
УДК 677.2

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛОКНА ХЛОПЧАТНИКА*

А.К.ИЗГОРОДИН, Ю.М.КУМОШЕНСКИЙ, Ю.В.КОНОПЛЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

В обзорных работах [1...3] дан анализ воздействия магнитного поля на структурные образования молекулярного уровня, а также спиновое состояние систем и обусловленных этим воздействием изменений свойств материалов на макроуровне. Практическое использование магнитного поля с целью изменения структуры и свойств материалов, а также повышения интенсивности и эффективности технологических

процессов рассмотрено ранее в [4...12]. В случае металлических конструкционных материалов [4], [5] и прецизионных сплавов [6] действие на них магнитного поля авторы объясняют изменением структуры и энергетического состояния неравновесных структурных образований, например, дислокаций, межзеренных и межфазных границ. В [6] на примере сплава Fe-Si-Al показано, что указанные выше изменения

* Работа выполнена с финансовой поддержкой Минобразования и науки Российской Федерации, грант РПН.2.2.1.1.7280.

под действием магнитного поля связаны с уменьшением локализации электронного облака около атомов, то есть снижением ковалентной составляющей межатомной связи и, как следствие, ростом подвижности дислокаций.

Большое количество публикаций посвящено использованию магнитного поля для модификации и изменения свойств полимеров и, в частности, волокон, а также для повышения эффективности технологических процессов переработки этих материалов [7...12]. Современные постоянные магниты размером $20 \times 20 \times 15$ мм³ позволяют в зазорах до 15 мм получить магнитное поле напряженностью до 500 кА/м, что вполне приемлемо для обработки волокнистых полуфабрикатов, например в прядении.

Магнитные системы на постоянных магнитах существенно превосходят по многим технико-экономическим показателям использованные ранее электромагниты.

Целью данной работы является исследование влияния магнитного поля на структуру и свойства волокон хлопчатника разной зрелости, отличающихся технологическими и потребительскими свойствами. Для сравнения приведены результаты воздействия на волокна коронного разряда, эффективность которого по модифицированию волокон хорошо установлена. Характеристики магнитного поля внутри магнита и во внешней среде – зоне расположения волокон рассчитывали исходя из соотношений магнитостатики.

Внутри постоянного магнита с учетом отсутствия токов проводимости взаимосвязь характеристик магнитного поля и высококоэрцитивного материала выглядит так:

$$\vec{J} = \vec{J}_0 + \chi \vec{H}, \quad (1)$$

$$B = \vec{J}_0 + \mu \vec{H}, \quad (2),$$

где \vec{J} – вектор намагниченности, а \vec{J}_0 – его значение на кривой намагничивания при $H=0$; \vec{H} и \vec{B} – напряженность и индукция

магнитного поля; χ и μ – магнитная восприимчивость и относительная магнитная проницаемость материала магнита.

Выражения (1) и (2) для нашего случая справедливы, так как рабочая точка нами выбрана на участке прямолинейной зависимости \vec{J} от \vec{H} . Постоянный магнит использован в форме диска, который по данным из [13] можно считать эллипсоидом вращения.

С учетом сказанного [13]:

$$\vec{H} = -N\vec{J}, \quad (3)$$

где N – размагничивающий фактор.

Из выражений (1)...(3) следует:

$$\vec{H} = -\frac{\vec{J}_0}{\chi + 1/N}, \quad (4)$$

а

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \vec{J}_0 (1 - N)}{1 + \chi N}. \quad (5)$$

В зоне расположения волокон, то есть около поверхности магнита, величину индукции магнитного поля можно определить по формуле (5), так как при переходе через границу раздела нормальная составляющая индукции остается неизменной.

Значение же напряженности магнитного поля в этой зоне, с учетом соотношения $B = \mu_0 H$ и выражения (5), находили по формуле:

$$H_e = J_0 \frac{1 - N}{1 + \chi N}. \quad (6)$$

С учетом данных из [7...15] и данных об изменении свойств волокон в поле с различным значением H_e величину H_e варьировали в пределах от 200 до 500 кА/м, изменяя величину рабочего зазора.

В качестве образцов использован астраханский хлопок. Структурная организация молекулярного уровня в поверхностной зоне волокон изучена методом нарушенного

полного внутреннего отражения (НПВО) на спектрофотометре Avatar 360 FT-IR ESP. ИК-спектры получены при значениях волнового числа $\gamma = 4000 \div 500 \text{ см}^{-1}$. Структура надмолекулярного уровня исследована на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 в $\text{CuK}\alpha$ - излучении выделенном Co-Ni фильтрами.

Размеры кристаллитов определены по формуле Шерера, средний угол их разориентации по азимутальному распределению интенсивности рефлекса (002), степень

кристалличности рассчитывали по формуле:

$$P = \varphi \left[1 + K (W_{\text{ц}}^{-1} - 1) \right],$$

где φ – доля рассеяния рентгеновских лучей кристаллитами целлюлозы; K – коэффициент учета рассеивающей способности различными фазовыми составляющими волокна; $W_{\text{ц}}$ – содержание целлюлозы в образцах, определенное химическим методом.

Т а б л и ц а 1

Коэффициент зрелости волокон и вид обработки		Оптическая плотность D при различных значениях волнового числа γ , см^{-1}								Относительная полуширина полос, $\text{см}^{-1}/\%$					
		3600-3000	3000-2800	1430	1370	1315	1160	1060	900	3600-3000	3000-2800	1430	1315	1160	1060
1,95	исходное	0,1	0,02	0,04	1,042	0,062	0,081	0,22	0,013	15	18	5,40	2,8	1,8	1,0
	магн. поле H=400 кА/м	0,038	0,009	0,02	0,022	0,032	0,04	0,13	0,006	27,5	43	9,2	5,9	3,1	2,1
	корона	0,03	0,008	0,019	0,021	0,025	0,032	0,12	0,006	34,5	48,9	8,3	4,5	4,3	2,0
0,90	исходное	0,02	0,01	0,011	0,015	0,021	0,047	0,094	0,06	57	53	16	10	5	3
	магн. поле H=400 кА/м	0,042	0,011	0,027	0,032	0,04	0,057	0,2	0,007	27	40	7,5	3,5	2,2	1,0
	корона	0,033	0,008	0,021	0,024	0,029	0,039	0,15	0,007	30,4	47,8	8,0	4,9	3,7	1,4

Результаты обработки ИК-спектров представлены в табл. 1. В значительной мере свойства целлюлозы определяются гидроксильными группами, число которых в элементарной ячейке равно 12. Группы OH участвуют в формировании внутри и межмолекулярных связей. Упорядоченность гидроксильных групп, включенных в водородную связь (волновое число $\gamma = 3600-3000 \text{ см}^{-1}$, табл. 1), в поверхностных зонах волокон существенно снижается, если волокна были под воздействием магнитного поля или коронного разряда.

Из сопоставления оптических плотностей волокон D при $\gamma = 3600-3000 \text{ см}^{-1}$ видно: величина D после воздействий более существенно снижается у зрелых волокон по сравнению с незрелыми; снижение D при воздействии магнитного поля меньше по сравнению с воздействием коронного разряда на (15...20)%.

Аналогичная ситуация наблюдается и при значениях $3000-2800 \text{ см}^{-1}$, при которых поглощение ИК-лучей обусловлено валентными колебаниями метиленовых групп. Поглощение ИК-излучения при

значениях волнового числа $1500-1000 \text{ см}^{-1}$ обусловлено взаимосвязанными деформационными колебаниями различных групп, например, OH, CH, CH_2 , CH_2OH , а также валентными колебаниями глюкозидного мостика.

Взаимосвязанность колебаний указанных структурных элементов обусловлена тем, что они входят в состав трехмерных образований, регистрируемых при дифракции рентгеновских лучей, как кристаллиты или аморфные зоны.

Полосы поглощения ИК-лучей при значении волнового числа $1500-1300 \text{ см}^{-1}$ обычно относят к кристаллитным образованиям, а при величине волнового числа $1200-1000 \text{ см}^{-1}$ – к аморфным зонам.

Как видно из табл. 1, интенсивность полос поглощения, которым соответствуют волновые числа 1430, 1370, и 1305 см^{-1} , а также 1160, 1260, и 900 см^{-1} , уменьшается примерно в два раза после воздействия на волокна как коронного разряда, так и магнитного поля.

Таким образом, в поверхностной зоне волокон после воздействия коронного раз-

ряда и магнитного поля снижается упорядоченность в распределении гидроксильных групп, включенных в водородные связи, а также метиленовых групп, примерно в три раза ($\gamma = 3600-2800 \text{ см}^{-1}$). Примерно в два раза снижается также упорядоченность распределения различных групп, составляющих трехмерные как кристаллитные, так и аморфные образования ($\gamma = 1500-1000 \text{ см}^{-1}$).

Возможные механизмы воздействия магнитного поля на волокна таковы: разрушение связей между различными группами по причине взаимодействия с электромагнитным полем колеблющихся полярных групп; изменение структуры и разрушение комплексов молекул воды, каждая из которых обладает огромным дипольным моментом; изменение энергетического состояния разных структурных образований, в том числе дефектов, сопровождающееся уменьшением констант кинетических переходов; разрушение связей возможных парамагнитных образований, находящихся в кутикуле волокон.

Указанные выше воздействия могут сопровождаться появлением радикалов, сравнительно свободных групп, возбужденных молекул, групп атомов с нескомпенсированным дипольным моментом и т.п. В результате поверхность волокон оказывается активированной, их взаимодействие между собой, а также с окружающей средой существенно изменяется.

Указанные в табл. 1 изменения параметров ИК-спектров волокон после воздействия магнитного поля находятся в согласии с изложенными выше предположительными механизмами воздействия магнитного поля на поверхностную зону волокон.

Факт же соизмеримости воздействия на волокна коронного разряда и магнитного поля (табл.1) свидетельствует об эффективности как корпускулярного воздействия на волокно высокоэнергетических ионов, электронов и квантов ультрафиолетового излучения, так и внешнего магнитного поля на внутренние электромагнитные поля волокон.

Таблица 2

№ п/п	Вид хлопка	Доля рассеяния рентгеновских лучей кристаллитами, %	Степень кристалличности целлюлозы, %	Содержание целлюлозы, %	Средний угол разориентации кристаллитов, град.	Размер кристаллитов в меридиональном/экваториальном направлениях, Å
1	Хлопок очищенный (линт)	69,5	70,1	97,0	-	-
2	Хлопок зрелый (K=1,95)	68,1	69,6	93,1	32,0	114/53
3	Хлопок незрелый (K=0,95)	65,8	68,3	89,0	33,7	101/48

Для выяснения возможного влияния особенностей надмолекулярной структурной организации волокон на рассмотренные выше внешние воздействия был проведен рентгеноструктурный анализ. Данные этого анализа приведены в табл. 2, из которой следует, что для незрелого хлопка характерны пониженные значения степени кристалличности и содержания целлюлозы, меньший размер кристаллитов и повышенный угол их разориентации.

Повышенные разориентация кристаллитов и более низкие размеры кристаллитов, пониженные степень кристалличности и содержание целлюлозы в незрелых волокнах свидетельствуют о меньшем совершенстве и повышенной дефектности структуры надмолекулярного уровня у этих волокон.

Исходя из перечисленных отличий надмолекулярной структуры зрелых и незрелых волокон следовало бы ожидать, что более эффективно рассмотренные внешние

воздействия должны влиять на незрелый хлопок. В действительности, по данным ИК-спектроскопии наблюдается обратная картина: изменения в ИК-спектрах незрелого хлопка менее значительны (табл. 1). Кроме этого, из табл. 2 следует, что в зрелом и незрелом хлопке содержание целлюлозы ниже по сравнению с очищенным и, следовательно, содержание в них нецеллюлозных примесей большое. Значительная часть этих примесей сосредоточена в поверхностных зонах волокон.

Приведенные данные позволяют предположить о решающем влиянии структурной организации молекулярного уровня и нецеллюлозных примесей в поверхностных зонах волокон хлопчатника на результат их модифицирования рассмотренными в работе воздействиями.

ВЫВОДЫ

1. При использовании постоянного магнитного поля для модифицирования поверхностной зоны волокон хлопчатника можно получать результаты, соизмеримые с результатами, полученными при обработке волокон в коронном разряде.

2. Создание магнитного поля с помощью магнитных систем на постоянных магнитах позволяет получать поля напряженностью до 500 кА/м, этим системам характерны экономичность, технологичность, экологичность, долговечность.

3. Анализ изменения структуры хлопка на различных уровнях структурной организации позволяет с большой вероятностью полагать, что результат модифицирования волокон магнитным полем и коронным разрядом определяется особенностями их структурной организации молекулярного уровня и нецеллюлозными примесями в поверхностной зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием

радикалов и триплетных молекул в растворах // Успехи химии. – 1977. Т.46, в.4. С.569...599.

2. Зельдович Я.Б., Бучаченко А.Л., Франкевич Е.Л. Магнито-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // Успехи физических наук. – 1988, №1. С.3...42.

3. Моргунов Р.П. Спиновая микромеханика в физике пластичности // Успехи физических наук. – 2004, №2. С.2...153.

4. Закалка стали в магнитном поле / Кривоглаз М.А. и др. – М.: Наука, 1977.

5. Стенук А.В. Фазовые и структурные изменения в металлах при импульсном деформировании в сильных магнитных полях // Проблемы прочности. – 1991, №9. С. 77...79.

6. Изгородин А.К., Шипко Г.А. Исследование прочностных свойств ферромагнитного сплава Fe-Si-Al в магнитном поле // Физика металлов и металловедения. – 1983, т.56, №6.

7. Калантарев М.И., Меликова Т.А. Исследование влияния магнитного поля на механическую прочность хлопкового волокна при различной относительной влажности. – В кн.: Труды Азербайджанского НИИ энергетики. – Т XVIII. – Баку, 1968. С. 264...268.

8. Акутин Н.С., Алиева С.Н. Упрочнение изделий из полиэтилена под действием магнитного поля // Пластические массы. – 1975, №11. С. 73.

9. Kastelmann W.N., Sajib S., Negmanow S., Sadi-kow C.U. Untersuchung der Eigenschaften von im Magnetfeld modifizierten Plastbeschichtungen Plaste und Kautschuk. – 1980, Н 8. S. 448...451.

10. Изгородин А.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1984, №1.

11. Изгородин А.К. Влияние постоянного магнитного поля на свойства волокон шерсти и лавсана / Мат. II Всесоюз. конф. по текстильн. материаловед. – М.: МТИ им. А.Н. Косыгина, 1985, С.2.

12. Персидская А.Ю., Кузеев И.Р., Антитин В.А. Исследование влияния импульсного магнитного поля на механические свойства ряда природных и синтетических волокон / В кн.: Мат. Всесоюз. конф.: Химия и технология растительных веществ. – Сыктывкар, 2000.

13. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука. 1976.

14. Применение магнитной обработки для улучшения качества крашения и отделки текстильных материалов. Обзорная конференция. – М.: ЦНИИТЭИ Легпром. 1989.

15. Geyer S., Flath H-J. Untersuchungen zum Einsatz des Magnetfeldes bei Farbprozessen // Melliand Textilberichte. – 1996, №5, S. 338...342.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 12.12.06.