

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ПРОДЛЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕСУРСА
МЕТАЛЛО-ПОЛИМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТОРГОВОГО И РЕКЛАМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

доктор техн. наук, доцент Н.М. Чигринова, магистр техн. наук Бурдейная Д.Г., БНТУ, г. Минск

Резюме. Обоснована целесообразность применения метода 3D принтинга для получения покрытий на разнопрофилированных поверхностях. Определена методика создания модели такой поверхности с учетом ее рельефа. В программе Solid Works смоделирована обрабатываемая поверхность и осуществлено нанесение полимерного слоя на разнопрофилированную поверхность на 3D-принтере.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D принтинг, адгезионное соединение, полимер, рельеф, адгезив

Введение. В настоящее время использование различных технологий и материалов при производстве продукции широкого назначения в первую очередь диктуется вопросами ресурсо- и энергосбережения, возможностью импортозамещения и экологичности. Здесь заметное место принадлежит выбору либо созданию материалов с новыми свойствами, способными решить указанные задачи. Наиболее эффективные решения связаны с модификацией поверхностей стандартных материалов, приводящих к изменению их свойств с целью более успешной и долговременной эксплуатации в производственных условиях, за счет формирования на их поверхностях функционально-адаптированных покрытий [1, 2].

Постановка проблемы.

Сегодня все более востребованы изделия, сочетающие при работе высокие показатели износо- и коррозионной стойкости, износостойкости и высоких антифрикционных характеристик. В сфере промышленного производства объектов для торговых сетей и рекламного оборудования, как правило, изготавливаемых из разнородных материалов, таких, как металлы и полимерные композиции, решение задач получения работоспособных соединений занимают одно из первых мест.

Формируемые покрытия, как правило, выполняют комплексную функцию: обеспечивают необходимый набор свойств изделия и служат защитным барьером, исключающим их разрушение при различных эксплуатационных воздействиях. При этом защита должна быть одинаково эффективной как для металла, так и для пластика. И если металл априори имеет определенную износостойкость, уровень которой в некоторых случаях нужно увеличить, то большинство металлов, как правило, нестойки к воздействию агрессивных сред, в частности, при изготовлении несущих элементов рекламных объектов – атмосферных осадков. Пластик же напротив, весьма стоек к различным атмосферным изменениям, не обладая при этом требуемой износостойкостью. Однако при соединении материалов с резко различающимися физико-механическими и химическими свойствами, таких, как металл и полимер, возникает целый ряд проблем, связанных с адгезией. Поэтому решение задач по созданию эффективной защиты для различных элементов оборудования, изготовленных из материалов с резко различающимися физико-механическими свойствами и химическим составом, является весьма актуальным, требующим научного осмысления.

Научная идея. Известно, что на величину адгезии существенное влияние оказывает степень профилированности вступающих в контакт материалов. Чем более равномерный, но при этом достаточный выраженный рельеф имеют соединяемые поверхности, тем выше адгезионная связь между ними [3]. Кроме того, величина адгезии зависит от уровня внутренних напряжений в структуре контактирующих материалов, их шероховатости, уменьшающих эксплуатационные возможности изделия [4]. Когда речь идет о металлической и полимерной основах, модифицированию должен быть подвергнут металл, функционирующий, как правило, в качестве основного элемента конструкции. Поэтому выбор метода преобразования структурного состояния металлической основы должен базироваться на вышесказанных условиях для уменьшения либо исключения перечисленных негативных особенностей.

Одним из решений устранения недостатков металлического покрытия с сохранением его высокой износостойкости может быть нанесение на его поверхность полимерного слоя с применением современных аддитивных технологий.

Новизна данного исследования состоит в поиске и разработке нетрадиционных комбинаций аддитивных методов, основанных на эффекте микроплазмы: интегральную технологию электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием – ЭИЛ с УЗВ, и технологии 3D принтинга для создания композиционных металло-полимерных покрытий.

Целью данной работы является исследование возможности и особенностей получения современными аддитивными методами высокоадгезионного соединения металла и полимера при формировании функционально-адаптированных покрытий в критических зонах конструкций оборудования для торговых сетей и рекламных объектов, подвергаемых при работе различным эксплуатационным воздействиям.

Выбор данных методов применительно к названным объектам обусловлен их малой энергоемкостью, мобильностью, невысокой стоимостью и экологичностью обработки.

Основные результаты исследования. Комбинация предлагаемых микроплазменных аддитивных методов для получения высоко адгезионной связи металла и полимера предполагает первоначальную подготовку металлической основы для последующего нанесения на нее полимерного слоя методом 3D принтинга. Поскольку экструдирование полимерного слоя происходит равномерно, то для получения равнотолщинного композиционного покрытия

металл-полимер требуется выбрать такие режимы ЭИЛ с УЗВ, которые позволили бы обеспечить равномерный рельеф модифицированной поверхности [6] и снижение уровня внутренних напряжений в материале. В качестве проверочного эксперимента для фиксации эффекта получения более регулярного рельефа поверхности после интегральной обработки ЭИЛ с УЗВ была проведена обработка металлической основы стандартным методом ЭИЛ. Для проведения исследований были подготовлены стальные образцы размером 2x20x40 мм.

Эксперименты проводились согласно трем схемам: 1 – стандартный метод ЭИЛ с величиной энергоимпульса 1,83 Дж и частотой 100 Гц; схема 2 – ЭИЛ+УЗВ с величиной энергоимпульса ЭИЛ 4,3 Дж и частотой 200 Гц; УЗВ с напряжением 125 В и частотой 22 кГц; схема 3 – УЗВ₁+ЭИЛ+УЗВ₂, где УЗВ₁ имеет напряжение 100 В, частоту 22 кГц; ЭИЛ: энергия импульса 4,3 Дж, частота 200 Гц; УЗВ₂: напряжение 125 В, частота 22 кГц. Режимы ЭИЛ, согласно предыдущим исследованиям, выбирались с учетом создания покрытия работоспособной толщиной 80 мкм [5].

После обработки проводилось измерение толщины, а также максимальных и минимальных показателей шероховатости поверхности по параметру Ra, выбранной в качестве критерия годности метода для получения поверхности с регулярным рельефом и высокой равнотолщинностью. Для измерений применяли толщиномер и профилометр (рисунок 1).



Рисунок 1 – Толщиномер (а), профилометр «Surtronic DUO» (б) и схема ошупывания обработанной металлической поверхности (в)

Проведенными измерениями толщины по всей поверхности покрытий установлено, что наибольший разброс в толщине – до 15-25 мкм в разных точках поверхности наблюдается на образце, выполненном по схеме 1- стандартным методом ЭИЛ. Наименьший разброс – 2-5 мкм, т.е. наиболее равнотолщинное покрытие сформировано по схеме 3- УЗВ₁+ЭИЛ+УЗВ₂. При этом рельеф поверхности изучаемых покрытий подтверждает показатели измерения их толщины (рисунок 2).

Схема 1 – ЭИЛ

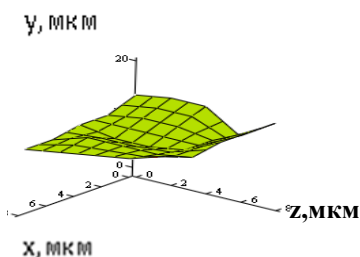


Схема 2 – ЭИЛ+УЗВ

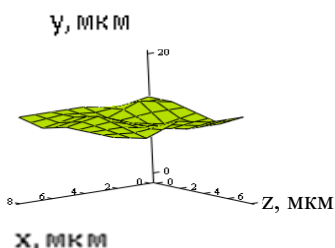


Схема 3 – УЗВ₁+ЭИЛ+УЗВ₂.

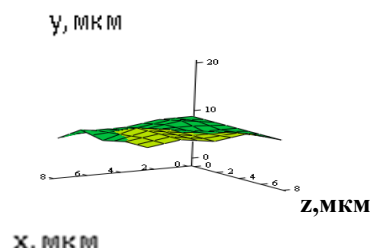


Рисунок 2 – Рельеф поверхности покрытия, полученных по трем схемам

Измерение шероховатости поверхности также подтвердило преимущество схемы 3 для последующего нанесения на него полимерного слоя методом 3D моделирования. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерения шероховатости на поверхности сформированных покрытий

Схема 1 – ЭИЛ	Схема 2 – ЭИЛ+УЗВ	Схема 3 – УЗВ ₁ +ЭИЛ+УЗВ ₂ .
Ra max = 26.7 мкм, Ra min = 8,6 мкм	Ra max = 8.2 мкм, Ra min = 4.9 мкм	Ra max = 2.2 мкм, Ra min = 0.8 мкм

Следующий этап в алгоритме формирования работоспособного комбинированного металл-полимерного покрытия – применением аддитивной технологии 3D принтинга.

Перед нанесением полимера на любую поверхность необходимо создание ее геометрической модели с развитым однородным рельефом, согласно которой и формируется качественный равнотолщинный полимерный слой [7]. Поскольку модель поверхности для осуществления 3D принтинга полимера является ее зеркальным отображением [7], то естественно предположить, что если эта поверхность нерегулярно профилирована, то создаваемая модель не позволит обеспечить требуемую адгезию полимера с такой металлической основой вследствие того, что в ней будут учтены только наиболее выпуклые зоны рельефа, а в местах его впадин будут оставаться незаполненные полимером пустоты. Эта модель характера для покрытия, полученного по схеме 1.

В покрытиях, полученных по схемам 2 и 3, рельеф более однородный, но на поверхности покрытия, полученного по схеме 2, он более выраженный, чем в покрытии, сформированном по схеме 3 [2, 6]. Поэтому адгезия в покрытии 2 должна быть достаточной для получения работоспособной композиции металл-полимер. В металлическом покрытии, полученном по схеме 3, согласно особенностям технологии 3D-принтинга [8], адгезия и качество полимерного слоя должны быть наиболее высокими.

Проверку сделанных предположений осуществляли посредством нанесения полимерного слоя на все три вида металлических покрытий. При этом для гарантированного удержания полимерного слоя на разно профилированной поверхности металлических покрытий было нанесение связующего слоя – адгезива, имеющего достаточно высокое сродство как к металлу, так и к полимеру [9].

Для создания объемной модели обрабатываемой поверхности с учетом ее геометрических размеров использовали компьютерную программу Solid Works [10]. Эксперимент проводили с помощью 3D-принтера Flash forge Guider II.

На первоначальном этапе для чистоты эксперимента и более точной установки обрабатываемых образцов на предметном столике принтера создавали уголки. Следующим этапом было нанесение на металлические поверхности слоя адгезива толщиной 30 мкм, после высыхания которого образцы закрепляли на предметном столике принтера, прогревом до температуры 55°C, после чего начинали 3D-печать полимера на поверхность образца. В качестве полимера использовали проволоку из токопроводящего высокотемпературного пластика.

Результат эксперимента представлен на рисунок 3.



а) схема 1 – ЭИЛ;



б) схема 2 – ЭИЛ+УЗВ;



в) схема 3 – УЗВ+ЭИЛ+УЗВ

Рисунок 3. Внешний вид комбинированного покрытия металл–адгезив–полимер, полученного согласно предложенному алгоритму

Заключение.

Решение задачи увеличения срока работоспособности элементов конструкций оборудования для торговых сетей и рекламных объектов, изготавливаемых у нас в стране, как правило, из комбинации металлов и пластика, прогнозируется за счет формирования в их критических зонах функциональных и защитных покрытий на основе комбинации металлов и полимеров, адгезия между которыми должна обеспечиваться за счет применения современных аддитивных методов, основанных на эффекте микроплазмы.

Согласно спроектированным моделям 3D-печати на разно профилированные за счет изменяющихся схем электроискровой обработки поверхности полученных металлических покрытий был нанесен слой адгезива требуемого состава и толщины, определяемой максимальной высотой микронеровностей профиля их рельефа. Затем по разработанным объемным моделям на каждую поверхность с учетом ее геометрических параметров наносили слой полимера.

В результате проведенного исследования подтверждена работоспособность инновационной комплексной аддитивной технологии, позволяющей в одном технологическом цикле создавать высокоадгезионные покрытия с расширенным набором эксплуатационных свойств за счет комбинации металлов и полимеров.

Показаны преимущества предлагаемой технологии, связанные с простотой реализации метода, отсутствием необходимости в дорогостоящей и громоздкой инфраструктуре, возможностью использования недорогого оборудования и материалов, а также с мобильностью, малозатратностью, экологичностью метода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лазаренко, Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей, / Н.И. Лазаренко, Б.Р. Лазаренко //Электронная обработка материалов.– 1977. – № 3, – 12-16 с.
2. Чигринова, Н.М. Совершенствование микроплазменноискровых технологий для формирования высококачественных покрытий на поверхностях деталей ответственного назначения /Н.М.Чигринова, С.И. Ловыгин, В.Е.Чигринов //Науч.-техн. журнал «Порошковая металлургия" № 35.– Минск.–2012. С.205–211.
3. Верхотуров, А.Д. Обобщенная модель процесса электроискрового легирования. // Электрофизические и электрохимические методы обработки. 1983. № 1. – С. 3–6.
4. Николаева, Н.Д. Исследование, разработка и освоение технологии подготовки поверхности стальной полосы перед нанесением антикоррозионного полимерного покрытия /Н.Д. Николаева: дис. ... канд. техн. наук. –М., 1978.– 132 с.
5. Чигринова, Н.М. Инновации в электроискровых технологиях: теория и практика /Н.М.Чигринова //Монография. – Минск, « Бестпринт» 2018.– 262 с.
6. Чигринова, Н.М., Роль ультразвука в механизмах анодно-катодных взаимодействий при электро-искровом легировании / Н.М.Чигринова, С.И. Ловыгин, В.Е. Чигринов // Наука и техника. 2016.– №15 (5).– С.380-390.
7. Моделирование изделий из полимерных материалов методом 3D-печати [Электронный ресурс]. – 2015.– Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-izdeliy-iz-polimernyh-materialov-metodom-3d-pechati/viewer>: – Дата доступа 20.06.2020.

8. Тонкости 3D-печати. Часть 2. Теория и практика. [Электронный ресурс]. – 2018.– Режим доступа <https://3dtoday.ru/blogs/filamentarno/the-intricacies-of-3d-printing-part-2-theory-and-practice/>: – Дата доступа 20.06.2020.

9. Влияние на адгезию состава композиционного материала и технологических факторов [Электронный ресурс]. – 2017.– Режим доступа <http://yagu.s-vfu.ru/mod/page/view.php?id=24010>: – Дата доступа 29.01.2020.

10. Этапы 3D-печати [Электронный ресурс]. – 2017.– Режим доступа <https://www.orgprint.com/wiki/3d-print/3d-printing>: – Дата доступа 29.01.2020.