

Filter drying fine mineral materials

V.M. Atamanyuk, D.M. Symak

Department of Chemical Engineering, Lviv Polytechnic National University, 9 Sv. Yura Square, Lviv, UKRAINE
E-mail: Atamanyuk@ukr.net

Cement production is a complex technological, resource and energy intensive process. Cement technology allows partially reduce the use of natural resources by application to the charge of waste production, in particular pyrolytic ash and clay. However, the use of these applications require their drying to the desired humidity. Therefore, experimental and theoretical study of drying process of clay and pyrolytic ash to reduce energy costs and optimize the parameters of the process of drying is the actual task.

The authors suggested using filtration method of drying, as one of the most high intensity. This paper presents the results of experimental and theoretical studies of hydrodynamics, kinetics, heat and mass transfer during filtration and drying of clay and pyrolytic ash. Determined the heat transfer coefficient, mass and internal diffusion. Generalization of experimental data presented in the form of dimensionless complexes. On the basis of generalization of theoretical and experimental results suggested the installation of filtration drying, which received a patent of Ukraine for utility model.

Фільтраційне сушіння дрібнодисперсних мінеральних матеріалів

В.М. Атаманюк, Д.М. Симак

Кафедра хімічної інженерії, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12, E-mail: Atamanyuk@ukr.net

Досліджено гідродинаміку, кінетику і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння кеку глиноземного і піритних огарків. Узагальнення представлені у вигляді безрозмірних комплексів.

Ключові слова: фільтраційне сушіння, гідродинаміка, кінетика, тепломасообмін.

Цемент є важливим будівельним матеріалом. Згідно вимог державного стандарту цементу загальнобудівельного призначення повинні містити не менше двох видів мінеральних додатків різної природи активності. Під час виробництва глинозему із бокситів утворюється велика кількість відходів, які складаються у відвали. Тому утилізація цих відходів є актуальною задачею сьогодення. Одним із напрямків утилізації відходів виробництва глинозему є їх використання у цементній промисловості. Однак, їх початкова вологість становить 25–30%. Щоби використати цей продукт, як додаток до готового цементу, його необхідно висушити до вологості 5%. Сказане також стосується і піритних огарків. Враховуючи багатотоннажність виробництва цементу дослідження процесу висушування мінеральних додатків є актуальною задачею.

Результати досліджень

Одним із високоефективних методів сушіння є фільтраційне сушіння, суть якого полягає у профільтовуванні теплоносія крізь стаціонарний шар дисперсного матеріалу в напрямку "шар матеріалу – перфорована перегородка". Першим етапом дослідження процесу фільтраційного сушіння є вивчення гідродинаміки фільтрування газового потоку крізь пористу структуру шару дисперсного матеріалу. Швидкість фільтрування гарячого повітря і втрати тиску в шарі матеріалу визначають інтенсивність сушіння та економічну доцільність процесу.

Нами проведено серію експериментальних досліджень гідродинаміки фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар сухого і вологого кеку глиноземистого і піритних огарків, а узагальнення наведені у вигляді критеріальних рівнянь для сухого матеріалу:

$$Eu = A \cdot Re^x \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^y \quad (1)$$

і вологого:

$$DP_{г.м.} = \left(\frac{w^c - w_p^c}{w_0^c - w_p^c}\right) \cdot DP_g + \left(\frac{w_0^c - w^c}{w_0^c - w_p^c}\right) \cdot DP_c \quad (2)$$

де $w_p^c \leq w^c \leq w_0^c$.

Використання отриманих залежностей дають змогу прогнозувати втрати тиску у широких межах значень чисел Рейнольдса і швидкостей фільтрування теплового агенту і на етапі проектування сушильного обладнання встановити економічну доцільність модернізації процесу сушіння мінеральних додатків. Порівняння розрахованих значень втрат тиску з експериментальними значеннями показали їх добре співпадіння. Максимальна відносна похибка складає 12,6%, що цілком прийнятно для використання на практиці.

Проведені дослідження кінетики сушіння вищевказаних матеріалів за різної температури і швидкості фільтрування теплового агенту. Встановлено, що сушіння відбувається в першому і другому умовних періодах. Тривалий в часі перший умовний період визначається часом руху зони масообміну в напрямку до перфорованої перегородки. Для прогнозування кінетики сушіння встановлено залежність рівноважної вологості від вологовмісту теплового агенту. На основі узагальнення цих експериментальних даних отримано розрахункові залежності, які встановлюють взаємозв'язок рівноважної вологості в твердій і газовій фазі:

– для глиноземного кеку:

$$j = 1 - \exp \left[- \left(\frac{w_p^c}{0,08694} \right)^{7,0175} \right], \quad (3)$$

– для піритних огарків:

$$j = 1 - \exp \left[- \left(\frac{w_p^c}{0,0429} \right)^{3,6842} \right]. \quad (4)$$

Виходячи з того, що в шарі матеріалу під час фільтраційного сушіння одночасно знаходяться частинки на яких міститься зовнішня волога і на яких вільна волога відсутня, проводили експериментальні дослідження теплообміну для вологого і сухого матеріалу.

Щоби температура верхніх і нижніх шарів матеріалу була приблизно однаковою, дослідження проводили у “моношарі”. Для цього висоту дисперсного матеріалу брали рівною $(3 \div 5) \cdot d_v$, щоби забезпечити рівномірне розподілення теплового агенту по всій площині контейнера і рівномірне омивання кожної частинки тепловим агентом. Температуру теплового агенту підтримували постійною з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Вимірювання температури під шаром матеріалу здійснювалося за допомогою

термопар ХК і 7-канального вимірювального інтелектуального перетворювача ПВІ-0298 з виводом інформації на персональний комп'ютер. Температура вимірювалась на виході із шару дисперсного матеріалу в трьох точках, у центрі контейнера, на відстані 5 і 25 мм від його стінки та визначалась як середнє арифметичне цих трьох замірів.

Значення коефіцієнтів тепловіддачі a для сухого матеріалу визначали згідно з рівнянням тепловіддачі:

$$a = \frac{\Delta Q}{F \cdot (\bar{t} - \bar{T}_n) \cdot \Delta t} \quad (5)$$

а вологого матеріалу:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} \cdot r = a \cdot F \cdot \left(\frac{t_{ex.} + t_{eux.}}{2} - t_{m.m.} \right) \quad (6)$$

Визначені коефіцієнти тепловіддачі a для сухих і вологих частинок дають змогу розрахувати затрати теплоти на випаровування вологи і нагрівання сухих частинок і більш точно прогнозувати кінетику процесу. Узагальнення цих даних зроблено у вигляді безрозмірних комплексів:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m \quad (7)$$

Дослідження масообміну проводили для сушіння частинок в першому і другому періоді. Коефіцієнти масовіддачі b визначали із кінетичного рівняння:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = b \cdot F \cdot \left(x_{нас.} - \frac{x_{нас.} + x_0}{2} \right) \cdot r \quad (8)$$

Для другого періоду сушіння визначали коефіцієнт дифузії вологи із частинок в навколишнє середовище і його залежність від температури теплового агенту. А узагальнення отриманих результатів представляли у вигляді критеріального рівняння:

$$Sh = A \cdot Sc^n \cdot Re^m \quad (9)$$

ВИСНОВОК

На основі узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень запропонована методика розрахунку основних конструктивних розмірів установки фільтраційного сушіння та параметрів теплового агенту. Порівняння розрахованих і експериментальних значень показало їх задовільне співпадіння. Запропонована установка фільтраційного сушіння дрібнодисперсних матеріалів, на яку отримано патент України на корисну модель.