

**Bożena WILCZYŃSKA**

e-mail: bowil@poczta.onet.pl

Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich, Bydgoszcz

**Metrologiczne aspekty rozdrabniania materiału kruchego****Wstęp**

Odpowiedni dobór procesu produkcyjnego pociąga za sobą konieczność zrozumienia strukturalnych wymagań powierzchni ziarn, aby zapewnić uzyskanie jej określonych właściwości i parametrów użytkowych. Celem badań była metrologiczna analiza wymiarów liniowych powierzchni i obiektów rozdrabniania, zarówno w trakcie, jak i po jego zakończeniu.

**Jakość rozdrobnienia materiału kruchego**

Badania metrologiczne przeprowadzane w kraju są uwarunkowane ich celem, którym jest kontrola jakości, czy też badania poznawcze. Zalecenia badań jakości rozdrobnienia materiałów kruchych (brył, ziarn czy cząstek) są zawarte w normach [1–4]. Podano w nich definicje i odpowiadające im terminy a także sposoby przedstawiania charakterystyki metrologicznej i fizycznej brył, ziarn czy cząstek. W zakresie charakterystyk metrologicznych uwzględnia się:

- krzywe rozkładu ziarnowego,
- krzywe składu ziarnowego,
- fotografie ziarn w powiększeniach zawierające opis struktury kształtu i opis wad,
- przyrost powierzchni,
- stopień rozdrobnienia,
- wymiary ziarn.

Charakterystyka fizyczna materiału rozdrobnionego obejmuje natomiast:

- mikrofotografię cząstek,
- wykres zmian mikrotwardości,
- wykresy zmian naprężeń własnych.

Wybór odpowiedniej metody pomiaru jest uzależniony od potrzeby precyzyjnej oceny rozdrobnionego materiału kruchego jak i przewidywalnych warunków pracy. W zakresie metodyki badawczej stosowanej poza tradycyjnymi metodami badań cech metrologicznych, struktury i własności mechanicznych brył, ziaren czy cząstek, coraz częściej wprowadzane są metody wykorzystujące badania własności fizycznych.

W trakcie procesu rozdrabniania uwzględnić należy następujące parametry: przyrost powierzchni właściwej (kinetycznej lub statycznej), stopień rozdrobnienia oraz ziarno zastępcze.

Stosuje się następujące metody pomiaru:

- analiza sitowa,
- analiza sedymentacyjna,
- metoda sedymentacyjno-wirówkowa,
- pomiary powierzchni właściwej permeabilimetrami np. *Towarowa*, *Blaine'a* itp.,
- pomiary mikroskopowe (mikroskop elektronowy, skaningowy),
- metody konduktometryczne (licznik *Caultera*),
- pomiary laserowe (granulometr laserowy),
- metoda pyłowo-pneumatyczna,
- metoda dyfrakcji promieni *Roentgena*.

Zasadniczymi przyczynami występowania niezgodności wyników pomiarów mogą być: niewłaściwe warunki pomiarów (wilgotność, temperatura), różne metody pomiaru (nadawy i produktu), różne klasy

dokładności przyrządów pomiarowych, wewnętrzne błędy przyrządów, niewłaściwy układ pomiarowy oraz wpływ stanu powierzchni ziarna.

**Powierzchnia właściwa**

Powierzchnia właściwa materiału jest to powierzchnia wszystkich ziarn zawartych w jednostce masy lub objętości materiału wyrażana najczęściej w  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,  $\text{m}^2/\text{kg}$ ,  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$  lub  $\text{m}^2/\text{m}^3$ . Powierzchnia właściwa kinetyczna obejmuje powierzchnię ziarn bez uwzględniania porów. Powierzchnia właściwa statyczna zawiera powierzchnię ziarn wraz z powierzchnią porów otwartych i półotwartych. Na podstawie znajomości powierzchni właściwej obliczyć można średnią wielkość ziarn zastępczych traktowanych jak kule. Dla ziarn o dowolnych kształtach można posługiwać się zastępczym wymiarem liniowym. Ponadto w odniesieniu do materiałów o ziarnach mniejszych od 100 mm, przyjmuje się powierzchnię właściwą jako wskaźnik jakości procesu technologicznego.

Powierzchnię właściwą materiału oznaczyć można dwoma sposobami: pośrednio i bezpośrednio. W metodach pośrednich określa się skład ziarnowy materiału, a następnie oblicza powierzchnię właściwą na podstawie znanych wyrażeń.

Wśród metod bezpośrednich oznaczania kinetycznej lub statycznej powierzchni właściwej wymienić należy:

- permeabilimetrię,
- metodę adsorpcji gazów,
- metodę pomiaru ciepła zwilżania,
- metoda *Wegniera*.

Najbardziej rozpowszechnioną i najprostszą jest metoda wyznaczania powierzchni właściwej za pomocą aparatów zwanych permeabilimetrami. Jednym z nich jest udoskonalony permeabilimetr *Towarowa*, o zakresie pomiarowym (30–1000)  $\text{m}^2/\text{kg}$  o stałym natężeniu przepływu powietrza i błędzie oznaczeń (1–2)%. Metody permeabilimetrii pozwalają wyznaczyć kinetyczną powierzchnię właściwą.

Na wartość powierzchni właściwej największy wpływ ma udział najdrobniejszych ziarn. Parametrem określającym pośrednio uziarnienie materiału jest powierzchnia właściwa kinetyczna lub statyczna. Kinetyczna powierzchnia właściwa, czyli powierzchnia zewnętrzna zbioru ziarn przypadająca na jednostkę masy lub objętości, oznaczona jest metodami permeabilimetrii zgodnie z normą PN-71/C-06711 [5].

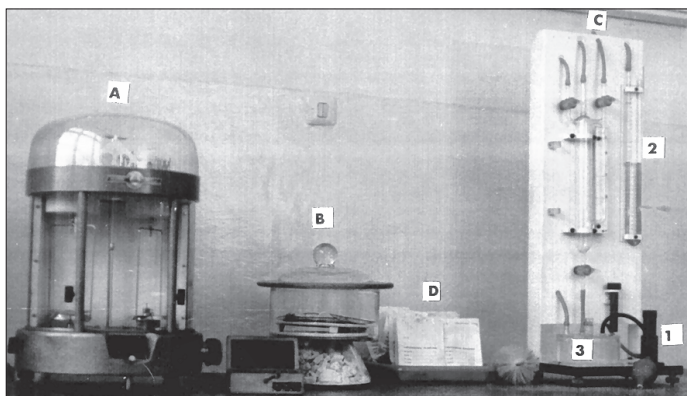
Doskonalszy aparat o większym zakresie pomiarowym (300–8000)  $\text{cm}^2/\text{g}$  opracowano w *Instytucie Maszyn Hutniczych i Automatyki AGH*.

Statyczną powierzchnię właściwą z uwzględnieniem powierzchni por półotwartych oznacza się metodą adsorpcji azotu – BET (*Braunera*, *Emmeta*, *Tellera*). Metoda ta jest stosowana w inżynierii chemicznej.

**Pomiary powierzchni właściwej**

Do określania powierzchni właściwej produktu użyto permeabilimetru *Towarowa*. Poniżej prezentowane urządzenie (Rys. 1) zostało zmodyfikowane i wykonane w *IMH AGH*, Kraków.

Prezentowany permeabilimetr składa się z: głowicy pomiarowej (Rys. 1, poz. D1) wyposażonej w ubijaki, w której umieszcza się próbkę badanego materiału między dwiema bibułami na sitku. Głowica swą częścią stożkową osadzona jest w obsadzie głowicy. Na wspólnej podstawie znajduje się manometr cieczowy (Rys. 1, poz. D2) połączony z głowicą i aspiratorem (Rys.1, poz. D3), którego boczna rurka wyposa-



Rys. 1. Stanowisko do pomiaru powierzchni właściwej produktu: A – waga laboratoryjna, B – eksykator, C – permeabilimetr, D – próbki rozdrobnionego materiału: 1 – głowica pomiarowa, 2 – manometr cieczowy, 3 – aspirator

żona jest w skalę. Układ przepompowania wody z zaworem normalnie otwartym i gruszką gumową połączono z aspiratorem. Aspirator ma wewnątrz kapilarę oraz zawory: odprowadzający wodę, odpowietrzający, pomiarowy.

Na podstawie znajduje się termometr oraz wypychacz. Do ustalania porowatości głowica posiada ubijak. Aparat wyposażony jest w głowicę o dwóch średnicach 15 i 18 mm, sprawdzony zakres pomiarowy 30–1000 m<sup>2</sup>/kg przy błędzie 1,5%, kęś próbki 15 mm, ciśnienie statyczne 26 mm H<sub>2</sub>O, ciecz manometryczna gęstość 1,0–0,05 kg/dm<sup>3</sup>, pojemność naczynia H<sub>2</sub>O – 0,6 dm<sup>3</sup>.

Charakterystyka techniczna:

- zakres porowatości próbki 0,45–0,55
- średnica komory 20 mm
- wymiary permeabilimetru:
  - wysokość 760 mm
  - szerokość 200 mm
  - długość 200 mm
- zakres pomiarowy manometru 0–300 mm H<sub>2</sub>O  
0–0,003 MPa
- zakres oznaczeń powierzchni właściwej 30–1000 m<sup>2</sup>/kg.

Oznaczano kinetyczną powierzchnię właściwą:

$$A_o = 0,5\sqrt{H_m T} \quad (1)$$

gdzie:

- $A_o$  – kinetyczna powierzchniowa właściwa, [m<sup>2</sup>/kg],
- $H_m$  – ciśnienie wskazywane przez manometr, [mm H<sub>2</sub>O],
- $T$  – czas przepływu wody z aspiratora w zakresie 0–2 s.

Wzór ten może być stosowany przy ustalonych parametrach aparatu, przy stałej temperaturze powietrza, ustalonej porowatości oraz przy oznaczaniu materiału o tej samej gęstości.

Masę próbki przy ustalonej porowatości 50% oblicza się z wzoru:

$$m = v_k (1 - g) \quad (2)$$

gdzie:

- $m$  – masa próbki, [g],
- $v_k$  – objętość komory głowicy pomiarowej, [cm<sup>3</sup>],
- $g$  – porowatość.

## Przygotowanie próbek

Podatność materiału na rozdrobnienie zależy od jego właściwości fizycznych, a szczególnie od wytrzymałości na ściskanie, zginanie, ścieranie i uder. Istotny wpływ ma także wilgotność materiału. Podatność na rozdrobnienie zależy również od struktury rozdrobnionego materiału, która może być krystaliczna, porowata lub blaszkowata (PN-84/H-04956). Podatność na rozdrobnienie zależy również od użytego urządzenia.

Podatność materiałów na rozdrobnienie w procesach mielenia nazywana została mielnością materiału. Każda metoda badania mielności wymaga, aby materiał badany odpowiadał ustalonym warunkom pod względem przygotowania nadawy, a same badania przebiegały ściśle wg przyjętej metodyki. W praktyce stosuje się następujące metody badania mielności materiałów: *Handrove'a*, *Zeisela*, *Bonda*, *Mittaga* [6].

Uzyskana w badaniach średnia wartość mielności w porównaniu z wartościami uzyskanymi w praktyce stanowi podstawę do oceny zapotrzebowania energii na proces mielenia, a tym samym stanowi o mocy napędów młynów. W literaturze [6, 7] można spotkać także inne propozycje oceny mielności, które sugerują przyjęcie surowca wzorcowego w stosunku, do którego określana byłaby wydajność względna mielonego surowca, przy tych samych wymaganiach dotyczących stopnia rozdrobnienia.

Wskaźniki takie nazwane współczynnikami podatności na mielenie lub współczynnikami rozkruszalności podaje literatura [6, 7]. Nie znalazły one jednak szerokiego zastosowania.

## Podsumowanie

Przedstawione pokrótce aspekty metrologiczne rozdrobnienia, wskazują na różnice w podejściu do oceny stanu i własności rozdrobnionego materiału kruchego. Zarysowują się trendy do oceny materiału rozdrobnionego pod kątem wpływu zmiennych na własności użytkowe. Należy podkreślić, że jednoznaczne określenie takiego wpływu jest utrudnione z uwagi na brak jednoznacznych definicji i użyteczności.

Reasumując powyższe można stwierdzić, że intensywny rozwój metod badawczych określania wymiarów rozdrobnionych materiałów kruchych umożliwi coraz dokładniejsze poznanie cech i właściwości tych materiałów łącznie z ich parametrami metrologicznymi a także daje możliwość docelowo przewidywania własności użytkowych, co jest istotne z punktu widzenia szeregu zastosowań technologicznych i konstrukcyjnych urządzeń rozdrabniających.

## LITERATURA

- [1] PN-72/C-47270 Nazwy i określenia procesu rozdrabniania
- [2] PN-71/C-06711 Analiza sedymentacyjna
- [3] PN-78/B-06714 Analiza sitowa
- [4] PN-84/M-04956 Kształty proszków
- [5] PN-71/C-06711 Sposób oznaczania powierzchni właściwej metodą przy zastosowaniu aparatu *Blaine'a*.
- [6] Z. Drzymala, T. Dziuk, J. Guzik, S. Kaczmarczyk, B. Kurek, J. Sidor: Badania i podstawy konstrukcji młynów spiralno-strumieniowych. WNP. Warszawa 1992.
- [7] B. Wilczyńska: Badania procesu rozdrabniania materiału kruchego w młynie spiralno-strumieniowym. Rozprawa doktorska ATR. Bydgoszcz 1995.