

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**В.В. Козырев<sup>1</sup>, Л.В. Козырева<sup>2</sup>, И.В. Горлов<sup>2</sup>, М.А. Романов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г. Тверь

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, г. Тверь

В статье приводятся результаты научно-исследовательской работы коллектива авторов по созданию износостойких композиционных материалов и их рациональному применению в процессах изготовления деталей транспортирующих машин, работающих в условиях воздействия абразивных частиц при отсутствии или ограниченном поступлении смазочных материалов. Разработан способ нанесения никелевого покрытия на стеклянные волокна CVD-методом, в котором на поверхности волокна формируется слой никелевого покрытия толщиной до 0,1 мкм посредством термического разложения паров бис(циклопентадиенил)никеля. Разработанные композиционные материалы на основе полиамида-6.6, армированного металлизированными волокнами, применялись для изготовления деталей транспортирующих машин. В результате реализации комплексного исследования зафиксировано увеличение ресурса изготовленных деталей относительно серийных сборочных единиц, что снижает затраты на проведение планового технического обслуживания и ремонта техники.

**Ключевые слова:** *CVD-метод, металлоорганические соединения, износостойкий композиционный материал.*

**DOI:** 10.26456/vtchem19

Повышение надежности современной техники невозможно обеспечить без применения современных технологий и материалов, которые необходимо использовать при изготовлении быстроизнашивающихся деталей сельскохозяйственных, дорожно-строительных и торфозаготовительных машин. Перспективным решением обозначенной задачи является разработка полимерных композиционных материалов с использованием CVD-метода металлоорганических соединений (*Chemical Vapor Deposition*, т. е. «химическое газофазное осаждение»), целесообразность применения которого подтверждена многочисленными исследованиями [1, с. 32;

2, с. 82; 3, с. 7].

Сущность данного метода заключается в следующем: исходное металлоорганическое соединение (МОС) переводится в газообразное состояние и осаждается в нужной пропорции на подложку.

Для реализации CVD-метода при создании элементов армирующей фазы (стеклянные волокна) композиционных материалов разработан способ осаждения металла путем термического разложения исходных соединений на непрерывном волокне при его протяжке через реакционную камеру (рис. 1).

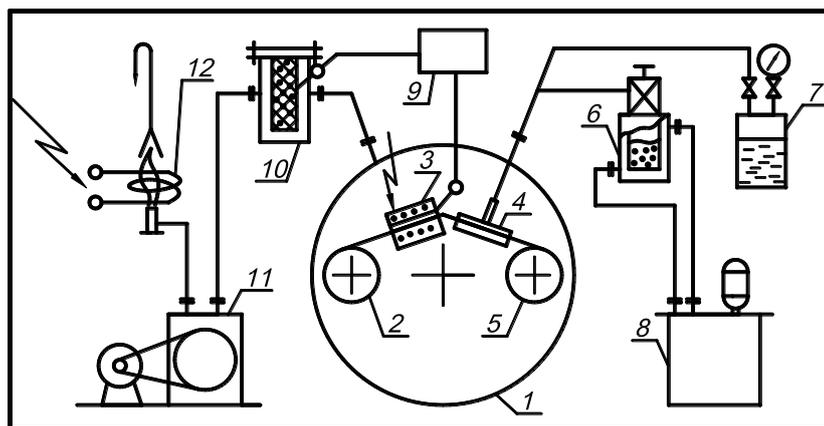


Рис. 1. Схема установки для металлизации волокон CVD-методом: 1 – реактор; 2, 5 – смоточный и намоточный барабаны; 3 – система электронагрева; 4 – распределитель паров МОС; 6, 7 – емкости с МОС; 8 – термостат; 9 – потенциометр; 10 – фильтр; 11 – вакуумный насос; 12 – печь дожига

Металлизация волокон проводится в следующей последовательности стадий: продувка системы азотом, включение вакуум-насоса 11 и системы электронагрева 3, подача паров МОС из емкости 6 в реакционную камеру 1, разложение паров МОС и осаждение покрытия, выключение вакуум-насоса. Для поддержания постоянной температуры в системе охлаждения реактора служит термостат 8, прием/опускание кожуха реакционной камеры и протяжка волокна производится электромеханическим приводом.

Металлизированные волокна целесообразно применять для создания различных композиционных материалов, в том числе на основе термопластов, так как металлизацией помимо повышения их стойкости к истиранию, изгибу и прочности при растяжении волокна достигается увеличение теплопроводности композиционного материала по сравнению с исходным полимером в 8...10 раз. Это объясняется корреляцией признаков матрицы и наполнителя в композите и связано с высоким значением коэффициента теплопроводности металлов. Оптимизацией теплофизических свойств стеклопластиков устраняется

основной ограничительный фактор, препятствующий широкому применению полимерных композиционных материалов для изготовления деталей трибосопряжений [3, с. 134].

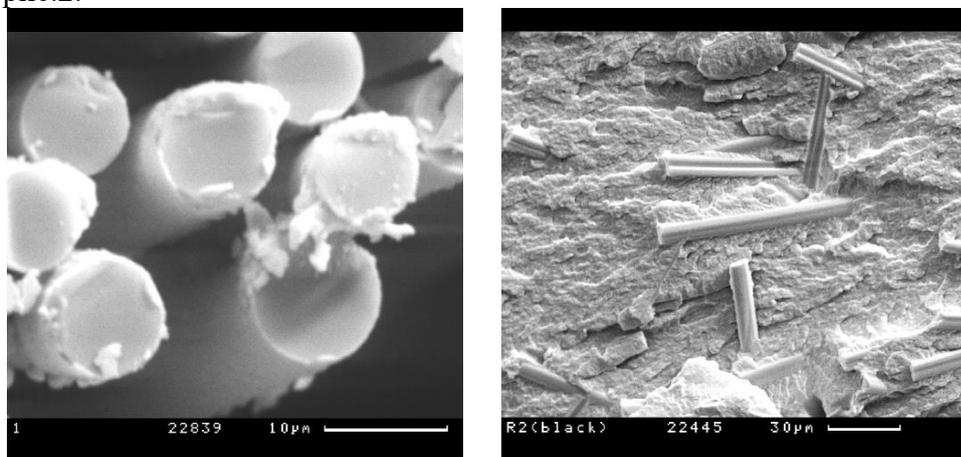
Выбор исходных реагентов для CVD-процесса осуществляется исходя из их доступности с точки зрения промышленного производства и оптимального сочетания технологических параметров, таких, как низкая температура разложения, отсутствие агрессивных свойств по отношению к подложке и применяемой технологической аппаратуре, нетоксичность.

Для металлизации искусственных неорганических волокон перспективным является применение CVD-метода бис(циклопентадиенил)никеля (никелоцена) -  $Ni(C_5H_5)_2$ , основная реакция разложения которого представлена уравнением



Реакции термического разложения циклопентадиенильных соединений в CVD-процессе приводят к созданию активного атомного фона и образованию зародышей новой фазы, что сопровождается спонтанным термодинамически выгодным расположением вещества. При этом возможно получение пленок металла толщиной 50...100 нм. Дальнейшее увеличение размеров металлического слоя приводит к растрескиванию и расслоению покрытия, что вызвано дестабилизацией системы в связи с ростом напряжений в зоне межфазных границ подложка – металлическая пленка [4, с.32–38].

Внешний вид металлизированных стеклянных волокон, в т.ч. в составе полимерного композиционного материала, представлен на рис.2.



а

б

Р и с . 2. Металлизированные стеклянные волокна: а – внешний вид; б- в составе композиционного материала на основе полиамида-6.6

Армирование металлизированными стеклянными волокнами

способствует повышению стойкости композиционного материала к химическому и биологическому факторам воздействия среды. В частности, при контакте с органическими средами различной кислотности (рН = 6...8) износостойкость, адгезионная сдвиговая прочность, усадка и ударная вязкость модифицированных композиционных материалов изменяются в допустимых пределах, не превышая 15 % от исходных значений данных параметров [5, с.109].

Свойства композиционных материалов на основе полиамида-6.6, полученных с использованием CVD-метода никелоцена, представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Свойства композиционных материалов на основе полиамида-6.6, армированного металлизированными стеклянными волокнами

Свойства композиционных материалов	Содержание наполнителя, % (об.)					
	15	20	25	30	35	40
Усадка, %	1,60	1,24	0,91	0,90	0,89	0,90
Коэффициент трения без смазочного материала	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,18
Коэффициент трения со смазочным материалом	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	-	-	4,7	-	-	-
Теплостойкость, °С	110	125	160	175	175	175
Скорость термодеструкции, вес.%/мин	1,30	1,10	1,00	1,00	0,90	0,80
Степень водопоглощения	11,0	10,9	10,7	10,6	10,4	10,4

Разработанные композиционные материалы применяли для изготовления деталей и сборочных единиц транспортирующих машин, работающих в условиях воздействия абразивной среды (рис. 3).



Р и с . 3 . Общий вид подшипника с вкладышем из модифицированного CVD-методом стеклопластика, изготовленного в условиях ремонтного производства с учетом замены в поворотной опоре ТСН-160А, ТСН-3Б двух серийных подшипников 60308

### **Выводы:**

1. Металлизацией элементов наполнителя полимерных композиционных материалов CVD-методом никелоцена достигается оптимальное сочетание степени смачиваемости стеклянных волокон в полиамидной матрице при одновременном снижении реакционной способности их поверхностных образований.

2. Никелоцен сравнительно легко разлагается в области высоких температур при заданных условиях термораспада и является удобным исходным соединением для получения металлических покрытий CVD-методом. Оптимальным режимом для формирования покрытий толщиной 0,01...0,05 мкм является температура 450 °С при скорости подачи газовой смеси 1,5 л/ч и давлении 4 Па; продолжительность металлизации – 5 минут.

3. Композиционные материалы, модифицированные CVD-методом, в зависимости от объемного содержания армирующих волокон, имеют усадку при литье под давлением - 0,90...1,60; износостойкость в парах композит – сталь – 45 – 0,3; коэффициент трения без смазочного материала – 0,15...0,18; коэффициент трения со смазочными материалами – 0,04...0,06; теплостойкость по Вика - 110...175 °С; степень водопоглощения – 10,4...11,0.

4. В ходе производственной проверки установлено, что ресурс подшипников поворотных опор навозоборочных транспортеров и роликовых опор ленточных конвейеров, изготовленных с использованием разработанных композиционных материалов, в 2...5 раз выше, чем у серийных.

### **Список литературы**

1. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Чупятов Н.Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин: монография. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.
2. Li W.M. Recent developments of atomic layer deposition processes for metallization. *Chemical Vapor Deposition*. 2013. V.19, №. 4–6. P. 82 – 103.
3. Козырев В.В. Металлоорганические соединения в машиностроении и ремонтном производстве: монография. Тверь: Студия-С, 2003. 160 с.
4. Vasiliev V.Y., Morozova N.B., Basova T.V., Igumenov I.K., Hassan A. Chemical vapor deposition of IR-based coatings: chemistry, processes and applications. *RSC Advances*. 2015. V. 5, №. 41. P. 32034–32063.
5. Козырева Л.В., Филиппова Н.А. Обеспечение безопасности применения CVD-метода металлоорганических соединений в технологиях изготовления и восстановления деталей машин // Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки: сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. Тверь: ТвГТУ, 2016. Ч. 2. С. 107-111.

## THE MANUFACTURING OF PARTS OF MACHINES WITH USING POLYMER COMPOSITE MATERIALS

V.V. Kozyrev<sup>1</sup>, L.V. Kozyreva<sup>2</sup>, I.V. Gorlov<sup>2</sup>, M.A. Romanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tver State Agricultural Academy

<sup>2</sup>Tver State Technical University

This article presents the results of research work group of authors to create wear-resistant composite materials and their rational use in the processes of parts manufacturing transporting machines running under the impact of the abrasive particles in the absence or limited admission Lube. A method of applying a nickel coating on glass fibers, in which a nickel coating layer with a thickness to 0,1 mcm is applied to the surface by thermal decomposition bis(cyclopentadienyl) nickel vapour using CVD-method. Developed composite materials based on polyamide-6.6 reinforced with metallic fibers used for the manufacture of bearings transporting machines. As a result of conducting a comprehensive study reported an increase resources manufactured parts relative serial assembly units, which reduces the costs of routine maintenance of the machines.

**Key words:** *chemical vapor deposition, organometallic compounds, wear-resistant composite material.*

Об авторах:

КОЗЫРЕВ Виктор Вениаминович – доктор технических наук, профессор кафедры ремонта машин и эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО ТГСХА, e-mail: [kosurew-tgsxa@rambler.ru](mailto:kosurew-tgsxa@rambler.ru)

КОЗЫРЕВА Лариса Викторовна – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и экологии ФГБОУ ВО ТвГТУ, e-mail: [larisa.v.k.176@mail.ru](mailto:larisa.v.k.176@mail.ru)

ГОРЛОВ Игорь Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии и автоматизации машиностроения ФГБОУ ВО ТвГТУ, e-mail: [gorloviv@yandex.ru](mailto:gorloviv@yandex.ru)

РОМАНОВ Михаил Алексеевич аспирант кафедры ремонта машин и эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО ТГСХА, e-mail: [mikhail-romanov-1992m@mail.ru](mailto:mikhail-romanov-1992m@mail.ru)

Поступила в редакцию 20 февраля 2018 г.