

Введение Арамидные нити обладают хорошей эластичностью, малой растяжимостью, устойчивостью к действию химических реагентов, природной огнезащищенностью, биостойкостью и не проводят электрический ток, что позволяет применять их для сшивания особопрочных материалов, эксплуатирующихся при повышенных температурах и подверженных кратковременному воздействию открытого пламени, а также создавать на их основе специальные технические ткани для производства защитной одежды, средств спасения и изделий гражданского назначения. Благодаря высоким физико-механическим характеристикам арамидная нить нашла широкое применение в изготовлении боевой одежды пожарных и работников МЧС. Однако в ходе эксплуатации выявляются новые задачи, связанные с повышением качества производимых нитей и придания им новых функциональных свойств. В конечном итоге именно это обеспечивает уровень безопасности и сохранность жизни людей. Среди характерных особенностей арамидных нитей выделим их природный желтоватый цвет и в тоже время плохую окрашиваемость. Это не имеет значения в техническом применении, однако ограничивает функциональность защитных тканей. Придание защитной одежде определенных цветов в качестве сигнальных и распознавательных особенно важно в экстремальных условиях. Для решения задачи окрашивания арамидных нитей наряду с традиционными видами модификации волокон и волокнистых материалов, применяемых в текстильном производстве, развиваются и перспективные плазменные технологии [1]. Использование плазмохимических процессов в легкой промышленности позволяет заменять технологические операции, требующие больших расходов воды, на процессы сухой обработки. При этом уменьшается расход материалов, и сокращаются энергетические затраты. Кроме того, во многих случаях плазменная обработка позволяет исключить из технологии экологически опасные вещества и процессы. Эффективным инструментом обработки материалов различной природы является высокочастотная (ВЧ) плазма при пониженном давлении ($p = 13,3 - 133$ Па). Она позволяет обрабатывать органические и неорганические материалы различного состава и структуры, а также поверхности изделий сложной конфигурации [2]. Предшествующий опыт модификации натуральных, искусственных и синтетических капиллярно-пористых и волокнистых материалов показывает положительное влияние ВЧ плазмы на их функциональные свойства [1, 3, 4].

1. Материалы и методика экспериментальных исследований
Объектом исследования выбрана вдвое скрученная нить на основе арамидных моноволокон. Модификация нити проводилась на ВЧ плазменной установке емкостного разряда с плоскопараллельными электродами при частоте 13,56 МГц [2]. В качестве плазмообразующего газа использовались технический аргон, азот и воздух. Расход плазмообразующего газа G составил 0,04 г·с⁻¹, давление в разрядной камере $p = 26,6$ Па. В качестве варьируемых параметров

выбраны: время плазменного воздействия T от 3 до 8 мин, сила тока I_a от 0,3 до 0,8 А и напряжение на аноде U_a генераторной лампы от 3 до 7 кВ. Эффекты плазменного воздействия интегрально оценивались сравнением характеристик обработанных образцов с контрольными (необработанными). Для проведения всех необходимых исследований нить нарезают на отрезки. Исследовалась капиллярность по воде, прочность при растяжении и устойчивость окраски. Капиллярность оценивалась в соответствии с методикой по ГОСТ 29104.11-91 «Ткани технические. Метод определения капиллярности». Испытания на прочность при растяжении производилось на разрывной машине РМ-50 по ГОСТ 10213.2-2002 «Волокно штапельное и жгут химические. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве». Рис. 1 Экспериментальная ВЧ плазменная установка емкостного разряда: 1 – подвижная крышка; 2 – рельса; 3 – заземленный электрод; 4 – обечайка разрядной камеры; 5 – ВЧ электрод; 6 – система водяного охлаждения; 7 – ВЧ генератор; 8 – натекатель; 9 – ротаметр; 10 – манометр; 11 – вакуумный вентиль; 12 – двухроторный вакуумный насос; 13 – пластинчато-роторный вакуумный насос; 14 – площадка

Устойчивость окраски определялась по ГОСТ 9733.27-83 «Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению», а также исследовалась светостойкость к УФ-облучению [5]. Оценка результатов по проведению испытания на устойчивость окраски арамидных нитей к сухому трению проводилась по шестибальной шкале. В связи с тем, что не имеется стандартов методики крашения арамидных нитей, проводили подбор методов крашения. Использовались кислотный метод крашения волосяного покрова и крашение хлопчатобумажных трикотажных полотен методом крашения отварки и отбелики.

2. Результаты экспериментальных исследований

После обработки ВЧ плазмой пониженного давления капиллярность h образцов по воде увеличилась в 3-4 раза по сравнению с контрольными, что характерно для всех режимов плазменного воздействия (рис. 2). Очевидно, эффект связан с удалением исходной пленки сложного текстильно-вспомогательного состава с поверхности нити, наносимого в фабричных условиях для облегчения промежуточных операций, таких как вытягивание, намотка на бобину и т.п. [5]. Отметим, что увеличение капиллярности наблюдается уже при трех минутах обработки. Дальнейшее увеличение времени плазменного воздействия не приводит к существенным изменениям капиллярности. Возросшая капиллярность указывает на улучшение смачиваемости поверхности нити. При этом создаются благоприятные условия для начала физико-химического взаимодействия между поверхностью нити и красителем. Арамидные нити, окрашенные по технологии крашения и отварки хлопчатобумажных трикотажных полотен, показали следующие результаты. Окраска контрольных нитей, оказалась не устойчива к сухому трению и ярким цветом оседала на белой ткани, поэтому ее устойчивость равнялась шести баллам. Тоже характерно и для образцов, обработанных в азоте. Нити,

обработанные в аргоне, меньше всего окрашивают белую ткань и являются самыми устойчивыми к сухому трению. Близкий результат показали образцы, обработанные в воздухе. Рис. 2 Зависимость капиллярности по воде арамидных нитей от состава плазмообразующего газа: $J_a = 0,5A$, $U_a = 5кВ$, $G = 0,04$ г/с, $p = 26,6Па$ Для образцов, окрашенных по технологии кислотного крашения, также наилучший результат получен после обработки в среде аргона. Образцы, обработанные воздухом, напротив, сильно окрашивают белую ткань, поэтому имеют плохую устойчивость к сухому трению. При сравнении устойчивости к УФ излучению лучший результат показали нити, окрашенные по технологии крашения хлопчатобумажных трикотажных полотен методом крашения отварки и отбели. Они начали обесцвечиваться через 5-6 часов УФ облучения. Образцы, окрашенные по технологии кислотного крашения начали обесцвечиваться менее чем через час. На следующем этапе оценивались физико-механические свойства арамидных нитей. Они, как и большинство текстильных капиллярно-пористых материалов, имеют развитую внутреннюю поверхность. Учитывая эту особенность строения, можно предположить изменение физико-механических свойств нитей после процесса плазменной модификации, т.к. влияние поверхности с измененными свойствами соизмеримо со свойствами основного материала. При этом важно не ухудшить уже имеющиеся физико-механические характеристики. Испытания показали, что обработка ВЧ плазмой пониженного давления увеличивает до 35% разрывную нагрузку N арамидных нитей (рис.3). При этом наблюдаются различные характеры изменения свойств. Так в режимах $J_a = 0,3A$, $U_a = 7кВ$ для всех трех газов увеличение времени плазменного воздействия (рис.3а) не приводит к дальнейшему увеличению прочности арамидной нити. А для режимов $J_a = 0,5A$, $U_a = 5кВ$ прочность арамидной нити растет с увеличением времени плазменного воздействия (рис.3б). а б Рис. 3 Зависимость разрывной нагрузки арамидной нити от состава плазмообразующего газа и продолжительности плазменного воздействия: $G = 0,04$ г/с, $p = 26,6Па$; а) $J_a = 0,3A$, $U_a = 7кВ$; б) $J_a = 0,5A$, $U_a = 5кВ$ Объяснить обнаруженный эффект можно с помощью механизма взаимодействия низкотемпературной плазмы с материалами капиллярно-пористой структуры, предложенного в работе [6]. Основным фактором модификации является поток низкоэнергетических (10-60 эВ) ионов, поступающего на поверхность тела, помещенного в ВЧ поле плазмы при пониженном давлении. Их энергии достаточно для активации поверхности полимера. В результате проведенных опытов установлено, что воздействие ВЧ плазмы пониженного давления, позволяет повысить до 35% прочность арамидной нити, а также ее способность к операции крашения. При этом технология крашения и отварки хлопчатобумажных трикотажных полотен более предпочтительна по сравнению с технологией кислотного крашения. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках

федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по госконтракту 14.740.11.0080.