

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 621.892.2

Перспективы металлизации изделий агропромышленного комплекса из реактопластов в процессе формования

Воронин Н.В., Филатов И.С., Родионов Ю.В.

Аннотация. На сегодняшний день одной из актуальных задач является улучшение эксплуатационных характеристик полимерных изделий, используемых в машинах и агрегатах различных отраслей промышленности – агропромышленного комплекса (АПК), машиностроения и т.д. Несмотря на высокую технологичность термопластов, особо ответственные изделия изготавливают из термореактивных полимеров на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол. На основе технологии магнито-термического армирования поверхности термопластов была разработана аналогичная технология применительно к изделиям из реактопластов непосредственно в процессе их получения. В ней используется пресс-форма из ферромагнитного материала, по периметру которой располагается система электромагнитов, не допускающих смещения частиц вдоль внутренней поверхности формы в течение всего процесса получения металлизированного поверхностного слоя на изделии. Полученные экспериментальные образцы показали триботехнические и механические свойства поверхности, сравнимые с аналогичными свойствами армирующего материала (поверхностная твердость выросла с 30-40 МПа до 150-240 МПа). Разработанная технология открывает широкие возможности модифицирования поверхностей изделий широкого спектра назначения, изготавливаемых из практически любых полимерных материалов, так как особенностью данной технологии является внедрение армирующих частиц в заведомо вязкий слой полимера непосредственно в процессе формования изделий.

Ключевые слова: электромагнитное удержание частиц, ноль-мерное армирование, сельскохозяйственная техника, термопласты, реактопласты, износостойкость.

Для цитирования: Воронин Н.В., Филатов И.С., Родионов Ю.В. Перспективы металлизации изделий агропромышленного комплекса из реактопластов в процессе формования // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 3. С. 42–47.

Prospects of metallization of agro-industrial complex products from reactoplasts in the process of their molding

Voronin N.V., Filatov I.S., Rodionov Yu.V.

Abstract. To date, one of the urgent tasks is to improve the performance characteristics of polymer products used in machines and aggregates of various industries – agro-industrial complex (AIC), mechanical engineering, etc. Despite the high manufacturability of thermoplastics, especially responsible products are made of thermosetting polymers based on epoxy and phenol-formaldehyde resins. Based on the technology of magneto-thermal reinforcement of the thermoplastics surface, a similar technology has been developed in relation to products made of reactoplastics directly in the process of their production. It uses a mold made of ferromagnetic material, along the perimeter of which there is a system of electromagnets that prevent the displacement of particles along the inner surface of the mold during the entire process of obtaining a metallized surface layer on the product. The experimental samples obtained showed

tribotechnical and mechanical properties of the surface comparable to similar properties of the reinforcing material (surface hardness increased from 30-40 MPa to 150-240 MPa). The developed technology opens up wide possibilities for modifying the surfaces of products of a wide range of purposes made from almost any polymer materials, since the feature of this technology is the introduction of reinforcing particles into a notoriously viscous polymer layer directly during the molding of products.

Keywords: electromagnetic particle retention, zero-dimensional reinforcement, agricultural machinery, thermoplastics, reactoplastics, wear resistance.

For citation: Voronin N.V., Filatov I.S., Rodionov Yu.V. Prospects of metallization of agro-industrial complex products from reactoplasts in the process of their molding. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 3. pp. 42–47. (In Russ.).

Введение

В ряде случаев экономически и технически более выгодным является применение термореактивных полимеров для изготовления нагруженных деталей машин и механизмов АПК – валы транспортёрных лент, втулки сеялок и т.д. Использование фенолформальдегидных и эпоксидных смол, армированных полимерными волокнами, позволяет получить одновременно прочные и жесткие изделия. Однако в случае работы деталей в узлах трения поверхностная твердость недостаточна по сравнению с металлическими аналогами подобных изделий. В то же время пластиковые изделия существенно технологичнее металлических. Решением данного вопроса может стать доработка технологии магнито-термического армирования термопластов [1] с последующим применением к термореактивным материалам непосредственно в процессе получения изделий из них.

Целью работы является совершенствование технологии магнито-термического поверхностного армирования для модифицирования деталей из термореактивных полимеров.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является метод поверхностного армирования полимерных сельскохозяйственных изделий, а также оборудование для его реализации.

Исследованием технологий изготовления и модификации полимерных деталей механизмов и машин занимается большое количество отечественных и зарубежных ученых – М.Ф. Зонненшайн, М.Л. Кербер, В.Б. Узденский, Э. Баур, Г.С. Баронин, Д.В. Никитин и другие. Для повышения надежности деталей используется армирование, ориентационное упрочнение и другие способы улучшения характеристик деталей. [2-10]. Базовый вариант предлагаемой технологии армирования подразумевает модификацию поверхности уже готовых полимерных изделий. Также разработан вариант технологии для армирования изделий в процессе их изготовления.

Формование полимерных изделий в подавляющем большинстве случаев ведется в стальные формы. Это позволяет создать систему, равномерно распределяющую внешнее магнитное поле по объему и внутренней поверхности этой формы. Магнитное поле формируется равномерно расположенными по

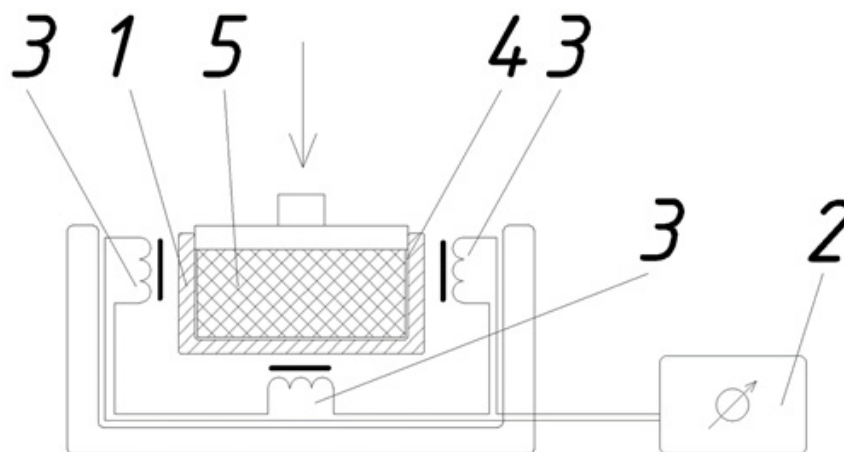


Рис. 1. Схема установки для реализации технологии магнито-термического армирования: 1 – пресс-форма; 2 – источник питания магнитной системы; 3 – электромагниты; 4 – слой ферромагнитного порошка; 5 – термореактивный полимер.

внешней поверхности формы электромагнитами. Аналогично магнито-термическому армированию термопластов, в начальный момент времени магнитная система работает в режиме «удержания» частиц на поверхности с малым энергопотреблением. Это дает возможность перед формовкой равномерно расположить армирующие частицы ферромагнетика по внутренней поверхности формы. Затем магнитная система выводится на режим фиксации частиц в форме, после чего в форму под давлением поступает полимер и происходит формование изделия. После снятия давления формования магнитное поле отключается, что дает возможность беспрепятственного обволакивания полимеризующимся пластиком армирующей поверхности частиц и, как следствие, фиксации в ней. После извлечения из формы и полного формирования структуры полимера получается изделие с внутренней структурой терморезистивного пластика и внедренными в поверхность армирующими частицами металла в ультрадисперсном состоянии.

В процессе исследований и проведенных экспериментов были изготовлены образцы из эпоксидных смол, сформированные в цилиндрических формах из конструкционной стали. Проведенные триботехнические измерения показали, что поверхность изделий по твердости и износостойкости практически не отличается от таковых свойств армирующего материала, работа в условиях трения не вызвала выкрашивания частиц с поверхности образца, а шероховатость поверхности оказалась не выше половины от размера главной фракции армирующих частиц. Все это создает предпосылки к разработке универсальной технологии получения изделий высокой прочности и поверхностной твердости из терморезистивных материалов в процессе их получения. С незначительными изменениями она применима для армирования поверхности изделий из термопластов в процессе их получения.

Разработанная экспериментальная установка для отработки разработанного метода представлена на рис. 1.

Основной функциональной задачей, созданной установки, являлось формирование слоя равномерно расположенных частиц из ферромагнитного материала с обеспечением их надежной фиксации в поверхностном слое полимера вследствие внедрения их под давлением в процессе запрессовки полимера в форму и последующего обхватывания их поверхностью полимеризующегося пластика. Для этой цели была разработана установка, состоящая из пресс-формы 1, источника питания магнитной системы 2 и электромагнитов 3. Генератор теплового потока, как в изначальном варианте технологии, не нужен, так как в данном случае формованию подвергается уже вязкий полимер [5-7].

В данной технологии ферромагнитные частицы не подвергаются существенному нагреву, поэтому возможно использование ультрадисперсных частиц железа, различных сталей и других ферромагнетиков. Для удержания на поверхности частиц никеля на катушки подавался ток 1,1...1,3 А, что формировало

необходимое для удержания частиц на поверхности формы магнитное поле напряженностью 12...15 кА/м. В режиме фиксации сила тока достигала 4,2...4,5 А с формированием магнитного поля напряженностью более 45 кА/м. В качестве полимера использовался состав на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20. Форма была изготовлена в виде цилиндра с внутренним диаметром 20 мм, высотой 20 мм и толщиной стенок 3 мм. Магнитная система состояла из последовательно соединенных катушек, намотанных медным проводом диаметром 0,5 мм на сердечник диаметром 12 мм и длиной 40 мм. Питание осуществлялось лабораторным источником постоянного тока УХ-Р305D с возможностью регулировки выходного тока и напряжения. Для контроля температур в рабочей зоне установки использовались мультиметры DT-838 с термопарами типа ХК. Также в экспериментах для исследования структуры образцов был использован микроскоп МБС-9.

Результаты и их обсуждение

Особенностью разрабатываемого метода являлось использование металлических частиц (металлического порошка) с явно выраженными ферромагнитными свойствами – например, железо, никель и кобальт.

Изменение химических свойств поверхности порошка минимально вследствие незначительного температурного воздействия, что дает возможность использования практически любых ферромагнитных материалов (железо, никель, кобальт и их сплавы).

В отличие от базового варианта технологии, магнито-термическое армирование реактопластов не подразумевает нагрев, так как процесс внедрения частиц ферромагнитного порошка происходит во время формования конечного изделия. По этой причине при проведении экспериментов использовалась только магнитная система. Формовка образцов проводилась в стальной цилиндрической форме с толщиной стенки 4 мм, внутренним диаметром 20 мм и глубиной 20 мм. В качестве исходного реактопласта был применен двухкомпонентный состав марки ЭД-20 на основе эпоксидной смолы.

На данном этапе проверялась возможность получения изделий из реактопластов с повторением внешней поверхностью внутренних контуров формы, одновременно с этим происходило армирование поверхности никелевым ферромагнитным порошком марки ПНК-УТЗ, аналогичным использованному ранее. Для удержания частиц порошка на внутренней поверхности формы было использовано магнитное поле с теми же значениями напряженности, что и в предыдущем варианте установки. Перемешанный до однородного состояния композит заполнял форму под давлением до полного ее заполнения. По окончании полимеризации состава и извлечения образца из формы была изучена структура полученной поверхности (рис. 2).

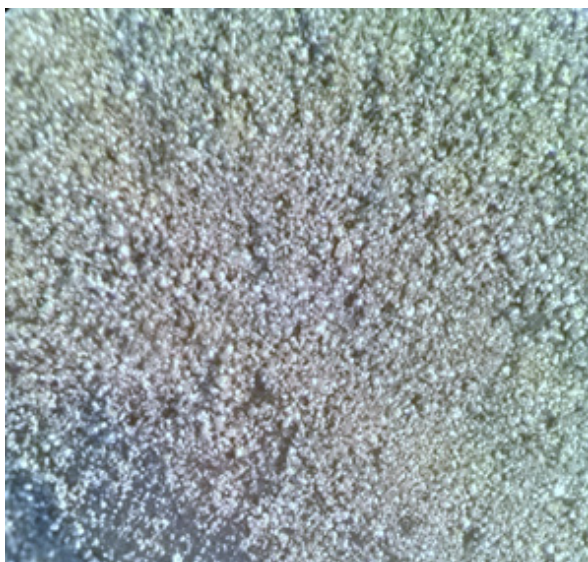


Рис.2. Поверхность образца реактопласта после магнитотермического армирования. Увеличение 100 \times .

Ферромагнитные частицы с учетом давления запрессовки терморезактивного полимера в форму покрыли поверхность образца не менее, чем на 95%, остатки порошка на внутренних стенках формы обнаружены не были. Для проверки на износостойкость и удержание частиц в поверхностном слое полимера полученные металлизированные образцы были подвергнуты трению по поверхности детали из сплава Д16 с удельным давлением 1 кг/см² и скоростью движения 10 см/сек. Абразивное трение в течение 10 секунд не выявило при последующем микроскопическом исследовании изменения структуры металлизированной поверхности и изменения массы испытуемого образца. На поверхности детали-образца из сплава Д16 были обнаружены отчетливые следы абразивного воздействия, из чего следует вывод о высокой прочности удержания ферромагнитных частиц в поверхностном слое детали из реактопласта. Также это означает при-

дание поверхности полимерного образца свойств, максимально близких к свойствам внедренного порошка (рис.3).

Разработанный метод позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики полимерных изделий, используемых в машинах и механизмах АПК – таких, как приводные шестерни и зубчатые колеса, лопадки воздуходувок и насосов, различные уплотнения, лотки и т.д. Для расширения области использования разработанного метода в настоящее время авторами ведутся исследования армирования других марок полимеров, как терморезактивных, так и термопластичных, на этапе формования изделий из них с использованием ферромагнитных порошков разной дисперсности (от 70 нм и больше) [5].

Испытания образцов и исследование микроструктуры их поверхности показывает, что поверхность модифицированных изделий приобретает характеристики (поверхностная твердость, износостойкость и т.д.), близкие к аналогичным у исходного армирующего металла – например, поверхностная твердость повышается в 5-6 раз – со 30-40 МПа до 150-240 МПа. Причем армирующая поверхность металл должен быть ферромагнитным, так как в основу технологии заложено действие магнитного поля.

Перспективы

В дальнейшем планируется проведение дополнительных исследований и испытаний, доработка технологии и сопутствующего оборудования, а также расширение внедрения предлагаемой технологии. При условии разработки соответствующих пресс-форм, магнитной системы и оптимизированного технологического процесса на данном этапе разработки проекта возможно производство «с нуля» или модификация готовых изделий раз-



Рис. 5. Поверхность образца из сплава Д16 до (а) и после (б) абразивного воздействия образца, прошедшего магнитотермическое армирование. Увеличение 30 \times .

лично назначения, имеющих относительно простую форму – дисковые и торцевые уплотнения, крыльчатка насосов малой мощности, валы, втулки и т.д. Стартовые вложения для реализации проекта не превышают 1,5 млн. руб. по причине отсутствия необходимости в дорогостоящем и узкоспециализированном оборудовании, за исключением проектирования пресс-форм под конкретные детали. Вследствие этого, по предварительным оценкам, годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии составит от 400 до 600 тыс. руб. в год. Основным продуктом реализации проекта является технология поверхностного армирования полимерных изделий и сопутствующее оборудование. Дополнительным – армируемые/производимые с нуля упрочненные детали. Что касается непосредственного использования, то основной отраслью применения конечных продуктов является АПК. Также возможно применение и в других отраслях народного хозяйства и промышленности.

Литература

- [1] Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, Н. В. Воронин, И. С. Филатов. Исследование магнитотермического поверхностного армирования полимерных материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2021. - №7. - С. 37-39.
- [2] Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: Уч. пос. / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; Под ред. А.А. Берлина. – 5-е изд., испр. и доп. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2019 – 624 с.: ил.
- [3] Баур, Эрвин. Настольная книга переработчика пластмасс. Справочник по полимерным материалам.: пер. с англ. / Эрвин Баур, Тим А. Освальд, Натали Рудольф. - СПб.: ЦОП «Профессия», 2021. - 672 с.: ил.
- [4] Зонненшайн, М.Ф. Полиуретаны: состав, свойства, производство, применение: метод. рекомендации / пер. с англ. М.Ф. Зонненшайн. — СПб: ЦОП «Профессия», 2018. — 576 с., цв. ил.
- [5] Узденский, В. Б. Модификация полимеров: практическое руководство для технолога / В. Б. Узденский. - 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2021. - 224 с.
- [6] Ю.В. Родионов, Ю.Т. Селиванов, Д.В. Никитин, М.В. Сычев, П.В. Комбарова. Новая конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2019. - № 6. - С. 22-25.
- [7] Зорин А.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Скоморохова А.И. Аддитивные технологии производства деталей жидкостнокольцевого вакуумного насоса для процессов АПК// Наука в центральной России. 2022. № 2 (56). С. 51-60.
- [8] RESOURCE-**SAVING** PRODUCTION TECHNOLOGY OF PRODUCTS MADE OF

Выводы

В работе определены основные режимы и параметры работы экспериментальной установки, позволяющей методом магнито-термического армирования проводить внедрение ультрадисперсных частиц ферромагнетика в поверхность изделий АПК из термопластов и реактопластов. Проведены микроскопические и триботехнические исследования металлизированных поверхностей. Показаны параметры поверхностной твердости и износостойкости полученных образцов.

Основными преимуществами предлагаемой технологии является вариативность, простота реализации и повышение поверхностных механических и общих эксплуатационных характеристик изделия – поверхностной твердости, износостойкости и, как следствие, надежности и долговечности, т.к. срок службы армированных изделий возрастает, по различным оценкам, не менее, чем в 1,5-2 раза.

References

- [1] Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, N. V. Voronin, I. S. Filatov. Issledovanie magnitotermicheskogo poverhnostnogo armirovanija polimernyh materialov // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2021. No.7. pp. 37-39.
- [2] Kerber, M. L. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologija: Uch. pos. / M.L. Kerber, V.M. Vinogradov, G.S. Golovkin; Pod red. A.A. Berlina. 5-e izd., ispr. i dop. SPb.: COP «Professija», 2019. 624 pp.: il.
- [3] Baur, Ervin. Nastol'naja kniga pererabotchika plastmass. Spravochnik po polimernym materialam.: per. s angl. / Jervin Baur, Tim A. Ossval'd, Natali Rudol'f. SPb.: COP «Professija», 2021. 672 pp.: il.
- [4] Zonnenshajm, M.F. Poliuretany: sostav, svojstva, proizvodstvo, primenenie: metod. rekomendacii / per. s angl. M.F. Zonnenshajm. SPb: COP «Professija», 2018. 576 pp., cv. il.
- [5] Uzdenkij, V. B. Modifikacija polimerov: prakticheskoe rukovodstvo dlja tehnologa / V. B. Uzdenkij. 2-e izd., ispr. i dop. SPb.: COP «Professija», 2021. 224 pp.
- [6] Yu.V. Rodionov, Ju.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova. Novaja konstrukcija zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2019. No. 6. - pp. 22-25.
- [7] Zorin A.S., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V., Skomorohova A.I. Additivnye tehnologii proizvodstva detalej zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa dlja processov APK// Nauka v central'noj Rossii. 2022. № 2 (56). S. 51-60.
- [8] RESOURCE-**SAVING** PRODUCTION TECHNOLOGY OF PRODUCTS MADE OF POLYMERIC MATERIAL: PROBLEM AND SOLUTION // Kobzev D.Y., Kombarova P.V.,

- POLYMERIC MATERIAL: PROBLEM AND SOLUTION // Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Blokhin A.N., Tarov V.P., Baronin G.S. / В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. С. 275-280.
- [9] Родионов Ю.В., Никитин Д.В. Вакуумные технологии и оборудование для переработки сельскохозяйственного сырья // В сборнике: Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации. Материалы 72-й Международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». 2021. С. 326-331.
- [10] Тагер А.А. Физико-химия полимеров. 4-е изд., перераб. и доп. Учеб. пособие для хим. фак. ун-тов / А. А. Тагер; под ред. А. А. Аскадского. - М. : Научный мир, 2007. - 573с.
- Blokhin A.N., Tarov V.P., Baronin G.S. / V sbornike: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. pp. 275-280.
- [9] Rodionov Yu.V., Nikitin D.V. Vakuumnye tehnologii i oborudovanie dlja pererabotki sel'skhozjajstvennogo syr'ja // V sbornike: Perspektivnye tehnologii v sovremennom APK Rossii: tradicii i innovacii. Materialy 72-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva». 2021. pp. 326-331.
- [10] Tager A.A. Fiziko-himija polimerov. 4-e izd., pererab. i dop. Ucheb. posobie dlja him. fak. un-tov / A. A. Tager; pod red. A. A. Askadskogo. M.: Nauchnyj mir, 2007. 573 pp.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Воронин Николай Владимирович аспирант кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(915) 881-08-04 E-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru</p>	<p>Voronin Nikolai Vladimirovich postgraduate at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(915) 881-08-04 E-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru</p>
<p>Филатов Иван Сергеевич кандидат технических наук старший преподаватель кафедры специальных дисциплин ТОГБПОУ «Приборостроительный колледж» 392008, г. Тамбов, Моршанское шоссе, 17 Тел.: +7(905) 121-97-02 E-mail: ridder@mail.ru</p>	<p>Filatov Ivan Sergeevich senior lecturer of the department special disciplines Instrument Making College Phone: +7(905) 121-97-02 E-mail: ridder@mail.ru</p>
<p>Родионов Юрий Викторович доктор технических наук профессор кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>	<p>Rodionov Yuri Viktorovich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>