

WYDAJNOŚĆ SUSZENIA MIKROFALAMI PRZY OBNIŻONYM CIŚNIENIU

MARKOM MICROWAVES jest firmą specjalizującą się w projektowaniu i budowie urządzeń oraz systemów mikrofalowych.

Suszenie mikrofalami, a tym bardziej mikrofalami przy obniżonym ciśnieniu jest nadal tematem mało znanym szerszemu gronu. Wydajność tego typu urządzeń mikrofalowych (suszarek próżniowych) jest najważniejszą informacją, która pozwala podjąć decyzję o wdrożeniu tej technologii. Niniejszy artykuł opisuje podstawowe zależności związane z technologią mikrofalową wykorzystywaną do suszenia materiałów przy obniżonym ciśnieniu.

1 WPROWADZENIE

Prędkość z jaką rozchodzą się fale elektromagnetyczne w próżni wynosi $v = 299792458 \text{ m/s}$ (w zaokrągleniu 300000000 m/s). Mikrofałe są częścią promieniowania elektromagnetycznego w zakresie od 300 MHz do 300 GHz. Długość fali l o częstotliwości f jest obliczana z wzoru $l = f/v$.

Powszechnie jest znana zasada oddziaływania mikrofal na cząsteczki wody. Przypomnijmy jedynie, że cząsteczki wody w polu mikrofalowym zaczynają drgać (rotować) zgodnie ze zmianami tego pola. W procesie tym, wydzielane jest ciepło, które podnosi temperaturę wody, doprowadzając do jej wrzenia i parowania.

Jest kilka zakresów częstotliwości wykorzystywanych w urządzeniach przemysłowych. W dalszej części, wszystkie aspekty związane z suszeniem będą odnosiły się jedynie do zakresu $2450 \text{ MHz} \pm 50 \text{ MHz}$.

2 MAGNETRON

Magnetron jest próżniową lampą elektronową, która generuje mikrofałe. Energia mikrofal wyprowadzona jest na zewnątrz przez antenę dipolową. W specjalistycznych rozwiązaniach (np. radary) mikrofałe są wyprowadzane przez falowód.

Niestety w procesie wytwarzania mikrofal generuje się spora ilość ciepła. Magnetron musi być chroniony przed nadmiernym wzrostem temperatury, w przeciwnym wypadku ulegnie uszkodzeniu. Magnetrony są więc chłodzone powietrzem lub wodą. Ta część energii jest praktycznie tracona.

Sprawność magnetronów jest oceniana na 70-80%. Niektórzy producenci deklarują sprawność na poziomie powyżej 90%, należy jednak do tego podchodzić dosyć sceptycznie. Generalnie, do wytworzenia mikrofal o mocy 1 kW należy dostarczyć moc na poziomie 1,25 kW.

3 WODA

Woda ze względu na swoje właściwości dielektryczne bardzo dobrze absorbuje mikrofałe. Jest również dobrym przewodnikiem ciepła. Temperatura wrzenia przy normalnym ciśnieniu wynosi 100°C . Przy ciśnieniu 40 mbar temperatura wrzenia wody spada do ok. 29°C . Jest to istotne, ze względu na fakt, że w procesie suszenia mikrofalami konieczne jest uwzględnienie przemiany fazowej (przejścia fazowego).

Przemiana fazowa to proces termodynamiczny, w którym woda ze stanu ciekłego zmienia się w postać gazową (parę wodną). Ciepło utajone jest miarą energii potrzebnej na przejście wody ze stanu ciekłego do gazowego. W tym przykładzie dla wody jest to 2433 kJ/kg .

4 TRANSFER ENERGII

W celu oszacowania wydajności systemu mikrofalowego w procesie odparowania wody, przyjmijmy że źródło wytwarza mikrofałe o mocy 1 kW. Jest to ilość energii równoważna 1 kJ/s.

Przypomnijmy, że ciepło utajone wody to 2433 kJ/kg. Szybkość parowania wody określamy na podstawie stosunku ciepła utajonego do dostarczonej energii

$$\frac{2433 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}} = 2433 \frac{\text{s}}{\text{kg}}$$

Oznacza to, że przy użyciu mikrofal o mocy 1 kW, można odparować 1 kg wody, w czasie 2433 s, czyli w czasie ok. 41 minut.

5 SUSZENIE POWIETRZEM

Istnieją inne sposoby oraz technologie suszenia materiałów (odparowania wody). Jedną z najbardziej popularnych jest suszenie gorącym powietrzem. Suszenie powietrzem z oczywistych względów jest trudne do zrealizowania przy obniżonym ciśnieniu. Jest to więc jedynie przykład, do którego porównane zostanie suszenie mikrofalami przy obniżonym ciśnieniu.

1 m³ suchego powietrza, o temperaturze 20°C, zawiera ok. 17 g wody. Przyjmijmy jednak założenia, w których:

- powietrze przeznaczone do suszenia nie zawiera wody (wilgotność względna 0%),
- po przejściu przez materiał lub nad jego powierzchnią jest w pełni nasycone (wilgotność względna 100%),
- ilość przepływającego powietrza to 100 l/min.

W ciągu 1 minuty powietrze "odbierze" ok. 1,7 g wody (wilgoci). Podnosząc temperaturę powietrza do 60°C, można teoretycznie zwiększyć wydajność procesu do ok. 13 g/min. Niestety, po zetknięciu się z chłodniejszym materiałem (np. o temperaturze 29°C) temperatura powietrza spada, spada tym samym wydajność do ok. 10 g/min. W czasie 41 minut odebrane zostanie jedynie ok. 410 g wody.

Tak więc, aby odebrać 1 kg wody potrzebny jest czas ok. 100 min.

6 RODZAJE MATERIAŁÓW

Nie wdając się w rozważania naukowe możemy rozróżnić trzy rodzaje wilgotności:

- powierzchniową,

- kapilarną,
- cząsteczkową.

W materiałach higroskopijnych woda znajduje się głównie na powierzchni.

W materiałach higroskopowych woda może penetrować do wnętrza granulatu czy płytek.

Wilgotność cząsteczkowa to woda związana na poziomie cząsteczek materiału.

Mikrofalami przy obniżonym ciśnieniu można suszyć praktycznie wszystkie materiały i produkty, nawet te wrażliwe na wysoką temperaturę. Dodatkowo zdolność mikrofal do głębokiego wnikania w strukturę materiału ułatwia suszenie jego głębszych warstw a więc suszenie materiałów higroskopowych.

Dla porównania, gorące powietrze musi być intensywnie wdmuchiwane do warstwy suszonego materiału. Mimo to niezwykle trudne jest usunięcie wilgotności z materiałów higroskopowych.

7 EKSPERYMENT

Wyżej podane zależności odnoszą się do warunków idealnych. Wspomniano jednak o utrudnieniach przy suszeniu materiałów higroskopowych w warunkach rzeczywistych.

Jako przykład niech posłuży eksperyment przeprowadzony przez firmę GEA z suszeniem laktozy (mleka w proszku). Eksperyment przeprowadzano w zbiornikach o pojemności od 10 do 1200 l.

Do usunięcia 1 kg wody, przy użyciu mikrofal o mocy 2,4 kW wystarczyło ok. 40 min., niezależnie od pojemności zbiornika.

W przypadku suszenia gorącym powietrzem o temperaturze 60°C, przy przepływie 100 l/min, do usunięcia 1 kg wody potrzebne było od 120 do 270 min. Istotna w tym przypadku była objętość zbiornika.

8 WNIOSKI

W tym opracowaniu nie uwzględniono wielu aspektów związanych z oceną skuteczności i wydajności systemów mikrofalowych. Jednak przedstawione informacje oraz porównanie do tradycyjnego sposobu suszenia pozwala przyszłemu użytkownikowi ocenić czy tego rodzaju rozwiązanie znajdzie zastosowanie w jego systemie.