

Влияние высокочастотного емкостного разряда пониженного давления на свойства текстильных материалов

И. Ш. Абдуллин, И. В. Красина, М. Ф. Шаехов, Ф. С. Шарифуллин
Казанский государственный технологический университет, г. Казань, Россия

Приведены исследования характеристик шерстяного волокна и чистошерстяного текстильного материала после обработки в высокочастотном емкостном (ВЧЕ) разряде пониженного давления. Выявлено, что плазменная обработка не вызывает разрушения шерстяного волокна и приводит к изменению физических свойств.

В настоящее время для модификации материалов легкой промышленности все чаще используются электрофизические методы. Хорошо изучено влияние низкотемпературной плазмы (НТП) тлеющего разряда на шерстяные волокна [1]. Поэтому актуальным является исследование воздействия на текстильные материалы НТП ВЧЕ-разряда пониженного давления.

Цель работы — исследование характеристик шерстяного волокна и чистошерстяного текстильного материала после обработки в ВЧЕ-разряде пониженного давления.

Обработку образцов проводили на плазменной установке (рис. 1), настроенной на следующий диапазон параметров: расход плазмообразующего газа $G = 0,00-0,12$ г/с, давление в вакуумной камере $P = 13,3-53,2$ Па, мощность разряда $W_r = 0,6-2,0$ кВт, частота генератора $f = 13,56 \pm 10$ % МГц, плазмообразующий газ — аргон.

различными параметрами в широком диапазоне частоты.

Вакуумная камера 4 создана на базе промышленных установок. Основание вакуумной камеры смонтировано в виде сварного каркаса из нержавеющей стали, на верхней плоскости которого крепится плита. На ней размещены вакуумный колпак и два параллельных медных электрода 250×300 мм (изолированный и заземленный) 3. Механическая система откачки 5 состоит из двух насосов: механического типа НВЗ-5 и двухроторного — типа АВР-50 со скоростью откачки 5—50 л/с.

Система питания плазмотрона рабочим газом 7 состоит из баллона со сжатым газом, редуктора для понижения давления, образцового манометра, ротаметра типа РМ-3 для определения расхода газа и игольчатого натекателя для регулировки расхода.

Система водоснабжения 2 установки служит для обеспечения заданного теплового режима ее узлов и деталей. Вода поступает через системы контроля температуры и расхода жидкости на охлаждение наиболее нагруженных в тепловом отношении элементов: генераторной лампы, электродов. Подвод воды к установке и отвод воды из нее осуществляются с помощью резиновых шлангов.

Система электроснабжения 8 необходима для питания установки электрической энергией.

С помощью диагностического оборудования 6 во всех экспериментах контролировали входные параметры плазменной установки.

Характеристики плазменной установки измеряли следующими методами.

Давление в рабочей камере измерялось вакуумметром с линейной разверткой шкалы с манометрическим преобразователем типа диодного механотрона. Для измерения скорости потока использовались трубки Пито и U-образный манометр. Для определения тепловых характеристик, в том числе светового излучения, применялся калориметрический метод. Электрические параметры разряда контролировались одиночным электростатическим зондом. Для определения плотности и энергии ионов, поступающих на образец, использовался анализатор энергии

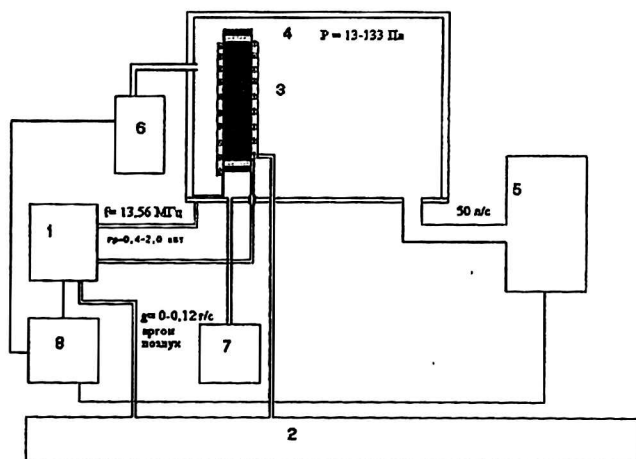


Рис. 1. Высокочастотная плазменная установка

Высокочастотный генератор 1 собран по одноконтурной схеме. Высоковольтный выпрямитель установок собран по трехфазной двухполупериодной схеме с управлением на первичной стороне трансформатора и снабжен приборами контроля, сигнализации, регулирования и защиты. Колебательная мощность генератора составляет до 1 кВт. Выходной каскад передатчиков позволяет проводить настройку на нагрузку с

ионов на основе цилиндрического конденсатора. Измерение напряженности магнитного поля проводилось с помощью магнитного зонда, чувствительность зондовой системы составляет $2160 \text{ А/м}\cdot\text{В}^{-1}$. Плотность тока измерялась с помощью миниатюрного пояса Роговского. Чувствительность системы измерения плотности тока составляет $1,59 \text{ А/м}^2\cdot\text{В}^{-1}$.

Установление закономерностей изменения характеристик шерстяного волокна и чистошерстяного текстильного материала, которые являются капиллярно-пористыми телами, от режимов ВЧ-плазменной обработки при пониженных давлениях производилось в зависимости от варьирования входных параметров ВЧ-установки: мощности разряда, расхода плазмообразующего газа, давления, времени воздействия.

Процесс взаимодействия плазмы с чистошерстяной тканью можно описать, используя понятия и результаты теории приэлектродных зон.

Известно [2], что поверхность любого образца, помещенного в плазменную струю, приобретает отрицательный заряд. В ВЧЕ-разряде электроны, следуя за изменением знака электрического поля, совершают "качания" относительно малоподвижных ионов, что является первопричиной образования пространственного слоя положительного заряда. Плоский образец, помещенный в плазму, рассекает электронное облако на две части, каждая из которых продолжает совершать "качания" в своем промежутке в соответствии с изменением знака электрического поля. Таким образом, с противоположных сторон пластины поочередно создается слой положительного заряда.

В момент касания пластины электронным облаком соответствующая поверхность заряжается отрицательно до максимально возможного значения потенциала. В течение остального времени периода колебаний электронного облака за счет рекомбинации электронов с бомбардирующими поверхность ионами заряд этой стороны пластины постепенно уменьшается до некоторого минимального значения.

Таким образом, в каждый момент времени заряды разных сторон пластины отличаются друг от друга. И поскольку обрабатываемые материалы относятся к диэлектрикам, то систему "слой положительного заряда—капиллярно-пористое тело—слой положительного заряда" можно рассматривать как конденсатор. Отсюда следует, что внутри обрабатываемого изделия существует электрическое поле, обусловленное разностью электрических зарядов на его противоположных поверхностях.

Данная ситуация характерна для ВЧ-обработки капиллярно-пористого тела. В постоянном электрическом поле, например в тлеющем разряде, противоположные поверхности изделия заряжаются до практически одинакового потенциала; в результате напряженность электриче-

ского поля внутри капиллярно-пористого тела будет близкой к нулю.

Внутри микропоры существует газовая среда, основным компонентом которой является используемый плазмообразующий газ. Основным материалом стенок микропоры исследуемых объектов является кератин. Учитывая разницу в плотности газовой среды коллагена и кератина, можно считать, что диэлектрическая проницаемость газовой среды ϵ_1 много меньше диэлектрической проницаемости микропоры ϵ_2 ($\epsilon_1 \ll \epsilon_2$). В силу общих свойств диэлектрических сред электрическое поле в газовой среде внутри микропоры в ϵ_1 раз меньше, чем поле, создаваемое аналогичным зарядом в вакууме; электрическое поле в стенке микропоры в ϵ_2 раз меньше поля внутри микропоры, при этом $\epsilon_2/\epsilon_1 \gg 1$.

Это означает, что распределение электрического поля внутри капиллярно-пористого тела сильно неоднородно; поле концентрируется преимущественно в микропорах.

Поскольку рассматриваемые объекты являются диэлектриками, то электроны, попавшие на поверхность, не перераспределяются по ней, а остаются в месте падения. При этом часть электронов попадает также и внутрь микропоры на глубину порядка ее радиуса и остается на стенках. Эти электроны в силу специфики геометрии внутренней поверхности искажают распределение электрического поля в окрестности микропоры, создавая локальную неоднородность размером порядка диаметра микропоры. Открытые микропоры являются концентраторами электрического поля, на которые устремляются положительные ионы, ускоренные в электрическом поле.

Ионы бомбардируют наружную поверхность микропор и с большой вероятностью залетают внутрь ее. Внутри капилляра ион может сталкиваться либо с нейтральным атомом и ионизировать его, либо рекомбинировать на стенке микропоры. Ион, рекомбинируя с электроном на внутренней поверхности микропоры с вероятностью $\gamma > 0,3$, выбивает из стенки микропоры вторичный электрон. Вторичный электрон, попадая в электрическое поле, созданное электронами, находящимися на стенке микропоры, может двигаться только вдоль микропоры.

При этом электрон успеет в ВЧ-электрическом поле совершить достаточное количество столкновений и набрать энергию, необходимую для ионизации атомов.

Электрон же, возникший в результате акта ионизации, попадает в поле действия отталкивающих сил электронов, заселяющих стенки микропоры, и с большей вероятностью продвигается вглубь микропоры в область более слабого поля.

Таким образом, внутри капиллярно-пористого тела создаются условия для возникновения пробоя газа, поскольку: в газе возникают свободные носители заряда, т. е. возникает прово-

димось; в микропоре существует электрическое поле, сообщающее этим носителям направленное движение. Основным источником свободных электронов и ионов внутри микропоры является газ, наполняющий ее. Газ в открытых микропорах первоначально ионизируется за счет потока ионов, поступающих из плазмы, и за счет вторичных электронов, выбиваемых ионами со стенок микропор.

В закрытых микропорах ионизация газа происходит в моменты наиболее высоких значений электрического поля.

Ионы, возникающие в процессе несамостоятельной ионизации газа внутри микропоры, попадают на ее стенки, где рекомбинируют с заселяющими ее электронами, способствуя тем самым модификации внутренней поверхности микропор. Это означает, что при обработке капиллярно-пористых тел в плазме ВЧЕ-разряда пониженного давления в отличие от других видов газовых разрядов возможно проведение объемной обработки.

На модификацию поверхности в потоке НТП могут оказывать влияние также процессы взаимодействия с возбужденными частицами, кинетический удар атомами, ионами и электронами, бомбардировка электронами в околоповерхностных электрических полях, тепловой поток, воздействие электромагнитного поля и светового излучения [3].

Сравнительный анализ элементарных процессов взаимодействия плазмы с поверхностью тел [4] доказывает, что наибольший вклад в модификацию вносят ионная бомбардировка и рекомбинация ионов. Остальные процессы не вносят существенного энергетического вклада в процессы модификации.

Свойства текстильных материалов исследовали с использованием следующих методов.

Содержание минеральных веществ в волосяном покрове определяли в виде золы ($\Delta = \pm 0,05 \%$, $\delta = 1,3 \%$) после сжигания навески в муфельной печи. Содержание золы $З$, %, вычисляли по формуле

$$З = \frac{з}{н} \cdot 100,$$

где $з$ — масса золы, г;

$н$ — масса навески, г.

Содержание несвязанных жировых веществ в волосяном покрове определяли по ГОСТ 26129—84 экстрагированием хлороформом в аппарате Зайченко [5]. $\Delta = \pm 0,01 \%$, $\delta = 1,3 \%$. Массовую долю жировых веществ h , %, вычисляли по формуле

$$h = \frac{100 \cdot j_c}{j},$$

где j_c — масса извлеченных из образца жировых веществ, г;

j — масса образца, взятого для анализа, г.

Характерным элементом для белков является азот, поэтому его количественное определение служило основой для расчета белковых веществ в волосяном покрове мехового сырья. Содержание общего азота A , %, определяли методом Кьельдаля [6]. $\Delta = \pm 0,01 \%$, $\delta = 0,6 \%$. Расчет вели по формуле

$$A = \frac{(k - k_0) \cdot K_{HCl} \cdot 0,0014 \cdot K}{н},$$

где k — количество 0,1 н раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование испытуемой пробы, мл;

k_0 — количество 0,1 н раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование контрольной пробы, мл;

0,0014 — количество азота, эквивалентное 1 мл 0,1 н раствора соляной кислоты;

K — переводной коэффициент, для кератина принимали равным 6,07.

При различных химических обработках волоса или воздействию на него физических факторов может происходить деструкция кератина с образованием более низкомолекулярных продуктов, способных переходить в раствор, в качестве растворителей при этом могут выступать растворы щелочи или кислоты. Поэтому химические исследования волоса проводили по его растворимости в щелочи (0,1 н растворе гидроксида натрия) и кислоте (4 н растворе соляной кислоты) [6]. $\Delta = \pm 1,3 \%$, $\delta = 8,5 \%$. Потерю массы после химической обработки p , %, вычисляли по формуле

$$p = \frac{m \cdot b - m_c}{m \cdot b} \cdot 100,$$

где m — масса волоса, взятого для химической обработки, г;

m_c — масса волоса, обработанного растворами химических веществ, после сушки, г.

При этом коэффициент b определяется следующим образом:

$$b = 1 - \frac{n - n_c}{n},$$

где n — масса контрольного образца волоса, г;

n_c — масса контрольного образца волоса после сушки, г.

Определение жесткости при изгибе проводили на приборе ПТ-2 по ГОСТ 10550—75, на котором проба материала изгибается под действием распределенной силы (силы тяжести свешивающейся части пробы). $\Delta = \pm 0,1$ мкН·см, $\delta = 1,5 \%$. Жесткость EI , мкН·см, вычисляли по формуле

$$EI = \frac{42046 \cdot m}{R},$$

где m — масса 5 пробных полосок, г;

R — функция относительного прогиба.

Относительный прогиб f вычисляется по формуле

$$f = \frac{f_0}{7},$$

где f_0 — окончательный прогиб пробы;

7 — длина свешивающихся концов проб, см.

Разрывную нагрузку H определяли по ГОСТ 29104.4—91 на разрывной машине РТ-250. $\Delta = \pm 0,5$ Н, $\delta = 0,15$ %.

Определение коэффициента тангенциального сопротивления проводили по методу наклонной плоскости [7]; $\Delta = \pm 0,01$; $\delta = 1,1$ %.

Коэффициент сминаемости определяли на приборе СТ-1 по ГОСТ 18117—80. $\Delta = \pm 0,01$ Н, $\delta = 2$ %.

Усадку по длине Y_d и ширине Y_w материала, %, определяли после влажно-тепловой обработки по ГОСТ 5012—82. $\Delta = \pm 1$ мм, $\delta = 3,3$ %. Расчет вели по формулам

$$Y_d = \frac{L_{d1} - L_{d2}}{L_{d1}} \cdot 100;$$

$$Y_w = \frac{L_{w1} - L_{w2}}{L_{w1}} \cdot 100,$$

где L_{d1} — первоначальная длина образца, мм;

L_{d2} — длина образца после влажно-тепловой обработки, мм;

L_{w1} — первоначальная ширина образца, мм;

L_{w2} — ширина образца после влажно-тепловой обработки, мм.

Изменение капиллярности текстильного материала после плазменной обработки определяли по высоте подъема жидкости в течение 1 ч [7]. $\Delta = \pm 5$ мм, $\delta = 1,5$ %.

Статистическую обработку опытных данных проводили классическим методом [8]. Среднеарифметическое значение a_m определяли по формуле

$$a_m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n},$$

где n — число параллельных определений.

Абсолютное отклонение Δ определяли по формуле

$$\Delta = \pm(a_i - a_m).$$

Относительное отклонение δ , %, определяли по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{a_m} \cdot 100.$$

Результаты исследований влияния потока плазмы ВЧЕ-разряда на шерстяное волокно представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние НТП ВЧЕ-разряда на показатели химических свойств шерстяного волокна ($G = 0,04$ г/с, $P = 13,3$ Па, $W_r = 1,6$ кВт, $t = 5$ мин)

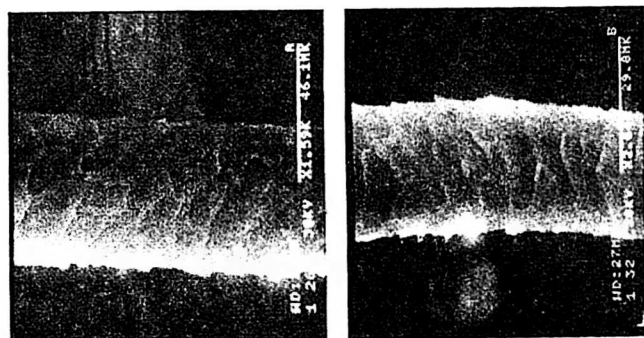
Показатели	Значение показателей	
	до плазменной обработки	после плазменной обработки
Растворимость в 0,1 н NaOH, %	11,202	10,316
Растворимость в 4 н HCl, %	4,420	5,905
Содержание общего азота, %	16,47	16,46
Содержание жировых веществ, %	4,47	3,21
Зола, %	4,746	4,616

Показатели растворимости в щелочи и содержания общего азота не изменяются, что прежде всего говорит об отсутствии процессов дезаминирования и разрыва ковалентных связей, в том числе дисульфидных. Деструкции шерстяного волокна во время плазменной обработки не происходит.

Увеличение растворимости волоса в растворе соляной кислоты на 1,5 % свидетельствует об облегчении протекания гидролитического распада кератина шерсти, что может быть обусловлено ослаблением некоторых водородных связей.

После плазменной обработки наблюдается снижение содержания жировых веществ на 1,2 %, что вызвано их удалением во время ВЧЕ-обработки. Незначительное снижение содержания золы служит этому доказательством.

Исследование поверхности шерстяного волокна после плазменной обработки проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа марки РЭММА 202М (рис. 2). На микрофотографиях видно, что значительных изменений поверхности после плазменной обработки не наблюдается.



а

б

Рис. 2. Микрофотографии (увеличение $\times 1260$) шерстяного волокна:

а — до плазменной обработки;
б — после плазменной обработки

Исследования влияния НТП на характеристики текстильных материалов проводили на образцах чистошерстяной гладкокрашеной ткани арт. 21481 (ГОСТ 28000). Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние плазменной обработки на характеристики свойств чистошерстяного текстильного материала ($G = 0,04$ г/с, $P = 13,3$ Па, $W_r = 1,6$ кВт, $t = 5$ мин)

Показатели	Значения показателей	
	до плазменной обработки	после плазменной обработки
Жесткость, мкН·см	700,7	846,9
Разрывная нагрузка, Н:		
по основе	390	391
по утку	290	292
Коэффициент тангенциального сопротивления	0,84	0,93
Коэффициент сминаемости	0,45	0,60
Усадка, %:		
по основе	1,33	0,67
по утку	5,70	2,94
Капиллярность, мм	5	Более 300
Время растекания капли дистиллированной воды, с	1200	30

После плазменной обработки происходит относительное увеличение жесткости на 17,3 %. Разрывная нагрузка материала по основе и утку практически не изменяется. Коэффициент тангенциального сопротивления увеличивается на 9,7 %, что служит доказательством модификации поверхности волокон. Коэффициент сминаемости материала увеличивается на 21 %. Усадка по основе и утку после влажной обработки опытного образца по сравнению с контрольным уменьшается почти в два раза. Воздействие ВЧЕ-разряда приводит к увеличению гидрофильности шерсти, что выражается значительным увеличением капиллярности (по высоте подъема окрашенной жидкости) и уменьшением времени растекания капли дистиллированной воды.

Таким образом, можно сделать вывод, что плазменная обработка не вызывает деструкции

шерстяного волокна и приводит к изменению физических свойств. Изменение таких показателей свойств, как жесткость, коэффициент тангенциального сопротивления, коэффициент сминаемости, капиллярность, раскрывает большие возможности целенаправленной модификации свойств кератина шерсти для повышения ее ценных природных качеств, снижения отрицательных моментов при переработке и эксплуатации шерстяных изделий.

Литература

1. Александрова Т. М., Серебренникова М. Н., Кудрявцева Т. Н. Плазмохимическая обработка шерстяных материалов // Текстильная промышленность, 1991. № 3. С. 45–46.
2. Митчер М., Кругер И. Частично-ионизированные газы. — М.: Мир, 1976. — 496 с.
3. Абдуллин И. Ш., Желтухин В. С., Кашанов Н. Ф. Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. — Казань: Изд-во Казанского университета, 2000. — 348 с.
4. Абдуллин И. Ш., Абуталипова Л. Н., Махоткина Л. Ю. Неравновесная НТП в процессах изменения физико-механических свойств натуральных кож с естественной лицевой поверхностью // Тез. докл. VIII Всерос. конф. по физике газового разряда. — Рязань, 1996. С. 72–73.
5. Григорьева Г. С., Плюснина А. Т. Технический анализ и контроль мехового и овчинно-шубного производства. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1987. — 254 с.
6. Головатеева А. А., Куциди Д. А. и др. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха / Под ред. И. П. Страхова. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 312 с.
7. Бузов Б. А., Алименкова Н. Д., Петропавловский Д. Г. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства: Учеб. пособие для вузов. — М.: Легпромбыт-издат, 1991. — 432 с.
8. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 280 с.

Influence of the high-frequency capacitor category of the lowered pressure on properties of textile materials

I. Sh. Abdullin, I. V. Krasina, M. F. Shaehov, F. S. Sharifullin
Kazan State Technological University, Kazan, Russia

In article researches of characteristics of a woolen fibre and purewoolen textile material after processing in the high-frequency capacitor category of the lowered pressure are resulted. It is revealed, that plasma processing does not cause destruction of woolen fibre and results in change of physical properties.