

Marcin PIĄTKOWSKI, Ireneusz ZBICIŃSKIe-mail: piatkowski@post.pl

Katedra Procesów Ciepłych i Dyfuzyjnych, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Płomieniowe suszenie rozpyłowe

Wstęp

W artykule przedstawiono nowy sposób suszenia rozpyłowego, tj. suszenie rozpyłowe z jednoczesnym zapłonem rozpylanego medium (płomieniowe suszenie rozpyłowe). Stosując płomieniowe suszenie rozpyłowe nie ma konieczności ogrzewania czynnika suszącego ponieważ ciepło niezbędne do odparowania rozpuszczalnika pochodzi z reakcji spalania palnego komponentu strugi, co umożliwia lepsze wykorzystanie energii a tym samym ograniczenie zużycia czynników energetycznych oraz zmniejszenie emisji szkodliwych gazów.

Opis technologii

Suszenie rozpyłowe jest powszechnie wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu chemicznego, spożywczego i farmaceutycznego; niemalże cała produkcja: mleka w proszku, kawy rozpuszczalnej, proszków do prania oraz proszków dla przemysłu ceramicznego jest wytwarzana z zastosowaniem suszenia rozpyłowego. Multilateralne wykorzystywanie tej metody wynika z jej wielu zalet, z których najważniejsze to: niska energochłonność, stosunkowo prosta konstrukcja aparatury oraz krótki czas przybywania produktu w wysokiej temperaturze.

Stosowane obecnie metody suszenia rozpyłowego polegają na oddziaływaniu na strumień rozpylanego medium czynnikami intensyfikującymi odparowanie rozpuszczalnika – stosowane są najczęściej gorące gazy, mikrofały lub promienniki podczerwieni [1].

W przypadku, gdy suszone medium zawiera łatwopalny rozpuszczalnik, proces suszenia prowadzi się w sposób uniemożliwiający zapłon lub wybuch w instalacji, na przykład odparowując rozpuszczalnik w atmosferze gazów niepalnych. [2].

Na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej został opracowany nowy sposób suszenia rozpyłowego, tj. suszenie rozpyłowe z jednoczesnym zapłonem rozpylanego medium – płomieniowe suszenie rozpyłowe (*Flame Spray Drying*), które może być zastosowane do suszenia: roztworów, zawiesin, emulsji lub past zawierających łatwopalny rozpuszczalnik jak również mediów niepalnych po wprowadzeniu do nich dodatku substancji palnej odpowiedniej do rodzaju i przeznaczenia suszonego produktu.

Pozytywne efekty wstępnych badań oraz innowacyjność tej metody sprawiły, iż Politechnika Łódzka wystąpiła o ochronę patentową tego rozwiązania w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej – nr zgłoszenia P388423.

Istniejący stan wiedzy

Wiedza w zakresie jednoczesnego spalania i suszenia komponentów rozpylanej strugi jest ograniczona do cząstkowych zjawisk zachodzących podczas suszenia płomieniowego, tj. rozpylania, spalania i suszenia oraz interakcji rozpylanie–suszenie i rozpylanie–spalanie.

Proces suszenia z wykorzystaniem płomienia powstającego wewnątrz rozpylanej strugi implikuje bardziej złożone oddziaływanie, tj.: rozpylanie–spalanie–suszenie.

Uwzględniając wewnętrzny charakter spalania podczas płomieniowego suszenia rozpryskowego należy stwierdzić, iż tego typu prace nie były dotychczas prowadzone, a w literaturze nie ma opisu zjawisk i oddziaływań fizykochemicznych zachodzących podczas jednoczesnego spalania i suszenia.

Dostępne w literaturze przedmiotu publikacje opisują jedynie wykorzystanie dodatkowego (zewnętrznego) płomienia np. do:

- produkcji nanocząstek poprzez rozpylanie zawiesiny koloidalnej w płomieniu wytwarzanym przez dodatkowe palniki [3],
 - produkcji proszków metali gdzie płomień zewnętrznych palników jest wykorzystywany do ogrzewania rozpylanego produktu [4, 5].
- Powyższe prace dotyczą odmiennych zjawisk i dlatego będą stanowiły jedynie wstęp do całościowej analizy interakcji rozpylanie–spalanie–suszenie.

Zalety i wady płomieniowego suszenia rozpyłowego

Przeprowadzony wstępny eksperyment wykazał, iż suszenie rozpyłowe z jednoczesnym zapłonem rozpylanego medium może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne i ekologiczne. W badaniu porównawczym analizowano ilości energii niezbędnej do wysuszenia tej samej ilości substancji piorącej, stosując: klasyczne suszenie rozpyłowe w atmosferze powietrza ogrzanego elektrycznie do temp. 200°C oraz rozpyłowe suszenie płomieniowe, podczas którego spaleni ulegał alkohol izopropylowy. Proszki otrzymane w wyniku suszenia obiema metodami charakteryzowały się podobną barwą oraz wilgotnością, która wynosiła 1,5–2,0%. Z porównania nakładów energetycznych obu metod suszenia, przy uwzględnieniu sprawności elektrycznych elementów grzejnych oraz wartości opałowej izopropanolu wynika, iż do uzyskania analogicznej ilości proszku zużyto ok. 10% mniej energii stosując suszenie płomieniowe z wykorzystaniem alkoholu izopropylowego. Mniejsze zużycie energii wynika z faktu, iż w tej metodzie suszenia nie ma konieczności wstępnego ogrzewania powietrza doprowadzanego do suszarki ponieważ ciepło niezbędne do odparowania rozpuszczalnika pochodzi z reakcji spalania palnego komponentu strugi. Generowanie energii cieplnej bezpośrednio w obszarze atomizacji umożliwia lepsze wykorzystanie powstającego ciepła a tym samym ograniczenie zużycia czynników energetycznych oraz zmniejszenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery.

Analizując globalny wydatek energetyczny na operacje suszenia w tym m.in. suszenia rozpyłowego należy zauważyć potrzebę redukcji zużycia energii w kontekście rosnących cen paliw kopalnych oraz ochrony środowiska naturalnego poprzez zmniejszenie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych.

Obecnie szacuje się, że około 12% całkowitego zużycia energii na świecie jest wykorzystywane na procesy suszenia [6].

Metoda płomieniowego suszenia rozpyłowego oprócz przedstawionych powyżej zalet ekonomiczno-ekologicznych ma również ograniczenia, które należy uwzględnić przy implementowaniu tej metody.

Każde wdrożenie ww. metody będzie wymagało przeprowadzania wstępnych badań określających: rodzaj, ilość oraz sposób wprowadzenia nośników energii.

Optymalnie dobrany nośnik energii powinien zapewniać przede wszystkim:

- ilość energii wymaganą do odparowania rozpuszczalnika (przy możliwie niskim udziale objętościowym),
- odpowiednią temperaturę spalania/suszenia,
- wysoką czystość końcowego produktu (brak stałych pozostałości spalania, np. popiołów lub sadzy),
- bezpieczne (nie detonacyjne) spalanie.

Powyższe warunki mogą zostać spełnione m.in. przy zastosowaniu: olejów roślinnych, alkoholi (np. bioetanolu) oraz innych ciekłych paliw hydroksylowych.

Rozważając potencjalne zastosowanie metody płomieniowego suszenia rozpyłowego w instalacjach przemysłowych należy również pamiętać

tać, iż metoda ta nie powinna być stosowana do suszenia materiałów, które mogą spalać się detonacyjnie w wyniku wybuchu pyłowego.

Potencjalne obszary zastosowania płomieniowego suszenia rozpyłowego

Przedstawione powyżej możliwości i ograniczenia FSD pozwalają stwierdzić, iż omawiana metoda suszenia może znaleźć zastosowanie między innymi w wielkotonażowym suszeniu materiałów ceramicznych. W tej gałęzi przemysłu suszone są materiały, które ulegają szybkiej degradacji termicznej, np. zawiesziny ceramiczne stosowane w produkcji:

- ceramiki łazienkowej,
- ferromagnetyków,
- materiałów izolacyjnych,
- materiałów ogniotrwałych,
- innych materiałów prasowanych/spiekanych z proszków ceramicznych.

Kolejnym obszarem, w którym może zostać zastosowane płomieniowe suszenie rozpryskowe jest produkcja nanocząstek. Obecnie szereg syntez nanocząstek jest prowadzonych w środowisku ciekłym, tak w cieczach organicznych jak i nieorganicznych. Jednym z końcowych etapów takiej syntezy jest odseparowanie wytworzonych nanocząstek od rozpuszczalnik. W zależności od rodzaju i przeznaczenia produktu końcowego proces ten jest prowadzony różnymi metodami (wymywanie, odparowanie w płomieniu palników, odparowanie w plazmie, etc.) [7].

Zastosowanie procesu FSD ułatwi oddzielenie nanocząstek od ciekłych substratów jak również może zapobiegać aglomeracji która jest częstym, a jednocześnie niepożądanym zjawiskiem w tego typu syntezach.

Nanocząstki otrzymywane z roztworów ciekłych po wysuszeniu są często w następnym kroku poddawane procesowi kalcynacji lub pirolizy [8, 9]. Stosując płomieniowe suszenie rozpryskowe można proces suszenia i kalcynacji/pirolizy przeprowadzić w jednej operacji i przy zastosowaniu pojedynczego aparatu, czego efektem będą niższe koszty produkcji oraz lepsze parametry końcowego produktu.

Perspektywy rozwoju technologii FSD

Szersze zastosowanie opracowanej na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska metody płomieniowego suszenia rozpyłowego wymaga przeprowadzenia szeregu eksperymentów i obliczeń. Dalsze prace nad rozwojem tej technologii suszenia będą prowadzone na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej w ramach projektu badawczego „Określenie fizykochemicznego mechanizmu płomieniowego suszenia rozpyłowego” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Parametry procesowe, które będą analizowane w ramach projektu a jednocześnie mają największy wpływ na dynamikę suszenia oraz jakość uzyskiwanych produktów, to m.in.:

- rodzaj i stężenie substancji palnej,
- charakter powstającego płomienia [10],
- mechanizm spalania [11],
- początkowe i końcowe stężenia utleniacza,
- końcowe stężenia CO, CO₂ oraz tlenków azotu,
- ilości powietrza pierwotnego i wtórnego,
- masowego stężenia substancji suszonej w roztworze,
- wielkości, prędkości oraz koncentracji cząstek w rozpylonej strudze [12, 13].

Rozpylone ciekłe substancje palne mogą tworzyć płomień kinetyczny lub dyfuzyjny [10] – identyfikacja charakteru powstającego płomienia

oraz wpływu ww. parametrów na fizykochemiczny mechanizm procesu umożliwi określenie: składu chemicznego rozpylanej mieszaniny, ilości i sposobu doprowadzenia utleniacza jak również parametrów atomizacji wymaganych do uzyskiwania produktów o pożądanym własnościach.

Podczas prowadzenia badań analizie będą podlegały również aspekty ekonomiczne i środowiskowe a także bezpieczeństwa procesowego, których efektem będą wytyczne do procesowego zastosowania metody FSD.

Wnioski

W artykule opisano nową metodę suszenia rozpyłowego tj. płomieniowe suszenie rozpyłowe (FSD). Politechnika Łódzka wystąpiła o ochronę patentową ww. metody suszenia w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej – nr zgłoszenia P388423.

Wykazano możliwości zastosowań przemysłowych tej metody oraz opisano jej wady i zalety.

Prostsza konstrukcja aparatury – brak konieczności stosowania nagrzewnicy powietrza suszącego oraz efektywne wykorzystanie energii stanowią największe zalety tej metody umożliwiające zastosowanie płomieniowego suszenia rozpryskowego w przemyśle. Jako najbardziej obiecujące segmenty rynku potencjalnych zastosowań zidentyfikowano wielkotonażowe suszenie materiałów ceramicznych oraz produkcję nanocząstek.

Dodatkową zaletą metody FSD jest możliwość zastąpienia paliw konwencjonalnych surowcami energetycznymi pochodzącymi z odnawialnych źródeł energii np. bioetanołem lub olejami roślinnymi, co umożliwi redukcję emisji zanieczyszczeń gazowych oraz rozwój sektorów przemysłu związanych z uprawą i przetwórstwem roślin energetycznych.

LITERATURA

- [1] *K. Masters*: Spray Drying – an Introduction to Principles, Operational Practice and Applications. John Wiley & Sons Inc., New York 1976.
- [2] *Cz. Strumillo*: Podstawy Teorii i techniki Suszenia. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
- [3] *T. Poirier, A. Vardelle, M. F. Elchinger, M. Vardelle, A. Grimaud, H. Vesteghem*: Deposition of nanoparticle suspensions by aerosol flame spraying: Model of the spray and impact processes, *Journal of Thermal Spray Technology* **12**, nr 3 (2003).
- [4] US Patent US3907546, Molybdenum flame spray powder and process, (23.09.1975).
- [5] *U. Fritsching*: Spray Simulation – Modelling and Numerical Simulation of Spray-forming Metals. Cambridge University Press, Cambridge 2004.
- [6] *A.S. Mujumdar*: Handbook of Industrial Drying. CRC Press, New York 2007.
- [7] *C.C. Bemdt, T. Chraska, A.H. King*: Plasma Spray Synthesis of Nanozirconia Powder. Materiały konferencyjne: Thermal Spray Processing of Nanoscale Materials, Davos, Szwajcaria, (1997).
- [8] *Qiang Li, Lin-Sheng Wang, Bing-Yuan Hu, Cui Yang, Lin Zhou, Li Zhang*: Materials Letters **61**, (2007).
- [9] *Kyung Hee Lee, Sang Chun Rah, Sun-Geon Kim*: Journal of Sol-Gel Science and Technology **45**, (2008).
- [10] *W. Kordylewski*: Spalanie i paliwa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [11] *Z. Orzechowski, J. Prywer*: Wytwarzanie i Zastosowanie Rozpylonej Cieczy. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- [12] *I. Zbicinski, M. Piatkowski*: *Drying Technology* **22**, 6 (2004).
- [13] *M. Piatkowski, I. Zbicinski*: *Transport in Porous Media* **66**, 1–2 (2007).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy.