

УДК 677.027

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ КОНДУКТИВНОЙ СУШКЕ ТКАНЕЙ*

М. Н. ГЕРАСИМОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

На основании экспериментальных данных из [1] можно описать механизм внутреннего влагопереноса при кондуктивной сушке тканей.

В начальном периоде, когда влажная ткань соприкасается с греющей поверхностью, имеющей температуру выше 100°C , «свободная» влага контактирующего слоя ткани (поверхностная влага и влага макропор) выносится на греющую поверхность и практически мгновенно вскипает на ней вне объема ткани, превращаясь в пар. Коэффициент теплоотдачи при кипении значительно выше, чем при кондуктивном подводе теплоты, что и объясняет высокую интенсивность сушки в этом периоде. Вследствие гидравлического сопротивления структуры полотна в зоне контакта создается избыточное давление P_{\max} (Па), которое необходимо для преодоления сопротивления выходу пара через толщу ткани в окружающую среду. Величина этого давления зависит от U_n , $t_{\text{гр}}$ и C_v и рассчитывается по предлагаемой нами эмпирической зависимости

$$P_{\max} = 4,42 \cdot 10^{-3} U_n^{3,72} (\lg t_{\text{гр}} - 1,99) / C_v^{1,8}, \quad (1)$$

справедливой для диапазона начального влагосодержания ткани $U_n = 0,7 \dots 1,3$; температуры греющей поверхности $t_{\text{гр}} = 110 \dots 150^{\circ}\text{C}$ и коэффициента воздухопроницаемости ткани $C_v = (2,8 \dots 40) \cdot 10^{-4}$, $\text{м}^3/(\text{Па} \cdot \text{с})$.

Резкое снижение влагосодержания в этом периоде сушки обусловлено и частичным «выдуванием» свободной влаги из межнитиевых промежутков структуры ткани при прохождении пара сквозь полотно (что наблюдалось нами визуально при $U_n > 1,1$). Как видно из рис. 3 [1], продолжительность данного периода (время достижения P_{\max}) составляет порядка 1...2 с даже у самых плотных полотен. В связи с этим разрабатывать специальную методику его расчета нецелесообразно, следует лишь учесть время начального периода при расчете общей продолжительности процесса с использованием обобщенного уравнения массопередачи [2], причем за начальное влагосодержание следует принимать не U_n , а приведенное влагосодержание $U_{\text{пр}}$ ткани, величина которого отсекается на оси влагосодержания продолжением прямой $dU/d\tau = \text{const}$. После обработки данных эксперимента получена эмпирическая зависимость

$$U_{\text{пр}} = 0,5 + t_{\text{гр}} \delta_{\text{тк}} / (21,65 t_{\text{гр}} - 2181), \quad (2)$$

справедливая в диапазоне: $U_n = 0,7 \dots 1,0$; $t_{\text{гр}} = 110 \dots 150^{\circ}\text{C}$; $\delta_{\text{тк}} = 0,29 \dots 1,60$ мм.

* Окончание. Начало см. в № 2 за 1997 г.

Как видно из (2), величина $U_{\text{пр}}$ не зависит от $U_{\text{н}}$, поскольку увеличение начального влагосодержания ткани в основном повышает в материале долю свободной влаги (влага смачивания и влага макропор). С теплотехнической и технологической точек зрения важной особенностью механизма кондуктивной сушки тканей в «начальном» периоде процесса является то, что в данном периоде практически вся влага ($U_{\text{н}} - U_{\text{пр}}$), удаляемая из материала, испаряется вне объема ткани на греющей поверхности. По этой причине увеличение времени испарения влаги с увеличением ее объема изменяется по абсолютной величине незначительно, а отделочные препараты, содержащиеся в этой части пропитывающего раствора, остаются на греющей поверхности и не участвуют в дальнейшем процессе взаимодействия с текстильным материалом, что подтверждается практикой эксплуатации сушильных барабанных машин с наибольшим загрязнением поверхности первого по ходу ткани сушильного цилиндра.

В периоде постоянной скорости сушки, когда «свободная» влага в основном удалена из ткани, начинается испарение капиллярной влаги, пребывающей в «канатном» состоянии. Уменьшение концентрации влаги в контактирующих слоях ткани восполняется за счет ее переноса из внутренних слоев материала. В свою очередь уменьшение концентрации влаги во внутренних слоях обуславливает переход осмотической влаги этих слоев в капиллярное состояние. Такой механизм влагопереноса обеспечивает постоянство скорости сушки, величина которой определяется температурой греющей поверхности (интенсивностью передачи теплоты, необходимой для испарения) и параметрами высушиваемого материала (сопротивлением внутреннему влагопереносу).

В данном периоде по сечению материала практически отсутствуют градиенты температуры и давления, а направление и интенсивность переноса влаги в жидкой фазе обуславливается величиной и направлением градиента влагосодержания (рис. 4-б [1]). Вследствие этого влага в жидкой фазе (вместе с присутствующими в ней препаратами) перемещается в слои ткани, контактирующие с греющей поверхностью, где испаряется и в виде пара выходит через толщу материала в окружающую среду. Такой механизм обеспечивает здесь постоянство температуры материала (близкой к 100°C) по всему его сечению, а также отложение веществ пропитывающего раствора в контактирующих слоях ткани. Интенсивность $I_{\text{ж}}$ и направление потока влаги в жидкой фазе по поперечному сечению ткани в этом периоде можно рассчитать по уравнению влагопроводности [3]:

$$I_{\text{ж}} = -a_{\text{ж}}\rho_0 \nabla U, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (3)$$

где $a_{\text{ж}}$ — коэффициент влагопроводности ткани, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ_0 — объемная плотность абсолютно сухой ткани, $\text{кг}/\text{м}^3$;

U — градиент влагосодержания по толщине полотна, м^{-1} .

По мере уменьшения содержания капиллярной и осмотической влаги в ткани целостность жидкостных мостиков между волокнами, а также непрерывное поле влагосодержания по сечению полотна нарушаются, обуславливая наступление периода падающей скорости сушки. Подвод влаги в контактирующие слои материала прекращается и по высыхании их температура начинает повышаться, уменьшая тепловой поток от греющей поверхности к влажным слоям ткани. По этой причине температура слоев ткани у ее открытой поверхности начинает снижаться за счет потребления части их аккумулированной тепловой энергии на испарение влаги (рис. 2 и 4-а [1]).

Зона испарения перемещается во внутренние слои материала и на его открытую поверхность, а перенос влаги по сечению материала осуществляется в основном в виде пара, поэтому отсутствует и перенос по сечению полотна препаратов, содержащихся в пропитывающем растворе. Период падающей скорости сушки наступает по достижении тканью влагосодержания $U=0,35..0,25$. При организации процесса обработки тканей с использованием технологических растворов, содержащих отделочные препараты, начиная с указанного диапазона влажности, процесс сушки можно вести кондуктивным способом, не опасаясь миграции отделочных препаратов по сечению материала.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены особенности механизма внутреннего влагопереноса при атмосферной кондуктивной сушке тканей. Предлагается учитывать дополнительно особенности «начального» периода, который непродолжителен, но вносит существенный вклад в снижение влагосодержания материала (на 15...30 %). Весь удаляемый из ткани в этом периоде технологический раствор испаряется вне ее объема и присутствующие в нем вещества остаются на греющей поверхности.

2. Миграция веществ, содержащихся в пропитывающем ткань растворе, продолжается и в периоде постоянной скорости кондуктивной сушки, что обусловлено наличием непрерывного поля влажности и развитого градиента влагосодержания по толщине полотна (при практически отсутствующих градиентах температуры и давления). Градиент влагосодержания обуславливает перемещение влаги в направлении контактирующих слоев материала, в которых после ее испарения и откладываются отделочные препараты.

3. В периоде падающей скорости сушки (начиная с $U=0,35..0,25$) влага перемещается по сечению ткани в виде пара, исключая миграцию содержащихся в пропитывающем растворе препаратов по толщине полотна. По достижении тканью указанного диапазона влажности кондуктивный способ сушки можно использовать для обработки тканей, пропитанных технологическими растворами, не опасаясь неравномерного отложения отделочных препаратов по сечению полотна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов М. Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1997, № 2.
2. Сажин Б. С., Реутский В. А. Сушка и промывка текстильных материалов: теория, расчет процессов. — М.: Легпромбытиздат, 1990.
3. Лыков А. В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968.

Рекомендована кафедрой теплотехники. Поступила 01.11.96.