

КИНЕТИКА НА ИЗПАРЕНИЕ НА ВЛАГАТА ОТ ШЕВНИТЕ ИЗДЕЛИЯ – ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

KINETICS OF EVAPORATION OF THE MOISTURE FROM THE SEWN ARTICLES - EXPERIMENTAL STUDIES

Автори: Пенчев П., Пенев, М., Ангелов Д.

Резюме: Проведени са експериментални изследвания за скоростите на изпарение на влагата и масовите разходи при сушене на текстилен материал (плат) с основа 100% полиестерна коприна и втък 50/50% памук/полиестер. Температурата на сушене на плата се изменя в границите 105-109°C. Получена е зависимост за зоната на изпарение на влагата в зависимост от температурата на сушене на плата, както и зависимости за интензивността на сушене.

1. Въведение

Получаване на устойчива деформация на шевните изделия става в процеса на влаго-топлинна обработка (ВТО), Уилсън [2].

Според Кар и др. [3] при изработване на върхно облекло на ВТО се пада до 25% от общото технологично време, а при изработката на бельо (5-7)%.

Влаго-топлинната обработка се състои от три етапа:

Първи етап на ВТО-пропарване (подготовка на материала за деформиране);

При този етап става пластифициране на материала, т.е. превръщането на полимера от стъклообразно състояние във високоеластично. Следователно при процеса на ВТО на шевните изделия трябва едновременно бързо нагриване на целия обем на тъкътта, като най-добри параметри на изделието се получават при паро-въздушна смес.

Втори етап на ВТО-деформация на материала сушене;

Деформацията на материала в процеса на ВТО се осъществява в резултат на механичното въздействие на работните органи на машините за ВТО. Деформацията на материала достига предела си, когато температурата е 105-110° C.

Едновременно с деформацията на материала протича и процеса на сушене. Отчитайки релаксационния характер на деформацията е необходимо да не се прекратява силовото въздействие над материала, т.е. да се доведе неговото влагосъдържание до равновесно състояние. Затова е необходимо материалът да се нагрее до температура, при която да се разрушат връзките на абсорбираната влага във влакната. Важно условие е тази температура, да не надвишава температурата на тяхната термоустойчивост.

Продължителността на процеса на сушене се определя от условията на овлажняване и водозадържащата способност на материала. В резултат на абсорбцията на пара молекулите на водата проникват в дълбочината на влакната, изменят междумолекулните сили на макромолекулите и променят механичните им свойства.

Трети етапа на ВТО-фиксация на деформацията;

През този етап на ВТО материалът е подложен едновременно на влиянието на влага и температура. За да се запази получената деформация е необходимо от материала да се отдели влагата и да се охлади. Ако влагата остане в тъкътта, деформирания участък ще се върнат в първоначалното си състояние и ще се загуби постигнатия технологичен ефект.

2. Изложение

Проведени са експериментални изследвания за скоростите на изпарение на влагата, масовите разходи и интензивността на сушене на текстилен материал (плат) с основа 100% полиестерна коприна и втък 50/50% памук/полиестер. Общата дебелина

на плата е $480 \mu m$, като основата и вътъка се равни и са по $240 \mu m$. Този размер съответства на диаметъра на големите капиляри. Диаметърът на малките капиляри е $5,0 \mu m$. Според теорията на А. В. Ликов [5, 6] образецът спада към макропорестите тела. Температурата на сушене на плата се изменя в границите $105-109^\circ C$. Скоростта на подаване на иглата е $(0,08-0,1) m/s$, която съвпада и със скоростта на сушене. Изследваният образец е с дължина $0,1 m$.

В помещението, където се провеждаха експериментите се поддържа температура $t_0=24^\circ C$ и относителна влажност $\varphi_0 = 60\%$.

Коефициентите на дифузия на парата от моделните тела, коефициентите на повърхностно напрежение и парциалните налягания се определяха по зависимостите на Болц и Тюве [1], като функция на температурата на сушене.

Обработката на експерименталните резултати се правеше по модела на Нерпин и Чураев [4], по късно допълнен от Пенчев и др. [7].

Моделите се основават на предположението, че при постоянна относителна влажност на въздуха $\varphi_0 < 1$, започва изпарение на влагата от повърхността на капилярите на материала и се образуват вдлъбнати мениски. Ако стойността на φ_0 е по-малка от стойността φ_1 над мениските с пределна кривина в най-големите капиляри, то по-нататъшното изпарение на влагата води до спадането им в нивото на мениска, което се характеризира с координатата X .

$$\dot{m}_1 = \frac{D \cdot p_s \cdot M \cdot A_1 (\varphi_1 - \varphi_0)}{R \cdot T \cdot (X + x_0)}, \quad (1)$$

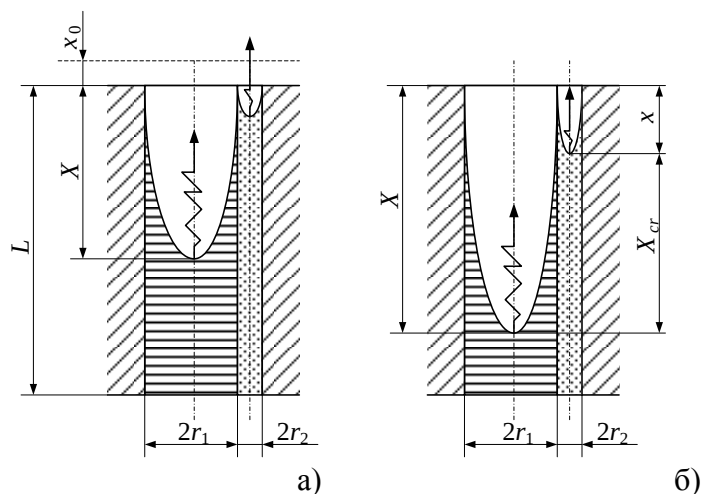
където A_1 е общата площ на големите капиляри; D - коефициент на дифузия на парата във въздуха; x_0 - приведена дебелина на граничния повърхностен слой; p_s - парциалното налягане на наситена водна пара при температура T ; M - молекулна маса на водата и R - универсална газова константа.

Приведената дебелина на граничния повърхностен слой се приема по зависимости предложени в А. В. Ликов [5, 6].

Относителната влажност над мениските на големите капиляри се определя по зависимостта:

$$\varphi_1 = \exp\left(-\frac{2 \cdot \sigma \cdot M}{\rho \cdot R \cdot T \cdot r_1}\right), \quad (2)$$

където ρ - плътност и σ - повърхностното напрежение на водата.

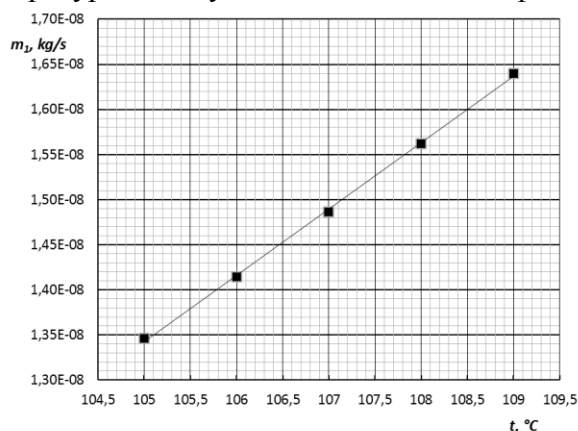


Фиг. 1 Капилярен модел на порестото тяло

Моделът допуска, че стените на капилярите се омокрят напълно с вода и

размерите на големите капиляри са такива, че влиянието на слоестият пренос на влага в тях може да се пренебрегне.

Стойностите на получените резултати за масовите разходи от големите капиляри m_1 , като функция на температурата на сушене са показани на фиг. 2



Фиг.2 Изменение на масовият разход над големите капиляри, във функция на температурата на сушене

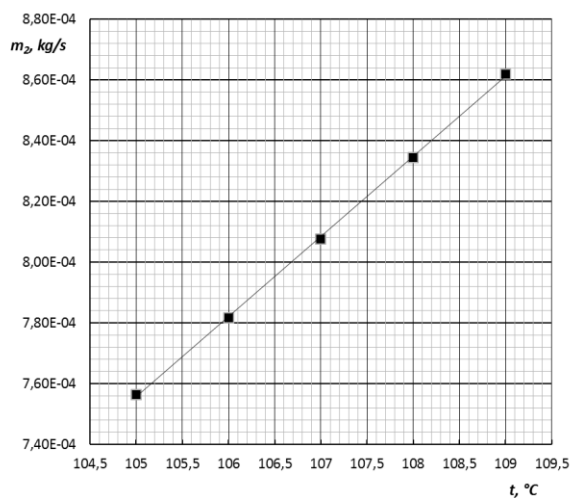
Когато разликата между капилярните налягания в мениските на малките и големите капиляри е достатъчно за издигане на разстояние X на такова количество вода, което може да се изпари от малките капиляри, положението на мениските в тях (постепенно увеличаващи кривината си) няма да се измени.

Количеството влага, която се изпарява от тесните капиляри в този случай ще бъде

$$\dot{m}_2 = \frac{D \cdot p_s \cdot M \cdot A_2 (\varphi_a - \varphi_0)}{R \cdot T \cdot x_0}, \quad (3)$$

където A_2 е общата площ на сеченията на малките капиляри; φ_a - относителна влажност на въздуха над нейните мениски, като при това $\varphi_1 > \varphi_a > \varphi_2$. Тук φ_2 е относителна влажност на въздуха над мениските на малките капиляри при максимална кривина:

$$\varphi_2 = \exp\left(-\frac{2 \cdot \sigma \cdot M}{\rho \cdot R \cdot T \cdot r_2}\right). \quad (4)$$



Фиг.3 Изменение на масовият разход над големите капиляри, във функция на температурата на сушене

Масовият разход на течността, протичаща през малките капиляри, може да се представи използвайки законът на Пуазиел в следният вид:

$$\dot{m}_2 = \frac{A_2 r_2^2}{8\eta X} (\Delta p - \rho g x), \quad (5)$$

тук η е вискозитетът на водата, а Δp е разликата в капилярните налягания предизвикващи движение

$$\Delta p = 2\sigma \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} \right), \quad (6)$$

където r_0 е радиусът на кривината на мениска в малките капиляри, намиращи се на повърхността на моделното тяло. Пределната стойност на Δp , която по-нататък ще бъде отбелязвана с Δp_{cr} , очевидно ще се определя от условието $r_0 = r_2$.

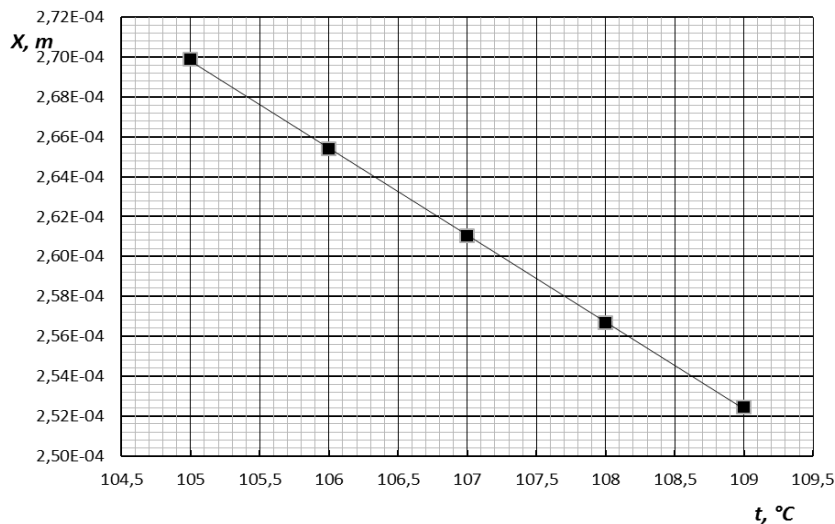
Стойностите на получените резултати за масовите разходи от малките капиляри, като функция на температурата на сушене са показани на фиг. 3

От зависимостите (2) и (6) се определя стойността на φ_a .

$$\varphi_a = \varphi_1 \exp \left(-\frac{\Delta p M}{\rho R T} \right). \quad (7)$$

От полученият израз, може да се намери зависимост за φ_a от X , като се изключи m_2 от (3) и (5) и се получава:

$$X = \frac{\rho \left(\frac{RT}{M} \right) \ln \frac{\varphi_1}{\varphi_a}}{\left(\frac{8\eta}{r_2^2} \right) \frac{Dp_s M (\varphi_a - \varphi_0)}{RTx_0} + \rho g}. \quad (8)$$



Фиг.4 Намаляване на зоната на изпарение X на влагата във функция на температурата на сушене

Условието, при което в тесните капиляри все още няма спускане на мениските може да се запише като $\varphi_a \geq \varphi_2$ или $\Delta p \leq \Delta p_{cr}$. Положението на мениска в големите капиляри X_{cr} , при което започва спускането на мениска в малките се намира от (8), приемайки $\varphi_a = \varphi_2$:

$$X_{cr} = \frac{2\sigma \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)}{\left(\frac{8\eta}{r_2^2} \right) \frac{\dot{m}_2}{A_2} + \rho g} \quad (9)$$

При $X \leq X_{cr}$ положението на мениските в малките капиляри съвпада напълно с повърхността на пористото тяло, а при $X > X_{cr}$ започва преместването им в дълбочина на образца.

Интензивността на изпарението на влагата от плата в първия етап на обезводняване се характеризира с условията $X < L < X_{cr}$ и $X < X_{cr} < L$ и се определя от зависимостта

$$i = \frac{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}{A} = i_0 \left[\frac{Ax_0(\varphi_1 - \varphi_0)}{(X + x_0)(1 - \varphi_0)} + \frac{(1 - A)(\varphi_a - \varphi_0)}{1 - \varphi_0} \right], \quad (10)$$

където

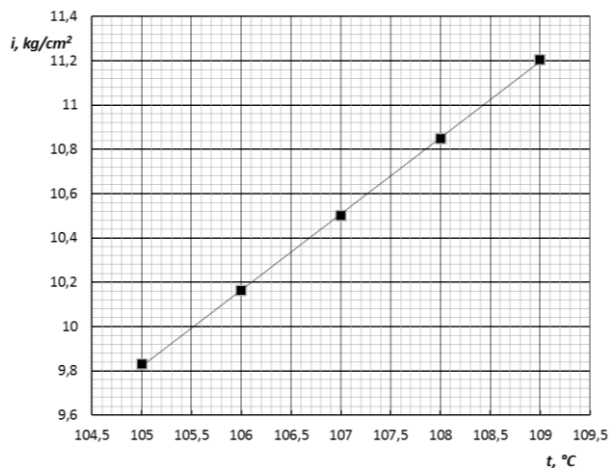
$$i_0 = \frac{Dp_s M (1 - \varphi_0)}{RTx_0} \quad (11)$$

е интензивността на изпарение от свободната повърхност на водата в условията на опита. Величината $A_* = A_1 / A$, където $A = A_1 + A_2$ отчита съотношението между броя малки и големи капиляри в моделното тяло.

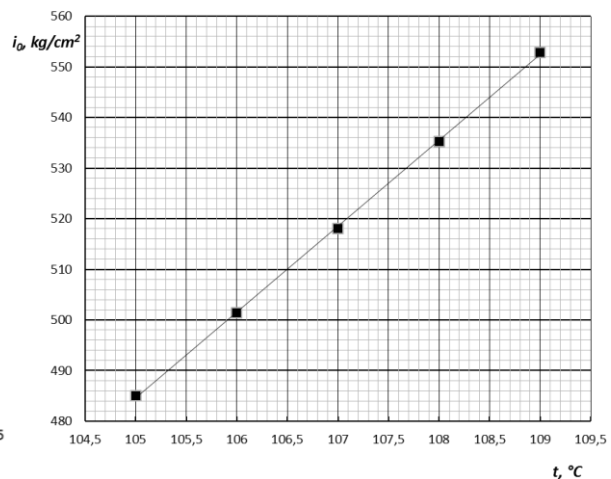
За макропорести тела при $r_2 \geq 10^{-5} \text{ cm}$ стойностите за φ_a и φ_1 малко се отличават от 1. Тогава за отношението i / i_0 се записва:

$$\frac{i}{i_0} \approx 1 - \frac{AX}{X + x_0}. \quad (12)$$

Както се вижда от зависимостта (12), интензивността на изпарение в процеса на сушене пада с $i = i_0$ при $X = 0$ до $i / i_0 \approx 1 - A_* = \text{const}$ при $X \gg x_0$. Величината, която се установява в първия период на сушене с постоянна интензивност на изпарение и при равни други условия зависи само от отношението между количеството големи и малки капиляри, т.е. от структурата на моделното тяло. Стойностите за i и i_0 са представени съответно на фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг.5 Интензивност на изпарението на влагата от плата в първия етап на сушене



Фиг.6 Интензивност на изпарение от свободната повърхност на влагата от плата в условията на експеримента

3. Заключение

Получени са експериментални резултати за стойностите на масовите разходи на

изпарената влага, както от големите, така и от малките капиляри на моделното тяло. Получена е зависимост за зоната на изпарение на влагата в зависимост от температурата на сушене на плата, както и зависимости за интензивността на сушене.

Получените резултати дават само определена тенденция при сушенето на този вид плат, но не дават ясна картина за пределната температура на сушене и не определят качествата на крайният материал.

Бъдещите изследвания са насочени към критерии за оптималност на режимите на сушене на материала и получаване на трайно качествен краен продукт.

Литература

1. Bolz, R.E. and G.L. Tuve, *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*, 2nd edition, CRC Press, (1976).
2. Wilson J., *Handbook of Textile Design – Principles, processes and practice*, Boca Raton, (2001)
3. Carr W., Lee S. H., and Ok H., *Drying of Textile Products*, in *Handbook of Industrial Drying*, 3rd Edition, Taylor & Francis Group, LLC pp. 803-813, (2006)
4. Нерпин С.В и Чураев Н. В., *Кинетика изпарение влаги из капиллярно-пористых тел*, Тепло и массоперенос, Том 5, стр. 353-363, (1966)
5. Лыков А. В., *Теория сушки*, Госэнергоиздат, (1950)
6. Ликов А. В., *Сушене*, Техника (1974)
7. Пенчев П., Пенев М., Ангелов Д., *Кинетика на изпарение на влагата от шевните изделия*, Текстил и облекло, бр. 7, стр. 197-202, (2011) ISSN 1310-912X