пленки полихлоропрена, сформированной вне электростатического поля (кривая 1) и сформированной под действием электростатического поля

(кривая 2). На рисунке видно изменение положения и величины значений D для двух образцов, что свидетельствует о формировании отличающихся друг от друга надмолекулярных структур и различной ориентации молекул при формировании пленки без электрического поля и под действием такового. Так, влияние поля при формировании пленки эластомера проявляется в сдвиге максимумов в сторону более высоких температур, что характеризует увеличение упорядоченности в расположении макромолекул на поверхности раздела двух сред (шунгита и эластомера).

При формировании пленки состава полихлоропрен–шунгит (в соотношении 1:1 мас. ч.) при отсутствии электростатического поля и под действием такового образуются также разного типа надмолекулярные структуры, что отражает температурная зависимость D (рис. 7, кривые 1 и 2 соответственно). Пленка, сформированная в поле, характеризуется повышенным зна-

чением D и увеличенным количеством пиков дипольной релаксации в исследованной температурной области. Эти факты подтверждают несомненное влияние элект-

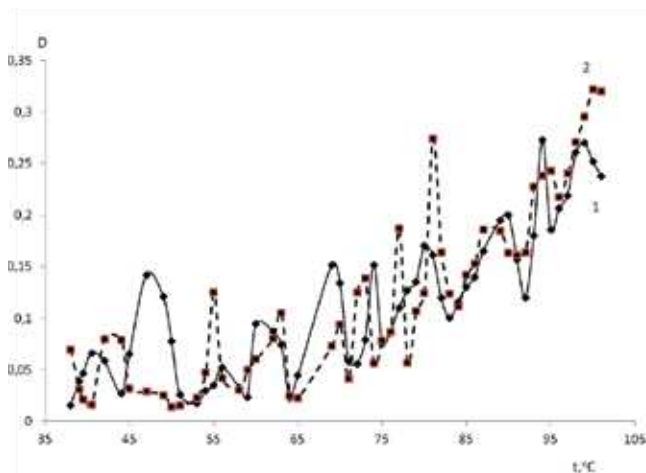


Рис. 6. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь при частоте 1кГц:
1 – пленка ПХП, сформированная без поля;
2 – пленка ПХП, сформированная на катоде при 120 В.

ростатического поля как на изменение надмолекулярной структуры самой матрицы полярного эластомера, так и на всю наполненную систему.

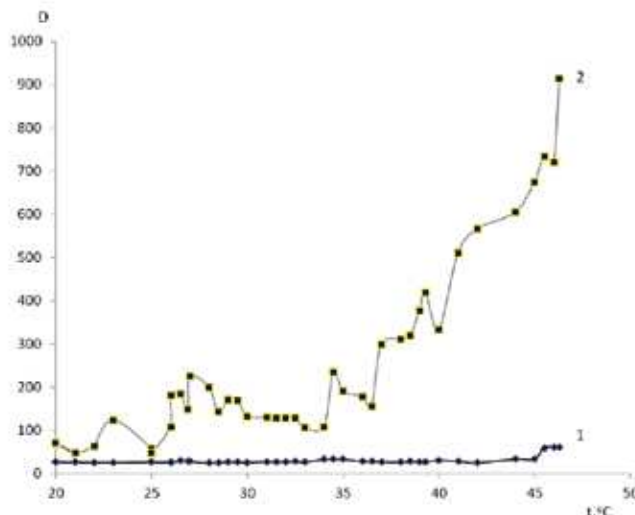


Рис. 7. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь при частоте 1 кГц ПХП, наполненного шунгитом в соотношении 1:1 мас. ч.:
1 – пленка сформирована без поля;
2 – пленка сформирована на катоде при 120 В, в течение 180 мин.

Заключение

В процессе контакта полихлоропрена с поверхностью шунгита происходят физические и химические процессы образования межфазного слоя, который определяет прочность связи эластомер шунгит. Наиболее прочной эта связь становится при создании условий для взаимодействия между функциональными группами эластомера и поверхностью шунгита. Большую роль при этом играет ориентация полимерных сегментов, содержащих группу $-CH_2-Cl$, относительно поверхности шунгита, которая может реализовываться при повышении

температуры, но в большей степени при действии в соответствующем направлении электрического поля. Как действие температурного фактора, так и действие электрического поля способствуют увеличению прочности связи при взаимодействии между элементами поверхности шунгита и функциональными группами эластомера.

Таким образом, уточнен механизм и показана возможность повышения прочности связи между полимерной матрицей, представляющей собой полярный эластомер, и природным минералом шунгитом с использованием действия температурных и электрических полей.

Список литературы:

1. Корнев Ю.В., Бойко О.В., Гуськов Д.В., Семенов Н.А. Исследование действия модифицированного органическим силиконом минерала шунгит различной степени дисперсности в составе эластомерных композитов // *Каучук и резина*. 2015. № 6. С. 12–17.
2. Лысова Г.А. [и др.]. Свойства и применение новых марок хлоропреновых каучуков. Тем. обзор. М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1986. 70 с.
3. Энциклопедия полимеров: в 3-х т. М.: Советская энциклопедия, 1977. Т. 3. С. 828–835.
4. Резников В.А., Полеховский Ю.С. Аморфный шунгитовый углерод – естественная среда образования фуллеренов // *Письма в ЖТФ*. 2000. Т. 26. Вып. 15. С. 94–102.
5. Komova N.N., Potapov E. E., Kovaleva A.N., Prut E.V., Solodilov V.I. A quick method for assessing the activity of shungite filler in elastomer composite materials // *Int. Polym. Sci. & Technol*. 2018. V. 45. № 1. P. 19–22.

References:

1. Kornev Yu.V., Boyko O.V., Guskov D.V., Semenov N.A. Investigation of the effect of the modified organic silane mineral shungite of varying degrees of dispersion in the composition of elastomeric composites. *Kauchuk i rezina (Rubber)*. 2015; (6):12-17. (in Russ.)
2. Lysova G.A. Properties and application of new grades of chloroprene rubbers. Moscow: TsNIITEneftekhim Publ., 1986. 70 p. (in Russ.)
3. Encyclopedia of polymers: in 3 volumes. Moscow: Sovetskaya entsyklopediya Publ., 1977. V. 3. P. 828-835. (in Russ.)
4. Reznikov V.A., Polekhovskiy Yu.S. Amorphous shungite carbon is the natural environment for the formation of fullerenes. *Pis'ma v ZhTF (Technical Physics Letters)*. 2000; 26(15):94-102.
5. Komova N.N., Potapov E. E., Kovaleva A.N., Prut E.V., Solodilov V.I. A quick method for assessing the activity of shungite filler in elastomer composite materials. *Int. Polym.*

6. Современные физические методы исследования полимеров / Под ред. Г.Л. Слонимского. М.: Химия, 1982. 256 с.
7. Бартенева Г.М., Бартенева А.Г. Релаксационные свойства полимеров. М.: Химия, 1992. 384 с.
8. Кнуныанц И.Л., Зефирова Н.С. Химическая энциклопедия. М.: Научное изд-во «Большая российская энциклопедия», 1992. Т. 3. 494 с.
9. Казитина Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Высшая школа, 1971. 264 с.
10. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров. М.: Мир, 1983. Т. 2. 479 с.
11. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 420 с.
12. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2003. 683 с.
13. Rozhkova N.N., Gribov A.V. Structural modification of shungite carbon // Int. Conf. on Carbon at the Robert Gordon University. Aberdeen, Scotland, 2006. Extended abstracts - CD-1. P. 71.
14. Шершнева В.А., Кузмичева Г.М., Резниченко С.В., Астахова Е.А. [и др.] К вопросу о природе активирующего действия шунгита при серной вулканизации эластомеров // Каучук и резина. 2012. № 2. С. 31–33.
15. Артамонова О.А., Тростин А.В., Сахарова Е.В., Потапов Е.Э., Бобров А.П., Трухляева И.В. Изучение влияния шунгита на свойства резин на основе хлорбутилкаучука // Каучук и резина. 2011. № 4. С. 17–19.
6. Modern physical research methods of polymers. Ed. G.L. Slonimsky. Moscow: Khimiya Publ., 1982. 256 p. (in Russ.)
7. Bartenev G.M., Bartenev A.G. Relaxation properties of polymers. Moscow: Khimiya Publ., 1992. 384 p. (in Russ.)
8. Knunyants I.L., Zefirov N.S. Chemical encyclopedia. Moscow: Scientific Publishing "Great Russian Encyclopedia", 1992. V. 3. 494 p. (in Russ.)
9. Kazitsina L.A., Kupletskaya N.B. The use of UV, IR and NMR spectroscopy in organic chemistry. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1971. 264 p. (in Russ.)
10. Rabek J.F. Experimental Methods in Polymer Chemistry: Physical Principles and Applications. NY: John Wiley & Sons, 1980. 507 p.
11. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds: Part A - Theory and Applications in Inorganic Chemistry. 6th Edition. Wiley, 2009. 427 p.
12. Pentin Yu.A., Vilkov L.V. Physical research methods in chemistry. Moscow: Mir Publ., 2003. 683 p.
13. Rozhkova N.N., Gribov A.V. On structural units of shungite carbon. Int. Conf. on Carbon at the Robert Gordon University. Aberdeen, Scotland, 2006. Extended abstracts - CD-1. P. 71.
14. Shershnev V.A., Kuzmicheva G.M., Reznichenko S.V., Astakhova E.A. [et al.] On the nature of the activating action of shungite during sulfur vulcanization of elastomers. *Kauchuk i rezina* (Rubber). 2012; (2):31-33. (in Russ.)
15. Artamonov O.A., Trostin A.V., Sakharova E.V., Potapov E.E., Bobrov A.P., Trukhlyaeva I.V. The study of the effect of shungite on the properties of rubber based on chlorobutyl rubber. *Kauchuk i rezina* (Rubber). 2011; (4):17-19. (in Russ.)

Об авторах:

Комова Нинель Николаевна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физики и технической механики Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). Scopus Author ID 6603107445, <https://orcid.org/0000-0001-8036-6325>

Солодилов Виталий Игоревич, старший научный сотрудник, ФГБНУ Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (119991, Россия, Москва, ул. Косыгина, д. 4).

Прут Эдуард Вениаминович, доктор химических наук, профессор, зав. лабораторией физических и химических процессов в полимерных системах, ФГБНУ Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (119991, Россия, Москва, ул. Косыгина, д. 4). E-mail: prut_e@chph.ras.ru

Потапов Евгений Эдуардович, доктор химических наук, профессор кафедры физики и химии материалов им. Б.А. Догадкина Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: potapov_e@mirea.ru

About the authors:

Ninel N. Komova, Ph.D. (Chemistry), Docent, Associate Professor of the Chair of Physics and Technical Mechanics, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia). Scopus Author ID 6603107445, <https://orcid.org/0000-0001-8036-6325>

Vitaly I. Solodilov, Senior Researcher, N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences (4, Kosygina st., Moscow 119991, Russia).

Eduard V. Prut, D.Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory of Physical and Chemical Processes in Polymer Systems, N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences (4, Kosygina st., Moscow 119991, Russia). E-mail: prut_e@chph.ras.ru

Evgeny E. Potapov, D.Sc. (Chemistry), Professor of the B.A. Dogadkin Chair of Physics and Chemistry of Materials, Institute of Physics and Technology, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). E-mail: potapov_e@mirea.ru

Для цитирования: Комова Н.Н., Солодилов В.И., Прут Э.В., Потапов Е.Э. Влияние электрического поля на адгезионные характеристики системы полихлоропрен–шунгит // Тонкие химические технологии. 2019. Т. 14. № 3. С. 70–77. DOI: 10.32362/2410-6593-2019-14-3-70-77

For citation: Komova N.N., Solodilov V.I., Prut E.V., Potapov E.E. The influence of the electric field on the adhesion characteristics of the system polychloroprene–shungite. *Tonkie Khim. Tekhnol. = Fine Chemical Technologies*. 2019; 14(3):70-77. (in Russ.). DOI: 10.32362/2410-6593-2019-14-3-70-77