



Научная статья
05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678
doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2022.01.021

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Игорь Сергеевич Макаров ¹, Афанасий Алексеевич Дьяконов ²,
Наталья Николаевна Петрова ³, Айталипа Алексеевна Охлопкова ⁴,
Надежда Николаевна Лазарева ⁵, Анатолий Константинович Кычкин ⁶,
Айсен Анатольевич Кычкин ⁷, Алексей Геннадьевич Туисов ⁸,
Павел Васильевич Винокуров ⁹, Наталья Павловна Гладкина ¹⁰

^{1,2,3,4,5,9,10} Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия

¹ misergeevich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2794-1164>

² afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

³ pnn2002@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7699-751>

⁴ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁵ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁹ pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

¹⁰ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

^{2,6} Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Россия

⁶ kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

^{7,8} Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия

⁷ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

⁸ tuisovag@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты исследования влияния удельной поверхности технических углеродов на физико-механические и температурные свойства изопренового каучука СКИ-3. В ходе работы установлено, что с увеличением удельной поверхности происходит повышение прочностных свойств, снижение износостойкости и остаточной деформации сжатия. Также приведены результаты исследования физико-механических свойств резин после термического старения и воздействия масла АМГ-10. После воздействия высокой температуры и углеводородной среды наблюдается существенное снижение свойств эластомеров. Температуру стеклования эластомеров определяли при помощи дифференциально-сканирующего калориметра DSC-Phoenix. Коэффициент линейно-температурного расширения определяли на термомеханическом анализаторе Shimadzu TMA-60/60H в температурном диапазоне от минус 80 °С до плюс 100 °С. Исследования показали повышение температуры стеклования эластомеров и снижение изменения линейных размеров по мере увеличения удельной поверхности технического углерода. Изучение микроструктуры эластомеров осуществляли на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-7800F. Исследование структуры образцов в объеме показало, что с увеличением удельной поверхности технического углерода наблюдается более интенсивное взаимодействие с макромолекулами каучука, что объясняет повышение прочностных свойств эластомера. Исследование образцов методом электронной микроскопии, подвергнутых абразивному износу, показало, что образец с большей удельной поверхностью технического углерода покрыт крупными «бороздами» размерами до ~ 200 мкм, что объясняет снижение износостойкости.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Ключевые слова: *изопреновый каучук, технический углерод, удельная поверхность, агрессивность, износостойкость, эластомер, температура стеклования, коэффициент линейно-температурного расширения.*

Благодарности: *Работа выполнена при поддержке МОН РФ по Государственному заданию № FSRG - 2020-0017.*

Для цитирования: *Исследование влияния технического углерода на свойства изопреновых эластомеров / И. С. Макаров [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 154-163. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.021.*

Original article

STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNICAL CARBON ON THE PROPERTIES OF ISOPRENE ELASTOMERS

Igor S. Makarov ¹, Afanasii A. Dyakonov ², Nataliia N. Petrova ³,
Aitalina A. Okhlopkova ⁴, Nadezhda N. Lazareva ⁵, Anatolii K. Kychkin ⁶,
Aisen A. Kychkin ⁷, Aleksei G. Tuisov ⁸, Pavel V. Vinokurov ⁹,
Natalya P. Gladkina ¹⁰

^{1,2,3,4,5,9,10} M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ misergeevich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2794-1164>

² afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

³ pnn2002@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7699-751>

⁴ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁵ lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

⁹ pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

¹⁰ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

^{2,6} V. P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁶ kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

^{7,8} The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁷ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

⁸ tuisovag@gmail.com

Abstract. *The paper deals with the effects of the technical carbons specific surface on the physical, mechanical and thermal properties of isoprene rubber SKI-3. It was found that the specific surface increase results in higher strength as well as lower wear resistance and deformational compression set. The physical and mechanical properties of the isoprene rubber SKI-3 were proved to be quite sensitive to temperature and hydrocarbon environment. The glass transition temperature of elastomers was determined by the DSC-Phoenix differential scanning calorimeter. The linear and thermal expansion coefficient was calculated by the Shimadzu TMA-60 / 60H thermal and mechanical analyzer at the temperature range from minus 80 °C to plus 90 °C. The results showed the decrease in frost-resistant properties, increase in the glass transition temperature of elastomers and decrease in linear size change with the carbon black specific surface increase. To study the microstructure of elastomers, the JEOL JSM-7800F scanning electron microscope was used. Due to the carbon black specific surface increase a more intensive interaction with rubber macromolecules was observed, which explains the greater strength properties of the elastomers. The study of samples by electron microscopy subjected to abrasive wear showed that a sample with a larger specific surface of carbon black is covered with deep "furrows" up to 200 μm, which explains the lower wear resistance.*

Keywords: *isoprene rubber, carbon black, specific surface area, aggressiveness, wear resistance, elastomer, glass transition temperature, coefficient of linear-temperature expansion.*

Acknowledgements: This work was supported by the Ministry of Education and Science of the RF under State Assignment No. FSRG -2020-0017.

For citation: Makarov, I. S., Dyakonov, A. A., Petrova, N. N., Okhlopko, A. A., Lazareva, N. N., Kychkin, A. K., Kychkin, A. A., Tuisov, A. G., Vinokurov, P. V. & Gladkina, N. P. (2022). Study of the influence of technical carbon on the properties of isoprene elastomers. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 154-163. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2022.01.021.

ВВЕДЕНИЕ

Для развития современной техники необходимо создание и внедрение эластомерных материалов, превосходящих по своим качествам ныне существующие. Одним из известных способов решения данной задачи является использование различных сортов технического углерода (ТУ) при разработке рецептур резиновых смесей для изготовления резинотехнических изделий. Несомненным плюсом использования ТУ в резиновых смесях является его дешевизна и комплексное влияние на эксплуатационные свойства. Введение ТУ в резиновые смеси оказывает существенное влияние на модуль упругости, твердость, прочность, износостойкость, деформационные и температурные свойства [1].

К настоящему времени проведено большое количество исследований [2, 3, 4] по изучению влияния ТУ на эксплуатационные свойства эластомеров. Но по-прежнему остаётся актуальной задача по исследованию влияния ТУ на свойства эластомеров на основе разных марок каучуков. Подбор ТУ происходит на основе особенности использования будущего резинотехнического изделия.

Целью работы является исследование влияния удельной поверхности технического углерода на свойства эластомеров на основе изопренового каучука марки СКИ-3.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследовались влияние удельной поверхности ТУ на свойства эластомерных материалов на основе изопренового каучука общего назначения, широко применяемого в шинной промышленности. Рассматривались технические углероды марок: печной П803 с удельной поверхностью 16 м²/г («Ивановский техуглерод и резина», Россия), печной N550 с удельной поверхностью 40 м²/г («Ивановский техуглерод и резина», Россия), канальный К354 с удельной поверхностью 160 м²/г («ЭкоПольза», Россия). В качестве основы эластомерной матрицы применялся изопреновый каучук марки СКИ-3 с содержанием цис-1,4-звеньев не менее 96 %

(«СИБУР», Россия). Свойства разных сортов ТУ приведены в таблице 1 [5]. ТУ характеризуются следующими основными параметрами: размер первичных агрегатов технического углерода, удельная поверхность, структурность (оценивается по величине масляного числа), которые в совокупности определяют интенсивность взаимодействия активного наполнителя и макромолекул каучука.

Таблица 1 – Характеристика технических углеродов

Table 1 – Characteristics of carbon black

Марка ТУ	S _{уд} , м ² /г	D, нм	X, мл/100г	ρ, кг/м ³
П803	10-20	155-210	85-105	300
N550	40-55	50-65	96-110	330
K354	130-160	30-33	75-85	330

Примечание: S_{уд}, м²/г - удельная поверхность; D, нм - среднеарифметический диаметр частицы; X, мл/100г - масляное число; ρ, кг/м³ - насыпная плотность.

Рецептуры исследуемых резиновых смесей на основе изопренового каучука с содержанием разных марок ТУ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Рецептура резиновой смеси на основе каучука СКИ-3

Table 2 – Rubber compound formulation based on SKI-3 rubber

№	Ингредиенты	Масс.ч.		
		1	2	3
1	СКИ-3	100,0	100,0	100,0
2	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0
3	Каптакс	1,5	1,5	1,5
4	Дифенилгуанидин	0,3	0,3	0,3
5	Оксид цинка	5,0	5,0	5,0
6	Сера	2,0	2,0	2,0
7	ТУ П803	50,0	-	-
8	ТУ N550	-	50,0	-
9	ТУ K354	-	-	50,0

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Смешение ингредиентов производили в лабораторном резиносмесителе закрытого типа Plastograph EC Plus (Brabender, Германия) при начальной температуре 40 °С в течение 20 минут. Сначала производилась загрузка каучука совместно со стеариновой кислотой, на 2-й минуте вводили активный наполнитель ТУ, на 5-й минуте вводили активатор вулканизации оксид цинка, на 10-й минуте вводили ускорители вулканизации каптакс и дифенилгуанидин, загрузка вулканизирующего агента серы производили на 12-й минуте. Вулканизацию резиновых смесей осуществляли в вулканизационном гидравлическом прессе ПКМВ-100 («Импульс», Россия) при 155 °С в течение 20 мин под давлением 10 МПа.

Определение упруго-прочностных свойств эластомеров проводилось на универсальной испытательной машине Autograph AGS-JSTD (Shimadzu, Япония) при скорости захватов 500 мм/мин (ГОСТ 270-75); износостойкость определяли на машине трения МИ-2 («Полимермаш групп», Россия) при использовании абразивной поверхности зернистостью 150 (ГОСТ 426-77); определение агрессивностойкости проводили в среде гидравлического масла АМГ-10 после выдержки образцов в течение 72 часов в ненапряженном состоянии при комнатной температуре (ГОСТ 9.030-74); твердость определяли по методу Шор А (ГОСТ 263-75); определение остаточной деформации сжатия (ОДС) (ГОСТ 9.029-74) и стойкость к термическому старению проводили после выдержки образцов в термошкафу при температуре 100 °С в течение 72 часов (ГОСТ 9.024-74). Температуру стеклования определяли на дифференциально-сканирующем калориметре DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). Измерение коэффициента линейно-температурного расширения образцов проводили на термомеханическом анализаторе ТМА-60/60Н (Shimadzu, Япония) в температурном диапазоне от минус 80 °С до плюс 100 °С при постоянной нагрузке индентора на образец 0,49 Н. Исследование микроструктуры низко-температурных сколов и поверхности трения эластомеров проводили в режиме вторичных электронов при низком ускоряющем напряжении на растровом электронном микроскопе JSM-7800F (JEOL, Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований эксплуатационных свойств эластомеров на основе изопренового каучука СКИ-3 в зависимости от удельной поверхности ТУ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства эластомеров на основе каучука СКИ-3 в зависимости от удельной поверхности технического углерода

Table 3 – Properties of elastomers based on SKI-3 rubber depending on the specific surface area of carbon black

Свойства	образец		
	1	2	3
Эр, %	680	585	879
fr, МПа	16,3	18,8	22,7
f _{100%} , МПа	1,9	2,9	1,8
Н, Шор А	50	61	55
ρ, г/см ³	1,12	1,11	1,11
ΔV, см ³	0,249	0,317	0,487
100°С x 72ч			
Эр, %	256	232	351
fr, МПа	7,3	10,8	10,7
f _{100%} , МПа	2,8	4,6	2,8
Н, Шор А	59	66	61
ρ, г/см ³	1,13	1,12	1,12
ОДС, %	55	60	87
20°С x 72ч в АМГ-10			
Эр, %	175	126	150
fr, МПа	1,9	2,6	1,6
f _{100%} , МПа	1,1	2,0	1,1
Н, Шор А	38,2	45,3	36,3
ΔQ, %	123	106	125

Примечание: Эр, % - относительное удлинение; fr, МПа – условная прочность при разрыве; f_{100%}, МПа - модуль упругости при удлинении на 100%; Н, Шор А - твердость по Шор А; ρ, г/см³ - плотность; ΔV, см³ – объемный износ; ОДС, % - остаточная деформация сжатия; ΔQ, % - набухание в масле АМГ-10.

Изученные наполнители отличаются дисперсностью, удельной геометрической поверхностью и структурностью: в ряду ТУ К354, N550, П803 размеры первичных агрегатов повышаются, а величина удельной поверхности снижается, что должно существенно влиять на интенсивность взаимодействия с макромолекулами СКИ-3 и эксплуатационные свойства полученных резин. Исследование упруго-прочностных свойств эластомерных образцов показало, что с повышением удельной поверхности ТУ происходит увеличение условной прочности при разрыве. Обладая наибольшей удельной поверхностью ТУ К354 придает эластомером на основе каучука СКИ-3 более высокие прочностные свойства. Известно, что прочностные свойства эластомеров во многом зависят от удельной поверхности ТУ, с его повышением происходит увеличение числа контактов макромолекул каучука с наполнителем [6].

Наибольшим модулем упругости при деформации на 100 % обладает образец с ТУ N550 - 2,9 МПа, резины, наполненные ТУ П803 и К354, модули упругости примерно равны - 1,9 и 1,8 МПа соответственно. Наибольший показатель твердости у образца, содержащего ТУ N550 - 61 Шор А, у образца с ТУ К354 твердость составляет - 55 Шор А, наименьшим показателем твердости обладает образец, содержащий ТУ П803 - 50 Шор А.

Плотность образцов в зависимости от вида ТУ практически не меняется и составляет 1,12 г/см³ у образца с ТУ П803, у образцов с ТУ К354 и ТУ N550 - 1,11 г/см³. После термического старения наблюдается снижение массы образцов и незначительное увеличение их плотности на ~0,9 %. Предположительно увеличение плотности образцов происходит вследствие выделения летучих ингредиентов после их выдержки в течение 72 часов при температуре 100 °С.

Результаты испытания образцов на абразивное истирание показали, что резина на основе каучука СКИ-3, содержащая ТУ П803, характеризуется более высокой износостойкостью по сравнению с эластомерами с ТУ N550 и К354. Известно [5], что ТУ П803 обладает достаточно высокой структурностью, а ТУ с высоким значением данного показателя обеспечивают при введении в резиновые смеси более высокое сопротивление истиранию. Резина, содержащая К354, который обладает сопоставимой структурностью и значительно более высокой дисперсностью, по сравнению с ТУ П803, имеет меньшие значения объемного износа, что несколько необычно. Это может быть связано с тем, что содержание активного наполнителя, которое составляет 50 масс.ч., не является оптимальным для данной резины. Известно [5], что оптимум наполнения при увеличении степени дисперсности частиц технического углерода сдвигается в сторону меньших содержаний ТУ. В данном исследовании для корректного сопоставления свойств резин, содержание ТУ было одинаково во всех резиновых смесях и составляло 50 масс.ч.

Снижение восстанавливаемости после термического старения в сжатом состоянии, которое оценивали по показателю ОДС, составило у образца с ТУ П803 – 55 %, у образца с ТУ N550 – 60 %, значение ОДС образца с ТУ К354 – 87 %. С увеличением удельной поверхности ТУ повышается ОДС.

Испытание эластомеров на термическое старение показало, что происходит существенное снижение упруго-прочностных свойств, повышение модуля упругости и

твердости. Наибольшее уменьшение прочности и относительного удлинения наблюдается у СКИ-3 с ТУ П803, которое составляет 55 % и 62 %, также повышается твердость на 18 %. В работе [7] сказано, что упруго-прочностные свойства эластомеров сильно ухудшаются при длительном воздействии повышенных температур, что связано с протеканием процессов деструкции. Вследствие неопределенного строения основной цепи СКИ-3 и взаимодействия с кислородом деструкция полимера при старении идет достаточно интенсивно, что выражается в существенном снижении физико-механических характеристик исследованных резин.

Изучение стойкости в углеводородных средах не является основным испытанием для каучуков общего назначения, но косвенным образом характеризует плотность сшивания эластомеров и интенсивность взаимодействия между наполнителем и макромолекулами каучука. По результатам испытания стойкости резин в среде масла АМГ-10 установлено, что наименьшей степенью набухания обладает образец с ТУ N550 – 106 %. Степень набухания эластомеров, наполненных ТУ К354 и П803, приблизительно равны и составляют 125 % и 123 % соответственно. Высокие значения степени набухания образцов исследованных резин в масле закономерны: данный каучук не применяется для изготовления резин, работающих в контакте с углеводными средами вследствие неполярной природы и низкой агрессивности [8].

Рассмотренные нами тенденции изменения упруго-прочностных, релаксационных (ОДС) свойств, содержащих разные марки технического углерода, соответствуют классическим представлениям о влиянии степени наполнения и активности усиливающих углеродных наполнителей на свойства [5, 6]. Использование более активных сортов ТУ (К354, N550) приводит к повышению условной прочности при разрыве, модуля, твердости эластомерных материалов. Однако, на комплекс свойств влияют не только дисперсность и величина удельной поверхности наполнителя, но и структурность, значение рН технического углерода [5]. Следует отметить, что в отличие от технических углеродов П803 и N550, ТУ К354 имеет кислую среду, что может существенно замедлять вулканизацию [5], т.е., в данном случае требуется более тщательный подбор вулканизирующей группы.

Результаты исследования температуры стеклования эластомеров методом дифференциальной сканирующей калориметрии приведены на рисунке 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

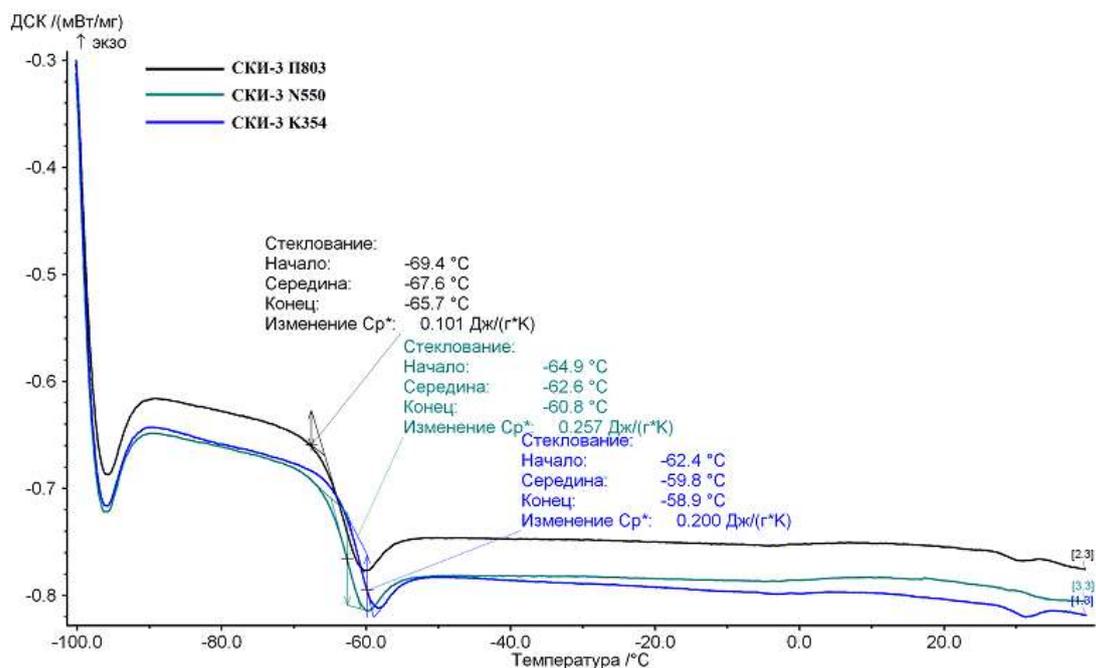


Рисунок 1 – Температуры стеклования эластомеров на основе каучука SKI-3 в зависимости от удельной поверхности технического углерода

Figure 1 – Glass transition temperatures of elastomers based on SKI-3 rubber depending on the specific surface area of carbon black

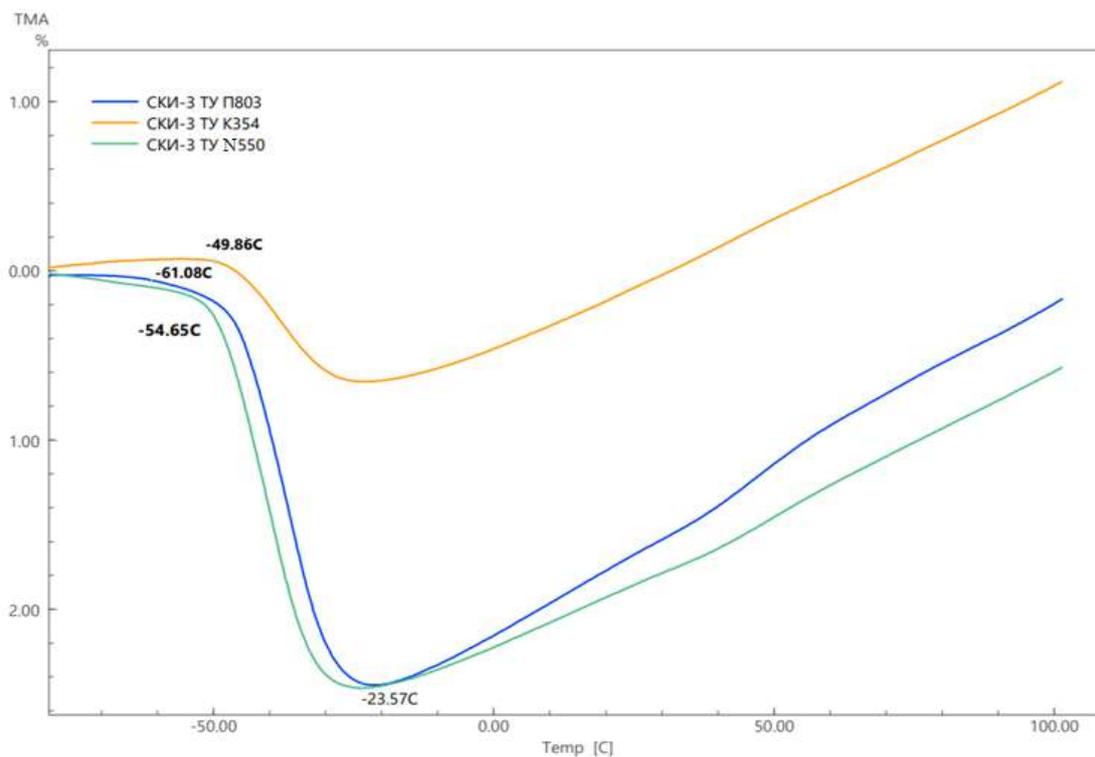


Рисунок 2 – Коэффициент линейно-температурного расширения эластомеров на основе каучука SKI-3 с техническим углеродом П803, N550, K354

Figure 2 – Coefficient of linear thermal expansion of elastomers based on SKI-3 rubber with carbon black P803, N550, K354

Наименьшей температурой стеклования обладает образец эластомера, наполненного ТУ П803 - минус 67,6 °С, у резины с ТУ N550 температура стеклования - минус 62,6 °С, у образца с ТУ K354 температура стеклования минус 59,8 °С. С увеличением удельной поверхности ТУ наблюдается снижение морозостойкости эластомерных образцов. Из работ известно [9, 10], что с увеличением дисперсности ТУ происходит снижение морозостойкости эластомеров. С увеличением удельной поверхности усиливается взаимодействие ТУ с каучуком вследствие чего снижается молекулярная подвижность каучука и повышается температура стеклования.

Температурные зависимости коэффициента линейного термического расширения эластомеров в температурном диапазоне от минус 80 °С до плюс 100 °С приведены на рисунке 2.

По кривым термического расширения видно, что высокоэластическая деформация эластомерных образцов под воздействием нагрузки начинает проявляться в зависимости от типа, введенного ТУ при температурах от минус 49 °С до минус 61 °С, т.е. с началом сегментальной подвижности. Известно [11], что температура стеклования, измеренные разными методами могут не совпадать между

собой, поэтому нет необходимости сравнивать эти значения с полученными ранее данными ДСК. С дальнейшим ростом температуры достигается минимальное значение показателя, соответствующее температуре максимальной степени кристаллизации SKI-3 [11], происходит плавление кристаллитов и увеличение объема образцов. Наименьшим изменением линейных размеров в исследуемом температурном диапазоне наблюдается у образца, содержащего высокоактивный технический углерод K354, что сопровождается снижением подвижности эластомеров при низких температурах. По-видимому, с увеличением удельной поверхности повышается адсорбционное взаимодействие между ТУ и макромолекулами каучука, что приводит к снижению подвижности эластомеров при отрицательных температурах [5]. Известно [11], что для получения морозостойких резин предпочтительнее использовать менее активные сорта технического углерода, например, П803.

На рисунке 3 представлены электронные микрофотографии структуры эластомеров на основе SKI-3 с разными марками ТУ, полученные при анализе низкотемпературных сколов образцов.

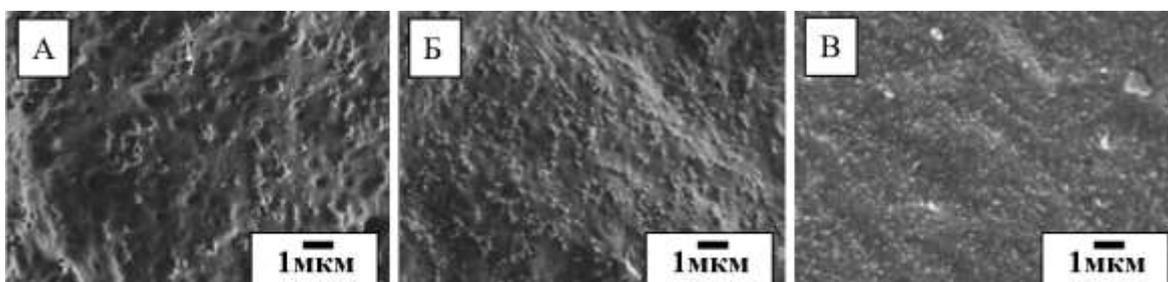


Рисунок 3 – Микроструктура поверхности сколов эластомеров на основе каучука SKI-3 с техническим углеродом: а) П803; б) N550; в) K354

Figure 3 – The microstructure of the surface of chips of elastomers based on SKI-3 rubber with carbon black: a) P803; b) N550; c) K354

На микрофотографиях показана фазовая морфология резин на основе SKI-3, наполненных разными типами ТУ. Самый выраженный микрорельеф поверхности скола наблюдается у резины, содержащей ТУ с самыми крупными частицами агрегатов и наименьшей удельной поверхностью (П803). По мере увеличения степени дисперсности ТУ микрорельеф разглаживается. Образцы были получены при скалывании в жидком азоте, при этом трещина распространяется по наиболее слабым местам. Частицы техни-

ческого углерода, лучше связанные с матрицей за счет более интенсивного взаимодействия с макромолекулами каучука, лучше удерживаются, что прослеживается на полученных микрофотографиях. Подобная картина наблюдается для резин на основе SKI-3, наполненных ТУ K354, что косвенным образом объясняет более высокий уровень упруго-прочностных характеристик.

На рисунке 4 представлены электронные микрофотографии поверхности трения образцов.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

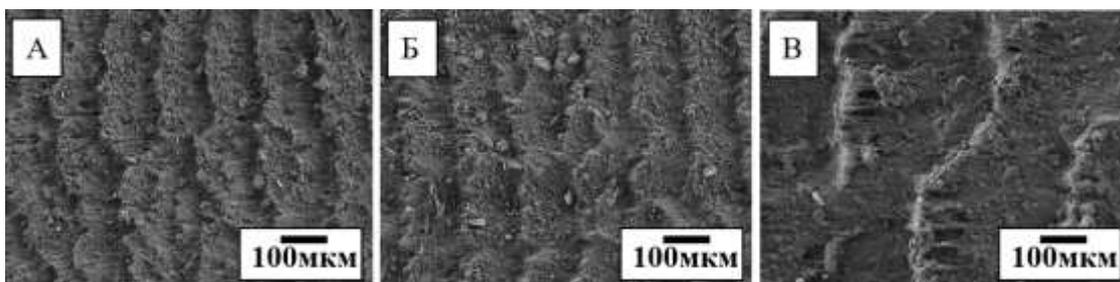


Рисунок 4 – Микроструктура поверхности трения эластомеров на основе каучука SKI-3 с техническим углеродом: а) P803; б) N550; в) K354

Figure 4 – The microstructure of the friction surface of elastomers based on SKI-3 rubber with carbon black: a) P803; b) N550; c) K354

На снимках поверхности трения эластомеров наблюдается существенное изменение структуры в зависимости от удельной поверхности ТУ. Эластомер, содержащий ТУ K354, подвержен наибольшему истиранию, структура поверхности покрыта крупными «бороздами» размером до ~200 мкм. Разница в объеме истирания между образцами с ТУ P803 и N550 относительно небольшая, благодаря чему они имеют схожую поверхность истирания, шероховатость и наличие мелкоячеистых выпуклостей.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования свойств изопреновых эластомеров установлено:

- по мере уменьшения размера первичных агрегатов ТУ и увеличения его удельной поверхности происходит повышение прочностных свойств, а также наблюдается снижение износостойкости и ОДС эластомеров;

- после термического старения происходит увеличение модуля упругости, твердости по Шору А, плотности и существенное уменьшение упруго-прочностных свойств эластомеров за счет протекания процессов деструкции;

- после выдержки эластомеров в среде масла АМГ-10 при комнатной температуре происходит существенное снижение эксплуатационных свойств;

- с увеличением удельной поверхности ТУ происходит повышение температуры стеклования эластомеров, также уменьшается изменение линейно-термического расширения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашок Ж.С., Касперович А.В. Технология эластомеров : Тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров». Минск : БГТУ, 2009. 112 с.
2. Таганова В.А., Пичхидзе С.Я., Артеменко А.А. Резина на основе токопроводящего технического углерода // Тенденции развития науки и образования. 2016. №. 11 (2). С. 34-35. doi: 10.18411/lj2016-2-26.
3. Овсянников Н.Я., Корнев А.Е. Создание электропроводных резин с использованием смесевых композиций технического углерода // Вестник МИТХТ. 2007. Т. 2. № 4. С. 52-56.
4. Влияние серийных и модифицированных марок технического углерода на физико-механические и вибродинамические свойства резин / В.И. Малютин [и др.]. // Каучук и резина. 2013. № 3. С. 64-67.
5. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов : учебник. Москва : НППА «Истек», 2009. 504 с.
6. Орлов В.Ю, Комаров А.М., Ляпина Л.А. Производство и использование технического углерода для резин. Ярославль : АР, 2002. 511 с.
7. Ашейчик А.А., Полонский В.Л. Прогнозирование изменения свойств эластомеров при термическом старении // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 1. № 12. С. 241-243.
8. Исследование свойств эластомеров на основе комбинации изопренового и бутадиеннитрильного каучуков / А.А. Дьяконов [и др.]. // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 3. С. 93-97. doi: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.
9. Особенности построения рецептур для морозостойких резин / А.М. Чайкун [и др.]. // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 3 (28). С. 53-55.
10. Большой справочник резинщика. Часть 2. Резины и резинотехнические изделия / А.Г. Алексеев [и др.]. Москва : ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. 648 с.
11. Bukhina M.F., Kurlyand S.K. Low-temperature behaviour of elastomers. Boston : Brill, 2007. 185 p.

И. С. МАКАРОВ, А. А. ДЬЯКОНОВ, Н. Н. ПЕТРОВА, А. А. ОХЛОПКОВА, Н. Н. ЛАЗАРЕВА,
А. К. КЫЧКИН, А. А. КЫЧКИН, А. Г. ТУИСОВ, П. В. ВИНОКУРОВ, Н. П. ГЛАДКИНА

Информация об авторах

И. С. Макаров – студент 3 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Дьяконов – кандидат технических наук, с.н.с. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; н.с. ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

Н. Н. Петрова – доктор химических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Охлопкова – доктор технических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Н. Н. Лазарева – кандидат технических наук, зав. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. К. Кычкин – кандидат технических наук, в.н.с. ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

А. А. Кычкин – н.с. Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

А. Г. Туисов – кандидат технических наук, с.н.с. Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

П. В. Винокуров – ведущий инженер УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Н. П. Гладкина – н.с. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»

REFERENCES

1. SHashok, ZH.S. & Kasperovich, A.V. (2009). Elastomer technology. Texts of lectures for students of specialty 1-48 01 02 05 "Technology of processing of elastomers". Minsk: BSTU. (In Russ.).
2. Taganova, V.A., Pichkhidze, S.Ya. & Artemenko, A.A. (2016). Rubber based on conductive technical carbon. Trends in the development of science and education, (11 (2)), 34-35. (In Russ.). doi: 10.18411 / lj2016-2-26.
3. Ovsyannikov, N.Ya. & Kornev, A.E. (2007). Creation of electrically conductive rubbers using mixed compositions of technical carbon. Bulletin

MITHT, (vol.2. (4)), 52-56. (In Russ.).

4. Malyutin, V.I., Tribel'skij, I.A., Bohan, V.V. & Razd'yakonova, G.I. (2013). Influence of serial and modified grades of carbon black on the physico-mechanical and vibrodynamic properties of rubbers. Rubber and rubber, (3), 64-67. (In Russ.).

5. Kornev, A.E., Bukanov, A.M. & Sheverdyayev, O.N. (2009). Elastomeric materials technology. Moscow: NPA Istek. (In Russ.).

6. Orlov, V.Yu., Komarov, A.M., & Lyapina, L.A. (2002). Production and use of carbon black for rubbers. Yaroslavl: Publishing house AR. (In Russ.).

7. Ashejchik, A.A. & Polonskij, V.L. (2016). Prediction of changes in the properties of elastomers during thermal aging. Actual problems of aviation and space navigation, (1 (12)), 241-243. (In Russ.).

8. Dyakonov, A.A., Tapyev, S.A., Okhlopkova, A.A., Sleptsova, S.A., Petrova, N.N., Vinokurov, P.V., Kychkin, A.K. & Struchkov, N. F. (2021). Investigation of the properties of elastomers based on a combination of isoprene and nitrile butadiene rubbers. South Siberian Scientific Bulletin, (3), 93-97. (In Russ.). doi: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.

9. Chaikun, A.M., Eliseev, O.A., Naumov, I.S. & Venediktova, M.A. (2013). Features of the construction of formulations for frost-resistant rubbers. Aviation materials and technologies, (3 (28)), 53-55. (In Russ.).

10. Alekseev, A.G., Al'tzicer, V.S., Bogdanov, V.V., Britov, V.P., Bukanova, N.N., Buhina, M.F., ... & Urovskij, V.S. (2012). Great reference book of the rubber-maker. Part 2. Rubber and rubber products. Moscow: LLC "Publishing Center" Tekhinform "MAI". (In Russ.).

11. Bukhina M.F., Kuryland S.K. (2007). Low-temperature behaviour of elastomers. Boston: Brill.

Information about the authors

I. S. Makarov, 3th year student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, NEFU.

A. A. Dyakonov, Candidate of Technical Sciences, researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", Institute of Natural Sciences, NEFU; researcher of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A. A. Okhlopkova, Doctor of Technical Sciences, professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

N. N. Lazareva, Candidate of Technical Sciences, Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", Institute of Natural Sciences, NEFU.

N. N. Petrova, Doctor of Chemical Sciences, professor of the Chemical Department, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A. K. Kychkin, Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the "V.P. Larionov
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА
СВОЙСТВА ИЗОПРЕНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A. A. Kychkin, researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

A. G. Tuisov, Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

P. V. Vinokurov, leading engineer, scientific and technological laboratory "Graphene nanotechnologies", Institute of Physics and Technologies, NEFU.

N. P. Gladkina, researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites", Institute of Natural Sciences, NEFU.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 28.01.2022; одобрена после рецензирования 12.03.2022; принята к публикации 14.03.2021.

The article was received by the editorial board on 28 Jan 22; approved after reviewing on 12 Mar 22; accepted for publication on 14 Mar 22.