

5. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties / T. DebRoy [et al.] // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 92. – P. 112–224.

6. Патент РБ №13542. Устройство для 3d-печати металлических изделий лазерной наплавкой: заявл. 05.22.2024: опубл. 20.08.2024 / Никитюк Ю. В., Ковалев Е. А., Басевич Г. А., Максименко А. В. Усов П. П.; заявитель Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины.

В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, Я. А. Косенок, О. И. Тюленкова
Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ

Введение. К современным защитным покрытиям предъявляется ряд общих требований: они должны быть экологически чистыми, удобными в нанесении, легко поддаваться сухой или влажной уборке. Кроме того, ко многим видам покрытий предъявляются специальные требования, такие как повышенная износостойкость, термостойкость и влагостойкость при использовании в сложных климатических условиях.

Способы защиты различаются в зависимости от метода нанесения покрытий. Вакуумные методы нанесения защитных плёнок требуют дорогостоящего технологического оборудования, для работы на котором необходим высококвалифицированный персонал. В противоположность этому химические методы, к которым относится и золь-гель метод, более доступны и осуществляются на более простом и дешёвом оборудовании. С использованием золь-гель метода становится возможным создавать композиционные многокомпонентные покрытия, состоящие из различных материалов для улучшения не только адгезионных свойств, но и для придания получаемым материалам улучшенных физико-химических и структурно-прочностных характеристик по сравнению с существующими методами защиты поверхности [1–2].

1. Формирование композиционных золь-гель покрытий. Для получения композиционных покрытий с хорошей пластичностью и адгезией к металлам необходимо использовать гибридные составы, в которых совместно с традиционными тетраэтилортосиликатом (ТЭОС) будут использоваться органические соединения, такие как фенилтриэтоксисилан, винилтриэтоксисилан и метилтриэтоксисилан. Экспериментально установлено, что наиболее перспективным для целей работы является использование метилтриэтоксисилана (МТЭС).

Золь готовят следующим образом: смешивают необходимое количество метилтриэтоксисилана (МТЭС) и тетраэтилортосиликата (ТЭОС), полученную смесь заливают изопропиловым спиртом (C_3H_7OH) и перемешивают. После смешивания в эту смесь добавляют раствор азотной кислоты (HNO_3) в деминерализованной воде (H_2O) и перемешивают.

После смешивания всех исходных веществ в ходе реакции гидролиза, протекающей в растворе, он нагревается. После завершения процесса гидролиза температура раствора снижается до комнатной. Для полного созревания раствора его необходимо выдержать при комнатной температуре в течение 2–3 дней.

Мелкодисперсные порошки оксида титана и углерода вводят в виде массовой навески при интенсивном перемешивании к свежеприготовленным растворам в концентрациях от 20–30 масс.%.

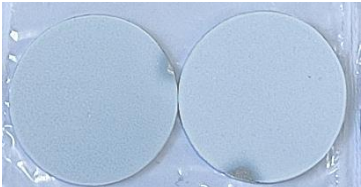
Приготовленный раствор наносят с помощью краскопульта, распыляя золь по всей поверхности равномерным слоем. Преимуществом такого нанесения является возможность покрытия поверхности формы. Аэрозольное распыление позволяет покрывать поверхность практически любой фактуры и произвольной формы.

На завершающем этапе термическая обработка приводит к разложению промежуточных продуктов гидролиза и полному удалению остатков растворителя и органических веществ. Сушка проводится поэтапно: в начальный период (при интенсивном испарении растворителя) при температуре (60–100) °С в течение 20–30 минут (скорость нагрева ≈ 5 °С в минуту), затем при температуре (200–250) °С в течение 30–60 минут (скорость нагрева ≈ 10 °С в минуту). По окончании процесса сушки образцы с покрытием охлаждаются вместе с сушильным шкафом.

2. Исследование толщины и адгезии полученных композиционных покрытий. В настоящее время разработано много различных приборов для определения толщины лакокрасочных покрытий на изделиях из различных материалов. Так как исследуемые покрытия были сформированы на подложках из стали (алюминия) и по толщине близки к значениям лакокрасочным покрытиям, контроль толщины проводили с использованием толщиномера СЕМ dt-156, который предназначен для неразрушающего измерения толщины покрытий на изделиях из чёрных металлов (по принципу магнитной индукции) или цветных металлов (по принципу вихревых токов).

Результаты исследования толщины полученных композиционных покрытий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования толщины композитных покрытий

Концентрация порошка	Цвет покрытия	Толщина, мкм
10 масс.% углерода	Черный 	33,3
15 масс.% углерода		35,7
20 масс.% углерода		36,5
25 масс.% углерода		37,2
30 масс.% углерода		38,0
10 масс.% оксида титана	Белый 	22,7
15 масс.% оксида титана		23,3
20 масс.% оксида титана		23,4
25 масс.% оксида титана		24,7
		26,1

Установлено, что толщина полученных композиционных покрытий варьируется от 22 до 38 мкм и зависит типа и концентрации вводимых порошков. Наибольшей толщиной обладают покрытия с углеродом в среднем их толщина составляет ≈ 35 мкм, это связано с более повышенной вязкостью полученного раствора, что позволяет методом распыления формировать более толстые слои. Композиционные покрытия с оксидом титана имеют меньшую толщину в среднем 24 мкм, это связано с малым размером частиц (около 0,5–2 мкм) и его плотной упаковкой при распылении на подложку. При увеличении концентрации порошка оксида титана толщина покрытий увеличивается с 22,7 мкм (при концентрации 10 масс.%) до 26,1 мкм (при концентрации 30 масс.%).

Испытание адгезии может выполняться в целях контроля и для соблюдения промышленных стандартов и технических условий заказчика. В зависимости от применения может различаться специфичная необходимость поддержания прочной адгезии. Исследование адгезии проводили согласно ГОСТ 31149-2014 методом решетчатого надреза [4].

Результаты испытания показывают, что все покрытия, содержащие порошки имеют самый высокий класс адгезии согласно ISO 2409:2013 – Класс 0 (края надрезов полностью гладкие; сегменты нарезанной решетки не отслоились). Стоит отметить, что увеличение

концентрации порошка углерода приводит к ухудшению адгезионных свойств, при увеличении концентрации до 30 масс.% класс адгезии падает до – 1 (площадь отслоений не много превышает 5 %) и росту хрупкости получаемых покрытий.

3. Определение механических характеристик получаемых композиционных покрытий. Прочность полученных в ходе выполнения работы покрытий определялась методом истирания резиновым наконечником, изготовленным из пищевой резины средней плотности (П-С), через батистовую прокладку при нагрузке на наконечник 200 г. По результатам исследования механической прочности можно сделать вывод, что все полученные покрытия обладают высокой механической стойкостью к истиранию (более 6 000 циклов истирания).

Из многочисленных методов испытаний твердости с целью изучения долговечности покрытий наиболее распространенными методами являются измерения с помощью твердости карандаша. Это один из простейших тестов на твердость. Карандаши имеют твердость в диапазоне от 6В до 9Н (ГОСТ Р 54586-2011), где твердость покрытия соответствует максимальной твердости карандаша, который не повреждает покрытие [5].

Результаты испытания показали, что полученные покрытия обладают твердостью 4Н – 5Н, для покрытий содержащие мелкодисперсный порошок углерода, 5Н – 7Н, для покрытий, содержащих оксид титана.

4. Определение стойкости полученных покрытий к климатическим воздействиям и термоциклированию. Проведено тестирование устойчивости покрытий к водным аэрозолям (туман). Условия испытания можно варьировать, меняя длительность воздействия тумана и/или его температуру. По результатам испытания все полученные образцы были помещены в камеру с солевым туманом морской воды на 12 часов. После извлечения и сушки образцы не изменили своего внешнего вида и технических характеристик.

Испытание на стойкость к термоциклированию определяет способность изделия противостоять негативному действию климатического фактора и продолжать работать по окончании действия негативного фактора. После проведения испытаний проверяется внешний вид, механические свойства. Термоциклирование проводится последовательно: изначально изделие размещают в камере холода, а после выдержки при пониженной температуре его переносят в камеру тепла, в каждой из этих камер заранее установлена требуемая температура. Образец помещают в первую камеру с температурой минус $(30 \pm 3)^\circ\text{C}$ и выдерживают его при данной температуре в течении 3 часов. Затем образец резко извлекают и помещают во вторую камеру, предварительно разогретую до температуры плюс $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$, и выдерживают в течении 3 часов. Затем снова переносят образец в первую камеру, и повторяют испытания.

По результатам испытаний установлено, что все полученные покрытия, содержащие, в качестве наполнителя: мелкодисперсные порошки оксида титана и углерода, устойчивы к термоциклированию от минус $(35 \pm 3)^\circ\text{C}$ до плюс $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ (5 циклов без отслаивания и растрескивания покрытия).

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т23В-009).

Литература

1. Защитные золь-гель покрытия с гидрофобными свойствами / В. В. Васькевич, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Сидский // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 3(8). – С. 15–19.

2. Исследование структурно-механических свойств защитных золь-гель покрытий на основе оксидов Si, Ti, Zr и их комплексов / В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, А. С. Русыкин, М. И. Москвичёв, В. А. Черчук // Проблемы физики, математики и техники. – 2018. – № 4(37). – С. 21–24.

3. ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. – Введ. 01.09.2015. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2015. – 12 с.

4. ГОСТ Р 54586-2011 (ISO 15184:1998). Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по карандашу. – Введ. 01.09.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 12 с.

В. Ю. Гарбарук^{1,2}, В. А. Гольдаде¹

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь,

²ОДО «НТЦ Ларта»,
г. Гомель, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСАДКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРУЮЩИХ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

Степень кристалличности является одним из свойств, определяющих физико химические параметры полимеров [1]. В композитных материалах граница раздела фаз «связующее-наполнитель» может служить дополнительным центрами кристаллизации. С этой точки зрения интерес представляют волокнисто-пористые материалы (ВПМ), обладающие большой удельной поверхностью. Дополнительная обработка в процессе получения изделий на основе композитных полимерных материалов позволяет увеличить степень кристалличности и улучшить эксплуатационные характеристики готового изделия, в частности повысить термостойкость [2]. Такая обработка для повышения степени кристалличности используется при производстве термостойких фильтровальных материалов [3, 4], однако выбор метода обработки должен быть обусловлен как наличием существенного влияния на характеристики материала, так и возможностью его совмещения с технологическим процессом.

В данной работе исследовано влияние ИК излучения, а также дополнительной термической обработки на степень кристалличности и эффективность очистки фильтрующих материалов, полученных методом «melt-blowing» (вытяжка расплава полимера потоком воздуха) из полифениленсульфида (ПФС) с добавлением полипропилена (ПП) в количестве 5 % масс. Небольшая добавка ПП позволяет оптимизировать процесс получения изделия, влияя на уменьшение размера волокон и стабильность работы оборудования.

Образцы для испытаний в виде цилиндрические фильтрующих элементов (наружный и внутренний диаметры соответственно 152 мм и 114 мм), полученные при одинаковых режимах работы экструзионного оборудования, были разделены на 4 группы:

- 1) образцы не подвергали дополнительному воздействию (контрольная группа);
- 2) образцы после изготовления нагревали в печи при температуре выше 140 °С (температура кристаллизации ПФС) в течение 4 часов с последующим остыванием в печи до комнатной температуры;
- 3) образцы облучали ИК-излучением в процессе melt-blowing с последующей выдержкой под излучением при остывании;
- 4) образцы облучали ИК-излучением в процессе melt-blowing, затем горячими (выше температуры кристаллизации ПФС) помещали в теплоизоляционный кожух для уменьшения скорости остывания;
- 5) образцы облучали ИК-излучением в процессе melt-blowing, затем нагревали в печи аналогично группе 2.