Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3:631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-122-130

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ

Роман Иннакентьевич Ли[1], Юлия Николаевна Ризаева[2], Антон Юрьевич Мельников[3], Дмитрий Николаевич Псарев[4], Мария Ромновна Киба[5]
[1,2,3]*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-6565-8952
[4]*Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия*
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]*Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор ответственный за переписку: Роман Иннакентьевич Ли, romanlee@list.ru Corresponding author Roman Li, romanlee@list.ru.

Реферат. *Термостойкость полимерного материала, предназначенного для восстановления посадок подшипников, является его важнейшим эксплуатационным свойством. При наполнении эластомеров наночастицами термостойкость нанокомпозитов меняется неоднозначно и зависит от вида каучука – основы эластомера. В нанокомпозитах для восстановления посадок подшипников, наполнителями помимо наночастиц меди, используют наночастицы алюминия, а также углеродные нанотрубки. Исследовано влияние углеродных нанотрубок и наночастиц алюминия на термостойкость эластомеров. Экспериментально исследовано изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозитов на его основе до и после высокотемпературного старения. Состав №1: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит» – 0,1 масс.ч. Состав №2: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок – 0,075 масс.ч. Образцы изготовили в виде полимерных пленок. Термическое старение образцов проводили в условиях ограниченного доступа кислорода воздуха. Термостойкость нанокомпозита состава №1, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился в 1,2 раза, а по деформации, увеличился в 1,38 раза. Коэффициент старения нанокомпозита состава №2 по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился в 1,17 раза, а по деформации, увеличился в 1,2 раза, что подтверждает увеличение его термостойкости. Экспериментальными исследованиями установлено, что углеродные нанотрубки «Таунит-М» и наночастицы алюминиевого порошка являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С и поэтому повышают термостойкость нанокомпозитов на его основе.*

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, покрытие, эластомерный нанокомпозит, деформационно-прочностные свойства, термостойкость.*

HEAT RESISTANCE OF ROLLING BEARING FITS RESTORED ELASTOMERIC NANOCOMPOSITES

Roman Li [1], Yulia Rizaeva[2], Anton Melnikov[3], Dmitry Psarev[4], Maria Kiba[5]
[1,2,3] *Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[1]romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2]https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3]https://orcid.org/0000-0001-6565-8952

[4]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[4]https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]*St. Petersburg State Mining University», St. Petersburg, Russia*
[5]https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *The heat resistance of the polymer material for restoring bearing fits is its most important operational property. The thermal stability of nanocomposites when filling elastomers with nanoparticles varies ambiguously and depends on the type of rubber that is the basis of the elastomer. To restore bearing fits, fillers, in addition to copper nanoparticles, use aluminum nanoparticles, as well as carbon nanotubes in nanocomposites. The effect of carbon nanotubes and aluminum nanoparticles on the heat resistance of elastomers was investigated. The change in the deformation-strength properties of the F-40S elastomer and nanocomposites based on it before and after high-temperature aging was experimentally studied. Composition No. 1: F-40S elastomer – 100 mass parts, Taunit carbon nanotubes – 0.1 mass parts. Composition No. 2: F-40S elastomer – 100 mass parts, aluminum nanopowder – 0.075 mass parts. Samples were made in the form of polymer films. Thermal aging of the samples was carried out under conditions of limited oxygen access to air. The heat resistance of the nanocomposite of composition No. 1, in comparison with the F-40S not filled with elastomer, has increased. The aging coefficient of the nanocomposite in strength, in comparison with the unfilled elastomer, increased by 1.2 times, and in terms of deformation, it increased by 1.38 times. The aging coefficient of the nanocomposite composition No. 2 in strength, in comparison with the unfilled elastomer, increased by 1.17 times, and in terms of deformation, it increased by 1.2 times, which confirms the increase in its heat resistance. Experimental studies have established that the Townit-M carbon nanotubes and aluminum powder nanoparticles are inhibitors of the elastomer thermal oxidation process F-40S and therefore increase the heat resistance of nanocomposites based on it.*

Keywords*: recovery, bearing, coating, elastomeric nanocomposite, deformation-but-strength properties, heat resistance.*

Для цитирования: Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Мельников А.Ю., Псарев Д.Н., Киба М.Р. Термостойкость посадок подшипников качения, восстановленных эластомерными нанокомпозитами // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 122-130. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-122-130.

For citation: Li R., Rizaeva Y., Melnikov A., Psarev D., Kiba M. Heat resistance of rolling bearing fits restored elastomeric nanocomposites // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 122-130. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-122-130.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20)

Acknowledgments: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-38-90070\20

Введение. Термостойкость полимерного материала, предназначенного для восстановления посадок подшипников, является его важнейшим эксплуатационным свойством. Очень важно, чтобы материал, имеющий изначально высокие деформационно-прочностные и адгезионные свойства, длительное время не терял их в условиях высоких эксплуатационных температур [1 - 6]. В ряде случаев повышенная эксплуатационная температура вызывает термоокислительную деструкцию эластомера, причиной которой является разрыв химических связей основной цепи макромолекул и образование макрорадикалов R. И радикалов RO_2., представляющих собой продукты распада гидропероксидов, появляющихся вследствие окисления макромолекул полимера [7 - 9].

При наполнении эластомеров наночастицами термостойкость нанокомпозитов меняется неоднозначно, различным образом. Это теплофизическое свойство во многом определяется материалом наночастиц и видом каучука, являющегося основой эластомера.

Исследование композитов на основе натурального каучука, наполненных металлическими наночастицами, показало, что частицы металлов меди, марганца, кобальта действуют как

катализаторы термоокисления, вызывая термоокислительную деструкцию каучука. Частицы меди и ее оксиды принимают активное участие в окислительно-восстановительных реакциях термоокисления натурального каучука. Это подтверждается понижением кажущейся энергии активации процесса с 112,8 до 69,8 кДж/моль. По этой причине медь относят к наиболее активному катализатору деструкции натурального каучука. Дальнейшие исследования показали, что частицы металлов железа, никеля, цинка и свинца к катализаторам термоокисления не относятся [10, 11].

Термостойкость каучуков можно повысить путем устранения в структуре слабых мест и связыванием свободных радикалов, которые образуются при термораспаде. Вид и строение каучука определяют характер каталитического действия металлов переменной валентности на процесс термоокисления. Один и тот же металл переменной валентности для различных видов каучуков может являться как катализатором, так и ингибитором цепного радикального процесса окисления. Например, если для натурального каучука медь является катализатором, то для бутадиен-нитрильных каучуков этот металл ингибитор процесса окисления [12 - 14].

В работах [15 - 17] для связывания свободных радикалов, которые образуются при термораспаде и повышения термостойкости эластомер Ф-40 наполняли наночастицами меди. Состав нанокомпозита: : эластомер Ф-40 – 100 масс.ч., медный нанопорошок – 1,8 масс. Ч., алюминиевый нанопорошок – 1,9 масс. Ч. Исследования термостойкости нанокомпозита в условиях ограниченного доступа кислорода воздуха (ОДКВ) показали его значительное повышение, в сравнении с матрицей. Коэффициенты старения нанокомпозита по прочности в 1,8 раза, а по деформации в 1,4 раза превышают аналогичные показатели не наполненного эластомера и тем самым подтверждают увеличение термостойкости материала.

В нанокомпозитах, предназначенных для восстановления посадок подшипников, в качестве наполнителей, помимо наночастиц меди, используют наночастицы алюминия, а также углеродные нанотрубки [18 - 20]. Представляют научный и практический интерес исследование влияния углеродных нанотрубок и наночастиц алюминия на термостойкость эластомеров. Цель исследований – изучить термостойкость эластомерных нанокомпозитов, наполненных углеродными нанотрубками и наночастицами алюминия.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на образцах из эластомера Ф-40С и нанокомпозитов на его основе. Нанокомпозит состава №1: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч. Нанокомпозит состава №2: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч.

Образцы изготовили в виде полимерных пленок. Форма пленки прямоугольная, размеры: $50 \times 10 \times 0{,}15$ мм. Расчетная длина образца – 30 мм. Термическая обработка и старение образцов проведены в шкафу сушильном марки СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. Режим термической обработки: нагрев $T = 150^{o}$C, продолжительность $t = 3$ ч.

Термостойкость эластомера Ф-40С и эластомерных нанокомпозитов исследовали, оценивая прочность σ_p и относительное удлинение ε образцов, до и после термического старения. Термическое старение осуществляли в условиях ОДКВ при температуре 200°C в течение 3 ч [21]. Для обеспечения условий ОДКВ предназначена специальная форма-оснастка, которая включает две одинаковые опорные пластины 1 и рамку-трафарет 2 между ними (рисунок 1). Детали оснастки изготовлены из Ст3 ГОСТ 380-2005. Первоначально рамка-трафарет размещается на опорной пластине. Затем готовые пленки 3 устанавливают в окна рамки-трафарета, после чего последнюю накрывают второй опорной пластиной. Для ограничения доступа кислорода воздуха к образцам, опорные пластины, рамка-трафарет с пленками, стягиваются восемью болтами. После сборки форма-оснастка размещается в сушильном шкафу для проведения термического старения образцов.

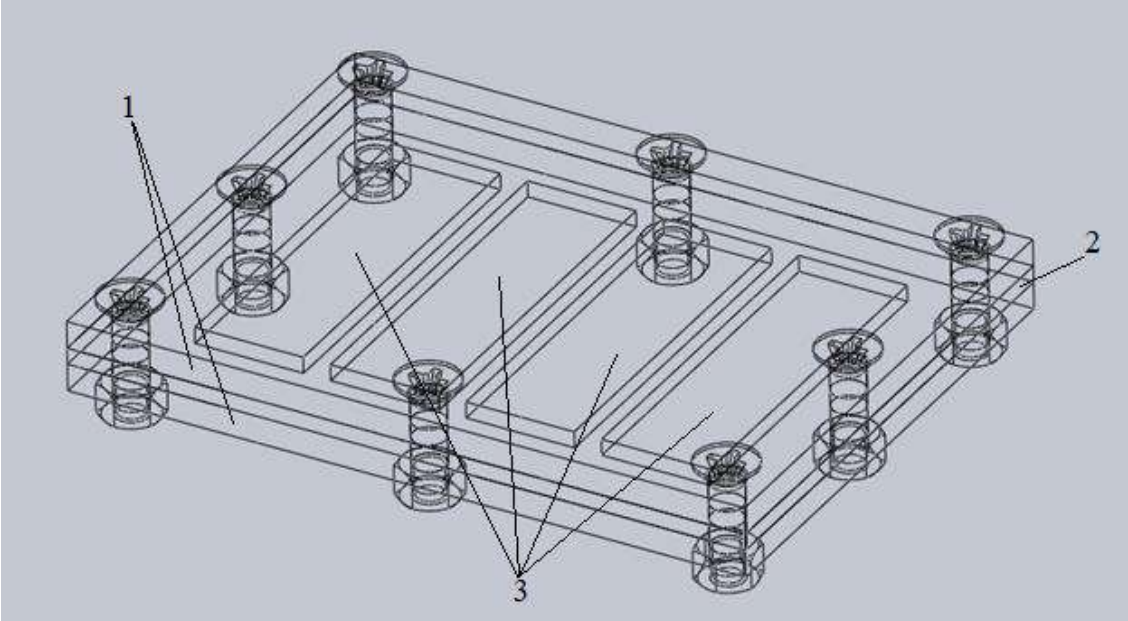

Рисунок 1 – Форма-оснастка для термического старения пленок в условиях ОДКВ:
1 – опорная пластина; 2 – рамка-трафарет; 3 – пленки

Кондиционирование образцов проводили при нормальных условиях в течение 16 ч [22]. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. Скорость нагружения образцов составляла 50 мм/мин [23].

Коэффициенты старения (K_σ , K_ε) образцов рассчитывали по формуле [21]

$$K = \frac{A}{O},$$

где O и A – средний показатель (прочность σ или относительное удлинение ε) образцов соответственно до и после старения.

Результаты исследования. На начальном этапе исследовали изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №1 после термического старения в условиях ОДКВ. В таблице 1 представлены результаты исследования термостойкости полимерных материалов до и после высокотемпературного старения. На рис. 2 показаны диаграммы коэффициентов старения по прочности K_σ и относительному удлинению K_ε эластомера Ф-40С и нанокомпозита на его основе.

Как следует из рисунка 2 термостойкость нанокомпозита состава №1, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, существенно повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился от 0,66 до 0,72, то есть в 1,1 раза, а по деформации, увеличился от 0,34 до 0,4, т.е. в 1,17 раза, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита.

Экспериментально подтверждено увеличение термостойкости нанокомпозита, в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,2 раза, по деформации – 1,38 раза. Поэтому углеродные нанотрубки «Таунит-М» являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С.

Таблица 1 - Деформационно-прочностные свойства эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №1 до и после высокотемпературного старения

Наименование показателя	Эластомер Ф-40С	Нанокомпозит
До старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	20,61	26,82
Деформация ε, %	179,08	246,23
После старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	12,45	19,31
Деформация ε, %	52,3	98,50
Коэффициент старения по прочности K_σ	0,6	0,72
Коэффициент старения по деформации K_ε	0,29	0,40

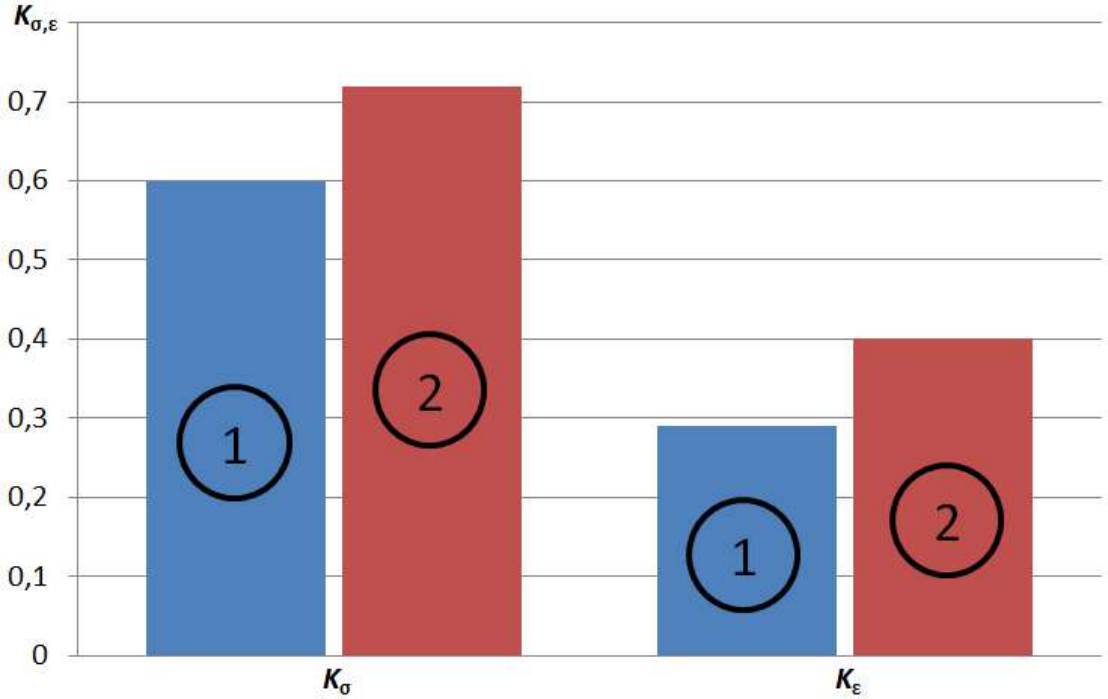

Рисунок 2 – Диаграмма коэффициентов старения по условной прочности K_σ и относительному удлинению K_ε : 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит состава №1

Далее исследовали изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №2 после термического старения в условиях ОДКВ. В таблице 2 показаны результаты испытаний полимерных материалов до и после высокотемпературного старения [137Статья, Маша].

На рисунке 3 показаны коэффициенты старения по прочности K_σ и относительному удлинению K_ε эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава № 2.

Таблица 2 - Механические свойства эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №2 до и после высокотемпературного старения

Наименование показателя	Эластомер Ф-40С	Нанокомпозит состава №2
До старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	20,61	23,29
Деформация ε, %	179,08	199,35
После старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	12,45	16,31
Деформация ε, %	52,3	69,15
Коэффициент старения по прочности K_σ	0,6	0,70
Коэффициент старения по деформации K_ε	0,29	0,35

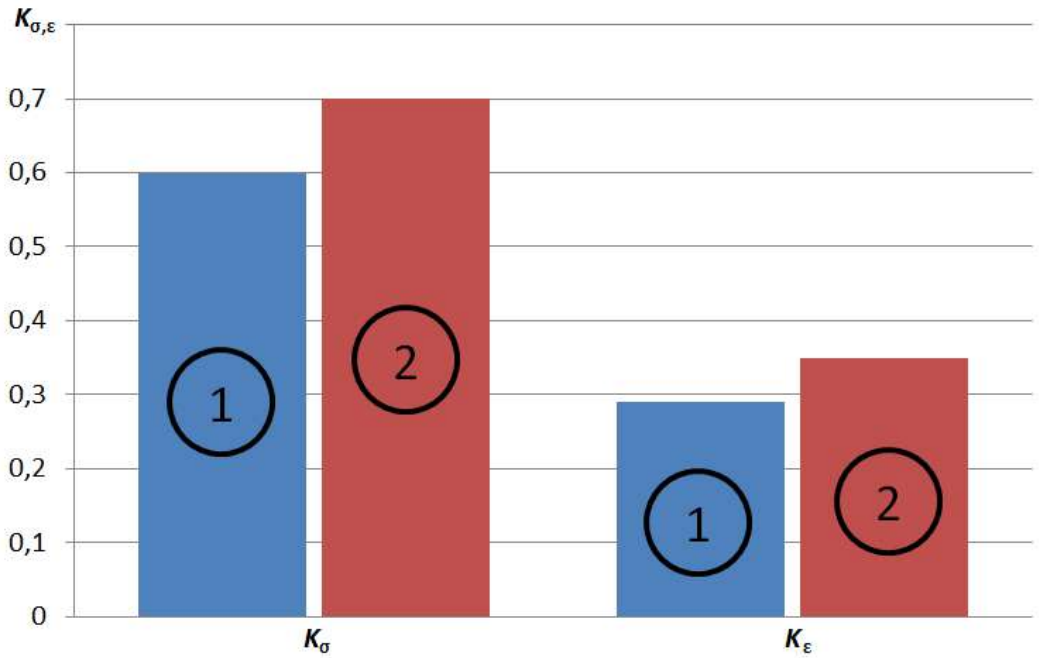

Рисунок 3 – Диаграмма коэффициентов старения по условной прочности K_σ и относительному удлинению K_ε : 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит состава №2

Как следует из рис. 3 термостойкость нанокомпозита состава №2, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился от 0,6 до 0,7, т.е. в 1,17 раза, а по деформации, увеличился от 0,29 до 0,35, т.е. в 1,2 раза, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита.

Выводы.

1. Экспериментально подтверждено увеличение термостойкости нанокомпозита, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит-М», в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,2 раза, по деформации – 1,38 раза.

2.Наполнение эластомера Ф-40С наночастицами алюминиевого порошка повышает термостойкость нанокомпозита, в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,17 раза, по деформации – 1,2 раза.

3. Углеродные нанотрубки «Таунит-М» и наночастицы алюминиевого порошка являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С.

Список источников

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. Т. 13. № 1. С. 45-49.
2. Кононенко А.С. Повышение прочностных характеристик анаэробных полимерных составов, используемых при восстановлении посадок подшипников качения / Кононенко А.С., Соловьева А.А.Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 35-38.
3. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.
4. Коломейченко А.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16-21.
5. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
6. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
7. Гладышев Г.П. Стабилизация термостойких полимеров / Г. П. Гладышев, Ю. А. Ершов, О. А. Шустова. – Москва : Химия, 1979. – 272 с.
8. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла : пер. с нем. / И. Фойгт. – Ленинград : Химия, 1972. – 544 с.
9. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров / М. Т. Брык. – Москва : Химия, 1989. – 192 с.
10. Львов Ю.А. Влияние металлов переменной валентности на стабильность бутадиен-нитрильного каучука в условиях термоокисления / Ю. А. Львов, К. Б. Пиотровский, Т. А. Авдеевич // Каучук и резина. – 1972. – № 9. – С. 18–22.
11. Пиотровский К.Б. Старение и стабилизация синтетических каучуков и вулканизатов / К. Б. Пиотровский, З. Н. Тарасова. – М.: Химия, 1980. – 264 с.
12. Полимерные нанокомпозиты: многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков; Ин-т биохим. Физики им. Н.М. Эмануэля РАН. – М. : Наука, 2009. – 278 с.
13. Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
14. Кособудский И.Д. Наноразмерные металлические частицы в полимерных матрицах: I. Синтез, механизмы образования и стабилизации / И. Д. Кособудский // Известия высших учебных заведений. – 2000. – Т. 43 (4). – С. 3-18.
15. Киба М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40 [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.
16. R.I. Li, D.N. Psarev, M.R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.
17. R.I. Li, D.N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.
18. Малюгин В.А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей

нанокомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. …канд. техн. Наук: 05.20.03: / Малюгин В. А. – Мичуринск, 2019. – 169 с.

19. R.I. Li, D.N. Psarev, V.A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.

20. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

21. Михайлюк А.Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Михайлюк А.Е. – Волгоград, 2014. – 140 с.

22. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

23. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

References

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. Vol. 13. No. 1. P. 45-49.

2. Kononenko A.S. Improving the strength characteristics of anaerobic polymer compositions used in the restoration of rolling bearings / Kononenko A.S., Solovieva A.A. Repair. Recovery. Modernization. 2019. No. 2. S. 35-38.

3. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Mandrykin I.A., Belentsov V.G. Intensification of the restoration of parts of agricultural machines with a dispersion-strengthened composite coating based on chromium // Innovations in agriculture. 2019. No. 3 (32) . pp. 49-54.

4. Kolomeichenko A.V. Restoration technology with hardening of machine parts based on the use of microarc oxidation / Kolomeichenko A.V., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Logachev V.N., Titov N.V. Construction and road machines. 2014. No. 10. S. 16-21.

5. Technologies for the restoration and hardening of parts of automotive equipment / R.I. Lee // Lipetsk: Publishing house of LGTU, 2014. – 379 p.

6. Lee R.I. Polymer composite materials for fixing rolling bearings in machine nodes monograph / R.I. Lee. – Lipetsk: Publishing House of the Lipetsk State Technical University, 2017. – 224 p.

7. Gladyshev G.P. Stabilization of heat-resistant polymers / G. P. Gladyshev, Yu. A. Ershov, O. A. Shustova. – Moscow: Chemistry, 1979. – 272 p.

8. Voigt I. Stabilization of synthetic polymers against the action of light and heat : per. With him. / I. Voigt. – Leningrad: Chemistry, 1972. – 544 p.

9. Bryk M. T. Destruction of filled polymers / M. T. Bryk. – Moscow: Chemistry, 1989. – 192 p.

10. Lvov Yu.A., Piotrovsky, K. B., Avdeevich, T. A. Influence of metals of variable valence on the stability of butadiene-nitrile rubber under thermal oxidation conditions, Kauchuk i rezina. – 1972. – No. 9. – S. 18–22.

11. Piotrovsky K.B. Aging and stabilization of synthetic rubbers and vulcanizates / K. B. Piotrovsky, Z. N. Tarasova. – Moscow: Chemistry, 1980. – 264 p.

12. Polymer nanocomposites: variety of structural forms and applications / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; Institute of Biochem. Physics them. N.M. Emanuel RAS. – M. : Nauka, 2009. – 278 p.

13. Pomogailo A.D., Rozenberg A. S., Uflyand I. E. Metal nanoparticles in polymers. – Moscow: Chemistry, 2000. – 672 p.

14. Kosobudsky I.D. Nanosized metal particles in polymer matrices: I. Synthesis, mechanisms of formation and stabilization / I. D. Kosobudsky // News of higher educational institutions. – 2000. – T. 43 (4). – P. 3-18.

15. Kiba M.R. Restoration of mounting holes in body parts of agricultural machinery with a nanocomposite based on F-40 elastomer [Text]: dis. … cand. Tech. Sciences / Kiba M.R. – Michurinsk, 2020. – 164 p.

16. R.I. Li, D.N. Psarev, M.R. Kiba. Theoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, no. 1, pp. 15-19.

17. R.I. Li, D.N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, no. 3, pp. 249–252.

18. Malyugin V.A. Restoration of landings of rolling bearings of automobiles with a nanocomposite based on anaerobic sealant AN-111: dis. …cand. tech. Sciences: 05.20.03: / Malyugin V. A. – Michurinsk, 2019. – 169 p.

19. R.I. Li, D.N. Psarev, V.A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, no. 3, pp. 261-265.

20. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Carbon nanomaterials. Production, properties, application. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 320 p.

21. Mikhailyuk A.E. Development of elastomeric materials based on ethylene-propylene rubbers modified with highly dispersed metal particles [Text]: dis. … cand. Tech. Sciences / Mikhailyuk A.E. – Volgograd, 2014. – 140 p.

22. GOST 12423-66. Plastics. Conditions for conditioning and testing samples (samples) [Text]. – M.: Publishing house of standards, 1989. – 6 p.

23. GOST 14236-81. Films are polymeric. Tensile test method [Text]. – M.: Publishing house of standards, 1982. – 10 p.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; Ю. Н. Ризаева – доктор технических наук, доцент; А.Ю. Мельников – кандидат технических наук; Д. Н. Псарев – кандидат технических наук, доцент; М. Р. Киба – кандидат технических наук.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; Yu. Rizaeva – Doctor of Technical Science, Associate Professor; A. Melnikov – Candidate of Technical Science; D. Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 05.08.2022