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

[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Филатов Иван Сергеевич
[1]Родионов Юрий Викторович
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1]Махмуд Мохаммед Али Сами

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ТОГБПОУ «Приборостроительный колледж»

Реферат. *Ряд деталей сельскохозяйственной техники изготовляется 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*

параметры процесса магнито-термического насыщения поверхности образцов из полипропилена: напряженность магнитного поля H=42 кА/м, температура на срезе сопла $T_{нагр}$=230°С, расстояние от среза сопла до образца 80 мм, сила тока I=4 А, напряжение U=10 В. Показана принципиальная возможность получения армированного ферромагнетиком поверхностного слоя в изделиях из термореактивных полимеров непосредственно в процессе их изготовления. Указаны дальнейшие пути совершенствования данной технологии и области ее применения.

Ключевые слова: *трение, износ, полимерные материалы, поверхностное упрочнение, магнитотермия.*

THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROCESS OF INTRODUCING FERROMAGNETIC MATERIALS INTO THE SURFACE OF THERMOPLASTIC AND THERMOSETTING POLYMERS FOR AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

[1]Voronin Nikolay
[1]Filatov Ivan
[1]Rodionov Yuri
[1]Nikitin Dmitry
[1]Mahmood Mohammed Ali Sami
[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"
[2]Instrument making College

Abstract. *A number of parts of agricultural machinery are made of thermoplastic materials, one of the main disadvantages of which is the insufficient resistance of the surface to friction during long-term operation. The introduction of metal particles with a much higher wear resistance and hardness into the rubbing areas of the surface of parts made of polymeric materials is proposed to solve this problem. The influence of the parameters of the process of introducing ferromagnetic particles of iron, nickel and cobalt into the surface layer of polypropylene samples was investigated. A combined effect of an external heat flux directed at the modified polymer surface and a magnetic field acting on the reverse side of the polymer surface was used. The influence of the distance from the cutoff of the heat generator nozzle to the polymer surface, temperature, speed of heated air flow and magnetic field intensity on the surface density of the distribution of particles in the surface layer of polypropylene is shown. The most effective parameters of the process of magneto-thermal saturation of the surface of polypropylene samples were established: magnetic field strength H = 42 kA / m, temperature at the nozzle exit T heat = 230 °C, distance from the nozzle exit to the sample 80 mm, current I = 4 A, voltage U = 10 V. The fundamental possibility of obtaining a surface layer reinforced with a ferromagnet in articles made of thermosetting polymers directly in the process of their manufacture is shown. Further ways of improving this technology and areas of its application are indicated.*

Keywords*: friction, wear, polymer materials, surface hardening, magnetic thermia.*

Введение. В настоящее время ряд деталей сельскохозяйственной техники изготовляются из термопластичных материалов - это, в частности, втулки звездочек сеялки СКП-2.1, лопатки рабочих колес жидкостнокольцевых вакуум-насосов и т.д. [3-4,8-10]. Одним из основных недостатков деталей из полимерных материалов является недостаточная стойкость поверхности к трению при длительной работе. Это ведет к необходимости частой смены быстроизнашивающихся узлов, переводя их в разряд «расходников» и влечет за собой частую сборку-разборку узлов и механизмов, снижая общую надежность техники. Для решения данной проблемы предлагается внедрение в трущиеся участки поверхности деталей из полимерных материалов частиц металла, обладающего гораздо большей износостойкостью и твердостью по отношению к практически любым термопластичным полимерам.

Цель работы. В данной работе рассматривается практическая возможность осуществления метода упрочнения поверхности деталей из термопластических материалов и показываются степени влияния основных технологических параметров метода на процесс активного внедрения металлических частиц в их поверхность.

Материалы и методы. Изучением различных свойств полимерных материалов и путей улучшения их эксплуатационных характеристик занимается большое количество как зарубежных, так и отечественных ученых, среди которых Баронин Г.С., Кербера М.Л. и других [3-7]. Температура структурной деструкции наиболее широко применяемых в промышленности и технике термопластичных полимеров не превышает 150 °С. В то же время удельная теплоемкость термопластов составляет 1,93-2,9 кДж/(кг·°С), коэффициент теплопроводности – 0,1-0,35 Вт/(м·°С), а удельная теплоемкость конструкционных металлов и сплавов металлов и сплавов – 0,1-2 кДж/(кг·°С), коэффициент теплопроводности имеет очень широкий диапазон – 15-550 Вт/(м·°С). Все это ведет к тому, что в случае нагрева тепловым потоком извне дисперсных и ультрадисперсных металлических частиц, помещенных на поверхность термопластичного полимера, до температуры выше температуры его размягчения, эти частицы вплавятся в полимерную поверхность и после остывания надежно зафиксируются в ней за счет обхватывания их остывшим термопластом [1-3, 8-10].

Вместе с этим необходимо обеспечить четкое расположение этих частиц и создать дополнительное усилие для внедрения их в поверхность. В связи с этим в настоящей работе было использовано совместное воздействие внешнего теплового потока, направленного на модифицируемую поверхность полимера, и магнитного поля, действующего с обратной стороны поверхности полимера.

Естественно, в качестве металлов для упрочнения возможно использовать явно выраженные ферромагнетики – железо, никель и кобальт.

Экспериментальная установка для прототипирования технологии показана на рисунке 1.

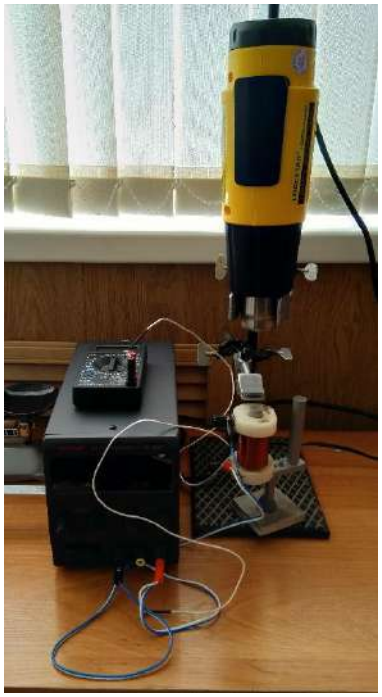

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для прототипирования технологии магнито-термического упрочнения.

Она состоит из вертикальной штанги с установленными на ней держателями генератора теплового потока, держателя модифицируемых образцов, катушки-электромагнита и регулируемого источника постоянного тока для питания катушки. Генератор теплового потока и образец полимера могут перемещаться в широких диапазонах относительно друг друга и электромагнита. Генератор теплового потока имеет трехступенчатую настройку расхода воздуха и

электронную настройку температуры. Температура в месте контакта металлических частиц и поверхности полимера измерялась электронным термометром с термопарой типа ХК.

В качестве внедряемого материала в настоящей работе использовались порошок никеля ПНК-УТ3 с размерностью частиц 40 и 20 мкм. Данный порошок внедрялся в поверхность образцов из полипропилена «Бален 01270» в виде квадратов со стороной 30 мм и толщиной 1,4 мм, что обеспечивает четкую фиксацию образцов в держателе и позволяет провести насыщение поверхности металлом в любой удобной точке. С целью повышения свободной энергии поверхности образцы матировались до шероховатости поверхности Rz40…Rz80.

На первом этапе экспериментов образцы располагались на сердечнике электромагнита с целью максимального использования энергии магнитного поля, в поверхность внедрялся порошок никеля размерностью 40 мкм, подаваемая на многослойную катушку мощность составляла в среднем 40 Вт (таблица 1), что обеспечивало среднюю напряженность магнитного поля на поверхности образца 42 кА/м, намагничивающая сила катушки составила 1920 А-в.

Таблица 1 – Значения параметров режимов магнито-термической обработки

№ п/п	Материал образца	Расст. от сопла до образца, мм	Температура нагревателя $T_{нагр}$, °С	Температура в месте контакта порошка с образцом $T_{обр}$, °С	Сила тока катушки, А	Напряжение катушки, В	Размерность порошка никеля, мкм
1	Полипропилен	50	170	155	4	10	40
2		50	170	140	4,03	8,7	40
3		50	190	155	4,5	10,3	40
4		50	210	180	4	10	40
5		50	240	210	4,7	10,2	40
6		50	210	195	4,5	10,5	40
7		50	230	210	4	10,5	40
8		50	230	212	4,2	10	40
9		50	230	210	1,1	2,5	40
10		50	220	210	1	2,2	40
11		80	230	202	4	9,7	40
12		80	240	209	4	8,5	20

Результаты и их обсуждение. Перед началом эксперимента были определены зависимости скорости воздушного потока, выдаваемого тепловым генератором на различных режимах, измерения проводились ручным чашечным анемометром. Зависимости скорости воздуха от расстояния до среза сопла на трех стандартных режимах теплогенератора приведены на рисунке 2.

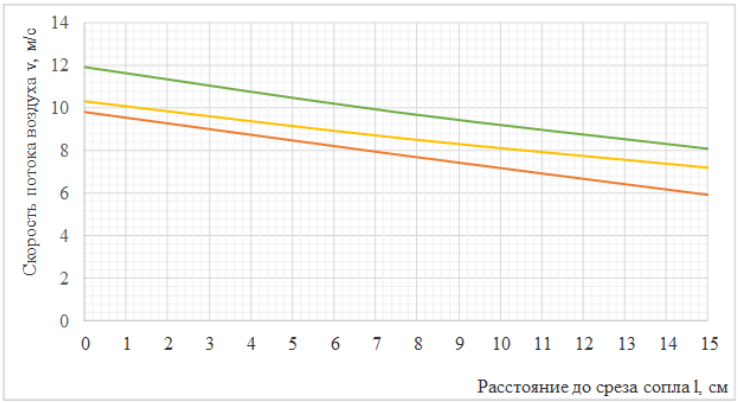

Рисунок 2 – Зависимости скорости воздуха от расстояния до среза сопла на трех стандартных режимах работы источника теплоты

Проведенные эксперименты показали, что оптимальным является расстояние в 80 мм на первой ступени подачи воздуха, что соответствует скорости воздуха в 7,5 м/с. На больших расстояниях недостаточность теплового потока приводила к нестабильности распределения частиц в намагничиваемой области. Меньшее расстояние вело к чрезмерному потоку воздуха, вызывающему эффект заплавления технологической шероховатости поверхностного слоя полимера, повышению поверхностного натяжения и невозможности вплавления дисперсных частиц металла в поверхность.

Несмотря на малую толщину образцов, наблюдался существенный отвод тепла в железный сердечник соленоида. Как следствие, внедрение частиц непосредственно в намагничиваемую область было затруднительно. В то же время на периферии наблюдалось подплавление поверхности с ясно различаемыми вкраплениями металлического порошка (рисунок 3).

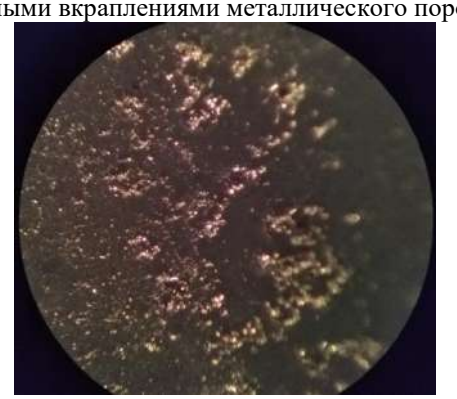

Рисунок 3 – Микроструктура поверхности образца.

Для стабилизации расположения частиц на поверхности расстояние от теплогенератора до поверхности было увеличено до 80 мм, скорость истечения воздуха составила на первой ступени 7,5 м/с. Это дало возможность избавиться от подплавления периферии и получить стабильное распределение частиц порошка по поверхности. В то же время вследствие теплоотвода на сердечник магнита оставалась нестабильность распределения внедренных частиц в намагничиваемой области. Для решения задачи был создан зазор в 1,5 мм между нижней поверхностью образца и сердечником. Плотность магнитного поля уменьшилась несущественно, но отсутствие теплоотвода дало равномерный прогрев поверхности и стабильную плотность распределения внедренных частиц (рисунок 4).

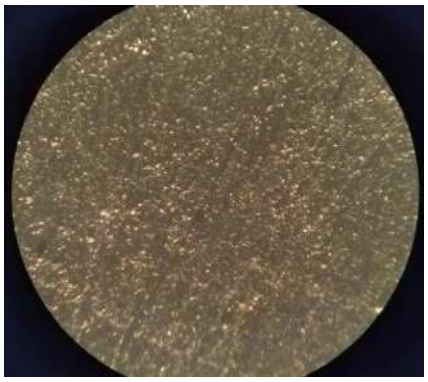

Рисунок 4 – Микроструктура поверхности образца.

Воздействие на поверхность небольшим усилием трения не выявило при последующем микроскопическом исследовании вырывания частиц с поверхности, что можно считать положительным результатом.

Анализируя изменение массы образцов (талица 2), можно судить о количестве внедряемого в поверхность полимеров металла и о средней плотности распределения частиц (площадь намагничиваемой поверхности и дисперсность частиц порошка оставались неизменны).

Таблица 2 – Изменение массы образцов после обработки

№ п/п	Начальная масса образца, г	Масса образца после обработки, г	Размерность порошка никеля, мкм
1	2,42	2,45	40
2	2,20	2,20	40
3	2,20	2,22	40
4	2,20	2,25	40
5	2,10	2,15	40
6	2,50	2,57	40
7	2,00	2,11	40
8	1,90	2,15	40
9	2,00	2,20	40
10	2,30	2,45	40
11	1,80	1,97	40
12	2,10	2,17	20

Таким образом, наиболее эффективным можно считать следующие параметры процесса магнито-термического насыщения поверхности образцов из полипропилена: напряженность магнитного поля H=42 кА/м, температура на срезе сопла $T_{нагр}$=230°C, расстояние от среза сопла до образца 80 мм, сила тока I=4 А, напряжение U=10 В. Это дает температуру материала на поверхности контакта с порошком 200°C, однако при этом отсутствовало заметное размягчение образца.

В случае модификации поверхности термореактивных полимеров отсутствует необходимость нагрева поверхности, так как ферромагнитный порошок внедряется в нее непосредственно в процессе изготовления изделия. Поэтому для проведения эксперимента использовалась только магнитная система из предыдущего эксперимента. В качестве термореактивного полимера использовался двухкомпонентный состав ЭДП на основе эпоксидной смолы. Суть эксперимента заключалась в получении детали с размерами и формой, соответствующей внутренней поверхности стальной формы. Частицы порошка удерживались на внутренней поверхности формы магнитным полем напряженностью H = 42 кА/м. Подготовленный состав внедрялся в форму под давлением до полного ее заполнения. После извлечения образца из формы была проведена оценка изменения массы и под микроскопом изучена полученная поверхность (рисунок 5).

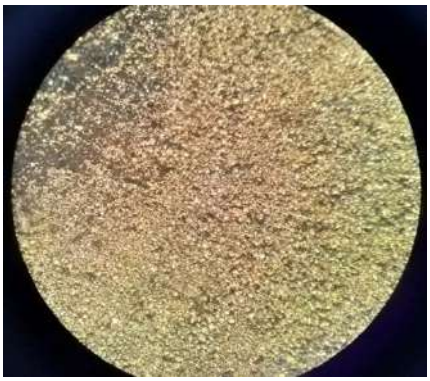

Рисунок 5 – Микроструктура поверхности образца термореактивного полимера магнито-термического воздействия. Увеличение 100х.

Выяснено, что при удельном давлении 5 кг/см^2 в процессе запрессовки процент площади занимаемой порошком поверхности составляет не менее 95%, т.е. весь порошок внедрился в поверхность. Также было проведено абразивное воздействие на поверхность трением ее по поверхности детали из дюралюминия Д16 с удельным усилием 1 кг/см^2 и скоростью 10 см/сек. После 10-секундного абразивного воздействия измерение массы и структуры показало отсутствие изменения массы у полимерного образца и неизменную плотность распределения частиц порошка.

Это показывает достаточную прочность удержания частиц на поверхности. Изучение под микроскопом поверхности дюралюминия выявило следы абразивного износа, т.е. по факту поверхностная твердость полимера практически равна поверхностной твердости внедренного порошка (рисунок 6).

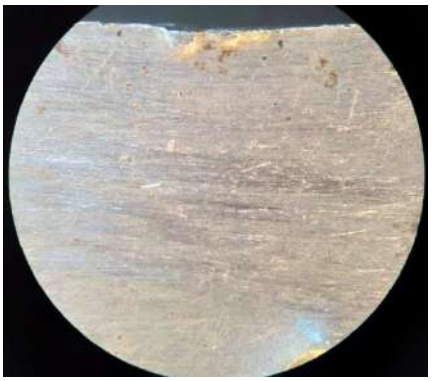

Рисунок 6 – Поверхность образца из дюралюминия после абразивного воздействия армированного образца. Увеличение 30х.

Разрабатываемая технология позволит улучшить эксплуатационные характеристики различных деталей маши и оборудования АПК – зубчатых колес, уплотнений, лопаток жидкостнокольцевых вакуум-насосов и т.д. В настоящее время активно проводятся дополнительные исследования, направленные на расширение сферы применения данной технологии и отработку процесса внедрения значительно более мелкодисперсных частиц ферромагнетика и металлизацию поверхности образцов термопластичных и термореактивных полимеров [8-10].

Выводы. Показана возможность применения новой технологии поверхностного упрочнения деталей из полимерных материалов, сочетающий в себе совместное действие магнитного и термического полей для диффузии частиц металлического порошка внутрь поверхности полимера. Для этого в работе был применен порошок никеля (средний размер частиц порошка – 40 мкм). В процессе проведения экспериментов было установлено, что температура поверхности в процессе ее металлизации должна быть не менее 100°С, а индукция магнитного поля – не менее 650 Гс. В случае металлизации поверхности изделий из термореактивных полимеров было установлено, что напряженность магнитного поля, удерживающая внедряемый порошок на поверхности формы, должна быть не менее 20 кА/м, чтобы исключить как самопроизвольное смещение порошка, так и в его движение при воздействии вязкого реактопласта на стенки формы.

Намечены направления дальнейших экспериментальных исследований для практического применения разрабатываемой технологии, разрабатывается математическая модель, описывающая происходящие процессы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №20-33-90298/20, конкурс «Аспиранты», 2020г.

Список литературы

1. Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, И. С. Филатов, Д. В. Никитин. Современное состояние использования и производства деталей и узлов из полимеров для техники агропромышленного комплекса // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции "Цифровизация агропромышленного комплекса". В 2-х т. - Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – Том 2, стр. 29-34.

2. Воронин Н.В., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Филатов И.С. Влияние шероховатости поверхности конструкционных материалов на их биологическую и коррозионную активность. // Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции СЭТТ-2020. - М.: ООО "Мегаполис", 2020. - С. 196-200.

3. Баронин Г.С., Бузник В.М., Мищенко С.В., Родионов Ю.В., Воробьев Ю.В., Ушаков Н.В., Завражин Д.О., Кобзев Д.Е., Кузьмин А.П., Хрущев С.П., Воронин Н.В. Полимерные нанокомпозиты и изделия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (свмпэ), полученные

объемной штамповкой в твердой фазе / В сборнике: Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент Материалы VIII Международной научно-инновационной молодёжной конференции. 2016. С. 28-33.

4. Костенко В.А., Бичевий Л.С., Горбаткина Ю.А., Корохин Р.А., Кербер М.Л., Иванова-Мумжиева В.Г., Горбунова И.Ю. Адгезионные свойства эпоксидного олигомера, модифицированного смесью двух термопластов // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. № 9. С. 10-15.

5. Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Blokhin A.N., Tarov V.P., Baronin G.S. Resource-saving production technology of products made of polymeric material: problem and solution // / В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. С. 275-280.

6. D. D. L. Chung. Thermoelectric polymer-matrix structural and nonstructural composite materials. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. Volume 1, Issue 1. October 2018, Pages 61-65. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2018.04.001

7. Junjie Chen, Baofang Liu, Xuhui Gao. Thermal properties of graphene-based polymer composite materials: A molecular dynamics study. Results in Physics, Volume 16, March 2020, Article 102974. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.102974

8. Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Махмуд М.А.С., Горюшин Р.С. Конструктивные пути и принципы автоматизации повышения эффективности жидкостно-кольцевых вакуум-насосов // В сборнике: Научные достижения высшей школы 2020. сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 2020. С. 99-105.

9. Родионов Ю.В., Селиванов Ю.Т., Никитин Д.В., Сычев М.В., Комбарова П.В. Новая конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2019. № 6. С. 22-25.

10. Воронин Н.В., Родионов Ю.В., Скоморохова А.И., Никитин Д.В., Галкин П.А., Филатов И.С. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров // Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 85-97.

References

1. N. V. Voronin, YU. V. Rodionov, I. S. Filatov, D. V. Nikitin. Sovremennoe sostoyanie ispol'zovaniya i proizvodstva detalej i uzlov iz polimerov dlya tekhniki agropromyshlennogo kompleksa // Sbornik trudov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Cifrovizaciya agropromyshlennogo kompleksa". V 2-h t. - Tambov: Izdatel'skij centr FGBOU VO «TGTU», 2020. – Tom 2, str. 29-34.

2. Voronin N.V., Rodionov YU.V., Nikitin D.V., Filatov I.S. Vliyanie sherohovatosti poverhnosti konstrukcionnyh materialov na ih biologicheskuyu i korrozionnuyu aktivnost'. // Sbornik nauchnyh trudov Sed'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii SETT-2020. - M.: OOO "Megapolis", 2020. - S. 196-200.

3. Baronin G.S., Buznik V.M., Mishchenko S.V., Rodionov YU.V., Vorob'ev YU.V., Ushakov N.V., Zavrazhin D.O., Kobzev D.E., Kuz'min A.P., Hrushchev S.P., Voronin N.V. Polimernye nanokompozity i izdeliya na osnove sverhvysokomolekulyarnogo polietilena (svmpe), poluchennye ob"emnoj shtampovkoj v tverdoj faze / V sbornike: Sovremennye tverdofaznye tekhnologii: teoriya, praktika i innovacionnyj menedzhment Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-innovacionnoj molodyozhnoj konferencii. 2016. S. 28-33.

4. Kostenko V.A., Bichevij L.S., Gorbatkina YU.A., Korohin R.A., Kerber M.L., Ivanova-Mumzhieva V.G., Gorbunova I.YU. Adgezionnye svojstva epoksidnogo oligomera, modificirovannogo smes'yu dvuh termoplastov // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2019. № 9. S. 10-15.

5. Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Blokhin A.N., Tarov V.P., Baronin G.S. Resource-saving production technology of products made of polymeric material: problem and solution // / V sbornike: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. S. 275-280.

6. D. D. L. Chung. Thermoelectric polymer-matrix structural and nonstructural composite materials. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. Volume 1, Issue 1. October 2018, Pages 61-65. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2018.04.001

7. Junjie Chen, Baofang Liu, Xuhui Gao. Thermal properties of graphene-based polymer composite materials: A molecular dynamics study. Results in Physics, Volume 16, March 2020, Article 102974. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.102974

8. Rodionov YU.V., Nikitin D.V., Mahmud M.A.S., Goryushin R.S. Konstruktivnye puti i principy avtomatizacii povysheniya effektivnosti zhidkostno-kol'cevyh vakuum-nasosov // V sbornike: Nauchnye dostizheniya vysshej shkoly 2020. sbornik statej Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. Petrozavodsk, 2020. S. 99-105.

9. Rodionov YU.V., Selivanov YU.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novaya konstrukciya zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2019. № 6. S. 22-25.

10. Voronin N.V., Rodionov YU.V., Skomorohova A.I., Nikitin D.V., Galkin P.A., Filatov I.S. Teoreticheskie issledovaniya kontaktnyh i izgibnyh napryazhenij lopatok rabochego kolesa i korpusa zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa iz polimerov // Nauka v central'noj Rossii. 2020. № 3 (45). S. 85-97.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: ridder@mail.ru

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Махмуд Мохаммед Али Сами – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: mr.mohammedali1993@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Voronin Nikolay – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Philatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: ridder@mail.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

Mahmood Mohammed Ali Sami – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 12.07.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.08.2021