

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ
И ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ АН УССР
УКРАИНСКОЕ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ
ПРАВЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО
ХИМИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ОСНОВАН В 1960 г.
ВЫХОДИТ 1 раз в 2 месяца

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СБОРНИК

№ 4 (148) 1986 • ИЮЛЬ – АВГУСТ

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА

- 3 МАЛЬЧЕВСКИЙ А. И., ВЛАСЕНКО В. М., ЧЕРНОБРИВЕЦ В. Л. Синтез метилового спирта на активированном медью цинкхромовом катализаторе
- 13 КОНВИСАР В. И., ШАПКА А. В., ВОРОЖБИЯН М. И., КОПЕЙКИНА А. И. Адсорбция оксидов азота в производстве азотной кислоты
- 16 МАРЦЕНЮК М. Г., ОРЛИК С. Н., ОСТАПЮК В. А. Каталитическое восстановление оксидов азота оксидом углерода в присутствии кислорода
- 19 КОВЗУН И. Г., ПРОЦЕНКО И. Т., ОВЧАРЕНКО Ф. Д. Получение углеродсодержащих силикатов из дисперсных минералов и лигнина
- 24 ЗАЛЕСКАЯ Л. Н., ЛЕОНТОВИЧ Е. В., МАЗАНКО А. Ф., ЧВИРУК В. П. Получение едкого кали с низким содержанием хлоридов
- 27 КРУПА А. А., ПАЛЕЙЧУК В. С., МОРОЗ Б. И., МИНАЕВА Г. В. Процессы коагуляционного структурообразования в перлитсодержащих фаянсовых массах
- 31 МУЛЯРЧУК И. Ф., ГУМЕН В. И., ГОЛУБЕВА И. В. Твердофазные процессы получения криолитов и других комплексных фторидов
- 34 ТИШКИНА Н. С., КОСТЯНЕЦ Р. В., ПАРХОМЕНКО В. Д., КАЗАК В. Г. Выделение концентрата РЗЭ из азотнофосфорных растворов

Процессы, аппараты и машины

- 36 САНДУЛЯК А. В., ДАХНЕНКО В. Л. Использование сегнетоэлектрических насадок для очистки от высокодисперсных частиц
- 38 АКСЕЛЬРУД Г. А., ХАНЫК Я. Н., БАЛАБАН С. Н. Исследования кинетики фильтрационной сушки волокнистых газопроницаемых материалов

Автоматизация технологических процессов

- 43 АРУНЯНЦ Г. Г., ДАНИЕЛЯН А. С., ШАРАБХАНЫН Е. А., РАФАЭЛЯН М. А., КАНЕВЕЦ Г. Е. Система автоматизированного расчета динамики сложных химико-технологических объектов
- 47 РОЗЕНФЕЛЬД А. И. Вопросы предпроектной оптимизации химических технологий
- 51 БОДРОВ В. И., ДВОРЕЦКИЙ С. И., КАЛИНИН В. Ф., ПОЛЕЖАЕВ А. Н. Оптимальное управление производством азокрасителей

Защита воздушного бассейна от загрязнения

- 59 КОЧЕРГИНА Н. Н., КУЗНЕЦОВ М. Д., ЧЕХОВСКОЙ Б. Я., ПОЧУЛА В. Е. О реальном времени пребывания газа в циклоне

пользоваться и в сочетании с магнитным методом очистки, особенно для извлечения частиц высокой степени дисперсности, когда магнитный метод становится недостаточно эффективным, а сегнетоэлектрический — более предпочтительным благодаря тому, что удельный заряд мелких частиц выше по сравнению с частицами большей крупности. Такой гибридный метод очистки перспективен для тонкой очистки различных жидкостей и газов.

1. Сандуляк А. В. Очистка жидкостей в магнитном поле.— Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1984.— 167 с.
2. А. с. 1091940 СССР, МКИ ВОЗС 1/00. Устройство для очистки жидкости / А. В. Сандуляк, В. И. Гаращенко, Н. В. Яцков.— Оpubл. 15.05.84, Бюл. № 18.
3. А. с. 1096234 СССР, МКИ С 02 F 1/48 В 01 Д 35/06. Устройство для отделения ферромагнитных частиц от текучей среды / А. В. Сандуляк, В. И. Гаращенко, В. В. Сандуляк.— Оpubл. 07.06.84, Бюл. № 21.
4. Pat. 6302289—7 SW, Separator för rening av strömmande fluida från mikropartiklar av föroreningsämnen / A. V. Sandulyak, V. I. Garaschenko, N. V. Yatskov.— Publ. 24.01.85.
5. Pat. 4492633 USA, Separator for separationg fluid media from minute particles of impurities / A. V. Sandulyak, V. I. Garaschenko, N. V. Yatskov.— Publ. 8.01.85.
6. А. с. 436027 СССР, МКИ С 01 g 49/06 В 01К 3/00. Способ получения магнитной окиси железа / Н. И. Плотников, А. Ю. Климов.— Оpubл. 15.07.74, Бюл. № 26.
7. А. с. 342457 СССР, МКИ С 01 49/08. Способ получения закиси — окиси железа / Н. И. Плотников, В. А. Аршиников, В. А. Макаренко.— Оpubл. 25.03.78, Бюл. № 11.

Укр. ин-т инж. вод. хоз-ва

Получено 18.03.86

УДК 66.047

Исследование кинетики фильтрационной сушки волокнистых газопроницаемых материалов

Г. А. Аксельруд, Я. Н. Ханьк, С. Н. Балабан

Процессы сушки текстильных и нетканых материалов — распространенные тепломассообменные процессы в отделочном производстве на предприятиях текстильной и легкой промышленности. На долю сушки и промывки тканей приходится около 80 % всей затрачиваемой в производстве энергии [1]. Поэтому эффективность производства текстильных и нетканых материалов во многом определяется эффективностью процесса сушки, в качестве которого в подавляющем большинстве случаев используется конвективный способ [2]. На предприятиях существует множество конструкций конвективных сушильных установок, которые характеризуются низкой эффективностью, повышенным расходом тепла, большой металлоемкостью и занимают большие производственные площади.

С целью интенсификации процесса сушки используются комбинированные способы ведения процесса: конвективно-кондуктивная сушка, конвективная сушка с применением ультразвука, СВЧ и инфракрасного излучения [3]. Однако эти процессы характеризуются большими энергетическими затратами и сложностью сушильных установок.

Одним из перспективных методов сушки толстоственных волокнистых газопроницаемых материалов может быть фильтрационный способ [4], при котором сушильный агент под действием разности давлений проходит сквозь слой газопроницаемого материала или изделия. Авторами работ [5, 6] установлено, что фильтрационный процесс тепломассообмена протекает в десятки раз интенсивнее по сравнению с обычной конвективной и другими способами сушки при одновременном снижении энергетических затрат. Механизм фильтрационного тепломассообме-

на, а также причины, вызывающие интенсивное протекание сушки различных по природе газопроницаемых материалов, описаны в работах [6—8].

В промышленных условиях технические войлоки в основном сушатся конвективным способом и стадия сушки — лимитирующая в технологической цепочке. С целью выяснения возможности интенсификации тепломассообменного процесса, а также изучения основных закономерностей фильтрационной сушки исследуемого материала проведена серия опытов на образцах технического полугрубошерстного войлока ГОСТ 6308—71 Московской войлочной фабрики плотностью $247,1 \text{ кг/м}^3$, пористостью 0,864. Толщину образцов изменяли в пределах 9—26 мм. Опыты проводились по методике и на установке, описанных в [6]. На датчике блока регулирования температуры устанавливали величину температуры сушильного агента. В камере сушки на перфорированную опорную пластину помещали предварительно высушенный образец исследуемого материала.

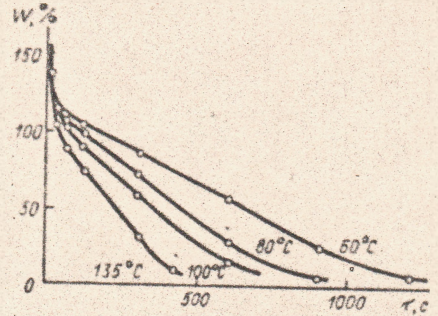


Рис. 1

Включали вакуум-насос и при помощи вентиля устанавливали необходимую величину перепада давлений, обусловленную гидравлическим сопротивлением, и фиксировали при этом условную скорость фильтрации. После этого вакуум-насос выключали. На перфорированную решетку клали сырой исследуемый образец и подавали сушильный агент, включали вакуум-насос, секундомер и многоточечный потенциометр. Образец подвергали сушке в течение определенного времени, после чего прекращали подачу теплоносителя, выключали вакуум-насос, образец быстро вынимали, помещали в стеклянный бюкс и взвешивали на аналитических весах. Взвешенный образец устанавливали в вакуум-сушильный шкаф, где проходила его досушка до постоянного веса при 80°C и глубине вакуума (0,5—0,6) Па. На перфорированную решетку устанавливался другой образец, который сушился более длительное время и т. д. По известным зависимостям ([9, с. 625]) строим кинетические кривые. Каждой точке кинетической кривой соответствует сушка отдельного образца.

Результаты исследований по кинетике сушки образцов технического войлока ГОСТ 6308—71, представленные на рис. 1, 2, 3, показали, что в начале сушки наблюдается интенсивное механическое вытеснение влаги без затрат тепловой энергии. После механического вытеснения протекает собственно процесс фильтрационной сушки, который на кинетической кривой отражается линейной зависимостью, т. е. имеет место первый условный период сушки. В конце процесса сушка протекает во втором условном периоде — зона массообмена, в которой в основном испаряется капиллярная влага. Периоды названы условно, так как по физической сущности фильтрационный процесс отличается от конвективного [6]. Рис. 1: влияние температуры теплоносителя на кривые сушки технического войлока ГОСТ 6308—71, $\Delta P = 2 \text{ кПа}$, $H = 17 \text{ мм}$: 1 — $T = 60^\circ\text{C}$; 2 — 80°C ; 3 — 100°C ; 4 — 135°C . Рис. 2: влияние перепада давлений на кривые сушки технического войлока ГОСТ 6308—71, $T = 135^\circ\text{C}$, $H = 17 \text{ мм}$: 1 — $\Delta P = 1 \text{ кПа}$; 2 — 2 кПа ; 3 — 3 кПа ; 4 — 4 кПа . Рис. 3: влияние толщины материала на кривые сушки технического войлока ГОСТ 6308—71, $T = 135^\circ\text{C}$, $\Delta P = 1 \text{ кПа}$: 1 — $H = 26 \text{ мм}$; 2 — 17 мм ; 3 — 9 мм .

Как видно из приведенных данных, количество влаги, вытесняемое механическим путем, зависит от параметров сушки. С увеличением перепада давления и температуры теплового агента суммарное количество влаги, вытесненное первыми порциями теплоносителя, а в дальнейшем и движущимся агентом (перегиб на кинетических кривых), увеличивается, что объясняется увеличением скорости движения воздуха и сжатием

материала при увеличении ΔP и уменьшении вязкости воды при увеличении температуры. С увеличением толщины материала механический вынос влаги уменьшается, что связано с величиной скорости движения воздуха при одном и том же давлении.

Результаты проведенных исследований показали, что по сравнению с конвективной сушкой фильтрационный процесс вызывает значительную интенсификацию массообмена при сравнительно низких перепадах

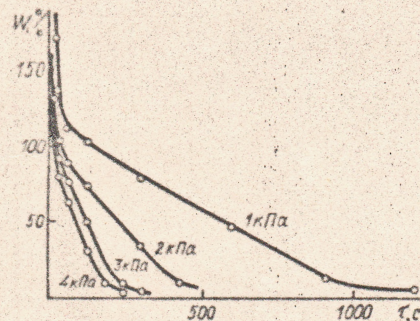


Рис. 2

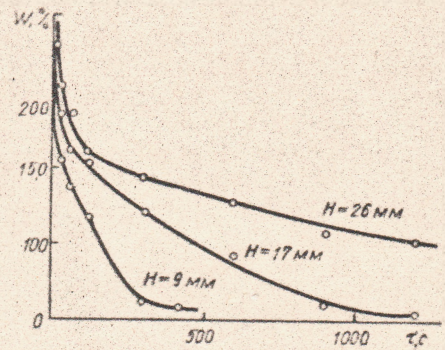


Рис. 3

давлений и умеренных температурах теплоносителя. Так, при $T=110^\circ\text{C}$ и $\Delta P=1,5$ кПа время обезвоживания исследуемого материала от 160% до 4% влажности длится 10–12 мин. В случае конвективно-кондуктивной сушки технического войлока при той же температуре процесс длится 1,5–2 ч, т. е. применение фильтрационной сушки при производстве технического войлока позволит интенсифицировать процесс тепло-массообмена в десятки раз.

Одновременно следует отметить, что сокращаются и тепловые затраты, так как значительная часть влаги удаляется механическим путем, а энергия теплоносителя почти полностью используется в процессе теплообмена.

Особое значение при изучении массообменных процессов имеет создание математической модели, описывающей его протекание. Для изучаемого процесса используется модель идеального вытеснения (в данном случае $Re \gg 1$), которая основывается на решении системы дифференциальных уравнений кинетики сушки и материального баланса в слое [6]

$$\begin{cases} -\frac{\partial W}{\partial \tau} = SKP_s(1-\varphi); \\ \varphi = P/P_s; \\ \frac{\partial x}{\partial z} + m \frac{\partial W}{\partial \tau} = 0; \\ m = \frac{\rho F}{100M}. \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) приводит к уравнению вида

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \tau e^{-\alpha \tau}. \quad (2)$$

Кинетические коэффициенты a и α определяются из экспериментальных данных при обобщении результатов опытов согласно уравнения (2) в координатах $\lg y-z$

$$y = \left(1 - \frac{W}{W_0}\right) / \tau. \quad (3)$$

Приведенная математическая модель описывает кинетику сушки в первом условном периоде [6] и для ее применения необходимо знать W . Так как механический вынос влаги модель не учитывает, то действительное значение начальной влажности материала не используется. Для использования уравнения (2) вводится понятие приведенной начальной влажности W'_0 , которая находится по пересечению прямой первого условного периода с осью ординат. Как видно из представленных результатов исследований, W'_0 зависит от параметров сушки. Для обобщения результатов W'_0 от параметров сушки предложено уравнение вида

$$W'_0 = A - B \frac{\Delta P H^2 \rho}{\mu^2} \quad (4)$$

полученное методом анализа размерностей. Коэффициенты A и B определены при обработке экспериментальных данных в координатах

$$W'_0 - \frac{\Delta P H^2 \rho}{\mu^2}$$

Для исследуемого материала уравнение имеет вид

$$W'_0 = 121 - 7,89 \cdot 10^{-10} \Delta P H^2 \rho / \mu^2 \quad (5)$$

Обобщая опытные данные согласно уравнения (2) в координатах $\lg y - z$ определяем a и α . Коэффициент a для исследуемого материала равен 125 и является величиной постоянной

$$1 - \frac{W}{W'_0} = \alpha t e^{-125z} \quad (6)$$

Величина α зависит от параметров процесса, T и ΔP и представлена в виде эмпирической зависимости

$$\alpha = K T^n \Delta P^{m'}, \quad K = 8,39 \cdot 10^{-9}, \quad n = 1,44, \quad m' = 1,014 \quad (7)$$

Таким образом, приведенная математическая модель с учетом уравнений (5) и (6) позволяет с достаточной точностью рассчитать текущее значение W в первом условном периоде и пригодно для использования при расчете установок для сушки исследуемого материала. Описание кинетики сушки ограничивается уравнением (2), так как по техническим условиям конечная влажность материала должна быть равной 10—15 %.

Результаты по кинетике сушки дают основание полагать, что внедрение фильтрационной сушки войлока даст значительный экономический эффект, а также позволит улучшить условия труда в сушильном отделении, так как пары влаги полностью выводятся из зоны сушки.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

a	кинетический коэффициент, 1/м
α	кинетический коэффициент, 1/с
z, H	толщина материала, м
W_0	начальная влажность материала, %
W'_0	приведенная влажность материала, %
μ	вязкость воды, Па·с
W	текущее значение влажности материала, %
ρ	плотность воздуха, кг/м ³
ΔP	перепад давлений, Па
t	время, с
T	температура теплоносителя, °С
P	парциальное давление водяных паров, Па
P_s	парциальное давление водяных паров, Па
φ	относительная влажность воздуха, %
K	коэффициент испарения, 1/м ² ·Па·с
X	влажносодержание воздуха, кг/кг
M	массовая скорость теплоносителя, кг/с
F	геометрическая площадь образца, м ²