

УДК 685.34.024

Г.В. Єфімчук

Луцький національний технічний університет

## ФОРМОСТВОРЕННЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Обґрунтовано доцільність використання вакуумного сушіння в технологічних процесах формостворення верху взуття.*

Ключові слова: *вакуумне сушіння, формостворення верху взуття, термолабільні матеріали.*

**Постановка проблеми.** Сучасна технологія взуття включає ряд операцій, виконання яких пов'язано із впливом тепла та вологи на матеріали взуттєвих деталей та виріб вцілому. В результаті гіротермічних впливів відбувається цілеспрямована зміна технологічних властивостей матеріалів, досягаються необхідні споживчі властивості виробу. Тому з метою скорочення тривалості виконання і підвищення ефективності гіротермічних операцій доцільно використовувати інтенсифіковані методи тепло- та масообміну.

**Аналіз досліджень та публікацій.** При проведенні гіротермічних впливів важливе значення має вибір раціонального способу підводу тепла до матеріалу, а також технічних засобів, що дозволяють реалізувати цей спосіб.

Закон переміщення вологи в шкірі складний. Міцно зв'язана гідратаційна волога виділяється і мігрує крізь товщу шкіри відразу у вигляді пари. Волога, що заповнює мікро- та макропори, може переміщуватись у вигляді пари чи рідини в залежності від умов сушіння, а осмотична волога – лише у вигляді рідини [1]. Кількість останньої не буває великою і вона не здійснює будь-якого впливу на переміщення органічних розчинених речовин. Волога гідратації взагалі не приймає участі в розчиненні яких-небудь складових шкіри, до того ж мігрує вона у вигляді пари. Відповідно, єдиними носіями розчинених органічних речовин є капілярна волога та волога намокання. Форма зв'язку вологи зі шкірою впливає на механізм переносу тепла і речовини всередині тіла, а також на технологію сушіння [2].

В роботі [6] встановлено, що організація терморадіаційного сушіння юхтового взуття в умовах вакууму призводить до скорочення тривалості процесу в 16 разів у порівнянні з конвективним способом сушіння. При цьому підвищення температури можливе при одночасному пониженні тиску. Так, виявлено, що в процесі радіаційно-вакуумного сушіння юхтового взуття значну інтенсифікацію процесу обумовлює конвективно-фільтраційний перенос пари за рахунок градієнта тиску в системі шкір, поява та характер зміни якого встановлено експериментально.

В роботі [3] описано механізм зневоднення багат шарових елементів взуття при радіаційному підводі тепла в умовах вакууму, який працює наступним чином. Взуття, що завантажується в сушильну камеру, інтенсивно прогривається при атмосферному тиску радіаційно-конвективним способом. При цьому швидко підвищується температура не тільки верхнього, але й внутрішніх шарів, що пов'язано з високою інтенсивністю теплопідводу і порівняно низькою інтенсивністю випаровування вологи при атмосферному тиску. Перепади температур між верхнім та внутрішнім шарами, що виникають при цьому, менші, ніж в умовах вакууму, а значить температура внутрішніх шарів (при одній і тій же температурі на поверхні) вище. Після прогрівання взуття до температури 70-90 °С тиск середовища понижується. Волога із верхнього шару інтенсивно випаровується в навколишнє середовище і частково за рахунок термодифузії переміщується у внутрішні шари; температура верху взуття підвищується. Температура внутрішніх шарів після прогрівання є вищою від температури насичення, що відповідає тиску в робочій камері; це обумовлює інтенсивне випаровування вологи, виникнення і ріст градієнта загального тиску пари у внутрішніх шарах. Це, в свою чергу, визначає інтенсивний перенос вологи зі шкіри у вигляді пари в навколишнє середовище.

**Постановка завдання.** У зв'язку з термолабільністю натуральних матеріалів, що використовуються у взуттєвій промисловості, необхідно обґрунтувати доцільність використання вакуумного сушіння в технологічних процесах формостворення верху взуття, а також проаналізувати методи забезпечення прогнозованих структури та властивостей деталей взуття для забезпечення його формостійких властивостей.

**Основна частина.** Процеси сушіння відіграють значну роль в технології шкіри та хутра. Перш за все, вони споживають велику кількість теплової енергії для перетворення в пар вологи,

що видаляється із матеріалу, та електроенергії для створення руху повітря, що подає в сушарку тепло і відводить пари води, що утворюються. При виготовленні взуття сушіння застосовують для видалення вологи і розчинників, що містяться в клеях, фарбах і лаках, на різних етапах технологічного процесу.

Взуття необхідно висушувати до такого стану, щоб в подальшому воно добре зберігало форму колодки [3]. Особливий інтерес являє собою сушіння взуття при різних способах підводу тепла в умовах вакууму. Застосування вакууму забезпечує значне прискорення процесу в порівнянні з атмосферним сушінням і дозволяє отримати високу інтенсивність зневоднення при більш низьких температурах, що має велике значення, особливо при сушінні виробів із термолабільних матеріалів, яким є зволожена шкіра.

Деякі матеріали необхідно сушити при низькій температурі, оскільки незначне її підвищення викликає різке погіршення їх технологічних властивостей. Сушіння при низьких температурах і при атмосферному тиску відбувається дуже повільно, що не допустимо в умовах виробництва. Тому з метою інтенсифікації процесу сушіння таких нетерmostійких матеріалів застосовують сушіння у вакуумі [2]. Зменшення тиску різко підвищує інтенсивність випаровування за рахунок збільшення коефіцієнту масообміну, який в першому наближенні обернено пропорційний тиску.

В процесі підготовки заготовок та інших елементів взуття до затяжних операцій вони звожуються до 33-36 %, що відповідає гігроскопічній області вологості шкіри. Наступний процес – сушіння – протікає в періоді падаючої швидкості сушіння з поглибленням зони випаровування, коли інтенсивність зневоднення визначається внутрішнім тепло- і масопереносом [4].

Подача тепла всередину матеріалу здійснюється шляхом теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності вологих тіл зі зменшенням тиску значно збільшується. Із рис. 1, де представлені криві зміни еквівалентного (такого, що враховує перенос тепла за рахунок молекулярної теплопровідності повітря, а також за рахунок дифузії) коефіцієнта теплопровідності від температури при різних значеннях тиску [5], слідує, що за рахунок пониження тиску можна досягнути значного збільшення теплового потоку до внутрішніх шарів і тим самим різко прискорити інтенсивність сушіння при більш низьких температурах. Це є дуже важливим моментом при сушінні взуття, так як волога шкіра значною мірою є термолабільним матеріалом. Найбільша відмінність сушіння у вакуумі від прийнятого у виробництві конвективного способу сушіння при атмосферному тиску виявляється в другому періоді. Кінцева швидкість сушіння у вакуумі виявляється набагато більшою, ніж при атмосферному тиску.

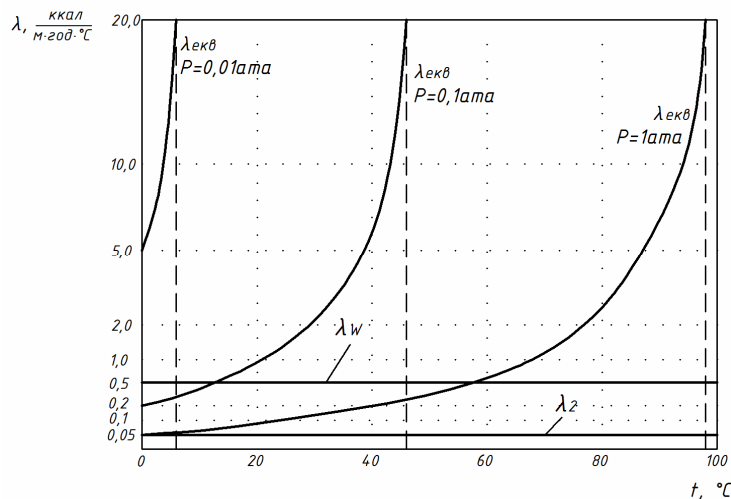


Рис. 1. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітря  $\lambda_{\text{екв}}$ , що міститься в парах матеріалу та враховує молекулярну теплопровідність повітря  $\lambda_2$  і теплопровідність за рахунок дифузії  $\lambda_{\text{диф}}$  ( $\lambda_{\text{в}}$  – теплопровідність води)

При конвективному сушінні ця швидкість в основному визначається опором дифузії в товщі матеріалу від зони випаровування до поверхні матеріалу, як видно із наступного:

$$g = \frac{I}{RT} \cdot \frac{I}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu S}{\delta} \left(1 - \frac{P_{D_m}}{P}\right)} (P_{D_E}'' - P_{D_L}) \quad (1)$$

де  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – температура;  $\beta$  – коефіцієнт масообміну;  $\mu$  – коефіцієнт опору дифузії сухого матеріалу;  $\delta$  – коефіцієнт дифузії;  $S$  – товщина;  $P_{D_m}$  – середній парціальний тиск пари;  $P_{D_E}''$  – тиск насичення при температурі в зоні випаровування;  $P_{D_L}$  – парціальний тиск пари в повітрі;  $P$  – загальний тиск.

Процес конвективного сушіння протікає в умовах, коли температура зони випаровування близька до температури навколишнього середовища, що обумовлює незначну різницю парціальних тисків і, відповідно, низьку швидкість сушіння.

Інакше протікає цей процес при сушінні у вакуумі, де  $P_{D_m} = P$ . В цьому випадку знаменник рівняння (1) стає рівним нулю, так як  $\beta \rightarrow \infty$ . Якщо при цьому різниця  $P_{D_E}'' = P_{D_L}$  має кінцеву величину,  $g_{D_E}$  стає нескінченною величиною, але так як при сушінні у вакуумі повинна виконуватись умова  $P_{D_L} = P_{D_E}'' = P$ , то кінцева швидкість сушіння виявляється не залежною від умов дифузії. Вона визначається тільки умовами теплообміну між тілом, що нагрівається, і поверхнею зони випаровування.

Приймаючи для спрощення, що в процесі, який розглядається, має місце термічно стаціонарний стан, отримуємо, що через товщину матеріалу  $S$ , розміщеного між поверхнею і зоною випаровування, проходить стільки тепла, скільки необхідно для випаровування  $g_{D_E}$  кг вологи. Тоді:

$$g = \frac{I}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S}{\lambda}} (t_g - t_\varepsilon) \quad (2)$$

де  $t_g$  – температура навколишнього середовища;  $t_\varepsilon$  – температура зони випаровування;  $\alpha$  – еквівалентний коефіцієнт теплообміну між тілом, що випромінює, і поверхнею матеріалу;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності сухого матеріалу.

При сушінні перегрітим паром або в високому вакуумі температура  $t_\varepsilon$  відома, вона повинна бути рівною температурі насиченого пару при відповідному тиску  $P$ .

При пониженому тиску або при температурах в зоні випаровування, близьких до температури пари в сушильній камері, весь процес сушіння виявляється залежним від дифузії і теплопровідності. Температуру  $t_\varepsilon$  і відповідний їй тиск насичення  $P_{D_E}''$  можна визначити, порівнюючи рівняння (1) та (2) і виключаючи із них  $g_{D_E}$ . При цьому отримуємо:

$$\frac{I}{r} \cdot \frac{I}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S}{\lambda}} (t_g - t_\varepsilon) = \frac{I}{RDT} \cdot \frac{I}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu S}{\delta} \left(1 - \frac{P_{D_m}}{P}\right)} (P_{D_E}'' - P_{D_L}) \quad (3)$$

Так як  $P_{D_E}''$  однозначно визначається температурою в зоні випаровування  $t_\varepsilon$ , то в кінцевому вираженні єдиною невідомою величиною є ця температура.

На рис. 2 графічно показано розв'язання рівняння (3).

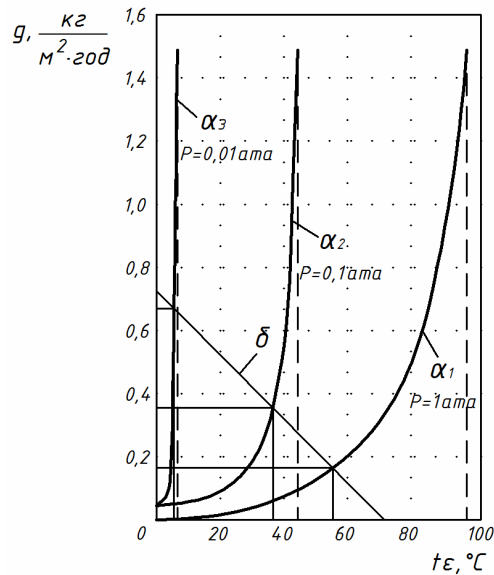


Рис. 2. Вплив температури зони випаровування на дифузію в товщі матеріалу при пониженні тиску в сушильній камері

Із графіка видно, що при одному і тому ж поєднанні умов тепло- та масообміну кінцева швидкість сушіння виявляється тим більшою, чим вище вакуум. В основному нахил прямої  $\delta$  визначається співвідношенням  $\frac{S}{\lambda}$ . Цей нахил тим більший, чим вище значення теплопровідності матеріалу  $\lambda$ .

Звідси можна зробити висновок, що теплопровідність частини матеріалу, що висохла, виявляє тим більший вплив на кінцеву швидкість сушіння, чим менша різниця температури навколишнього середовища і температури в зоні випаровування.

Для усіх способів формотворення необхідно, щоб матеріал мав здатність деформуватися без руйнування в таких розмірах, як це вимагається для досягнення відповідної форми. Деформація повинна бути незворотною для збереження необхідної форми, тобто матеріал повинен бути пластичним. Для досягнення достатньої пластичності використовують вплив вологи, тепла, витримування заготовки на колодках протягом значного проміжку часу тощо.

На сучасному етапі розвитку взуттєвої промисловості все більшого поширення набувають різновиди впливу на заготовку, які поєднують традиційні методи інтенсифікації тепломасообмінних процесів (підвищення температури, зниження атмосферного тиску, використання ПАР) та нетрадиційні (використання магнітних, електричних та електромагнітних полів).

В роботі [7] обґрунтовано вплив пінного способу пластифікації на комплекс властивостей матеріалів із натуральної шкіри. Встановлено, що спільна дія пінного пластифікатора та тепла впливає на релаксаційні властивості та формостійкість натуральної шкіри, зокрема знижує у 1,5–2 рази початкові та усадкові напруження, збільшує величину повної деформації при розтягуванні порівняно зі зразками, зволженими водою, а також забезпечує формостійкість зразків більше 70 %. Недоліком такого способу пластифікації є введення в структуру шкіри поверхнево-активних речовин, які в процесі експлуатації виробу мігрують назовні.

В роботі [8] вивчався вплив зволоження шкіри електроактивованою водою на її фізико-механічні властивості. Проте вплив електроактивованої води як пластифікатора перед затяжкою заготовки не дозволяє змінити структуру шкіри і суттєво покращити її здатність до формування.

Відомі також можливості використання електроактивованих водних систем в технологіях опорядження текстильних матеріалів. В роботі [9] теоретично обґрунтовано й експериментально доведено метастабільність стану електроактивованих водних систем. За наявності іонно-радикальних, іонних і радикальних елементів ступінь активності католіту й аноліту на 15,1–15,8% вище, ніж ступінь активності вихідної води. Встановлено, що макроструктура тканин із целюлозних волокон зазнає змін в аноліті – об'єм мікропор волокна збільшується на 23,0–29,0%. Установлено прямий зв'язок між величиною спорідненості прямих барвників до віскозного волокна й інтенсивністю поглинання світлових променів фарбувальними розчинами, для

приготування яких використовувалися різні водні системи. Спорідненість прямих барвників при використанні католіту збільшується на 15–22%.

**Висновки.** У зв'язку з термолабільністю натуральних матеріалів, що використовуються у взуттєвій промисловості, обґрунтовано доцільність використання вакуумного сушіння в технологічних процесах формостворення взуття. Оскільки термостійкість різних матеріалів неоднакова, режими вакуумно-радіаційного сушіння необхідно встановлювати для кожного виду шкіри окремо. Забезпечення необхідних фізико-механічних та експлуатаційних властивостей взуттєвих виробів може бути здійснене лише при ретельному підборі матеріалу та технологічних режимів їх виготовлення.

Для отримання формостійкого та комфортного взуття його конструкція повинна сприяти нормальному розвитку стопи і попереджувати можливі деформації. Для підвищення цих показників необхідно забезпечити комплекс фізико-механічних властивостей матеріалів для виготовлення взуття, які б задовольняли цим вимогам. Серед існуючих методів впливу на фізико-механічні властивості шкіри та хутра найбільш перспективним є використання електроактивованої води в технологічних процесах його виготовлення, починаючи з відмочування, оскільки таке використання дозволяє вплинути на структуру матеріалу і не призводить до хімічного забруднення навколишнього середовища.

1. Кавказов Ю. Л. Взаимодействие кожи с влагой / Кавказов Ю. Л. – М.: Гизлегпром, 1952. – С. 319.
2. Лыков А. В. Теория сушки / Лыков А. В. – М.: Энергия, 1968. – С. 472.
3. Дзевульский В. А. Вакуумная сушка обуви / Дзевульский В. А., Лазоренко В. А., Дубровный В. А., Матвиенко О. А. // Обувная промышленность. Экспресс – информация. – 1976. – № 9. – С. 37.
4. Изыскание и исследование рациональных способов комбинированной сушки кожаной обуви в вакууме: отчет по НИР (промежуточн.) / Киев. технол. и-т легкой пром-сти. – XVIII-4-71. – К., 1971. – С. 76.
5. Кришер О. Научные основы техники сушки / Кришер О. – М: Иностр. л-ра, 1961. – С. 539.
6. Лазоренко В. А. Исследование процесса комбинированной сушки юфтевой обуви: автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.19.06 «Технология обувных, кожевенно-галантерейных и шорных изделий» / В. А. Лазоренко. – Киев, 1974. – С. 26.