Nemtsev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk.

Fedorov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal state official military establishment of higher education “Novosibirsk military Institute named after general of the Army I.K. Yakovlev of National Guard Troops of the Russian Federation”, Russia, Novosibirsk.

Поступила в редакцию (Received): 07.07.2021 Принята к публикации (Accepted): 03.08.2021

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-4-106-115

ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ЭЛАСТОМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА 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 горный университет»

Реферат. Деформационно-прочностные полимерных композитов в значительной мере определяются видом смешения компонентов и характером распределения частиц наполнителя по объему полимерной матрицы, наличием агломератов. Эффективность смешения и диспергирования растворов полимерных композитов можно повысить, используя ультразвуковую обработку. Исследовали влияние ультразвуковой обработки на качество диспергирования и дегазацию раствора эластомерного нанокompозита, качество нанокompозитных покрытий. Вязкость раствора нанокompозита на основе эластомера Ф-40С определяли по методике ГОСТ 18249-72. Температуру раствора нанокompозита измеряли инфракрасным пирометром Testo 830-T4, а остаточную массу в ходе дегазации – весами лабораторными М-ER 122ACF-3000.05. Деформационно-прочностные свойства пленок нанокompозита оценивали прочностью пленок, относительным удлинением и удельной работой деформации при разрыве пленок по методике ГОСТ 14236-81. Дефектность образцов оценивали по ГОСТ 9407-84. По результатам эксперимента определен рациональный режим ультразвукового диспергирования раствора нанокompозита на основе эластомера Ф-40С, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит-М»: мощность ультразвуковой обработки 55 Ватт, время озвучивания – 6 мин. Ультразвуковая обработка способствует дегазации раствора. Испарение ацетона составляет около 10% от первоначальной массы раствора нанокompозита, что способствует уменьшению пористости покрытия. По сравнению с ручным смешением, концентрация пор уменьшилась в 1,6 раза, а площадь разрушенной поверхности покрытия в 1,33 раза. Ультразвуковое диспергирование и дегазация раствора нанокompозита повышают деформационно-прочностные свойства эластомерных нанокompозитных покрытий: прочность увеличивается на 4%, деформация в 1,09 раза, а удельная работа разрушения на 6%. Улучшение деформационно-прочностных свойств нанокompозита после ультразвуковой обработки повысит эффективность восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автомобилей.

Ключевые слова: восстановление, корпусная деталь, эластомер, углеродные нанотрубки, раствор нанокompозита, ультразвуковое диспергирование, дегазация, покрытие, качество.

ULTRASONIC DISPERSION PARAMETERS OF ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE SOLUTIONS FOR RESTORATION WORN BODY PARTS OF VEHICLES

¹Li Roman,
²Psarev Dmitry,
³Kiba Maria,
¹Melnikov Anton

¹FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"
²FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
³FSBEI HE "St. Petersburg State Mining University"

Abstract. Deformation-strength polymer composites are largely determined by the type of mixing of components and the nature of the distribution of filler particles over the volume of the polymer matrix, the presence of agglomerates. The mixing and dispersion efficiency of polymer composite solutions can be improved using ultrasonic treatment. Effect of ultrasonic treatment on dispersion quality and degassing of elastomeric nanocomposite solution, quality of nanocomposite coatings was investigated. Viscosity of the elastomer-based nanocomposite solution was F-40S determined according to the procedure GOST 18249-72. Temperature of solution of a nanocomposite was taken an infrared pyrometer of Testo 830-T4, and residual weight during decontamination - scales laboratory M-ER 122ACF-3000.05. Strain-strength properties of nanocomposite films were evaluated by film strength, relative elongation and specific deformation operation at film break according to the procedure GOST 14236-81. Defects of samples were evaluated according to GOST 9407-84. According to the results of the experiment, the rational mode of ultrasonic dispersion of the nanocomposite solution based on the elastomer F-40S filled with Taunit-M carbon nanotubes was determined: ultrasonic processing power 55 Watt, sounding time - 6 minutes. Ultrasonic treatment contributes to the degassing of the solution. The evaporation of acetone is about 10% of the initial weight of the nanocomposite solution, which helps to reduce the porosity of the coating. Compared to manual mixing, the concentration of pores decreased by 1.6 times, and the area of the destroyed surface of the coating was 1.33 times. Ultrasonic dispersion and degassing of the nanocomposite solution increase the deformation-strength properties of elastomeric nanocomposite coatings: strength increases by 4%, deformation by 1.09 times, and specific fracture operation by 6%. Improving the strain-strength properties of the nanocomposite after ultrasonic processing will increase the efficiency of restoring the landing holes in the body parts of cars.

Keywords: restoration, body part, elastomer, carbon nanotubes, nanocomposite solution, ultrasonic dispersion, degassing, coating, quality.

Введение. Восстановление подшипниковых отверстий в корпусных деталях полимерными композитами эффективно компенсирует износ отверстий, повышает ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов, существенно сокращает затраты на ремонт автомобилей [1...4]. Наполнение термо- и реактопластов углеродными нанотрубками (УНТ) повышает деформационно-прочностные свойства материалов [1, 5...7]. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров УНТ с целью разработки перспективного эластомерного нанокомпозита для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автомобилей.

Деформационно-прочностные полимерных композитов в значительной мере определяются видом смешения компонентов и характером распределения частиц наполнителя по объему полимерной матрицы, наличием (отсутствием) агломератов [7...13]. Эффективность смешения и диспергирования растворов полимерных композитов можно повысить, используя ультразвуковую обработку (УЗО) [14...17].

В работе Колесникова А.А. определены основные параметры, влияющие на процесс ультразвукового диспергирования раствора полимерного композита: амплитуда звукового давления и время ультразвуковой обработки [15]. По результатам теоретических исследований получена формула по которой рекомендуется рассчитывать амплитуду звукового давления P_A

$$P_A = \sqrt{\frac{2W}{S_t}} \sqrt[4]{\frac{\rho}{\beta_{ад}}}, \quad (1)$$

где W – мощность УЗО; S_t – площадь поверхности преобразователя; ρ и $\beta_{ад}$ – плотность и коэффициент адиабатической сжимаемости жидкости.

Сформулированы два условия, которые обеспечивают эффективное диспергирование раствора полимерного композита:

1) значения амплитуды звукового давления при УЗО должны находиться в интервале

$$2,0P_{атм} \leq P_A < 10P_{атм}, \quad (2)$$

где $P_{атм}$ – атмосферное давление;

2) максимально допустимый уровень раствора полимерного композита в ультразвуковой ванне $H_{доп}$ не должен быть больше N

$$H_{доп} \leq N, \quad (3)$$

где N – естественный фокус преобразователя.

Естественный фокус для дискового излучателя следует рассчитывать по формуле [16]

$$N = \frac{D^2}{4\lambda}, \quad (4)$$

где D – диаметр излучателя; λ – длина волны.

При восстановлении подшипниковых отверстий в корпусных деталях раствор полимерного материала наносят на изношенную поверхность последних. Полимерное покрытие после термической обработки имеет пористость. Поры являются инициаторами разрушения покрытия в процессе эксплуатации. Возникновение пор обусловлено испарением растворителя в жидком полимерном материале в ходе его отверждения. Поэтому снижение пористости покрытия, является важной технологической задачей [10, 15, 18, 19].

Дегазация – процесс уменьшения содержания газа в жидкости под воздействием ультразвуковых колебаний, который находится в ней в растворенном состоянии и в виде пузырьков [17]. Ультразвуковая дегазация состоит из двух этапов. На первом этапе дегазации пузырьки газа колеблются в акустическом поле. При этом размеры пузырьков увеличиваются благодаря диффузии в них растворенного газа. Рост пузырьков также обусловлен коалесценцией – это слияние пузырьков благодаря гидродинамическим потокам (силы Бернулли) и акустическим течениям (силы Бьеркнесса). На втором этапе ультразвуковой дегазации пузырьки газа, выросшие до определенного размера, всплывают на поверхность жидкости и лопаются.

В работе [15] исследовано влияние УЗО на дегазацию раствора эластомера Ф-40, наполненного микроразмерными частицами алюминия и бронзы. Установлено, что с уменьшением вязкости раствора эластомерного микрокомпозита наблюдается увеличение скорости всплытия пузырьков газа на поверхность и формируются более благоприятные условия для дегазации. С увеличением частоты и интенсивности ультразвуковых колебаний, возрастает скорость дегазации и уменьшается концентрация газа в жидкости. Благодаря УЗО раствора эластомерного микрокомпозита, количество испарившегося ацетона в 2,5 раза превышает аналогичный параметр при ручном смешении. В итоге значительно повышается качество полимерных покрытий: размер пор уменьшается до 2 раз, концентрация пор снижается до 30%, а площадь разрушенного покрытия уменьшается до 1,36 раза.

Представляют большой научный и практический интерес исследования влияния ультразвуковой обработки на качество диспергирования и дегазацию раствора композита

эластомера Ф-40С, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит-М», качество эластомерных нанокомпозитных покрытий.

Цель работы – исследование влияния ультразвуковой обработки на качество диспергирования и дегазацию раствора эластомерного нанокомпозита, качество эластомерных нанокомпозитных покрытий (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Материалы и методы. В качестве оценочного критерия качества смешения приняли вязкость раствора нанокомпозита после УЗО. Чем меньше вязкость, тем более равномерно распределен наполнитель в объеме полимерной матрицы [12]. Время при котором значения вязкости стабилизируются приняли за рациональное время озвучивания.

Вязкость раствора нанокомпозита определяли методом капиллярной вискозиметрии по ГОСТ 18249-72 [20]. Температуру раствора нанокомпозита измеряли инфракрасным пирометром Testo 830-T4, а остаточную массу в ходе дегазации – весами лабораторными М-ER 122ACF-3000.05.

Состав нанокомпозита: раствор эластомера Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч.

Образцы представляли собой пленки прямоугольной формы размерами: $50 \times 10 \times 0,15$ мм. Расчетная длина образца составляла 30 мм. Образцы подвергали двухступенчатой термической обработке в шкафу сушильном СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3: первая ступень $T=50^\circ\text{C}$ в течение $t=1$ ч, вторая ступень $T=150^\circ\text{C}$ в течение $t=2$ ч. После термической обработки образцы кондиционировали при комнатной температуре в течение 16 ч [21]. Предельное отклонение размеров образцов по длине и ширине не превышало $\pm 0,1$ мм.

Деформационно-прочностные свойства пленок нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С оценивали прочностью пленок при одноосном растяжении σ , относительным удлинением ε и удельной работой деформации при разрыве пленок α_p [22]. При испытании образцов использовали разрывную машину ИР 5082-50.

Дефектность образцов оценивали по ГОСТ 9407-84 [23]. Образцами являлись пленки нанокомпозитов, растворы которых подвергали ручному смешению и ультразвуковому диспергированию. Качество пленок оценивали по концентрации пузырьков (количество пузырьков на единицу площади) и площади разрушенного покрытия. При исследовании использовали микроскоп МПБ-2, обеспечивающий 24-х кратное увеличение

Результаты исследования. Эксперимент показал, что вязкость раствора нанокомпозита с увеличением времени УЗО понижается с 0,164 до 0,135 Па·с (рисунок 1). Максимальную вязкость $\eta=0,164$ Па раствор нанокомпозита имеет после УЗО в течение 2 мин. Затем, с увеличением времени УЗО, вязкость раствора падает. После УЗО в течение $t=6$ мин и более, значения вязкости раствора стабилизируются, достигнув минимального значения $\eta=0,135$ Па·с. Поэтому, чтобы добиться эффективного диспергирования, равномерного распределения частиц наполнителя по объему раствора нанокомпозита, необходимо последний подвергать УЗО в течение 6 мин.

Уменьшение вязкости объясняется не только диспергированием частиц наполнителя, но и повышением температуры раствора нанокомпозита в ходе УЗО. Благодаря кавитации, когда захлопываются полости третьей группы, это приводит к возникновению в микрообъемах очень высоких давлений – до 100 МПа, а также увеличению температуры в них до 1000°C . Поэтому при УЗО увеличивается температура раствора нанокомпозита (рисунок 2). В начале эксперимента, до начала УЗО раствор нанокомпозита имеет температуру $T=20^\circ\text{C}$. С увеличением времени УЗО до $t=8$ мин температура раствора нанокомпозита повышается по нелинейной зависимости до значения $T=53,5^\circ\text{C}$.

Рисунок 1 – Зависимость вязкости η раствора нанокompозита эластомера Ф-40С от времени ультразвуковой обработки t

Рисунок 2 – Зависимость температуры T раствора нанокompозита от времени t УЗО

При УЗО в течение $t=10$ мин температура раствора нанокompозита достигает $T=56^{\circ}\text{C}$ и ацетон в растворе закипает, что не допустимо. Поэтому, чтобы добиться эффективного диспергирования, равномерного распределения частиц наполнителя по объему раствора нанокompозита, необходимо последний подвергать УЗО в течение 6 мин.

На следующем этапе эксперимента исследовали дегазацию раствора нанокompозита по изменению остаточной массы материала после УЗО. Результаты исследования представлены на рисунке 3. Масса раствора нанокompозита до начала УЗО составляет $m=200$ г. С увеличением времени УЗО, благодаря испарению ацетона, остаточная масса раствора нанокompозита уменьшается по не линейной зависимости. После УЗО в течение остаточная масса раствора нанокompозита имеет минимальное значение. Испарение ацетона составляет 19,5 г или около 10% от первоначальной массы раствора нанокompозита. Столь существенное испарение ацетона способствует формированию минимальной пористости в эластомерном нанокompозитном покрытии.

Рисунок 3 – Зависимость остаточной массы m раствора нанокompозита от времени УЗО t

После формирования пленок нанокompозита оценивали дефектность последних. На рисунке 4 показана пористость образцов. Образцы, полученные при ручном смешении, имеют концентрацию пор $K_{\text{пор}}=1,6$ шт/см². Дефектность образцов, полученных после УЗО в 1,6 раза ниже и составляет $K_{\text{пор}}=1,0$ шт/см². Площадь разрушенной поверхности образцов, полученных при ручном смешении, составляет $S_p=20\%$ (рисунок 5). Аналогичный параметр дефектности для образцов, полученных после УЗО, в 1,33 раза ниже и составляет $S_p=15\%$.

На завершающем этапе эксперимента исследовали деформационно-прочностные свойства пленок нанокompозита, полученных ручным смешением и после УЗО. Образцы, полученные при ручном смешении, имеют прочность $\sigma=28,0$ МПа. Прочность образцов, полученных после УЗО увеличилась в 1,04 раза, до $\sigma=29,2$ МПа.

Деформация пленок, полученных при ручном смешении, составляет $\varepsilon=221\%$. Аналогичный параметр для образцов, полученных после УЗО, в 1,09 раза выше и составляет $\varepsilon=240\%$.

1 – после ручного смешения; 2 – ультразвукового диспергирования

Рисунок 4 – Концентрация пор в нанокompозитных покрытиях $K_{\text{пор}}$

1 – после ручного смешения; 2 – ультразвукового диспергирования
Рисунок 5 – Площадь разрушенного покрытия в нанокompозитных покрытиях S_p

Удельная работа разрушения образцов при одноосном растяжении для образцов, полученных при ручном смешении, составила $\alpha_p=35,8$ МДж/м³. Аналогичный параметр для образцов, полученных после УЗО, в 1,06 раза выше и составляет $\alpha_p=37,8$ МДж/м³.

Исходя из вышеизложенного, ультразвуковая обработка раствора нанокompозита улучшает качество нанокompозитных покрытий и повышает их деформационно-прочностные свойства.

Выводы 1. Определен рациональный режим ультразвуковой обработки раствора нанокompозита на основе эластомера Ф-40С, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит-М»: $N=55$ Ватт, $t=6$ мин.

2. Ультразвуковая обработка способствует дегазации раствора. Испарение ацетона составляет около 10% от первоначальной массы раствора нанокompозита, что способствует уменьшению пористости эластомерного нанокompозитного покрытия. По сравнению с ручным смешением, концентрация пор уменьшилась в 1,6 раза, а площадь разрушенной поверхности покрытия в 1,33 раза.

3. Ультразвуковое диспергирование и дегазация раствора нанокompозита повышают деформационно-прочностные свойства эластомерных нанокompозитных покрытий: прочность увеличивается на 4%, деформация в 1,09 раза, а удельная работа разрушения на 6%. Улучшение деформационно-прочностных свойств нанокompозита после ультразвуковой обработки повысит эффективность восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях 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. 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.
3. 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.
4. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
5. 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.
6. Углеродный наноматериал "Таунит" // Нанометр URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html

7. 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.
8. Ли, Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали / Р.И. Ли // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – №4. – С. 33-38.
9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 2, pp. 161–164.
10. 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.
11. Ли, Р.И. Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин [Текст] / Ли Р.И., Псарев Д. Н., Мироненко А. В., Кибя М. Р. // Клеи. Герметики. Технологии. – № 5. 2017. – С. 34-37.
12. 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.
13. 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.
14. Агранат, Б. А. Ультразвуковая технология / учебное пособие / Б. А. Агранат [и др.]. – Москва: изд-во «Металлургия», 1974. – 503 с.
15. 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.
16. Агранат, Б.А. Основы физики и техники ультразвука / учеб. пособие для вузов / Б. А. Агранат [и др.]. – М. : Высш. шк., 1987. – 352 с.
17. Бронин, Ф. А. Исследование кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле высокой интенсивности: дис. ...канд. техн. наук. / Бронин Ф. А. – М., 1966. – 264 с.
18. 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.
19. 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.
20. ГОСТ 18249-72. Пластмассы. Метод определения вязкости разбавленных растворов полимеров. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.
21. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
22. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
23. ГОСТ 9.407-84. Покрyтия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.

References

1. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Povyshenie stojkosti polimernyh kompozitov holodnogo otverzheniya k vozdeystviyu rabochih zhidkostej ispol'zovaniem nanomaterialov // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2015. № 1. S. 89–94.
2. Zhachkin S.YU., Pen'kov N.A., Mandrykin I.A., Belencov V.G. Intensifikaciya vosstanovleniya detalej sel'hozmashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove hroma // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2019. №3 (32) . S. 49-54.
3. Kolomejchenko, A.V. Tekhnologiya vosstanovleniya s uprochneniem detalej mashin na osnove primeneniya mikrodogovogo 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. Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj tekhniki / R.I. Li // Lipeck : Izd-vo LGTU, 2014. – 379 s.
5. Li, R. I. Polimernye kompozicionnye materialy dlya fiksacii podshipnikov kacheniya v uzлах mashin monografiya / R.I. Li. – Lipeck: Izd-vo Lipeckogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017. – 224 s.
6. Uglerodnyj nanomaterial "Taunit" // Nanometr URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html
7. 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.
8. Li, R.I. Usloviya formirovaniya ravnomernogo polimernogo pokrytiya na naruzhnoj poverhnosti vrashchayushchejsya cilindricheskoj detali / R.I. Li // Klei. Germetiki. Tekhnologii – 2015. – №4. – S. 33-38.
9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 2, pp. 161–164.
10. 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.
11. Li, R.I. Perspektivnyj polimernyj material dlya vosstanovleniya korpusnyh detalej mashin [Tekst] / Li R.I., Psarev D. N., Mironenko A. V., Kiba M. R. // Klei. Germetiki. Tekhnologii. – № 5. 2017. – S. 34-37.
12. 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.
13. 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.
14. Agranat, B. A. Ul'trazvukovaya tekhnologiya / uchebnoe posobie / B. A. Agranat [i dr.]. – Moskva.: izd-vo «Metallurgiya», 1974. – 503 s.
15. 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.
16. Agranat, B.A. Osnovy fiziki i tekhniki ul'trazvuka / ucheb. posobie dlya vuzov / B. A. Agranat [i dr.]. – M. : Vyssh. shk., 1987. – 352 s.
17. Bronin, F. A. Issledovanie kavitacionnogo razrusheniya i dispergirovaniya tverdyh tel v ul'trazvukovom pole vysokoj intensivnosti: dis. ...kand. tekhn. nauk. / Bronin F. A. – M., 1966. – 264 s.
18. Mironenko, A. V. Povyshenie dolgovechnosti rolkopodshipnikovyh uzlov v korpusnyh detalyah avtomobilej, vosstanovlennyh kompoziciej adgeziva AN-110: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: / Mironenko A. V. – Orel, 2017. – 179 s.
19. 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.
20. GOST 18249-72. Plastmassy. Metod opredeleniya vyazkosti razbavlenykh rastvorov polimerov. – M.: Izd-vo standartov, 1974. – 6 s.
21. GOST 12423-66. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 6 s.
22. GOST 14236-81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie. – M.: Izd-vo standartov, 1982. – 10 s.
23. GOST 9.407-84. Pokrytiya lakokrasochnye. Metod ocenki vneshnego vida. – M.: Izd-vo standartov, 1984. – 8 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.

Киба 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”, 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 – Candidate of Technical Sciences, assistant 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 – graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 05.07.2021 Принята к публикации (Accepted): 16.08.2021

УДК 621.892.2

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-4-115-123

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ВНЕДРЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОВЕРХНОСТЬ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ И ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ

¹Воронин Николай Владимирович

¹Филатов Иван Сергеевич

¹Родионов Юрий Викторович

¹Никитин Дмитрий Вячеславович

¹Махмуд Мохаммед Али Сами

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

ТОГБПОУ «Приборостроительный колледж»

Реферат. Ряд деталей сельскохозяйственной техники изготавливается из термопластичных материалов, одним из основных недостатков которых является недостаточная стойкость поверхности к трению при длительной работе. Для решения данной проблемы предлагается внедрение в трущиеся участки поверхности деталей из полимерных материалов частиц металла, обладающего гораздо большей износостойкостью и твердостью. Исследовали влияние параметров процесса внедрения ферромагнитных частиц железа, никеля и кобальта в поверхностный слой образцов из полипропилена. Использовано совместное воздействие внешнего теплового потока, направленного на модифицируемую поверхность полимера, и магнитного поля, действующего с обратной стороны поверхности полимера. Показано влияние расстояния от среза сопла теплогенератора до поверхности полимера, температуры, скорости движения потока нагретого воздуха и напряженности магнитного поля на поверхностную плотность распределения частиц в поверхностном слое полипропилена. Установлены наиболее эффективные