

УДК 677.027

**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\***

**INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC VIBRATIONS  
ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF TEXTILE MATERIALS**

*О.Г.ЦИРКИНА, А.Л.НИКИФОРОВ*  
*O.G. TSYRKINA, A.L. NIKIFOROV*

**(Ивановская государственная текстильная академия,  
Ивановский государственный химико-технологический университет)**  
**(Ivanovo State Textile Academy;  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology)**  
E-mail: ogtsirkina@mail.ru; anikiforoff@list.ru)

*Произведена сравнительная оценка влияния высокотемпературной, влажно-паровой обработок и действия поля токов высокой частоты (ТВЧ) на физико-механические свойства текстильных материалов различной химической природы: прочность и удлинение. Оценено влияние длительности конвективного и диэлектрического нагрева целлюлозосодержащих тканей на изменение молекулярной массы и степени полимеризации природной целлюлозы.*

---

\* Работа выполнена на базе НИИ термодинамики и кинетики химических процессов.

*The comparative assessment of high-temperature influence, damp and steam processing and action of high frequency field on mechanical properties of textile materials has been carried out. Influence of duration of convective and dielectric heating of cellulose fabrics on molecular weight change and extent of polymerization of natural cellulose has been estimated.*

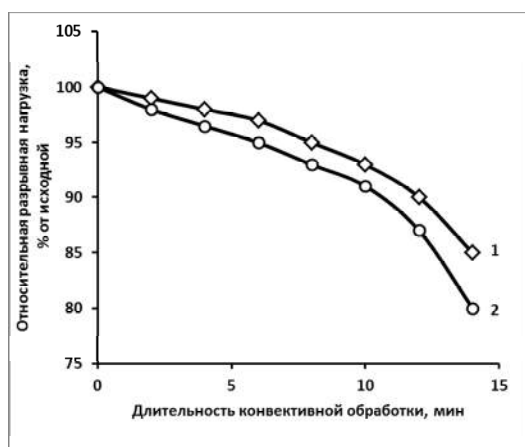
**Ключевые слова:** физико-механические свойства, термообработка, высокочастотный нагрев, целлюлозные и синтетические волокна.

**Keywords:** mechanical properties, heat treatment, high-frequency heating, cellulose and synthetic fibers.

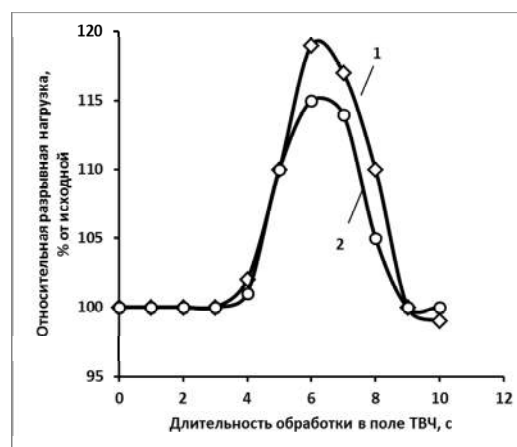
При анализе возможности использования высокочастотного нагрева в процессах отделочного производства необходимо комплексно подойти к исследованию физико-механических свойств материалов, которые будут изменяться одновременно с физическими и физико-химическими свойствами волокон. Релаксационные процессы в целлюлозе, протекающие при проведении тепловых обработок, способствуют переходу полимера в более равновесное упорядоченное состояние, усиливают межмолекулярное взаимодействие макромолекул в аморфных областях, следствием чего может быть улучшение прочностных свойств волокнистых материалов [1]. Этот факт является немаловажным, поскольку в технологических процессах отделочного производства, в частности, при белении или при проведении мало-сминаемой отделки, под действием химических препаратов и повышенных температур происходит неизбежное снижение прочностных характеристик тканей [2].

Цель данного исследования заключалась в проведении сравнительной оценки влияния различных тепловлажностных обработок на физико-механические свойства тканей, имеющих различную химическую природу. В качестве объектов исследования использованы хлопчатобумажные и льняные материалы, а также ткани из синтетических волокон.

Для оценки изменений прочностных характеристик волокнистых материалов в зависимости от продолжительности и условий тепловых обработок проведено сравнение результатов, полученных при конвективном нагреве материалов (температура 175°C, длительность 1...10 мин), а также при обработке влажных тканей в поле токов высокой частоты (ТВЧ) в течение 1...10 с. При этом частота внешнего электромагнитного поля составляла 40,68 МГц, а напряженность поля 200 В/мм.



а)



б)

Рис. 1

Экспериментальные результаты, характеризующие изменения прочности целлюлозосодержащих материалов – хлопчатобумажной и льняной тканей – в зависимости от времени и условий тепловой обработки приведены на рис. 1-а, б, где кривая 1 – миткаль, 2 – льняная ткань. Анализ полученных зависимостей показывает, что кратковременный конвективный нагрев при  $t=175^{\circ}\text{C}$  не влияет на прочностные характеристики тканей, а термообработка свыше 5 мин приводит к их снижению, что свидетельствует о частичной деструкции целлюлозы (рис. 1-а).

В отличие от традиционного способа нагрева ВЧ-обработка способствует улучшению механических характеристик текстильных материалов (рис.1-б). Характер данных зависимостей не прямолинеен. При этом повышение прочности тканей наблюдается в интервале от 4 до 7 с и достигает максимума при 6-секундной ВЧ-обработке, дальнейшее увеличение времени приводит к снижению положительного эффекта действия энергии электромагнитных колебаний.

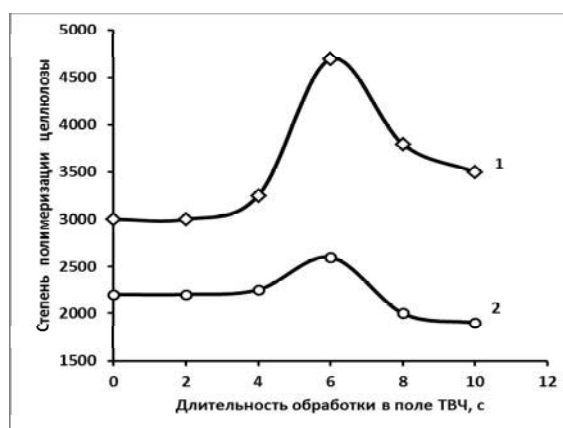
Улучшение прочностных характеристик целлюлозосодержащих тканей можно объяснить с нескольких точек зрения. Во-первых, возрастание устойчивости текстильных материалов к действию механических нагрузок после ВЧ-обработки обусловлено структурными преобразования-

ми, протекающими в целлюлозном волокне, на надмолекулярном уровне. В частности, процесс воздействия электромагнитного поля на полимер обусловлен дипольной поляризацией полярных групп целлюлозы и сопровождается повышением сегментальной подвижности макромолекул. Следствием этого может являться разрыв межмолекулярных водородных связей и их восстановление на более энергетически выгодном уровне, что приводит к повышению устойчивости ткани к физико-механическим воздействиям. Кроме того, действие ВЧ-поля вызывает процесс дробления кристаллитов в кристаллической области волокна. Это приводит к росту подвижности макромолекул и к увеличению способности волокна перераспределять внешнюю нагрузку между отдельными структурными элементами.

Во-вторых, упрочнение волокна возможно и за счет изменения его макромолекулярной структуры вследствие образования небольшого числа прочных ковалентных связей между соседними макромолекулами целлюлозы. С целью подтверждения данного предположения проведена оценка влияния высокочастотного нагрева на изменение степени полимеризации целлюлозы. Определение степени полимеризации волокна осуществляли вискозиметрическим методом. В качестве растворителя использован медно-аммиачный реактив.



а)



б)

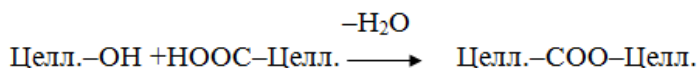
Рис. 2

На рис. 2-а, б приведены экспериментальные зависимости изменения степени полимеризации целлюлозы хлопкового (кривые 1) и льняного (кривые 2) волокна в процессе конвективной обработки (а) и при воздействии электромагнитного поля высокой частоты (б), рассчитанные исходя из удельной вязкости медно-аммиачных растворов целлюлозы.

Из графиков рис.2-а следует, что при проведении конвективной термообработки волокна в течение 5 мин при  $t=175^{\circ}\text{C}$  степень полимеризации целлюлозы практически не изменяется, а при дальнейшем увеличении времени воздействия начинает плавно снижаться вследствие протекания процесса термодеструкции полимера.

Изменение степени полимеризации целлюлозного волокна под действием ВЧ-нагрева носит экстремальный характер

(рис. 2-б). В интервале времени обработки от 0 до 4 с существенного изменения степени полимеризации целлюлозы не наблюдается, так как на этом отрезке времени происходит сушка текстильного материала. Вода, содержащаяся в волокне, препятствует его нагреву свыше  $100^{\circ}\text{C}$ , а энергия, подводимая к материалу, расходуется на испарение влаги. В интервале времени ВЧ-обработки от 4 до 6 с наблюдается рост степени полимеризации как хлопковой, так и льняной целлюлозы. Объяснением данного факта может служить образование химических связей в макромолекулярной структуре целлюлозного волокна под действием поля ТВЧ в результате реакции по первичным гидроксильным ( $-\text{OH}$ ) и концевым карбоксильным ( $-\text{COOH}$ ) группам целлюлозы по схеме:



При дальнейшем увеличении времени ВЧ-воздействия начинается процесс термодеструкции, поэтому величина степени полимеризации, достигнув максимума в области 6 с, начинает снижаться.

Появление новых связей между макромолекулами целлюлозы не может не сказаться на физико-механических свойствах тканей, поскольку повлечет за собой упорядочение структуры целлюлозного волокна, за счет чего суммарная энергия межмолекулярных водородных связей значительно возрастает. Полученные в ходе исследования показатели разрывной нагрузки ткани коррелируют с величиной степени полимеризации целлюлозы (рис. 3). Это доказывает, что процессы, происходящие в тонкой структуре волокна под действием ТВЧ, являются одной из причин повышения прочности тканей.

На следующем этапе работы определены деформационные характеристики текстильных материалов – разрывная нагрузка и относительное удлинение полоски ткани, прошедших различные варианты тепловлажностных обработок.

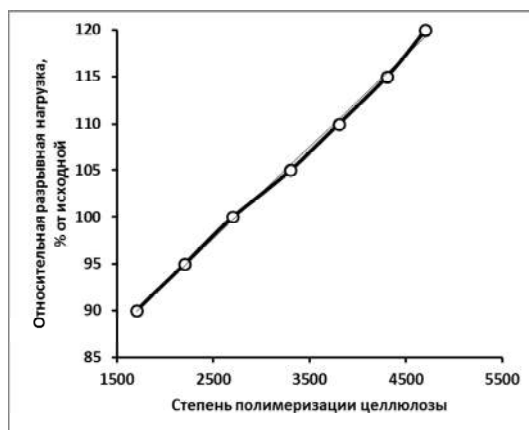


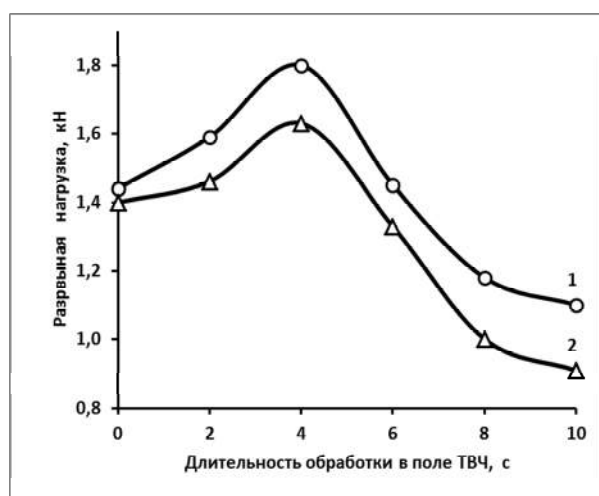
Рис. 3

Разрывная нагрузка и удлинение образцов определялись на разрывной машине ИР 5074-3. Данные табл.1 (деформационные характеристики текстильных материалов) доказывают, что процессы упорядочения структуры полимера более эффективно проходят в ходе диэлектрического нагрева влажных материалов в поле ТВЧ, нежели в процессе запаривания. Так, прочность тканей в первом случае возрастает на 15...20%.

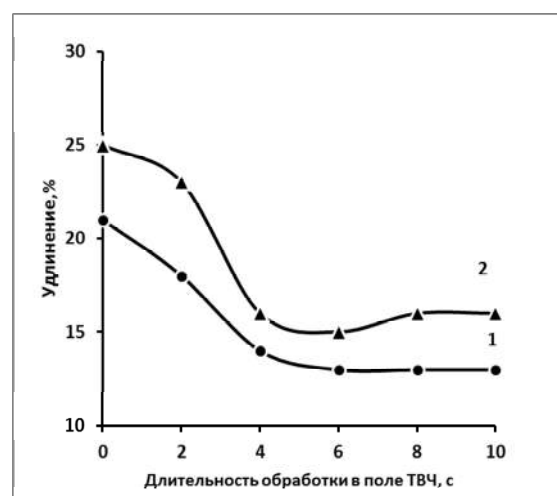
| Ткань          | Разрывная нагрузка, кгс |              | Удлинение, мм       |              |
|----------------|-------------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                | запаривание (5 мин)     | ВЧ-обработка | запаривание (5 мин) | ВЧ-обработка |
| Миткаль:       |                         |              |                     |              |
| - основа       | 28 ± 1                  | 33 ± 1       | 10 ± 1              | 8 ± 1        |
| - уток         | 20 ± 1                  | 23 ± 1       | 14 ± 1              | 10 ± 1       |
| Льняная ткань: |                         |              |                     |              |
| - основа       | 25 ± 1                  | 29 ± 1       | 12 ± 1              | 10 ± 1       |
| - уток         | 18 ± 1                  | 21 ± 1       | 8 ± 1               | 6 ± 1        |

Изучено влияние энергии электромагнитных колебаний на физико-механические свойства материалов из синтетических полиамидных и полиэфирных волокон. Данные волокна изначально обладают очень хорошими прочностными

показателями за счет высокой степени кристалличности. Но в процессе переработки в изделия в них возникают внутренние напряжения, которые могут негативно сказаться на их устойчивости к различным видам механических нагрузок.



а)



б)

Рис. 4

Поскольку полиамидные и полиэфирные материалы являются гидрофобными, а эффективность воздействия поля ТВЧ на структуру полимера зависит от наличия в нем влаги, образцы тканей из синтетических волокон предварительно увлажнялись водой. Время обработки материалов в ВЧ-поле составляло от 1 до 10 с. Полученные зависимости представлены на рис.4-а, б, где кривая 1 – ткань из полиамидных волокон, 2 – полиэфирная ткань. При длительности ВЧ-обработки до 4 с прочностные характеристики материалов улучшаются, причем для полиамида эта зависимость носит более ярко выраженный характер. Данный факт может быть объяснен тем, что полиамид имеет в своем составе большое количество амидных групп, способных образовывать водородные связи со

смежными макромолекулами. В результате активации структуры волокна энергией электромагнитных колебаний образующиеся новые водородные связи фиксируют структуру полимера в ненапряженном состоянии. Следовательно, под действием ВЧ-поля в синтетических волокнах также происходит релаксация внутренних напряжений. Снижение показателей разрывной нагрузки в интервале времени ВЧ-обработки от 6 до 10 с связано, по-видимому, с интенсивным протеканием процессов термодеструкции волокон, так как к этому времени влага из материала полностью удаляется. Таким образом, при обработке увлажненных материалов из полиамидных и полиэфирных волокон в поле ТВЧ в течение 4 с зафиксировано повышение прочности образцов в среднем на

15...25%. Одновременно с возрастанием прочности волокна наблюдается и уменьшение показателя его удлинения, что наглядно подтверждается данными рис. 4-б.

## ВЫВОДЫ

1. Произведена комплексная оценка влияния поля ТВЧ на физико-механические свойства текстильных волокон и проанализированы основные закономерности изменения прочностных характеристик тканей в зависимости от продолжительности конвективной и ВЧ-обработки.

2. Оценено влияние электромагнитного поля на изменение молекулярной массы целлюлозного волокна: выявлено, что под действием поля ТВЧ в интервале времени обработки от 3 до 6 с наблюдается увеличение молекулярной массы хлопковой и

льняной целлюлозы, что приводит к увеличению их разрывной нагрузки.

3. Показано, что в результате воздействия энергии электромагнитных колебаний на текстильный материал его прочность возрастает на 15...25%, в зависимости от химической природы волокна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Б.Н., Никифоров А.Л., Циркина О.Г. Механизм активирующего воздействия электромагнитных колебаний на систему волокнообразующий полимер – технологическая композиция //Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №6. С.47...51.

2. Мельников Б.Н. Современные проблемы текстильной химии //Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2008, Т.51, №6. С.3...14.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 11.02.13.