

УДК 677.017.2/7:621.317

**ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ
ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ТКАНЕЙ В ВЧ/СВЧ-ПОЛЯХ**

Ю.Н. КУЛЫГИН, О.Г. ЦИРКИНА, А.Л.НИКИФОРОВ, Б.Н.МЕЛЬНИКОВ

**(Ивановский филиал "ВЮИ", Ивановская государственная текстильная академия,
Ивановский государственный химико-технологический университет)**

Традиционные технологические процессы обработки текстильных материалов, основанные на использовании тепловой энергии, следует отнести к энергоемким процессам. Использование в качестве теплоносителей воздуха или пара, равно как и контактные методы нагрева, сопряжено со значительными потерями энергии. Данный

фактор и высокая инерционность процесса теплопередачи от источника к объекту влияют на продолжительность обработки материала и определяют некоторые особенности реализации традиционной технологии на практике.

Скорость протекания адсорбционных и диффузионных процессов, а также взаимо-

действие химических препаратов с волокном в значительной степени зависят от характеристик потока тепловой энергии, подводимой к рабочей зоне.

При использовании в качестве источника энергии электромагнитных колебаний высоких (ВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частот можно добиться получения новых эффектов на тканях, существенно повысить их качественные показатели и кардинально изменить построение технологических цепочек. КПД данного способа тепловой обработки составляет 70...85%, он безынерционен, отличается высокими скоростями нагрева и не предполагает использования каких-либо теплоносителей.

В основу создаваемых технологических процессов облагораживания текстильных материалов с использованием электромагнитных ВЧ-полей была заложена обработка мокrootжатых тканей, что позволяет добиться существенной экономии времени и энергоресурсов за счет исключения процесса промежуточной сушки.

Следует особо отметить, что обработка волокнистых материалов из-за непостоянства влажности вносит существенную нестабильность в энергетическую картину процесса в целом. В то же время процессы упорядочения структуры полимера более эффективно протекают в ходе диэлектрического нагрева влажных материалов, нежели при обработке предварительно высушенных тканей [1].

Для доказательства высказанных предположений по методу многослойных мембран нами был исследован процесс диффузии активных красителей в целлюлозу при моделировании процессов крашения и печатания, а также диффузия отделочных препаратов при заключительной отделке тканей как в поле ТВЧ, так и при традиционных обработках.

Показано, что скорость диффузионных процессов при наличии внешнего высокочастотного поля возрастает более чем в 60 раз по сравнению с традиционными видами нагрева. Отмечена взаимосвязь скорости и полноты протекания технологических процессов в целлюлозе при диэлектрическом нагреве с уровнем сегмен-

тальной подвижности макромолекул полимера.

Установлено, что при обработке в поле ТВЧ влажных целлюлозных материалов в них протекают релаксационные процессы, приводящие структуру целлюлозы к равновесному состоянию: продолжительность структурных перестроек сокращается на два десятичных порядка в сравнении с запариванием, что подтверждается изменениями деформационных характеристик тканей [2].

Увеличение разрывной нагрузки на 7...10% и более низкие значения удлинения тканей, обработанных в ВЧ-поле, мы объясняем повышением уровня сегментальной подвижности макромолекул целлюлозы и возрастанием кинетической энергии движущихся частиц технологических композиций под влиянием энергии ВЧ-поля. Этот факт позволяет предположить, что во всех случаях имеет место аналогичный механизм активации системы волокнообразующий полимер – технологический раствор.

Однако в предыдущих работах мы практически не касались вопросов, связанных с энергетикой процессов, протекающих под действием полей высоких и сверхвысоких частот. Данный факт явился существенным упущением, так как именно эти особенности определяют эффективность протекания химико-текстильных процессов в целом.

При осуществлении таких процессов на практике воздействие токов ВЧ/СВЧ на ткань ограничивается лишь габаритами аппликатора. При традиционном использовании аппликаторов с постоянной напряженностью поля (простейший случай – плоский конденсатор) для непрерывной обработки расправленной ткани следует выделить несколько основных этапов воздействия на материал, отличающихся по своей энергетике.

Рассмотрим процесс изменения мощности, подводимой к аппликатору. Эта мощность расходуется на нагрев материала (P_{Π} – полезная мощность) и на потери за счет теплообмена с окружающей средой ($P_{Т.П}$ – тепловые потери).

Таким образом:

$$P = P_{\Pi} + P_{T.П.}$$

Для выведения соотношения, позволяющего оценить вклад каждой составляющей в общую мощность P , воспользуемся уравнением непрерывности теплового потока в дифференциальном виде, которое справедливо для любого бесконечно малого элемента объема. Из этого уравнения следует:

$$q(x, y) = \frac{\partial(cT(x, y))}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}.$$

Представленное выражение справедливо для тонкой пленки большой площади, которая охлаждается за счет теплообмена с окружающей средой.

Решая данное уравнение, получаем:

$$P_{\Pi} = \frac{C\rho\Delta T}{t},$$
$$P_{T.П.} = \frac{2\lambda\Delta T_0}{\delta^2},$$
$$P = \frac{C\rho\Delta T}{t} + 2\lambda \frac{\Delta T_0}{\delta^2},$$

где C – теплоемкость нагреваемого материала; ρ – плотность нагреваемого материала; λ – коэффициент теплопроводности материала; δ – толщина нагреваемого материала; ΔT – разница между начальной и конечной температурами на временном участке продолжительностью t ; ΔT_0 – разница между температурами на оси и на стенке пакета в фиксированный момент времени.

Как показывают экспериментальные данные [3], кривая, отображающая температуру на оси нагреваемого в ВЧ-поле диэлектрического материала, имеет S-образный ход.

Такое изменение температуры можно объяснить лишь процессами, протекающими в диэлектрике при нагревании, которые в значительной степени сказываются на уровне согласования системы генератор

– нагрузка и на соотношении мощностей, затрачиваемых на нагрев материала и тепловые потери.

При нагреве диэлектриков в ВЧ/СВЧ-полях происходит изменение их диэлектрических свойств, как за счет испарения влаги, так и за счет повышения их температуры, что существенно сказывается на степени согласования системы генератор – аппликатор.

Для большинства случаев обработки влажных текстильных материалов изменения согласования наблюдались лишь на протяжении промежутка времени

$$t = L_{\text{ап}}/V,$$

где $L_{\text{ап}}$ – длина рабочей зоны аппликатора; V – скорость движения ткани, что соответствовало процессам установления равновесия, причем обычно снижение показателя фактора диэлектрических потерь ткани при испарении влаги компенсировалось ростом данного показателя за счет теплового воздействия.

На наш взгляд, именно удельная мощность является универсальным энергетическим критерием подобия процессов диэлектрического нагрева, так как она однозначно определяет кинетику нагрева.

Таким образом, одним из важнейших факторов, определяющих процесс нагрева полимерных материалов в ТВЧ-поле, является степень согласования системы. Полученные данные позволяют утверждать, что она в процессе нагрева не является неизменной.

Известно, что степень передачи мощности от генератора к нагрузке зависит от соотношения сопротивлений:

$R_{\text{ВГ}}$ – выходное сопротивление генератора;

$R_{\text{Л}}$ – волновое сопротивление линии передачи;

$R_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки.

Поскольку волновое сопротивление $R_{\text{Л}}$ линии передачи и выходное сопротивление $R_{\text{ВГ}}$ генератора постоянны (их величины могут быть равны 50 или 75 Ом), то при оптимизации ВЧ-процессов нужно учитывать только изменение сопротивле-

ния нагрузки в процессе нагрева.

Степень согласования имеет численное выражение – это соотношение между сопротивлением R_N нагрузки и выходным сопротивлением $R_{ВГ}$ генератора. Чем ближе это соотношение к единице, тем выше КПД передачи мощности.

Доля отраженной мощности рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{отр}} = \left(\frac{KCB - 1}{KCB + 1} \right)^2,$$

где KCB – коэффициент стоячей волны, определяющийся из соотношения сопротивлений выхода генератора и нагрузки.

Тогда доля мощности, поглощаемой нагрузкой, есть разница:

$$P_{\text{полн}} = 1 - P_{\text{отр}} = 1 - \left(\frac{KCB - 1}{KCB + 1} \right)^2 = 4 \frac{KCB}{(KCB + 1)^2}.$$

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что на этом этапе обработки воздействие электромагнитного излучения на текстильный материал на протяжении всей длины рабочей зоны аппликатора оказывается различным.

Практика показывает, что ткань подвергается наибольшему воздействию на входе и на начальных участках аппликатора, в то время как на выходе обработки, как таковой, может и не происходить. Для того, чтобы изменить эту ситуацию и повысить эффективность воздействия электромагнитных полей на текстильные материалы, нами были разработаны оригинальные конструкции аппликаторов, отличаю-

щиеся сбалансированной и стабильной энергетикой [4].

ВЫВОДЫ

1. Предложен универсальный энергетический критерий подобия процессов диэлектрического нагрева, каковым является удельная мощность, определяющая кинетику нагрева текстильного материала.

2. Приведены формулы для расчета полезной мощности, поглощаемой материалом и идущей на его разогрев.

3. Показано, что при обработке ткани воздействие электромагнитного излучения на объект на протяжении всей рабочей зоны аппликатора является различным вследствие изменения диэлектрических характеристик материала по мере удаления из него влаги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Циркина О.Г. Фиксация активных красителей на хлопчатобумажных тканях в поле токов высокой частоты: Дис...канд. техн. наук. – Иваново, 1994.

2. Никифоров А.Л., Мельников Б.Н., Циркина О.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 6. С.47...51.

3. Никифоров А.А. Дис...канд. техн. наук. – Иваново, 1989.

4. Циркина О.Г., Никифоров А.Л., Мельников Б.Н., Кулыгин Ю.Н. // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 2. С.58...61.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 27.02.07.