

Вакуумно-дуговое осаждение металлов на текстильные материалы

Кохнюк В.Н., Изюмов А.А., Селифанов С.О., Мочайло Е.В.,
Дениженко А.Г., Смягликов И.П.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Проведено исследование характеристик текстильных материалов, используемых для различных технических применений (изготовления одежды, санитарных средств, фильтров и других изделий) путём нанесения металлических покрытий и создания комплексов «основа - покрытие», обладающих бактерицидными и/или фунгицидными свойствами, низким удельным поверхностным электрическим сопротивлением, способных обеспечить антистатические и экранирующие свойства.

Введение

Производство текстиля и изделий из него (одежды, обуви, головных уборов, предметов домашнего быта и др.) является одной из традиционных, базовых технологий. Эти области знания и практической деятельности человека совершенствовались с развитием фундаментальных и прикладных наук [1]. Придание текстильным материалам антимикробных свойств преследует цель защиты от действия микроорганизмов и патогенной микрофлоры объектов, соприкасающихся с текстильными материалами [2]. Ещё необходимо принять во внимание отрицательное влияние статического электричества на здоровье человека и различное оборудование [3–5]. Проблема обеспечения электростатической безопасности на промышленных предприятиях была и остаётся актуальной. Это связано с тем, что электростатический заряд, достигая величины от нескольких сот вольт до нескольких тысяч вольт, может стать причиной взрыва, воспламенения, нарушить работу электронного оборудования и привести к человеческим жертвам и материальным потерям [6, 7]. Электризация изделий из текстильных материалов происходит в результате трения при их эксплуатации или в процессе обработки. Образование и скорость исчезновения электрических зарядов связаны с объемной и поверхностной проводимостью текстильных материалов, зависящей от свойств волокон, в частности гидрофильности, и строения полотен [8].

Экспериментальные результаты

Изучены различные материалы основы: ткань полиэфирная; ткань льняная; ткань вискозная; ткань комбинированная (5%полиэфир и 95% хлопок); ткань техническая полиамидная различных артикулов; нетканый материал «Акваспан» разной плотности с различной дополнительной обработкой; бумага.

Покрытия из меди и титана осаждались как в остаточной атмосфере, так и в среде реакционно-способного газа, в качестве которого использовалась двуокись углерода. Серебро и сталь осаждались только в среде остаточных газов. В качестве основного материала покрытия выбрана медь, в связи с её противовирусными свойствами [6, 7] и невысокой ценой.

Для нанесения покрытий использовалась серийная установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001, оборудованная источником плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим катодом, который применялся во всех экспериментах, а в случае использования газа CO_2 и для нанесения подслоя.

Толщина осаждённых покрытий определялась с использованием образцов-свидетелей (ОС) из монокристалла кремния. Принималось, что толщины покрытий, нанесённых на ткань и на ОС, равны. На подготовленных ОС часть поверхности маскировалась для того, чтобы создать непокрытый слой, от которого будет отсчитываться толщина покрытия. После маскирования ОС устанавливались в одном процессе с текстильными материалами и проходили те же стадии обработки. По окончании процесса напыления маскирующий слой удалялся и проводились измерения на образовавшейся ступеньке с помощью микроскопа МИИ-4.

Биотестирование проводили по стандартной методике с использованием коллекционной тест-культуры *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

Исследования по выбору перспективных материалов для получения комплексов «текстильный материал-покрытие» были разделены на два этапа. На первом этапе проводили исследование влияния вида металла на бактерицидные свойства системы «покрытие-основа». На втором – на основании результатов первого этапа выбирались оптимальные материалы основы. Для определения чувствительности бактерий к антибиотикам использовался метод диффузии в агар (метод дисков). Оценку бактерицидных свойств полученных образцов проводили по наличию роста микроорганизмов под текстильным материалом и вблизи него.

Фунгицидность определяли по методу, разработанному в Институте микробиологии НАН Беларуси, который позволяет оценить влияние текстильных материалов с наноструктурными вакуумно-плазменными покрытиями на рост и развитие плесневых грибов, а также их воздействие на наноразмерные покрытия.

Характеристики электропроводности образцов измеряли на приборе ИЭСП–2 в соответствии с требованиями. Уровень напряжённости электростатического поля образцов тканей измерялся с помощью прибора-измерителя ИПЭП-1 согласно ГОСТ Р ИСО 139-2007.

Для исследования экранирующих характеристик (коэффициентов передачи S₂₁ и отражения S₁₁ электромагнитного излучения) использовался панорамный измеритель SNA 0,01-18. Эффективность экранирования электромагнитного излучения материалом оценивалась соотношением между напряженностями электрического поля в точке пространства при отсутствии и наличии в ней этого материала и характеризовалась коэффициентами отражения и передачи излучения.

Для создания систем «покрытие-основа» наиболее целесообразно использовать в качестве основы текстильный материал из синтетических нитей или волокон (полиэфирных или полиамидных), а в качестве материала покрытия – серебро или медь, осаждённые в среде остаточных газов. Более предпочтительно использование меди в связи с её доступностью и относительно невысокой ценой. Результаты бактериологических исследований фильтровальных материалов медным покрытием показывают, что их антимикробная активность находится в зависимости от продолжительности напыления покрытия. Наибольший бактерицидный эффект выражен у текстильных материалов со временем осаждения 15–30 мин. При более продолжительном времени нанесения покрытия существенного увеличения бактерицидных свойств не происходит, но ухудшаются физико-механические свойства текстильных материалов, поэтому оптимальное время нанесения покрытия составляет 15–30 мин.

Анализ антифунгальных свойств вакуумно-плазменных медных покрытий, проведенный в сравнении с медной пластиной, показал, что наночастицы меди и её соединений обладают значительной токсичностью в отношении микроскопических грибов рода *Aspergillus*. Результаты исследований позволяют рекомендовать медное покрытие, нанесённое на полиамидную ткань, в качестве индикатора загрязнения среды спорами грибов, так как при этом покрытие частично или полностью исчезает. Эти текстильные материалы с медным покрытием можно также рекомендовать в качестве основы для производства противомикробных изделий.

При нанесении медного покрытия снижение удельного поверхностного электрического сопротивления наблюдается у всех исследованных образцов. Согласно нормативной документации, для использования в качестве фильтров с антистатическими свойствами можно рекомендовать тканые текстильные материалы на основе полиамида и полиэфира с медным покрытием со временем напыления 15 мин.

Результаты исследований позволяют рассматривать текстиль на основе полиэфира и полипропилена с нанесённым на них медным покрытием со временем напыления 15 мин как материалы фильтров с высокими антистатическими свойствами. Ещё одним применением таких материалов может являться спецодежда. Вместе с тем, нанесение медного покрытия мо-

жет и увеличивать напряжённость электростатического поля текстильных материалов относительно исходных до 4 раз. Предположительно, это связано с тем, что материал покрытия является источником дополнительных электрических зарядов.

При использовании в качестве материала покрытия стали 12Х18Н10Т наибольшее значение коэффициента передачи наблюдается у образца с покрытием, напыленным за 40 мин в диапазоне 7 – 17 ГГц. При более низких частотах время нанесения не оказывает видимого эффекта. Значения коэффициентов отражения для этих же образцов также практически не отличаются, однако можно выделить образцы со временем напыления 20 мин, как образец с наибольшим коэффициентом отражения в диапазоне 7–10 ГГц, и 10 мин, как образец с наибольшим коэффициентом отражения в диапазоне 15–16,5 ГГц.

Наибольшими перспективами обладают образцы текстильных материалов с медным покрытием, осаждённым в вакууме и в среде углекислого газа (давление газа 0,4 Па) при времени осаждения 20-30 мин. При времени нанесения медного покрытия 10–30 мин все образцы имеют примерно одинаковые значения коэффициента передачи во всём измеряемом диапазоне частот. Медное покрытие, осаждённое в вакууме, имеет наибольшее значение коэффициента передачи.

Для медных покрытий на льняных и хлопкополиэфирных текстильных материалах использование реакционно-способного газа в нижнем из измеряемых диапазонов (0,7–3 ГГц) оказало заметное влияние на коэффициент отражения. В диапазоне 2–18 ГГц присутствие газа во время нанесения покрытия не оказало такого влияния на измеряемую величину. Для гардинной ткани использование реакционно-способного газа также не оказывает ощутимого влияния на коэффициент отражения электромагнитного излучения.

Литература

1. Халиуллина М. К. Использование различных бактерицидных и фунгицидных добавок в полимерах при производстве антимикробных текстильных материалов / М.К. Халиуллина, Э.А. Гадельшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014 - Т.17, №8 – С.87-91.
2. Антонова М. В. и др. Методы придания антибактериальных свойств текстильным волокнам. Обзор / М.В. Антонова, И.В. Красина, С.В. Илюшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. - Т.17, №8. – С.56-63.
3. СН 6032-91. Допустимые уровни напряженности электростатических полей и плотности ионного тока для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения.
4. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
5. ESD Assotiation – Setting the global standards for static control [Электронный ресурс]. – 2020 – Режим доступа: www.esda.org – дата доступа 20.12.2020. Кулезнёв В.Н. Основы физики и химии полимеров. – М.: Высшая школа, 1977. – 248 с.
6. Алексашина О. Ф. Статическое электричество в чистых помещениях // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. - № 1. - С. 18–19.
7. Хэтчер С. Защита от статического электричества // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. - № 4. - С. 18–19.
8. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. // Материаловедение швейного производства. 4-е изд., перераб и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.