

УДК 66.047

В.І. Топчій

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра хімічної інженерії

СУШІННЯ ЛИСТОВИХ ГАЗОПРОНИКНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗМІННОМУ РЕЖИМІ

© Топчій В.І., 2003

Наводяться аналіз та результати досліджень сушіння листових газопроникних матеріалів у змінному режимі з застосуванням кондуктивного та фільтраційного теплопідводу.

The analysis over and results of researches of drying of sheet gas-penetrating materials are brought in the variable mode with the use of conductive and filtration heat supply.

Постановка проблеми. Сушіння є достатньо розповсюдженим у різноманітних галузях промисловості, таких, наприклад, як хімічна, харчова, легка, целюлозно-паперова і у багатьох випадках є лімітуючою стадією виробництва, тому пошук методів його інтенсифікації та енергозбереження має актуальний характер.

Метод фільтраційного сушіння листових газопроникних матеріалів є одним з ефективних методів для багатьох різновидів продуктів, які мають капілярно-пористу структуру. Його недолік полягає в тому, що для об'єктів з низькою пористістю (великим гідравлічним опором фільтрації теплоносія) інтенсивність сушіння суттєво зменшується через наявність незначних конвективних теплових потоків у зоні процесу.

Прискорення процесу фільтраційного сушіння може бути здійснене застосуванням на початковій стадії інтенсивних методів підведення тепла до вологого матеріалу. Одним з таких методів є метод кондуктивного нагрівання.

Об'єктом досліджень у цій роботі є сушіння листових газопроникних матеріалів у змінному режимі з застосуванням комбінованого кондуктивно-фільтраційного теплопідведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сушіння вологих капілярно-пористих матеріалів є теплофізичним процесом, в результаті якого відбувається перенесення тепла і маси із супроводженням структурно-механічних, а в деяких випадках, і хімічних змін у матеріалі [1].

На кінетику сушіння в основному впливає форма зв'язку вологи з матеріалом. Ця закономірність вперше була відзначена в роботах А.В. Лебедева і П.С. Коссовича [2], які показали, що механізм переміщення вологи в матеріалі визначається формою її зв'язку, а кінетика сушіння характеризується двома періодами.

Залежно від способу підведення енергії до вологого матеріалу розрізняють кондуктивне та конвективне сушіння, а також сушіння в енергетичному полі — терморадіаційне, струмами високої частоти, в акустичному полі [3].

Одним з найширше запроваджених способів сушіння капілярно-пористих листових матеріалів є кондуктивний спосіб, під час якого тепло передається матеріалу в основному теплопровідністю від нагрітої поверхні. В період прогрівання відбувається перерозподіл вологи в об'ємі матеріалу, виникає градієнт вологості з максимальним значенням в середній його частині. В шарі, який контактує з гріючою поверхнею, вологість упродовж всього

процесу мінімальна. На зовнішній (відкритій) поверхні вологість нижча за середні шари, але вища, ніж в контактному шарі. З часом максимум вологості переміщується до відкритої поверхні матеріалу. Температура у напрямку від контактного шару до зовнішньої поверхні неперервно зменшується. В середніх шарах матеріалу температура вища, ніж на відкритій поверхні. Переміщення вологи до відкритої поверхні зумовлене градієнтом температури. Градієнт вологовмісту має напрям, протилежний напрямку руху вологи у матеріалі, що призводить до уповільнення процесу сушіння.

При кондуктивному підводі тепла на сушіння суттєвий вплив має градієнт тиску водяних парів у матеріалі, велика частина капілярів якого на початку процесу заповнена рідиною. Надлишковий тиск, який виникає в середовищі вологого матеріалу, сприяє не тільки видаленню рідини у вигляді пари, але зумовлює також проштовхування рідкої фази у напрямі до відкритої поверхні. При кондуктивному сушінні розподіл поля надлишкового тиску по товщині матеріалу має характер, аналогічний характеру зміни поля температур.

На тривалість сушіння при кондуктивному підводі тепла впливає температура гріючої поверхні, особливо в першому періоді. Від неї залежить температура матеріалу, механізм перенесення тепла і вологи, а також якість готового продукту. Тривалість сушіння залежить також від питомої маси матеріалу і зусилля контакту його з гріючою поверхнею. Із збільшенням питомої маси зростає тривалість як першого, так і другого періодів. Зменшення зусилля контакту призводить до зменшення швидкості сушіння і, навпаки. Вологість і температура повітря майже не впливає на кондуктивне сушіння [4].

Отже, при кондуктивному сушінні відбувається теплообмін між гріючою поверхнею та матеріалом, ускладнений перенесенням речовини, і процес зміни агрегатного стану речовини з поглинанням тепла і перенесенням пари до відкритої поверхні матеріалу. Основною рушійною силою масопереносу є стійкий градієнт загального тиску водяних парів на поверхні матеріалу і у навколишньому середовищі, лімітований законами внутрішньої дифузії вологи до поверхні полотна. Ця обставина обмежує швидкість кондуктивного сушіння. Фактично досягнута його інтенсивність в промислових умовах наближена до своєї межі, що зумовлено фізичною суттю процесу.

На практиці часто комбінують кондуктивне сушіння з конвективним з метою інтенсифікації процесу і забезпечення якісних показників продукту.

Одним з перспективних методів сушіння ряду капілярно-пористих матеріалів є сушіння методом "фільтрації" гарячого повітря крізь вологе полотно під дією різниці тисків, яка створюється за допомогою вентиляційних агрегатів. Інтенсифікація процесу зумовлюється тим, що молекулярна дифузія вологи до поверхні матеріалу при кондуктивному підводі тепла заміняється в умовах фільтрації теплоносія крізь полотно внутрішньокапілярним конвективним сушінням. Сушильний агент при цьому безпосередньо контактує в основному з розгалуженою внутрішньою поверхнею капілярів і пор матеріалу, що сприяє порівняно з кондуктивним сушінням суттєвому збільшенню поверхні тепло- і масообміну. У початковий момент фільтраційного сушіння при порівняно великих початковому вологовмісту матеріалу і різниці тисків спостерігається явище механічного виносу частини вологи з полотна без витрат теплової енергії.

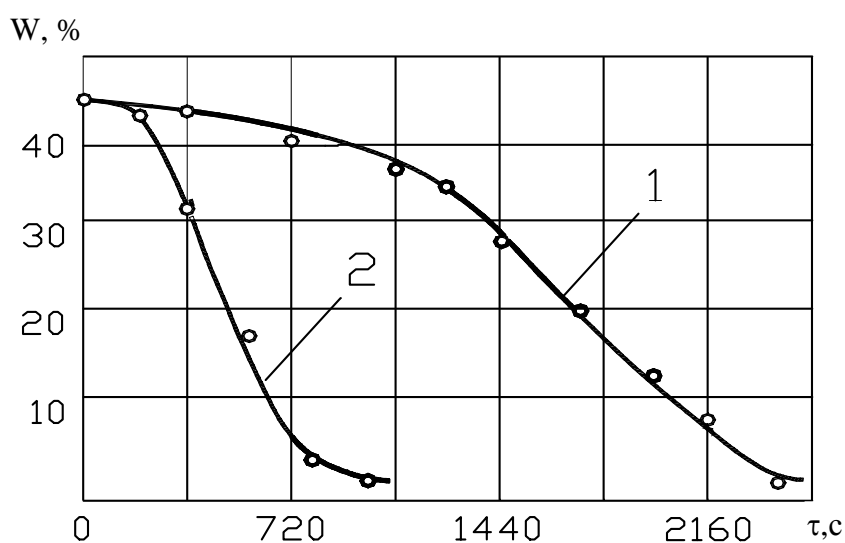
Поряд з перевагами, експериментальні дослідження фільтраційного сушіння листових капілярно-пористих матеріалів виявили деякі його негативні сторони [5, 6]. У початковій стадії процесу сушіння поровий простір матеріалу заповнений рідиною і в цілому є малопроникною структурою, тому фільтрація теплоносія практично відсутня, а сушіння відбувається за рахунок

конвективної складової (період сповільненого сушіння). Під час цього періоду в верхніх шарах, які безпосередньо контактують з гарячим повітрям, утворюється суха кірка. Її наявність є додатковим гідродинамічним опором фільтрації теплоносія, сприяє перегріванню матеріалу, погіршенню його якісних характеристик, збільшує тривалість сушіння та енерговитрати, особливо зі збільшенням висоти його шару. Другим негативним фактором є поява, знову ж таки на початку сушіння, великої кількості окремих зон вологого полотна з підвищеною фільтраційною здатністю. В цих зонах сушіння відбувається швидше, що призводить до нерівномірності процесу, особливо при фільтраційному сушінні фасонних (неоднорідних за висотою шару) капілярно-пористих виробів.

Постановка завдання. Подолати вищенаведені негативні фактори сушіння листових капілярно-пористих виробів дозволяє змінний режим, суть якого полягає в тому, що на початку процесу матеріал попередньо кондуктивно нагрівається до перетворення зв'язаної вологи в пароподібний стан без втрати матеріалом вологості. При подальшому створенні перепаду тисків на вологому полотні парова фаза механічно виноситься з теплоносієм з порового простору матеріалу (період сповільненого сушіння відсутній) з наступним фільтраційним його сушінням.

Експериментальні дослідження процесу сушіння проводилися в лабораторних умовах з вологими взірцями листового азбесту.

Зразок азбесту діаметром 100 мм і початковою вологістю 46 % розташовувався на перфорованій решітці вакуумної камери. На ньому створювався за допомогою вакуумної водокільцевої помпи перепад тисків ($\Delta p_c = 0.8 \text{ кГс/см}^2$) з одночасним обдуванням вакуумної камери гарячим повітрям ($100 \text{ }^\circ\text{C}$). Через певні проміжки часу взірець знімався з решітки і ваговим методом визначалася його поточна вологість для побудови кінетичної кривої. На рисунку кінетична крива 1 фільтраційного сушіння азбесту показує, що протягом перших 1200 с процес має дуже повільний характер. Це свідчить про відсутність у цьому проміжку часу фільтрації теплоносія і наявність конвективної складової процесу (період сповільненого сушіння). Початок профільтровування теплоносія крізь капілярно-пористу структуру азбесту супроводжується наступною інтенсивною втратою матеріалом вологи, рівноважне значення якої досягається упродовж 2500 с.



Кінетичні криві сушіння листового азбесту

Для дослідження змінного режиму сушіння вологих взірць азбесту розташовувався на перфорованій решітці вакуумної камери і протягом перших 180 с нагрівався кондуктивним методом із застосуванням нагрівача з температурою нагрівної поверхні 120 °С і ущільненням для запобігання втрати матеріалом вологовмісту. Після подальшого створення перепаду тисків і підведення до вакуумної камери гарячого повітря, як свідчить рисунок, кінетична крива 2, відразу починається фільтраційне сушіння.

Висновки. На рисунку наведені експериментальні кінетичні криві сушіння листового азбесту (висота шару 1 мм), де крива 1 відображає суто процес фільтраційного сушіння, крива 2 — процес сушіння у змінному режимі.

Як видно з наведених результатів досліджень, застосування змінного режиму дозволяє зменшити гідравлічний опір полотна та вірогідність підсихання і перегрівання верхніх його шарів, збільшити інтенсивність підведення тепла та рівномірність сушіння матеріалу, усуває період сповільненого сушіння і значно скорочує тривалість процесу.

1. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. — М.: Химия, 1970. — 429 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968. — 471 с.
3. Куц П.С. Современные направления оптимизации процессов и техника сушки. — Минск: Наука и техника, 1979. — 64 с.
4. Сажин Б.С. Основы техники сушки. — М.: Химия, 1984. — 320 с.
5. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов: Дис. ...д-ра техн. наук. — Львов, 1992. — 401 с.
6. Дуск А.В. The papridryer — a progress report // American paper Industry. — 1973. — № 6. — P. 44—46.

УДК 536.24

В.І. Грицай, Я.П. Юсик

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації хімічних процесів

МІНІМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАТРАТ У КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ З ПАРОРІДИННИМИ ТЕПЛОНОСІЯМИ

© Грицай В.І., Юсик Я.П., 2003

Розглянуто питання мінімізації енергетичних затрат у кожухотрубних теплообмінниках з парорідинними теплоносіями.

Questions minimization of power expenses in house-tube heat exchanger with steam-and-liquid heat-carriers is considered.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Передача теплової енергії є невід'ємною частиною більшості хіміко-технологічних процесів. У процесах нагрівання або охолодження теплоносіїв в сучасних виробництвах широко застосовуються кожухотрубні теплообмінники (КТ-ТО), що є великими споживачами теплової енергії. Рациональна організація процесу у КТ-ТО дозволить збільшити його продуктивність та отримати велику економію теплової енергії.

Найбільш розповсюдженим гарячим теплоносієм, який використовується в КТ-ТО для нагрівання рідин до температури 150—170 °С є водяна пара [10—18].