Мартынова Наталья Борисовна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Abdulmazhidov Hamzat – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: hamzat72@mail.ru.

Balabanov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Natalia Martynova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 14.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-87-95

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

¹Ли Роман Иннакентьевич

²Псарев Дмитрий Николаевич

³Киба Мария Романовна

¹Мельников Антон Юрьевич

¹ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Реферат. Способы восстановления полимерными материалами значительно увеличивают послеремонтный ресурс корпусных деталей, подшипниковых узлов, валов и шестерен. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров углеродными нанотрубками с целью разработки перспективного нанокompозита для восстановления корпусных деталей автомобилей. Исследовали влияние углеродных нанотрубок «Таунит-М» на деформационно-прочностные и адгезионные свойства эластомера Ф-40С. Деформационно-прочностные свойства не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе исследовали по методикам ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 12423-66 с использованием оригинальной оснастки и образцов. Адгезию покрытий не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе оценивали прочностью связи покрытия с металлической подложкой при отслаивании образцов по методике ГОСТ 21981-76. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. По результатам исследований определен оптимальный состав нанокompозита эластомера Ф-40С: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч. Новый нанокompозит, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, имеет более высокие потребительские свойства: прочность материала увеличилась на 32%, деформация – 1,66 раза, адгезия – 30%. Удельная работа разрушения увеличилась на 82%, что свидетельствует о более высокой выносливости материала и создает условия для повышения долговечности восстановленных посадок подшипников. Увеличение модуля упругости нанокompозита в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С на 59%, позволит уменьшить податливость восстановленной опоры при радиальном нагружении подшипника, исключить смещение осей подшипника относительно оси отверстия, увеличить предельно допустимую толщину полимерного покрытия при восстановлении корпусных деталей. Разработан перспективный эластомерный нанокompозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники.

Ключевые слова: эластомер, углеродные нанотрубки, нанокompозит, деформационно-прочностные и адгезионные свойства, корпусная деталь, восстановление.

**PROMISING POLYMER NANOCOMPOSITE FOR RESTORATION
WORN-OUT BODY PARTS VEHICLES**¹*Li Roman*²*Psarev Dmitry*³*Kiba Maria*¹*Melnikov Anton*¹*FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"*²*FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"*³*FSBEI HE "St. Petersburg State University of Architecture and Construction"*

Abstract. Recovery methods with polymer materials significantly increase post-repair life of housing parts, bearing units, shafts and gears. Research into the filling of elastomers with carbon nanotubes is of great scientific and practical interest in order to develop a promising nanocomposite for the restoration of body parts of cars. The effect of Taunit-M carbon nanotubes on the strain-strength and adhesion properties of the elastomer F-40C was investigated. The strain-strength properties of the non-filled elastomer F-40C and composites based on it were investigated according to the methods GOST 14236-81 and GOST 12423-66 using original tooling and samples. Adhesion of coatings of non-filled elastomer of F-40C and composites based on it was evaluated by strength of coating bond with metal substrate at peeling of samples according to the procedure GOST 21981-76. Tests of samples were carried out on a break machine IR 5082-50. According to the results of the studies, the optimal composition of the elastomer nanocomposite F-40C was determined: elastomer F-40C - 100 parts by weight, carbon nanotubes "Taunit-M" - 0.1 parts by weight. The new nanocomposite, in comparison with the non-filled elastomer F-40C, has higher consumer properties: the strength of the material increased by 32%, deformation - 1.66 times, adhesion - 30%. The specific work of the fracture increased by 82%, which indicates a higher endurance of the material and creates conditions for improving the durability of the restored bearing fits. Increasing the modulus of elasticity of the nanocomposite in comparison with the non-filled elastomer F-40C by 59%, will reduce the compliance of the restored support with radial loading of the bearing, prevent displacement of the bearing axes relative to the hole axis, increase the maximum permissible thickness of the polymer coating when restoring the body parts. A promising elastomeric nanocomposite has been developed for the restoration of body parts of autotractor equipment.

Keywords: elastomer, carbon nanotubes, nanocomposite, deformation-strength and adhesion properties, body part, restoration.

Введение. Корпусные детали представляют собой базисные, наиболее материалоемкие и дорогие детали. Долговечность корпусных деталей определяет ресурс агрегатов и надежность автомобиля в целом. Поэтому восстановление и упрочнение изношенных корпусных деталей позволяет значительно снизить затраты на ремонт и повысить надежность автомобильной техники. Основной причиной выбраковки корпусных деталей являются изношенные посадочные отверстия под подшипники качения. Для восстановления изношенных посадочных отверстий используют различные способы восстановления: нанесение гальванических покрытий, электроконтактную приварку стальной ленты, электроискровое наращивание, различные способы наплавки и др. Эти способы имеют общие недостатки: сложность технологии и технологического оборудования, значительное энергопотребление, необходимость механической обработки отверстий после наращивания [1 – 4].

При восстановлении корпусных деталей полимерными материалами не используют сложное технологическое оборудование, не требуются высокая квалификация ремперсонала и большие затраты материалов и электроэнергии. Способы восстановления полимерными материалами значительно увеличивают послеремонтный ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов, валов и шестерен [5 – 10]. Перспективным направлением, в повышении эффективности восстановления корпусных деталей автомобилей, является применение полимерных композитов. Наполнение полимерной матрицы различными частицами органического и не органического происхождения существенно меняет в лучшую сторону механические и теплофизические свойства

материала, уменьшает стоимость материала и повышает эффективность технологии восстановления [11 – 13].

В настоящее время производители предлагают большой ассортимент наноразмерных частиц. Частицы получены из различных материалов и отличаются формой, размером и другими параметрами. Высокая удельная поверхность наночастиц, в сравнении с микроразмерными частицами, обеспечивает в единице объема полимерной матрицы существенно большее их количество. По этой причине более высокие потребительские свойства полимерных нанокомпозитов проявляются уже при очень низком содержании наночастиц (до 5%) [14].

Введение углеродных нанотрубок (УНТ) в термо- и реактопласты повышает деформационно-прочностные свойства [1, 15, 16]. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров УНТ с целью разработки перспективного эластомерного нанокомпозита для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автомобилей.

К полимерным материалам, используемым при восстановлении изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях агрегатов трансмиссии автомобилей и тракторов, предъявляются специфические требования. Посадки подшипников в корпусных деталях автомобилей, восстановленные полимерным материалом, работают в особых условиях эксплуатации: знакопеременные динамические нагрузки, не установившийся режим, термоциклирование. Полимерное покрытие, как и подшипник при эксплуатации, подвергается радиальным, окружным и осевым нагрузкам. Поэтому полимерный материал должен обладать высокой прочностью и выносливостью. Чтобы обеспечить необходимую деформацию наружного кольца нагруженного подшипника и, соответственно снижение напряжений в зоне контакта нагруженных тел с дорожками качения, материал должен иметь высокие деформационные свойства. В тоже время модуль сжатия полимерного материала должен быть достаточно высоким, чтобы исключить малую податливость восстановленных опор и, соответственно, смещение осей подшипника относительно оси отверстия при нагружении [8, 10].

Покрытие, во избежание отслаивания при запрессовке подшипника в посадочное отверстие, должно иметь высокую адгезию к изношенной поверхности отверстия [5].

Цель работы – исследование влияния углеродных нанотрубок на деформационно-прочностные и адгезионные свойства эластомера Ф-40С, определение оптимального состава нанокомпозита, обеспечивающего необходимые механические свойства (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Материалы и методы. Деформационно-прочностные свойства пленок нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С оценивали прочностью пленок при одноосном растяжении σ_p , относительным удлинением ϵ_p и удельной работой деформации при разрыве пленок α_p [17].

В качестве образцов использовали пленки прямоугольной формы размерами: $50 \times 10 \times 0,15$ мм. Расчетная длина образца составляла 30 мм. Подложку для формирования пленок изготовили из фторопласта-4 в виде пластины размерами: $200 \times 160 \times 4$ мм. Для получения пленок необходимой формы и геометрических размеров использовали рамку-трафарет, которую изготовили из стали 3. Габаритные размеры рамки: $180 \times 140 \times 0,8$ мм. Рамка имеет шесть окон, размеры которых составляют: 60×15 мм.

Рамку-трафарет наложили на подложку и заполнили ее окна раствором полимерного материала, нанося послойно покрытие волосяной кистью № 5. После заполнения окон рамки-трафарета раствором полимерного материала, поверхность последнего формовали фторопластовой крышкой, для придания равнотолщинности полимерным покрытиям. Образцы подвергали термической обработке при температуре 150°C в течение 3 ч в шкафу сушильном СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. По завершении отверждения образцы кондиционировали при комнатной температуре в течение 16 ч [18]. Предельное отклонение размеров образцов по длине и ширине не превышало $\pm 0,1$ мм.

Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50 с постоянной скоростью нагружения 50 мм/мин. Исследования проводили с одновременной записью диаграммы «нагрузка-деформация». Масштабы измерений: нагрузки $M:1\text{ мм} = 1,6\text{ Н}$; деформации $M1:1$.

Работу деформации при растяжении образцов A определили измерением площади ограниченной кривой «нагрузка – деформация» и осью абсцисс на диаграмме. Удельную работу разрушения образцов α_p рассчитали делением величины A на объем полимерной пленки $V = 180 \times 10^{-9}\text{ м}^3$.

Модуль упругости при сжатии пленок полимерного материала определяли по ГОСТ 9550-81 как отношение приращения напряжения к соответствующему приращению относительного сжатия [19]. Равномерность нагружения образцов при сжатии обеспечивало специальное приспособление, которое изготовили из стали 40Х (рисунок 1).

Рисунок 1 – Приспособление для равномерного нагружения полимерных пленок при испытаниях на сжатие

Адгезию полимерных покрытий исследовали по ГОСТ 21981-76 [20]. Оценочным параметром адгезии использовали прочность связи F покрытия с металлической подложкой при отслаивании образцов. Подложка представляла собой пластину из стали 45 размерами: $100 \times 25 \times 3$ мм. Шероховатость поверхности пластины после механической обработки Ra 0,63. Первоначально, волосистой кистью № 5, на поверхность пластины наносили послойно покрытие из раствора полимерного материала. Затем на покрытие уложили железную сетку № 7 (ГОСТ 3826-82). В завершении на уложенную сетку послойно нанесли покрытие из раствора полимерного материала (рисунок 2). Расчетная длина соединения сетки с пластиной посредством полимерного материала составляла 70 мм. Образцы подвергали термической обработке по режиму описанному ранее. Далее образцы кондиционировали в течение 16 ч при комнатной температуре 23°C [18]. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50.

1 – сетка металлическая; 2 – покрытие эластомера Ф-40С;
3 – металлическая пластина a – место подреза

Рисунок 2 – Образец для исследования адгезии полимерных материалов

Результаты исследования. В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости деформационно-прочностных и адгезионных свойств нанокompозита на основе эластомера Ф-40С от концентрации углеродных нанотрубок «Таунит-М».

Исследованиями установлено, что прочность пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\sigma_p = 21,23$ МПа (рисунок 3). С увеличением содержания наполнителя прочность пленок нанокompозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. прочность пленок при одноосном растяжении составляет $\sigma_p = 25,02$ МПа. В сравнении с не наполненным эластомером прочность увеличилась на 18 %.

Пленки имеют максимальную прочность $\sigma_p = 28,05$ МПа при концентрации наполнителя $K = 0,1$ масс.ч.

В сравнении с не наполненным эластомером прочность увеличилась на 32%, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. – 12 %. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0,125$ масс.ч. прочность достигает минимального, в исследуемом интервале, значения $\sigma_p = 20,83$ МПа. Снижение прочности составляет 20 и 35 % соответственно, в сравнении с пленками, содержащими наполнитель в концентрации $K = 0,075$ масс.ч. и $K = 0,1$ масс.ч., и 2 % – пленками не наполненного эластомера. Деформация пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\epsilon_p = 133$ % (рисунок 4).

Рисунок 3 – Зависимость прочности пленок σ_p от концентрации УНТ в эластомерном нанокompозите K

Рисунок 4 – Зависимость деформации пленок ϵ_p от концентрации УНТ в эластомерном нанокompозите K

С увеличением содержания наполнителя деформация пленок нанокompозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. деформация пленок при одноосном растяжении составляет $\epsilon = 161$ %. В сравнении с не наполненным эластомером деформация увеличилась в 1,21 раза. Пленки имеют максимальные деформационные свойства $\epsilon = 221$ % при концентрации наполнителя $K = 0,1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером деформация увеличилась в 1,66 раза, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. – 1,37 раза. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0,125$ масс.ч. деформация уменьшается до значения $\epsilon = 219$ %. В сравнении с максимальным значением уменьшение деформации составляет 2 %.

Удельная работа деформации разрыва является оценочным параметром выносливости материала при циклическом нагружении. Чем больше величина α_p , тем выше выносливость [18]. На рисунке 5. показана зависимость удельной работы разрушения пленок α_p от содержания УНТ в эластомерном нанокompозите K . Удельная работа разрушения пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\alpha_p = 19,7$ МДж/м³. С увеличением содержания наполнителя удельная работа разрушения пленок нанокompозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя

$K = 0,075$ масс.ч. величина α_p для пленок составляет $26,51 \text{ МДж/м}^3$. В сравнении с не наполненным эластомером величина α_p увеличилась на 35 %. Пленки имеют максимальную удельную работу разрушения $\alpha_p = 35,88 \text{ МДж/м}^3$ при концентрации наполнителя $K = 0,1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером величина α_p увеличилась на 82 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. – 36 %.

С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0,125$ масс.ч. величина α_p уменьшается до значения $\alpha_p = 27,93 \text{ МДж/м}^3$. В сравнении с максимальным значением уменьшение удельной работы разрушения составляет 28 %.

Поэтому наиболее высокую выносливость будет иметь нанокompозит с концентрацией УНТ – 0,1 масс.ч. На рисунке 6 показана зависимость модуля упругости при сжатии пленок E_c от содержания УНТ в эластомерном нанокompозите K .

Рисунок 5 – Зависимость удельной работы разрушения пленок α_p от концентрации УНТ в эластомерном нанокompозите K

Рисунок 6 – Зависимость модуля упругости при сжатии пленок E_c от содержания УНТ в эластомерном нанокompозите K

Модуль упругости при сжатии пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $E_c = 56,37 \text{ МПа}$. С увеличением содержания наполнителя модуль упругости пленок нанокompозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. модуль упругости пленок составляет $E_c = 63 \text{ МПа}$. В сравнении с не наполненным эластомером модуль упругости увеличился на 12 %. Пленки имеют максимальное значение модуля упругости $E_c = 89,64 \text{ МПа}$ при концентрации наполнителя $K = 0,1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером модуль упругости увеличился на 59 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. – 42 %. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0,125$ масс.ч. модуль упругости уменьшается до значения $E_c = 66,41 \text{ МПа}$. В сравнении с максимальным значением уменьшение модуля упругости составляет 35 %.

На завершающем этапе исследовали адгезию покрытий не наполненного эластомера Ф-40С и нанокompозитов на его основе (рисунок 7). Показатель прочности связи (адгезия) покрытий не наполненного эластомера Ф-40С с подложкой при отслаивании составляет $F = 5,6 \text{ кН/м}$.

С увеличением содержания наполнителя адгезия меняется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. адгезия покрытий составляет $F = 6,5 \text{ кН/м}$. В сравнении с не наполненным эластомером адгезия увеличилась на 16 %. Покрытия имеют максимальную адгезию $F = 7,3 \text{ кН/м}$ при концентрации наполнителя $K = 0,1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером адгезия увеличилась на 30 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0,075$ масс.ч. – 12 %.

1 – не наполненный эластомер Ф-40С; 2 – нанокompозит с $K = 0,075$ масс.ч.;
3 – нанокompозит с $K = 0,1$ масс.ч.; 4 – нанокompозит с $K = 0,125$ масс.ч.

Рисунок 7 – Адгезия покрытий F эластомера Ф-40С
и нанокompозитов на его основе с концентрацией наполнителя K

С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0,125$ масс. ч адгезия уменьшается до значения $F = 6,7$ кН/м. В сравнении с максимальным значением адгезия уменьшилась на 9 %.

Исходя из вышеизложенного, наиболее высокие деформационно-прочностные и адгезионные свойства, а также выносливость имеет следующий состав нанокompозита: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч.

Выводы. 1. Разработан перспективный эластомерный нанокompозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники. Определен оптимальный состав нанокompозита эластомера Ф-40С: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч.

2. Новый нанокompозит, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, имеет более высокие потребительские свойства: прочность материала увеличилась на 32%, деформация – 1,66 раза, адгезия – 30%. Удельная работа разрушения увеличилась на 82%, что свидетельствует о более высокой выносливости материала и создает условия для повышения долговечности восстановленных посадок подшипников.

3. Увеличение модуля упругости нанокompозита в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С на 59%, позволит уменьшить податливость восстановленной опоры при радиальном нагружении подшипника, исключить смещение осей подшипника относительно оси отверстия, увеличить предельно допустимую толщину полимерного покрытия при восстановлении корпусных деталей.

4. Необходимы дальнейшие всесторонние исследования нового эластомерного нанокompозита с целью разработки оригинальной технологии восстановления изношенных корпусных деталей автомобилей.

Список литературы

1. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. – С. 89–94.
2. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома / Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – №3 (32). – С. 49-54.
3. 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.
4. Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
5. Ли Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин монография. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
6. Ли Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – №4. – С. 33-38.

7. Li R. I., Kiba M. R. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 161–164.
8. Машин Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники композицией на основе эластомера Ф – 40С: дис. ... канд. техн. наук / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.
9. Колесников А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. – 179 с.
10. Мироненко А. В. Повышение долговечности роликоподшипниковых узлов в корпусных деталях автомобилей, восстановленных композицией адгезива АН-110: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Мироненко А. В. – Орел, 2017. – 179 с.
11. Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин / Ли Р.И., Псарев Д. Н., Мироненко А. В., Коба М. Р. // Клеи. Герметики. Технологии. – 2017. – № 5. – С. 34-37.
12. Li R. I., Psarev D. N., Kiba M. R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 15-19.
13. Li R. I., Psarev D. N., Malyugin V. A. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. // Polymer Science, Series D. – 2019. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 261-265.
14. Малугин В. А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей наноккомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Малугин В. А. – Мичуринск, 2019. – 169 с.
15. Углеродный наноматериал "Таунит" // Нанометр. – Режим доступа: URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html.
16. Полимерные наноккомпозиты: 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.
17. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
19. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
20. ГОСТ 21981-76. Метод определения прочности связи с металлом при отслаивании (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.

References

1. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Povyshenie stojkosti polimernyh kompozitov holodnogo otverzheniya k vozdejstviyu rabochih zhidkostej ispol'zovaniem nanomaterialov // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2015. – № 1. – S. 89–94.
2. Intensifikacija vosstanovleniya detalej sel'hoz mashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove hroma / ZHachkin S.YU., Pen'kov N.A., Mandrykin I.A., Belencov V.G. // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2019. – №3 (32). – S. 49-54.
3. Tekhnologiya vosstanovleniya s uprochneniem detalej mashin na osnove primeneniya mikrodugovogo oksidirovaniya / Kolomejchenko A.V., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Logachyov V.N., Titov N.V. // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2014. – № 10. – S. 16-21.
4. Li R.I. Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj tekhniki. – Lipeck : Izd-vo LGTU, 2014. – 379 s.
5. Li R. I. Polimernye kompozicionnye materialy dlya fiksacii podshipnikov kacheniya v uzlah mashin monografiya. – Lipeck: Izd-vo Lipeckogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017. – 224 s.
6. Li R.I. Usloviya formirovaniya ravnomernogo polimernogo pokrytiya na naruzhnoj poverhnosti vrashchayushchejsya cilindricheskoj detali // Klei. Germetiki. Tekhnologii – 2015. – №4. – S. 33-38.
7. Li R. I., Kiba M. R. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 161–164.
8. Mashin D. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya posadochnyh otverstij v korpusnyh detalyah sel'skohozyajstvennoj tekhniki kompoziciej na osnove elastomera F – 40S: dis. ... kand. tekhn. nauk / Mashin D. V. – Michurinsk, 2013. – 149 s.
9. Kolesnikov A. A. Povyshenie kachestva vosstanovleniya korpusnyh detalej avtomobilej polimernymi kompozicionnymi materialami posle ul'trazvukovoj obrabotki: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: / Kolesnikov A. A. – Orel, 2017. – 179 s.

10. Mironenko A. V. Povyshenie dolgovechnosti rolikopodshipnikovyh uzlov v korpusnyh detalyah avtomobilej, vosstanovlennyh kompoziciej adheziva AN-110: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: / Mironenko A. V. – Orel, 2017. – 179 s.
11. Perspektivnyj polimernyj material dlya vosstanovleniya korpusnyh detalej mashin / Li R.I., Psarev D. N., Mironenko A. V., Kiba M. R. // Klei. Germetiki. Tekhnologii. – 2017. – № 5. – S. 34-37.
12. Li R. I., Psarev D. N., Kiba M. R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 15-19.
13. Li R. I., Psarev D. N., Malyugin V. A. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. // Polymer Science, Series D. – 2019. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 261-265.
14. Malyugin V. A. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya avtomobilej nanokompozitom na osnove anaerobnogo germetika AN-111: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03: / Malyugin V. A. – Michurinsk, 2019. – 169 s.
15. Uglernodnyj nanomaterial "Taunit" // Nanometr. – Rezhim dostupa: URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html.
16. Polimernye nanokompozity: mnogoobrazie strukturnyh form i prilozhenij / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; In-t biohim. fiziki im. N.M. Emanuel'ya RAN. – M.: Nauka, 2009. – 278 s.
17. GOST 14236-81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie. – M.: Izd-vo standartov, 1982. – 10 s.
18. GOST 12423-66. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 6 s.
19. GOST 9550-81. Plastmassy. Metody opredeleniya modulya uprugosti pri rastyazhenii, szhatii i izgibe (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1981. – 7 s.
20. GOST 21981-76. Metod opredeleniya prochnosti svyazi s metallom pri otslaivanii (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1976. – 7 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Кибя Мария Романовна – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Мельников Антон Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Li Roman – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: romanlee@list.ru.

Psarev Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Kiba Maria – senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State University of Architecture and Construction”, Russia, St. Petersburg, e-mail: loseroff@mail.ru.

Melnikov Anton – Post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 07.06.2021