



Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Czym jest proszek?

Zdyspergowany układ cząstek ciała stałego o wysokiej koncentracji.

Jaki jest zakres wielkości cząstek?
Jakie są podstawowe właściwości proszku?

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Czy proszki są ważne?

- SUROWCE**
wydobycie, separacja, oczyszczanie, ...
- PROSZKI**
synteza, rozdrabnianie, granulowanie, ...
- FORMOWANIE**
prasowanie, odlewanie z gęstwy, ekstruzja, ...
- KONSOLIDACJA**
hydratacja, zeszklenie, spiekanie
- OBRÓBKA WYROBU**
cięcie, szlifowanie, ...

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Morfologia proszków

Kryształit

- obszar ciała stałego spójnie rozpraszający promieniowanie rentgenowskie;
- cechy: ograniczenie przestrzenne, powierzchnia, granice, monokryształiczna? budowa;




Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Morfologia proszków

Od czego zależą kształty kryształitów?

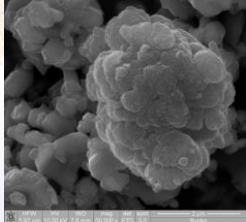


Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Morfologia proszków

Agregat

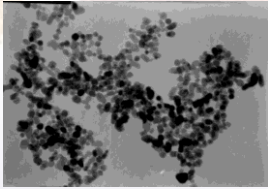
- zespół kryształitów połączonych siłami kohezji o charakterze chemicznym, jonowymi lub atomowymi (dawniej: bezporowate połączenie kryształitów);



Morfologia proszków

Aglomerat

- zespół krystalitów połączonych siłami adhezyjnymi o charakterze fizycznym, van der Waalsa, elektrostatycznymi lub przez ciekłe mostki (dawniej: porowate połączenie krystalitów lub agregatów);



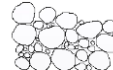
Morfologia proszków

Przyczyną agregacji i/lub aglomeracji proszków jest naturalna tendencja do obniżania energii powierzchniowej → im mniejsze krystality tym silniejsza tendencja do ich łączenia się. Właściwości aglomeratów zależą także od zróżnicowania wielkości tworzących je krystalitów i/lub agregatów. Jeżeli aglomerat zabudowany jest z:



I. Jednorodnych cząstek to:

1. tarcie ma miejsce w niewielu punktach,
2. słabe oddziaływania pomiędzy cząstkami,
3. wysoka porowatość,



II. Cząstek o szerokim spektrum wielkości to:

1. tarcie ma miejsce w wielu punktach,
2. silne oddziaływania pomiędzy cząstkami,
3. średnia porowatość,



III. Mieszaniny dużych i małych cząstek to:

1. tarcie pomiędzy wieloma cząstkami,
2. średnie oddziaływania pomiędzy cząstkami,
3. niska porowatość.

Morfologia proszków

Wytrzymałość agregatów i aglomeratów – H.Rumpf

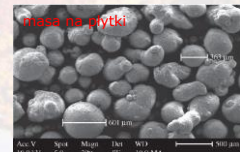
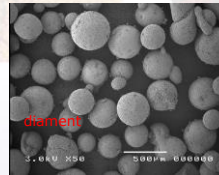
$$\sigma \cong \left(\frac{1 - V_p}{V_p} \right) \cdot \left(\frac{F}{d^2} \right)$$

gdzie: F – średnia wytrzymałość połączeń pomiędzy cząstkami, d – średnia wielkość cząstki, V_p – udział objętościowy porów.

1. Wytrzymałość agregatu/aglomeratu maleje wraz ze wzrostem wielkości tworzących go cząstek (*nanoproszki !!!*);
2. Agregaty/aglomeraty zbudowane z cząstek o szerokim rozkładzie wielkości są bardziej wytrzymałe niż te złożone z cząstek o zbliżonych rozmiarach;
3. Wytrzymałość zależna jest także od stanu powierzchni cząstek i ich kształtów. Cząstki o płaskich ścianach stykają się większymi fragmentami powierzchni.

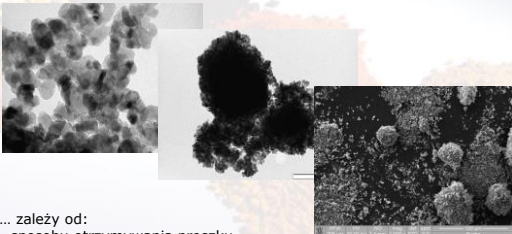
Morfologia proszków

Granula – zespół krystalitów, agregatów i/lub aglomeratów o rozmiarach rzędu 1 mm, zazwyczaj o sferycznych kształtach, wytwarzany celem poprawy właściwości reologicznych proszków.



Morfologia proszków

Budowa rzeczywista proszków ...



... zależy od:

- sposobu otrzymywania proszku,
- warunków termodynamicznych procesu,
- sposobu przygotowania proszku...

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek

proszek modelowy – zbiór kul o takim samym promieniu, wielkość = objętość, pole obrazu, średnica ...;

proszek rzeczywisty – zbiór brył o zróżnicowanych wielkościach i kształtach, wielkość = ???;

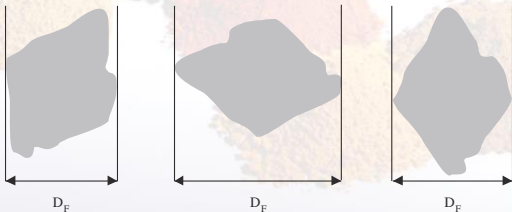


Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek – wymiar liniowy

Średnica Fereta – odległość pomiędzy dwiema równoległymi prostymi, stycznymi do dwóch przeciwległych stron obrazu cząstki;



Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek – wymiar liniowy

Średnica Martina – rozmiar cząstki w punkcie, który dzieli jej obraz na dwie równe części;




Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek – wymiar liniowy

Szerokość – minimalna średnica Fereta;
Długość – maksymalna średnica Fereta, prostopadła do szerokości;



Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek – wymiar liniowy

Cięciwa – przecięcie obrazu cząstki w dowolnym miejscu;
Średnica – cięciwa przechodząca przez środek ciężkości obrazu cząstki;



Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Wielkość cząstek

Średnica równoważna –
średnica koła o takiej samej powierzchni jak obraz cząstki;
średnica sfery o takiej samej powierzchni jak cząstka;
średnica kuli o takiej samej objętości jak objętość cząstki;

Średnica przesiewowa – średnica cząstki przechodzącej przez oko sita o danym rozmiarze (mesh);

Średnica Stokes'a – średnica cząstki opadającej w cieczy o gęstości d_c i lepkości η z taką samą prędkością, v , jak kulista cząstka o gęstości d_s i promieniu r :

$$v = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (d_s - d_c)}{9 \cdot \eta}$$

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

Czy wszystkie cząstki w naszym proszku są takie same?
Jakie są największe?
Jakie są najmniejsze?
Których jest najwięcej?

1 Class number	2 Diameter D_i , μm	3 Frequency ϕ_i , g/100 g	4 Density q_i , fraction/ μm	5 Cumulative Q_i , g/100 g
1	100	0	0.000	0
2	160	4.2	0.042	4.2
3	280	14.2	0.142	18.4
4	340	26.0	0.260	44.4
5	400	23.8	0.238	68.2
6	460	16.5	0.154	84.7
7	520	9.6	0.096	94.3
8	580	4.7	0.047	99.0
9	640	1.0	0.010	100.0
10	700	0	0.000	100.0
Sum		100	1.000	

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

różne wielkości lub różne metody
= różne rozkłady !!!

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

- ilość
- powierzchnia właściwa
- objętość
- średnica Fereta

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

Czy można rozkład wielkości cząstek w proszku rzeczywistym przedstawić w sposób analityczny?

Normal (Gaussian) $q(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(D-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dD$

Log-normal $q(\ln D) = \frac{1}{\sigma_s\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln D - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right\} d(\ln D)$

Rosin-Rammler $Q_s(D) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{D}{D_s}\right)^n\right\}$

or $\ln \ln (1/(1-Q_s(D))) = m \cdot \ln D + \text{constant}$

Gaudin - Schumann $Q_s(D) = \left(\frac{D}{D_{max}}\right)^m$

or $\log Q_s(D) = m \cdot \log D + \text{constant}$

Materiały Ceramiczne WMN – Wykład 2 – Proszki

Charakterystyka proszków

Rozkład wielkości cząstek

Charakterystyka proszków

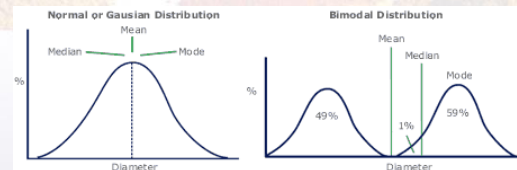
Rozkład wielkości cząstek

Wielkości średnie:

Mediana – wielkość w stosunku do której występuje taka sama ilość cząstek większych jak i mniejszych;

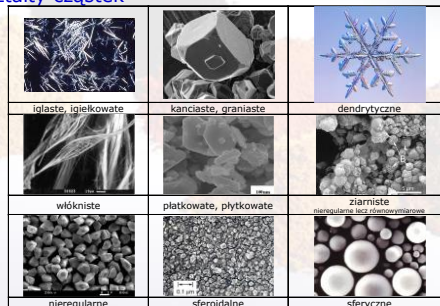
Moda – wielkość o największej liczebności;

Która z nich jest lepsza?



Morfologia proszków

Kształty cząstek



Charakterystyka proszków

Kształt cząstek

Cząstki mogą mieć kształty:

wydłużone – cząstki smukłe, o kształcie igieł, jeden z wymiarów co najmniej o rząd większy niż dwa pozostałe;

graniaste – wielościenne cząstki o ostrych krawędziach;

słupkowe – wydłużone cząstki o jednym z wymiarów od 3 do 10 razy większym niż pozostałe dwa;

sześcienne – cząstki o zbliżonych rozmiarach, o kątach prostych pomiędzy gładkimi ścianami;

dendrytyczne – cząstki o charakterystycznym kształcie dendrytów;

dyskowe – cząstki o przekroju zbliżonym do kołowego, z jednym z wymiarów znacznie mniejszym (3-10 razy) od dwóch pozostałych;

izometryczne – cząstki o regularnych kształtach i zbliżonych rozmiarach, kształty niekoniecznie wielościenne, kąty niekoniecznie proste;

Charakterystyka proszków

Kształt cząstek

włókniste – cząstki nitkowate, bardzo długie, jeden z wymiarów co najmniej o dwa rzędy większy niż dwa pozostałe;

igłowe – cząstki wydłużone, krótsze niż włókniste;

pręcokształtne – cząstki wydłużone o przekroju kołowym, średnica kilkukrotnie mniejsza niż długość;

płatkowate – cząstki płaskie, o podobnych dwóch rozmiarach dużo większych niż trzeci;

płytkowate – cząstki płaskie, grubsze niż cząstki;

fraktalne – cząstki wykazujące autopodobieństwo kształtów na różnych poziomach wielkości;

nieregularne – cząstki o izometrycznych kształtach lecz cechujące się brakiem symetrii;

sferyczne – cząstki o kształcie, mniej lub bardziej gładkich, kul.

Charakterystyka proszków

Kształt cząstek

Czy można kształt cząstki opisać analitycznie?

Wydłużenie – stosunek długości do wymiaru poprzecznego;

Płaskość – stosunek szerokości do grubości;

Współczynnik kształtu (okrągłość) –

• stosunek największej do najmniejszej średnicy Fereta;

$$R = \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot L^2} \quad R_{max} = 1 \text{ dla okręgu}$$

$$R = \frac{P^2}{4 \cdot \pi \cdot A}, \text{ lub na odwrót}$$

np., współczynnik sferyczny Wadella:

$$\psi = \left(\frac{D_V}{D_S} \right)^2$$

← powierzchnia sfery obliczona z objętości
← zmierzona powierzchnia właściwa

A – pole obrazu, L – średnica, P – obwód

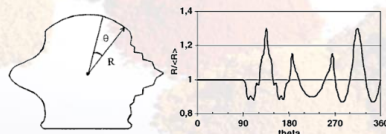
Współczynnik kształtu może być zdefiniowany jako stosunek dwóch **dowolnych** wymiarów równoważnych.

Charakterystyka proszków

Kształt cząstek

Czy można kształt cząstki opisać analitycznie?

Metoda R- θ



Generalnie, sposób określenia kształtu cząstek dobiera się tak aby wielkość ta jak najlepiej opisywała związek pomiędzy właściwościami proszku a kształtami tworzących go cząstek.

Charakterystyka proszków

Powierzchnia właściwa proszku

- wielkość powierzchni, mierzonej zazwyczaj metodami sorpcyjnymi, w przeliczeniu na jednostkę masy ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).
Jeżeli założymy, że wszystkie cząstki w proszku mają taki sam kształt to możliwe jest określenie zależności pomiędzy wielkością tych cząstek a rozwinięciem powierzchni właściwej proszku. Dla cząstek sferycznych:

$$D = \frac{6 \cdot 10^4}{S_w \cdot d}$$

D – średnica cząstki (mm), S_w – powierzchnia właściwa ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$),
 d – gęstość ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Charakterystyka proszków

Sypkość

określana jest czasem przesypania się 50 g proszku przez znormalizowany lejek Halla. Sypkość proszku uzależniona jest od wielkości i kształtu cząstek a także od stanu ich powierzchni (chropowatość, adsorpcja).

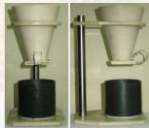
Charakterystyka proszków

Gęstość nasypowa

stosunek masy luźno zasypanego proszku do objętości naczynia, w którym się znajduje. Pomiar gęstości nasypowej odbywać się może z wykorzystaniem lejka Halla, lub wolumetru Scotta.

Gęstość nasypowa z usadem

stosunek masy proszku do najmniejszej objętości, jaką on zajmuje w wyniku wstrząśnięcia naczynka, w którym się znajduje.



Charakterystyka proszków

Porowatość

„lokalny brak fazy stałej” 😊

$$P = \frac{V_p}{V} = \frac{1 - V_s}{V}$$

- negatyw proszku?
- czy istnieje związek między wielkością ziaren a wielkością porów?
- jaka jest maksymalna porowatość?
- mikropory – poniżej 2 nm;
- mezopory – od 2 do 50 nm;
- makropory – powyżej 50 nm;