

УДК 677.494.675

ЗАКРЕПЛЕНИЕ НЕТОКСИЧНЫХ АНТИПИРЕНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН

Рева О.В., Назарович А.Н., Богданова В.В.

Установлены режимы формирования в спиртовых растворах хлорида олова реакционноспособных коллоидных наноразмерных частиц, обеспечивающих прочную привязку к полиэфирной матрице азот-фосфорсодержащего ингибитора горения. Установлено наличие химического взаимодействия компонентов антипирена с адгезионным подслоем соединений олова с формированием новых соединений и мостиковых связей.

Ключевые слова: адгезионные нанослои, коллоидные частицы, нетоксичные замедлители горения, огнестойкие полиэфирные волокна, аммонийные металлофосфаты.

(Поступила в редакцию 8 апреля 2019 г.)

Введение. Полиэфирные нетканые материалы – утеплители, шумоизоляторы и наполнители – широко используются для изготовления одежды, мебели, предметов интерьера, отделочных и конструкционных строительных материалов. Связано это с уникальными свойствами полиэфирных волокон: помимо высоких технических характеристик (однородность по толщине, высокая прочность, химическая стойкость, устойчивость к многократным деформациям, истиранию), они характеризуются хорошими воздухопроницаемостью, гигиеничностью и гипоаллергенностью. Почти единственный недостаток изделий из полиэфирных волокон – их высокая горючесть. Достаточно эффективными методами огнезащиты синтетических волокнообразующих полимеров являются: внесение замедлителей горения в расплав полимера, модификация химического состава мономеров и поверхностная обработка волокон на стадии их получения [1–3]. Вместе с тем введение замедлителей горения в реакцию смесь на стадии получения полимера или в его расплав приводит к падению физико-механических и волокнообразующих свойств полимерного материала, а поверхностная пропитка замедлителями горения неустойчива к водным обработкам из-за химической инертности полиэфирного материала и бездефектности поверхности его волокон (рис. 1а–в) [4].

Еще одним способом огнезащиты синтетических волокон является крейзинг-модификация: пластическая деформация полимера в адсорбционно-активных средах, содержащих антипирен, в результате которой в объеме полимера возникает уникальная фибриллярно-пористая структура [5]. При снятии механического напряжения происходит механический захват замедлителя горения, который после дальнейшей термообработки остается в объеме полимера в виде наноразмерного включения [8]. Однако на стадии термообработки антипирены подвержены деструкции, а полиэфирные волокна теряют упругость и механическую прочность.

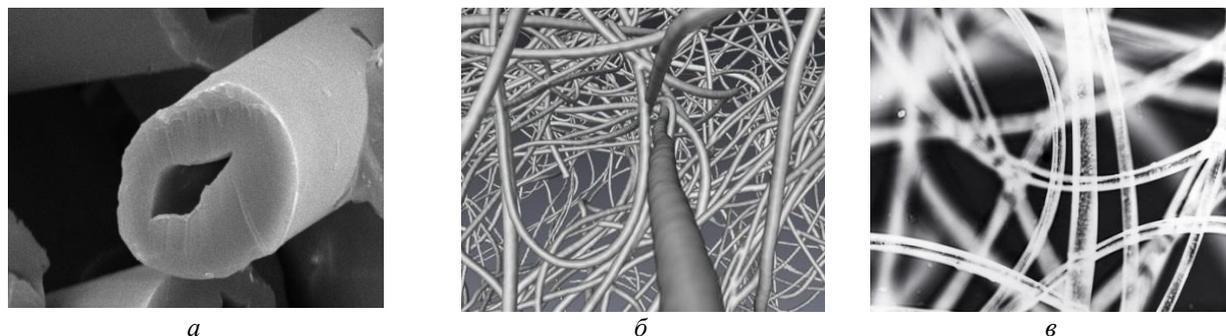


Рисунок 1. – Микроскопические снимки поверхности полиэфирных волокон (а) и структуры объемных ПЭТФ-утеплителей (ПЭТФ – полиэтилентерефталат; холлофайбер (б), синтепон (в))

Для закрепления замедлителей горения на поверхности волокон в последнее время используют плазменную обработку, β - и γ -облучение (что эффективно только в случае веществ, способных к радиационно-привитой сополимеризации) [6], термическое припекание антипиренов к поверхности полимерной матрицы [7]. Однако для воздушно наполненных объемных материалов, таких как синтепон или тинсулейт, термические методы обработки неприменимы, поскольку материалы теряют упругость, объем и потребительские свойства. Одновременно необходимо учитывать санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к антипиренам, и токсичность продуктов горения огнезащищенных ими полимерных материалов. Этим требованиям в наибольшей степени соответствуют неорганические и органические фосфорсодержащие соединения или их смеси [8, 9].

Решением проблемы может быть химическое закрепление замедлителя горения на поверхности полиэфирных волокон через систему организованных связей. Первой стадией такой «хемосборки» является создание на поверхности полимера активных функциональных групп, к которым при дальнейших обработках вследствие ионного обмена или ориентированной хемосорбции может произойти химическая прививка антипиренов [10]. Часто первичных групп недостаточно для прививки целевой добавки, и требуется промежуточное формирование дополнительных активирующих или адгезионных слоев. При последовательном синтезе функциональных слоев для каждого полимерного материала необходим экспериментальный поиск оптимальных условий каждой стадии многоступенчатого метода обработки.

Из-за физико-химических свойств соединений, входящих в известные огнезащитные составы, проблематично создать средство, адресно воздействующее на лимитирующие процессы, влияющие на тепломассообмен между пламенной зоной и подвергающимся пиролизу в конденсированной фазе горючим материалом. Этим недостатком лишены синтетические наноразмерные продукты на основе аммонийных фосфатов металлов, имеющие широкий диапазон физико-химических и термических свойств в зависимости от природы металла, соотношения компонентов и условий проведения синтеза [11].

Ранее нами был разработан метод предварительного травления полиэфирных материалов, приводящий к гидрофилизации поверхности полимера и появлению способности к адсорбции неорганических ионов и коллоидных частиц [12]. Экспериментально доказано, что наиболее эффективный по химическому составу раствор травления содержит фосфорную и соляную кислоты [13]. В случае создания на протравленной им полиэфирной поверхности промежуточных адгезионных слоев из подкисленных водных коллоидных растворов SnCl_2 наблюдается заметное повышение огнестойкости полиэфирного тканого полотна: эффективный привес огнезащитной композиции к полиэфирному нетканому материалу в 1,5 раза выше, чем в других случаях, причем этот эффект устойчив к стиркам [12].

Однако водные коллоидные растворы гидроксо соединений олова подвержены весьма быстрому (10–15 суток) старению с коагуляцией частиц и потерей активационной способности [14, 15]. Кроме того, смачиваемость полиэфирных объемных материалов в водной среде даже после травления явно недостаточна, что существенно увеличивает длительность обработки. Неводные коллоидные растворы Sn (II) для активации поверхности полимеров используются значительно реже, и закономерности процессов, протекающих в этих растворах, практически не изучены. Предположительно, органополи Sn (II) должны быть существенно стабильнее водных растворов, если исходить из данных о более низкой растворимости кислорода в органических растворителях по сравнению с водой. Вероятно, в неводных растворах SnCl_2 могут формироваться частицы, обладающие большей стабильностью к окислению и гидролизу, чем частицы, образующиеся в водных растворах.

Цель данной работы – исследовать закономерности формирования и характеристики коллоидных частиц в спиртовых растворах SnCl_2 и определить параметры, при которых исследуемые системы имеют высокую активирующую способность по отношению к обес-

печению прочной химической привязки к поверхности ПЭТФ-волокон азот-фосфорсодержащих замедлителей горения.

Методика исследований. Для активации полиэфирных утеплителей типа синтепон и холлофайбер использовали растворы SnCl_2 в этаноле с концентрацией $0,22 \text{ моль/дм}^3$ в присутствии стабилизирующих добавок: 25 %-ного водного раствора аммиака в количестве 5 мл/дм^3 и аминсоединений: этилендиамина (ЭДА) и моноэтаноламина (МЭА) – по 2 мл/дм^3 , которые способствуют повышению стабильности коллоидных частиц. Изучение размеров, формы и сопоставительного количества коллоидных частиц в объеме исследуемых растворов проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью прибора ЭМВ-100ЛМ, нанося капли данных растворов на пленки коллодия на медных сеточках.

Огнезащитная обработка полиэфирного утеплителя включала следующие стадии: предварительное травление в смеси фосфорной и соляной кислот; промывку, активацию в неводном растворе SnCl_2 ~20 мин и пропитку огнезащитной композицией в виде мелкодисперсной суспензии аморфных фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с дигидрофосфатом аммония, общего химического состава в пересчете на оксиды в масс. %: $\text{P}_2\text{O}_5:\text{NH}_3:\text{CaO}:\text{MgO}:\text{Fe}_2\text{O}_3 = 28,4:7,5:0,72:0,15:2,39$ в течение ~20 мин. Далее ПЭТФ-утеплители сушили при ~80–90 °С (при более высоких температурах материал съезживается и теряет упругость). Эффективность огнезащитной обработки полиэфирных утеплителей до и после стирок определяли по СТБ 11.03.02-2010 [16].

Рентгенофотозлектронные спектры (РФЭС) на разных стадиях обработки ПЭТФ регистрировали на электронном спектрометре ЭС-2401 с рентгеновским излучением $\text{MgK}\alpha$ ($h\nu = 1253 \text{ эВ}$) в вакууме 10^{-7} Па . Диаметр зонда составлял 6 мм, энергетическое разрешение по спектру – 0,1 эВ. Расшифровку РФЭ-спектров и идентификацию соединений по энергиям химической связи проводили путем разложения пиков сложной формы на гауссовские составляющие с помощью пакета программ PROF на основе справочных данных [17, 18].

Основная часть. Сопоставительное исследование количества и размеров коллоидных частиц, формирующихся в объеме этанольных растворов SnCl_2 без стабилизирующих добавок, показало, что образование очень мелких (~1–3 нм) коллоидных частиц начинается после 15 суток их хранения (в объеме водных растворов – уже за 1 сутки хранения). С увеличением срока хранения до 45 суток количество коллоидных частиц в объеме спиртовых растворов существенно растет; причем размеры их практически не увеличиваются (3–5 нм), при этом наблюдается формирование агрегатов с небольшими размерами (10–15 нм) из мелких первичных частиц (рис. 2). При введении в этанольные растворы SnCl_2 азотсодержащих добавок формирование коллоидных частиц явно интенсифицируется: четко различимые частицы с размерами 3–8 нм образуются уже в растворах со сроком хранения 5–7 суток (рис. 2).

Активизация коллоидообразования может быть вызвана включением добавок в сольватную оболочку частиц, предположительно, с ее стабилизацией. Наиболее четкие, однородные и равномерно распределенные округлые коллоидные частицы с размерами не более 10 нм наблюдаются в этанольных растворах с добавками раствора аммиака и этилендиамина. Особенно важен тот факт, что по мере хранения спиртовых растворов соединений двухвалентного олова концентрация коллоидных частиц продолжает расти, а их размеры практически не изменяются. По сравнению с водными коллоидными растворами SnCl_2 стабильность спиртовых растворов выше, не менее чем в 10 раз.

Согласно литературным данным [17, 18] наибольшей активирующей способностью в процессе сенсбилизации твердой поверхности, в частности в процессах химической металлизации диэлектриков, обладают растворы SnCl_2 с высокой концентрацией мелких коллоидных частиц (не более 3–15 нм), которые формируют на активируемой поверхности равномерный монослой. В таком случае (на основании полученных экспериментальных данных) наиболее активные интермедиативные слои на поверхности полиэфирных волокон

должны были бы образоваться при использовании спиртовых растворов SnCl_2 со сроком хранения не менее 15 суток.

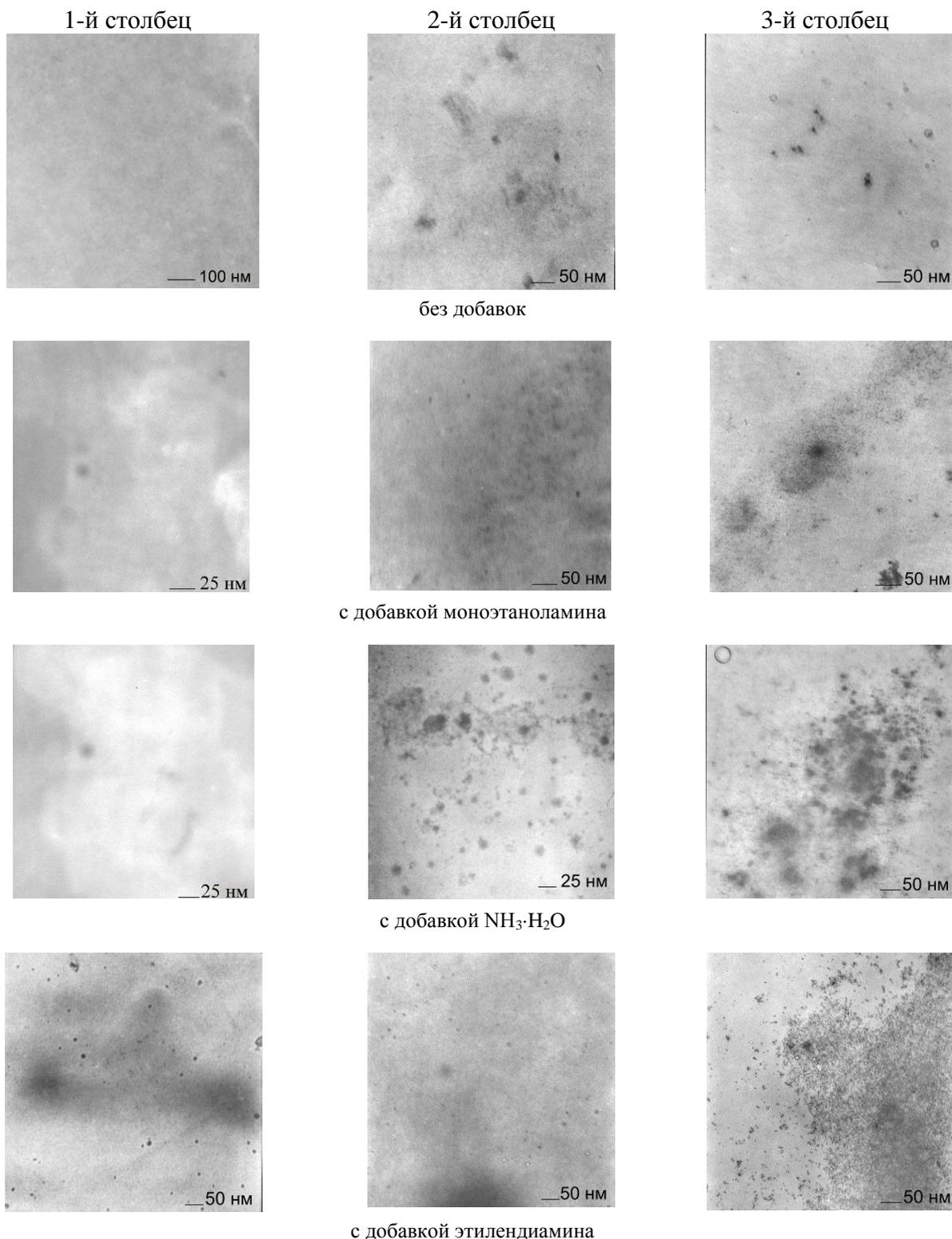


Рисунок 2. – ПЭМ-фотографии коллоидных частиц в объеме этанольных растворов SnCl_2 различного срока хранения: 1-й столбец – 5 сут.; 2-й столбец – 25 сут.; 3-й столбец – 45 сут.

Действительно, огнестойкость подвергнутых ступенчатой обработке, а затем постигранных полиэфирных утеплителей в случае использования для нанесения активирующего подслоя органоэтей SnCl_2 со сроком хранения менее 10 суток, в объеме которых еще не

сформировалось достаточное количество коллоидных частиц, не достигает требуемых показателей и соответствует категории «легковоспламеняемый». По мере хранения используемых для ступенчатой огнезащитной обработки растворов SnCl_2 эффективность огнезащиты возрастает, но только в случае применения для нанесения адгезионного подслоя из соединений двухвалентного олова спиртовых растворов SnCl_2 со сроком хранения 20–40 суток, в объеме которых имеется множество мелких однородных коллоидных частиц.

Как показали огневые испытания по методике СТБ 11.03.02-2010, исходный образец нетканого полиэфирного утеплителя после кратковременного поджигания продолжает горение с активным растеканием горящих капель, пока не сгорит практически полностью (рис. 3а).



Рисунок 3. – Образцы полиэфирного нетканого утеплителя после огневого испытания:
а – исходного материала; б – после ступенчатой огнезащитной обработки

При оптимальном сочетании условий проведения всех стадий обработки (предварительного травления, состава и срока хранения зольей SnCl_2) после отнятия пламени полиэфирный утеплитель сразу же затухает, что соответствует наивысшей категории огнестойкости для текстильных материалов – «трудновоспламеняемый». На рисунке 3б видно, что сгорела только та часть образца, которая находилась непосредственно в пламени горелки. Оставшаяся неповрежденная часть утеплителя практически не деформирована и не потеряла функциональных свойств.

Таким образом, использование спиртовых коллоидных растворов SnCl_2 для создания интермедиативного адгезионного слоя позволило придать воздушным полиэфирным материалам огнестойкость на уровне «трудновоспламеняемый», обеспечить устойчивость огнезащитного эффекта к стиркам и существенно повысить воспроизводимость результатов.

Причиной достигнутого эффекта, вероятно, является ориентированная хемосорбция коллоидных частиц на образованных при травлении полиэфира функциональных группах и их последующее взаимодействие с компонентами антипирена.

Исследование химического состава приповерхностной зоны полиэфирного волокна методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии показало, что в спектрах огнезащищенного ПЭТФ присутствуют пики, соответствующие кислородсодержащим соединениям олова (рис. 4а). Также в спектрах обнаружены пики, соответствующие различным группировкам фосфора и азота, связанным с углеводородными радикалами, в том числе через кислородные мостики (рис. 4б, в).

Значения энергии связи пика $\text{N } 1s$ 398,6–399,0 эВ свидетельствуют о том, что атомы азота входят в состав не только аммонийных, но и кислородсодержащих групп типа $>\text{N}-\text{O}-$, отсутствующих в составе антипирена (рис. 4б). Судя по наличию максимумов спектра $\text{P } 2p$ при 132,7; 130 и 129 эВ, на поверхности полиэфирных волокон присутствуют соединения фосфора с кислородом (фосфаты или фосфиты) и группировки типа R_3P (рис. 4в), также отсутствующие в составе антипирена. Тогда как для исходного волокна или при отсутствии стадии травления и/или активации ПЭТФ коллоидными растворами SnCl_2 эти пики в спектрах полиэфира практически не наблюдаются.

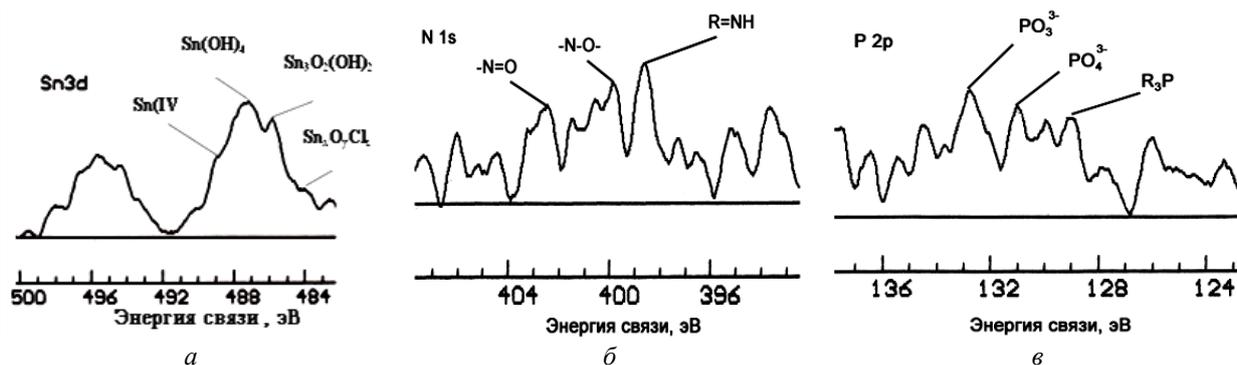


Рисунок 4. – РФЭ-спектры поверхности огнезащитного полиэфирного покрытия с промежуточной обработкой соединениями олова: а – Sn 3d; б – N 1s; в – P 2p

Необходимо отметить, что в результате обработки суспензией антипирена полиэфирного утеплителя, содержащего подслои соединений олова, существенно возрастает относительное количество атомов кислорода в поверхностном слое образцов (толщиной около 1 нм). Так, соотношение интенсивностей пиков кислорода и углерода в РФЭ-спектрах увеличивается в 2–4 раза. Этот факт можно объяснить появлением на поверхности ПЭТФ-кислородсодержащих соединений типа $\text{Sn}_x\text{OH}_y\text{Cl}_z$, PO_4^{3-} и связанной воды. В отсутствие модифицирующих подслоев обработка ПЭТФ антипиреном не приводит к заметному изменению относительной интенсивности пика кислорода, что свидетельствует о незначительной привязке замедлителя горения. Следовательно, при ступенчатой огнезащитной обработке на поверхности ПЭТФ явно происходит не только адсорбция, но и химическое взаимодействие компонентов различных нанослоев с формированием новых соединений и мостиковых связей.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что спиртовые растворы SnCl_2 более перспективны для активирующей обработки полимерных материалов, в частности объемных полиэфирных утеплителей перед нанесением огнезащитных композиций, чем водные, поскольку окисление Sn (II) в них происходит значительно медленнее и коллоидные частицы в их объеме значительно дольше сохраняют оптимальные частотно-размерные характеристики.

Установлено, что полиэфирные утеплители, прошедшие ступенчатую огнезащитную обработку с применением спиртовых растворов SnCl_2 с высокой концентрацией коллоидных частиц, размеры которых не превышают 10–15 нм, характеризуются не только наивысшей категорией стойкости к горению, но и устойчивостью огнезащитной обработки к многократным стиркам.

Выявлено, что на протравленной поверхности ПЭТФ происходит образование сложноструктурированной нанослоистой системы «полимер–адгезив–антипирен», в которой адгезионные слои из наноразмерных коллоидных частиц оксо-гидроксо соединений олова химически связаны как с полиэфирной матрицей, так и с азот- и фосфорсодержащими замедлителями горения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадитдинов, Р.Н. Современные подходы к способам придания огнезащитных свойств полимерным текстильным материалам / Р.Н. Гимадитдинов // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2013. – № 17. – С. 116–118.
2. Тарануха, Я.А. Придание огнезащитных свойств тканевым материалам на основе натуральных и синтетических волокон / Я.А. Тарануха, А.М. Каратеев // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2006. – № 4. – С. 37–42.
3. Перепелкин, К.Е. Горючесть текстиля как одна из его важнейших характеристик / К.Е. Перепелкин // Хим. волокна. – 2001. – № 5. – С. 8–42.

4. Анализ структуры нетканых полотен «Холлофайбер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.thermopol.ru/thermopol.ru/chto-vnutri.html>. – Дата доступа: 05.04.2019.
5. Зубкова, Н.С. Снижение горючести текстильных материалов. Решение экологических и социально-экономических проблем / Н.С. Зубкова, Ю.С. Антонов // Российский химический журнал. – 2002. – Т. 46, № 1 – С. 96–102.
6. Сабирзянова, Р.Н. Модификация текстильных материалов низкотемпературной плазмой пониженного давления / Р.Н. Сабирзянова, И.В. Красина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17. – С. 56–62.
7. Тучкова, О.А. Поведение текстильных материалов при высокоинтенсивном нагреве / О.А. Тучкова, В.С. Гасалов, Р.Н. Сабирзянова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 22. – С. 34–36.
8. Дусметова, Г.И. Исследование технологических параметров огнезащитной пропитки тканевых материалов / Г.И. Дусметова [и др.] // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6, ч. 2. – С. 243–245.
9. Гоношилов, Д.Г. Новые пропиточные огнезащитные составы на основе фосфорборосодержащего олигомера полиакриламида / Д.Г. Гоношилов, В.Ф. Каблов, Н.А. Кейбал, С.Н. Бондаренко // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8, ч. 3. – С. 627–630.
10. Химия привитых поверхностных соединений / авт.-сост. Г.В. Лисичкин, А.Ю. Фадеев, А.А. Сердан, П.Н. Нестеренко, П.Г. Мингалев, Д.Б. Фурман; под ред. Г.В. Лисичкина. – М.: Физматлит, 2003. – 589 с.
11. Богданова, В.В. Синтез и физико-химические свойства фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония / В.В. Богданова, О.И. Кобец // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87, вып. 10. – С. 1385–1399.
12. Рева, О.В. Зависимость эффективности огнезащиты нетканого полиэфирного материала от химической природы азот- и фосфорсодержащего антипирена / О.В. Рева [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2017. – № 2. – С. 85–93.
13. Рева, О.В. Получение оптимального состава травильной композиции для полиэфирных материалов методом математического планирования эксперимента / О.В. Рева [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т.2, № 1. – С.45–50.
14. Химическое осаждение металлов из водных растворов / авт.-сост. В.В. Свиридов, Т.Н. Воробьева, Т.В. Гаевская, Л.И. Степанова; под ред. В.В. Свиридова. – Минск: Университетское, 1987. – 270 с.
15. Mance, A.M. Interactions of Electroless Catalysts with Ozonated Polymer Surfaces: Platability and X - Ray Photoelectron Spectroscopy Studies / A.M. Mance, S.W. Gaarenstroom, R.A. Waldo. // J. Electrochem. Soc. – 1991. – Vol. 138, № 2. – P. 417–421. DOI: 10.1149/1.2085601.
16. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2011. – 25 с.
17. Нефедов, В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: справочник / В.И. Нефедов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
18. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / М.П. Сих, Д. Бриггс, Дж. К. Ривьер, С Хофман. – М.: Мир, 1987. – 600 с.

Закрепление нетоксичных антипиренов на поверхности полиэфирных волокон
Fixation of nontoxic antipyrens on the surface of polyester fibers

Рева Ольга Владимировна

кандидат химических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», кафедра процессов горения и взрыва, доцент

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: volha107@rambler.ru

Olga V. Reva

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

The State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of the processes of combustion and explosion, Associate Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: volha107@rambler.ru

Назарович Андрей Николаевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», отдел научной и инновационной деятельности, научный сотрудник

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: nazarovich.andry@gmail.com

Andrei N. Nazarovich

The State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Department of Science and Innovation, Researcher

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: nazarovich.andry@gmail.com

Богданова Валентина Владимировна

доктор химических наук, профессор

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, заведующий лабораторией

Адрес: 220030, Беларусь, г. Минск,
ул. Ленинградская, 14
e-mail: bogdanova@bsu.by

Valentina V. Bogdanova

Grand PhD in Chemistry Sciences, Professor

The Establishment of the Belarusian State University «Research Institute of Physical and Chemical Problems», Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Head of the Laboratory

Address: 211440, Belarus, Minsk,
ul. Leningradskaya, 14
e-mail: bogdanova@bsu.by

FIXATION OF NONTOXIC ANTIPYRENS ON THE SURFACE OF POLYESTER FIBERS

Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V.

Purpose. The article is devoted to the development of the method of flame retardant step processing of polyester insulation by chemically fixing non-toxic flame retardants on it through the adhesive sublayer of tin compounds.

Methods. Methods of transmission electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, gravimetry, GOST fire tests.

Findings. It was established that polyester insulation, which underwent step fire-retardant treatment using alcohol solutions of SnCl₂ with a high concentration of colloidal particles of dimensions less than 10–15 nm, and ammonium metal phosphate flame retardant are characterized by the highest burning resistance category for fabrics.

Application field of research. Fire retardant polyester non-woven material can be used in construction as insulation, noise insulator, filler, finishing and construction material.

Conclusions. The conditions for the formation of reactive colloidal nano-sized particles in alcohol solutions of tin chloride, which provide a strong binding of a nitrogen-phosphorus-containing inhibitor of combustion to a polyester matrix, are determined. The presence of a chemical interaction of the flame retardant components with the polymer and the adhesive sublayer of tin compounds with the formation of bridge bonds has been proved.

Keywords: adhesive nanolayers, colloidal particles, nontoxic flame retardants, flame protected polyester fibers, ammonium metal phosphates.

(The date of submitting: April 8, 2019)

REFERENCES

1. Gimaditdinov R.N. Sovremennye podkhody k sposobam pridaniya ogneshchitnykh svoystv polimernym tekstil'nym materialam [Modern approaches to the methods for fireproofing properties of polymeric textile materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013. No. 17. Pp. 116–118. (rus)
2. Taranukha Ya.A., Karateev A.M. Pridanie ogneshchitnykh svoystv tkanevym materialam na osnove natural'nykh i sinteticheskikh volokon [Fireproofing properties of fabric materials based on natural and synthetic fibers]. *Integrated Technologies and Energy Conservation*, 2006. No. 4. Pp. 37–42. (rus)
3. Perepelkin K.E. Goryuchest' tekstilya kak odna iz ego vazhneyshikh kharakteristik [The combustibility of textiles as one of its most important characteristics]. *Fibre Chemistry*, 2001. No. 5. Pp. 8–42. (rus)
4. *Analiz struktury netkanykh poloten «Khollofayber»* [Analysis of the structure of nonwoven fabrics «Hollofiber»], available at: <http://www.thermopol.ru/thermopol.ru/chto-vnutri.html> (accessed: April 5, 2019). (rus)
5. Zubkova N.S., Antonov Yu.S. Snizhenie goryuchesti tekstil'nykh materialov. Reshenie ekologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh problem [Reduced flammability of textile materials. Solving environmental and socio-economic problems]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2002. Vol. 46, No. 1. Pp. 96–102. (rus)
6. Sabirzyanova R.N., Krasina I.V. Modifikatsiya tekstil'nykh materialov nizkotemperaturnoy plazmoy ponizhennogo davleniya [Modification of textile materials by low-temperature low-pressure plasma]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012. No. 17. Pp. 56–62. (rus)
7. Tuchkova O.A., Gasalov V.S., Sabirzyanova R.N. Povedenie tekstil'nykh materialov pri vysokointensivnom nagreve [Behavior of textile materials during high-intensity heating]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013. No. 22. Pp. 34–36. (rus)
8. Dusmetova G.I., Dzhakipbekova N.O., Sakibaeva S.A., Isa A.B., Sarsenbaeva A.U. Issledovanie tekhnologicheskikh parametrov ogneshchitnoy propitki tkanevykh materialov [Research of technological parameters of fire protection treatment of tissue materials]. *Fundamental research*, 2014. No. 6, Part 2. Pp. 243–245. (rus)
9. Gonoshilov D.G., Kablov V.F., Keybal N.A., Bondarenko S.N. Novye propitochnye ogneshchitnye sostavy na osnove fosfor-borosoderzhashchego oligomera poliakrilamida [New impregnating fire pro-

- protective compounds based on phosphorus boron containing oligomer and polyacrylamide]. *Fundamental research*, 2011. No. 8, Part 3. Pp. 627–630. (rus)
10. Lisichkin G.V., Fadeev A.Yu., Serdan A.A., Nesterenko P.N., Mingalev P.G., Furman D.B. *Khimiya privitykh poverkhnostnykh soedineniy* [Chemistry of grafted surface compounds]. Ed. by G.V. Lisichkin et al. Moscow: Fizmatlit, 2003. 589 p. (rus)
 11. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Sintez i fiziko-khimicheskie svoystva fosfatov dvukh- i trekhvalentnykh metallov-ammoniya [Synthesis and physicochemical properties of Di- and trivalent metal-ammonium phosphates]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014. Vol. 87, No. 10. Pp. 1385–1399. (rus)
 12. Reva O.V., Bogdanova V.V., Lukyanov A.S., Perevoznikov S.S., Andreeva T.N. Zavisimost' effektivnosti ognезashchity netkanogo poliefirnogo materiala ot khimicheskoy prirody azot i fosforsoderzhashchego antipirena [Dependence of fire proof efficiency of nonwoven polyester material from the chemical nature of nitrogen and phosphorus-containing flame retardant]. *Journal of the Belarusian State University. Chemistry*, 2017. No. 2. Pp. 85–93. (rus)
 13. Reva O.V., Luk'yanov A.S., Arestovich D.N., Bogdanova V.V., Platonov A.S. The optimal composition of the surface preparation for polyester materials by the method of mathematical planning of the experiment. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 45–50. (rus)
 14. Sviridov V.V., Vorob'eva T.N., Gaevskaya T.V., Stepanova L.I. *Khimicheskoe osazhdenie metallov iz vodnykh rastvorov* [Chemical precipitation of metals from aqueous solutions]. Ed. by V.V. Sviridov et al. Minsk: Universitetskoe, 1987. 270 p. (rus)
 15. Mance A.M., Gaarenstroom S.W., Waldo R.A. Interactions of Electroless Catalysts with Ozonated Polymer Surfaces: Platability and X-Ray Photoelectron Spectroscopy Studies. *J. Electrochem. Soc.*, 1991. Vol. 138, No. 2. Pp. 417–421. DOI: 10.1149/1.2085601.
 16. *Sredstva ognезashchitnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy: STB 11.03.02-2010* [Means fireproof. General technical requirements and test methods. Standard of Belarus 11.03.02-2010]. Affirmed January 01, 2011. Minsk: The State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2011. 25 p. (rus).
 17. Nefedov V.I. *Rentgenoelektronnaya spektroskopiya khimicheskikh soedineniy* [X-Ray Electron Spectroscopy of Chemical Compounds]: directory. Ed. by V.I. Nefedov. Moscow: Chemistry, 1984. 256 p. (rus)
 18. Sikh M.P., Briggs D., Riv'er Dzh. K., Khofman S. *Analiz poverkhnosti metodami Ozhe- i rentgenovskoy fotoelektronnoy spektroskopii* [Surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy]. Moscow: Mir, 1987. 600 p. (rus)