

Przegląd technologii suszenia materiałów sypkich

Overview of loose materials drying technologies

Ewa Skotnicka



W KILKU SŁOWACH

Suszenie to jeden z podstawowych procesów wykorzystywanych w przemyśle, stosowany w celu otrzymania produktu lub substratu, przedłużenia trwałości materiału albo poprawy jego wytrzymałości. Proces ten polega na usunięciu bądź zredukowaniu ilości wody znajdującej się w ciele stałym, poprzez przekazanie jej do czynnika suszącego. Najczęściej wykorzystywanym czynnikiem suszącym jest powietrze lub mieszanina powietrza i produktów spalania paliwa.



SUMMARY

Drying is one of the basic industrial processes used to obtain products and substrates as well as extend the lifetime and improve the strength of a given material. The process consists of removing or reducing the water content of a solid body by transferring it to the drying agent. The most commonly utilised drying agents are the air or a mixture of air and fuel combustion products.

Proces suszenia przebiega przez jednoczesny ruch ciepła i masy, ponieważ podgrzany czynnik suszący przekazuje ciepło do materiału wilgotnego i jednocześnie pochłania z niego wilgoć. Odpowiednio dobrane parametry czynnika suszącego, takie jak strumień, temperatura i wilgotność, pozwalają na usunięcie z materiału suszonego wymaganej ilości wilgoci. Dobór odpowiednich parametrów procesu suszenia zależy przede wszystkim od właściwości materiału

wilgotnego oraz możliwości techniczno-ekonomicznych suszarek.

Materiały wilgotne

Materiały sypkie poddawane suszeniu ze względu na zachowanie się w czasie procesu można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej z nich zaliczają się materiały krystaliczne lub zgranulowane, w których wilgoć znajduje się w otwartych porach i pomiędzy cząsteczkami materiału. Najczęściej są to materiały pochodzenia nieorganicznego, które nie zmieniają swoich właściwości podczas suszenia np.: piaski, wapnie, bentonit, węgiel itp.

Drugą grupę stanowią ciała stałe najczęściej pochodzenia organicznego, gdzie wilgoć stanowi integralną część struktury materiału lub jest zamknięta we włóknach i drobnych porach wewnętrznych. Podczas suszenia takie materiały mogą zmieniać swoje właściwości poprzez kurczenie się i pękanie. W przypadku nieodpowiednio dobranych parametrów suszenia na powierzchni materiału może wytworzyć się nieprzepuszczalna warstwa uniemożliwiająca ruch wilgoci z wnętrza materiału. Do tej grupy można zaliczyć np.: biomasę, warzywa, owoce, zboże itp. Suszenie materiałów organicznych najczęściej występuje w przemyśle spożywczym oraz w ostatnich latach w przemyśle energetycznym ze względu na rosnące zapotrzebowanie na paliwa alternatywne w postaci biomasy.

W odniesieniu do ciał stałych przeważnie używa się dwóch rodzajów wilgotności materiału: wilgotność względnej i bezwzględnej. Wilgotność względna definiowana jest jako ilość cieczy zawartej w materiale wilgotnym, wyrażona w jednostkach masy na jednostkę masy



Ilustracja: Suszarka fluidalna [5]





wilgotnego materiału (1.1) lub podawana jest w procentach (1.2):

$X = \frac{m_w - m_s}{m_w} \cdot \frac{\text{kg cieczy}}{\text{kg wilg. mat.}}$	m_w – masa materiału wilgotnego m_s – masa materiału suchego
$X = \frac{m_w - m_s}{m_w} \cdot 100$	X – wilgotność względna

Z kolei pod pojęciem wilgotności bezwzględnej rozumie się zawartość cieczy w materiale wilgotnym wyrażoną w jednostkach masy na jednostkę suchego materiału (1.3):

$W = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot \frac{\text{kg cieczy}}{\text{kg such. mat.}}$	m_w – masa materiału wilgotnego m_s – masa materiału suchego W – wilgotność bezwzględna
---	---

Te dwa rodzaje wilgotności są ze sobą powiązane w postaci zależności (1.4)

$X = \frac{W}{1 + W}$	X – wilgotność względna W – wilgotność bezwzględna
-----------------------	---

Suszenie

Odparowywanie wilgoci z materiału suszonego do czynnika suszącego będzie zachodzić, gdy równowaga prężności pary nad materiałem jest większa niż prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym. Proces ten będzie trwał do osiągnięcia przez układ stanu równowagi, czyli do momentu, kiedy prężność równowagowa pary wodnej nad materiałem i prężność cząstkowa pary wodnej w czynniku suszącym będą sobie równe. Prężność pary wodnej nad materiałem wilgotnym jest wywierana przez ciecz znajdującą się na zewnętrznej warstwie materiału suszonego i zależy od charakteru wilgoci, rodzaju ciała stałego i temperatury [1].

Proces suszenia prowadzi się w suszarkach, które można podzielić w zależności od:

- ciśnienia panującego w suszarce – suszarki atmosferyczne i próżniowe;
- charakteru pracy – suszarki o działaniu ciągłym i okresowym;
- sposobu doprowadzania ciepła – suszarki konwekcyjne, kontaktowe, radiacyjne, dielektryczne, sublimacyjne;
- rozwiązań konstrukcyjnych – suszarki komorowe, tunelowe, taśmowe, szybowe, bębnowe, fluidyzacyjne, walcowe, pneumatyczne, rozpyłowe, wibracyjne itp.

Suszarki mają za zadanie zapewnienie jak najlepszych warunków do prowadzenia procesu

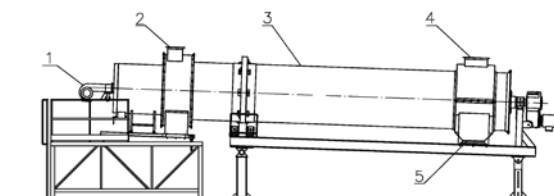
suszenia, dlatego przy ocenie i porównywaniu ich pracy bierze się pod uwagę kilka wskaźników, takich jak [1]:

- sprawność kinetyczna (cieplna) suszarki, definiuje się ją jako stosunek energii użytecznej – najczęściej jest to ciepło zużyte na odparowanie wilgoci z materiału – do całkowitej ilości energii wykorzystanej w procesie suszenia;
- objętościowe natężenie odparowania, czyli masę wilgoci odparowanej w ciągu jednostki czasu odniesioną do objętości danej suszarki;
- powierzchniowe natężenie odparowania – jest to masa wilgoci odparowanej w ciągu jednostki czasu z jednostki powierzchni materiału w suszarce;
- jednostkowe zużycie ciepła – zdefiniowane jako ilość ciepła zużyta w suszarce na jednostkę masy wilgoci usuniętej z materiału.

W branży materiałów sypkich najczęściej mamy do czynienia z suszarkami o dużej wydajności wyrażonej w Mg/h i są to urządzenia o pracy ciągłej. Wśród najczęściej wykorzystywanych można wymienić suszarki: bębnowe przeponowe i bezprzeponowe, fluidyzacyjne oraz pneumatyczne.

Suszarki bębnowe

Suszarki bębnowe są bardzo popularne i chętnie wykorzystywane w procesie suszenia materiałów sypkich, takich jak: piasek, wapnienie, popioły, węgiel, stłuczka szklana, nawozy sztuczne, biomasa, osady ściekowe itp. Ich popularność wynika z dużej wszechstronności co do suszonych materiałów, a także z prostoty konstrukcji, dużej przepustowości i wysokiej sprawności cieplnej. Istota działania tego typu suszarki polega na unoszeniu materiału poprzez obrót bębna. Materiał następnie opada w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który przepływa przez bęben we współ- lub przeciwwądmie w stosunku do materiału. Przykład wykonania takiej suszarki przedstawiono na ilustracji 1.

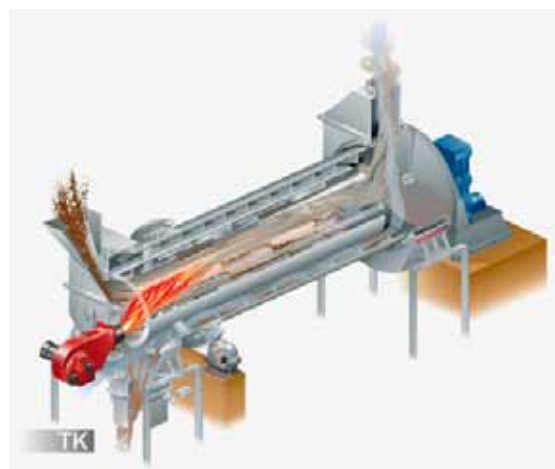


Ilustracja 1: Suszarka bębnowa jednobiegowa [6]

- 1 – palnik
2 – wlot materiału wilgotnego
3 – obrotowy bęben
4 – odprowadzenie czynnika suszącego
5 – odprowadzenia materiału

Suszarki bębnowe bezprzeponowe stosuje się wtedy, gdy mamy do wysuszenia materiały, które mogą kontaktować się bezpośrednio z gorącym powietrzem lub gazami spalinowymi oraz takie, w których nie występują lotne składniki łatwo palne lub szkodliwe dla otoczenia.

W suszarkach bezprzeponowych bęben może mieć średnicę do ok. 4 m i długość do ok. 30 m. Aby ułatwić przesuwanie się materiału wewnątrz bębna, montowany jest on pod pewnym kątem. Coraz bardziej popularne są suszarki dwu- lub wielobiegowe z opcją chłodzenia materiału lub bez niej. Dwubiegowa suszarnia zbudowana jest z dwóch współosiowych płaszczy, dzięki czemu możliwe jest zmniejszenie długości urządzenia i poprawa sprawności cieplnej suszarki. Materiał w takiej suszarce podawany jest do płaszcza wewnętrznego, gdzie przepływa we współprądzie z gazem suszącym, a po przebyciu całej długości suszarki jest kierowany do płaszcza zewnętrznego, gdzie przepływa w przeciwprądzie z gazem suszącym. Gdy zachodzi konieczność obniżenia temperatury materiału, na wylocie z suszarki można zastosować chłodzenie materiału powietrzem atmosferycznym w zewnętrznym płaszczu. Przykład takiego rozwiązania przedstawiono na ilustracji 2.



Ilustracja 2: Suszarka dwubiegowa z chłodzeniem materiału [4]

Kierunek przepływu gazu suszarniczego ma istotne znaczenie dla zapewnienia odpowiednich warunków suszenia materiału. Do materiałów, które wymagają usunięcia znacznej ilości wilgoci w początkowym stadium suszenia zaleca się przepływ współprądowy powietrza i materiału. Taki rodzaj przepływu sprzyja wzrostowi szybkości suszenia w początkowym odcinku bębna, a w dalszej części bębna w miarę zmniej-

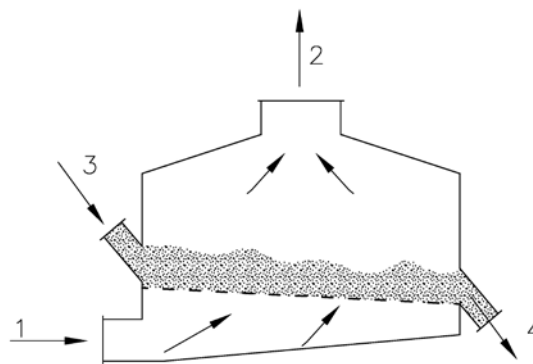
szania się różnicy temperatur osiąga wartość minimalną.

Przepływ przeciwprądowy w suszarce bębnowej stosuje się do materiałów, które wymagają łagodnego suszenia w stanie wilgotnym i dopiero po częściowym odparowaniu wilgoci, mogą być intensywniej suszone. W przypadku tego typu przepływu istnieje ryzyko niedosuszenia materiału sypkiego.

Suszarki bębnowe przeponowe stosuje się, gdy ze względu na właściwości materiału suszonego nie można wykorzystać suszarki bezprzeponowej. W tego typu urządzeniach ruch ciepła odbywa się w wyniku przewodzenia i promieniowania przez ścianki suszarki lub przez wewnętrzne rury grzejne, ogrzewane za pomocą pary grzejnej, czy też gorącej wody. Dzięki zastosowaniu czynnika grzewczego w suszarce może być utrzymywana stała temperatura, co pozwala na suszenie materiałów o długim okresie malejącej szybkości suszenia oraz materiałów nieodpornych na działanie wysokiej temperatury [1].

Suszarki fluidyzacyjne

Suszarki fluidyzacyjne są kolejną grupą urządzeń stosowanych do usuwania wilgoci z materiałów sypkich. Zasada działania tych urządzeń polega na wprowadzeniu gazu suszarniczego do dolnej części aparatu, w którym na przegrodzie o odpowiedniej przepuszczalnej budowie umieszczone jest złożo z materiału sypkiego. Doprowadzenie gazu suszarniczego o odpowiednim strumieniu powoduje rozluźnienie się złoża materiału do stanu, w którym cząstki otoczone są przez gaz i mogą się poruszać w obrębie złoża. Na ilustracji 3. przedstawiono istotę działania suszarki fluidyzacyjnej jednostopniowej.



Ilustracja 3: Suszarka fluidalna
1 – doprowadzenie czynnika suszającego 3 – doprowadzenie materiału wilgotnego
2 – odprowadzenie czynnika suszającego 4 – odprowadzenie materiału wilgotnego

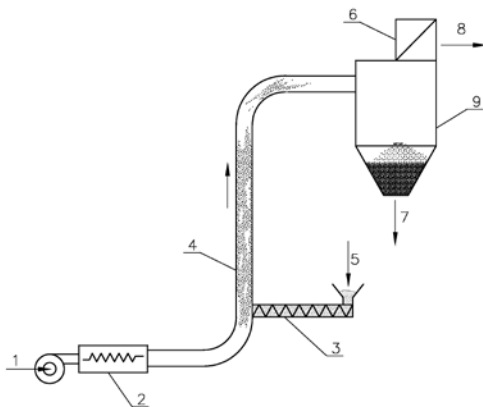


Suszarki tej konstrukcji osiągają bardzo wysokie wartości współczynników wnikania ciepła i masy np.: objętościowy współczynnik wnikania ciepła jest o 10-20 razy większy od współczynnika w suszarkach bębnowych. Poza niewątpliwymi zaletami tego rodzaju konstrukcje suszarek mają też swoje wady: mogą być stosowane głównie do materiałów o krótkim pierwszym okresie suszenia, nie nadają się do materiałów zawierających dużo wilgoci lub mających duży zakres rozmiarów cząstek, są energochłonne ze względu na znaczne straty ciśnienia w układzie.

Suszarki tego rodzaju są często modyfikowane konstrukcyjnie, dzięki czemu możliwe jest prowadzenie równocześnie procesu segregacji materiału sypkiego, wydzielenie niezależnych stref zasilanych czynnikiem suszącym o odpowiednich parametrach, w których to strefach materiał może być chłodzony przed opuszczeniem suszarki, zastosowanie dwustopniowego suszenia poprzez umieszczenie dodatkowego złoża materiału.

Suszarki pneumatyczne

Do suszenia materiałów sypkich i krystalicznych wykorzystuje się również zjawisko transportu pneumatycznego w suszarkach pneumatycznych. Materiał wprowadzany jest do rurociągu, gdzie zostaje porwany przez przepływający czynnik suszący. Suszenie przebiega wzdłuż drogi transportu fazy stałej w przewodzie, ilustracja 4.



Literatura:

- [1] Strumiłło, Cz.: Podstawy teorii i techniki suszenia, WNT, Warszawa 1983.
- [2] Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego, pod red. Piotr P. Lewicki, WNT, Warszawa 2005.
- [3] Mujumdar, A.S.: Handbook of Industrial Drying, Third Edition. [4] www.allgaier.de
- [5] www.barr-rosin.com
- [6] www.wakro.com.pl

Ilustracja 4: Suszarka pneumatyczna

- 1- dopływ powietrza
- 2- nagrzewnica
- 3- przelotnik ślimakowy
- 4- rurociąg suszący
- 5- dopływ czynnika wilgotnego
- 6- filtr
- 7- odbiór materiału
- 8- odprowadzenie powietrza
- 9- zbiornika materiału

W suszarkach tego typu występuje większe rozrzedzenie materiału sypkiego w porównaniu z suszarkami fluidalnymi. Cechą charakterystyczną tych urządzeń jest wysoka intensywność wymiany ciepła i masy pomiędzy materiałem wilgotnym a czynnikiem suszącym. Spowodowane jest to dużą prędkością przepływu gazu suszącego, a co za tym idzie znacznym rozwinięciem powierzchni materiału suszonego.

W tego rodzaju suszarkach najlepiej suszą się materiały: łatwo przesypujące się, nielepkie, szybko schnące - ze względu na krótki czas kontaktu z czynnikiem suszącym - o małych średnicach cząstek, ok. 1-2 mm.

Do zalet suszarki pneumatycznej można zaliczyć: krótki czas kontaktu oraz współprądowy przepływ materiału i czynnika suszącego, możliwość stosowania wysokich temperatur na wlocie urządzenia, możliwość wykorzystania suszarki jako przenośnika ciała stałego, małą powierzchnię zabudowy oraz łatwość kontroli i zmiany parametrów gazu suszącego. Do wad można zaliczyć konieczność stosowania kosztownych wysoko sprawnych urządzeń odpylających.

Dobór urządzeń suszących nie jest zadaniem prostym ze względu na złożony charakter procesu i zmienne parametry wilgotnościowe powietrza suszącego. Przed wyborem typu suszarki należy przeprowadzić szczegółową analizę kinetyki suszenia materiału, tak aby wybrać model najbardziej wydajny i ekonomiczny dla inwestora.



Ilustracja 5: Suszarka bębnowa dwubiegowa [6]

artykuł dzięki uprzejmości powder&bulk, www.powderandbulk.com.pl