



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Segregacja monodispersyjnej mieszaniny składników ziarnistych w złożu fluidalnym

H. Szluczyk

Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7,

Przedmiotem publikacji jest określenie doświadczalnych parametrów przebiegu procesu rozdziału (klasyfikacji) składników mieszaniny w złożu fluidalnym. Mieszaninę sporządzono z materiałów sypkich o zbliżonej ziarnistości lecz różnej gęstości właściwej. Wynikiem przeprowadzonych prób jest analiza parametrów charakteryzujących proces fluidyzacji w aspekcie możliwości wykorzystania tego zjawiska dla potrzeb rozdziału poszczególnych składników w złożu monodispersyjnym.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystanie zjawiska fluidyzacji umożliwia realizację wielu procesów technologicznych związanych z łączeniem lub rozdzielaniem składników poszczególnych faz. Posiada to istotne znaczenie podczas klasyfikacji materiałów sypkich w złożu fluidalnym zarówno w mieszaninie polidispersyjnej o jednakowej gęstości składników jak i monodispersyjnej o różnej gęstości właściwej. Dostosowanie parametrów do założonych warunków klasyfikacji umożliwia rozdzielanie (segregację) frakcji o różnej wielkości np. odpylanie. Monodispersyjna mieszanina materiałów sypkich (o zbliżonej ziarnistości) przy znacznej różnicy gęstości właściwej składników może być rozsegregowana na poszczególne składniki w złożu fluidalnym przy dostosowanych warunkach prędkości przepływu strumienia gazu przez złoże. Istotne znaczenie w procesie klasyfikacji materiałów sypkich w złożu fluidalnym posiada kształt cząstek (poza ich wielkością i gęstością). Parametry charakteryzujące złoże i stanowiące o jego strukturze to stężenia objętościowe α , masowe c_m , oraz porowatość.

2. CHARAKTERYSTYKA PRZEPŁYWU GAZU PRZEZ ZŁOŻE MATERIAŁU SYPKIEGO

Gaz może przepływać przez nieruchome złoże materiału ziarnistego, poruszając się w wolnej przestrzeni kanałami istniejącymi między cząsteczkami stałymi. Ruch gazu w warstwie charakteryzuje się okresowymi zwężeniami i rozszerzeniami poszczególnych strug, na które rozdziela się strumień gazu przy wejściu do złoża, jak również charakterem drogi tych strug w kanałach złoża.

Parametry charakteryzujące przepływ gazu przez złożę uwarunkowane są :

- wielkością cząstek stałych,
- składem ziarnowym złoża,
- kształtem cząstek i ich usytuowaniem,
- porowatością złoża,
- fizycznymi charakterystykami złoża i strumienia.

W oparciu o teoretyczną znajomość równań przepływu gazów przez kapilary oraz uwarunkowania wynikające z danych eksperymentalnych opracowano równania umożliwiające wyznaczenie spadku ciśnienia w funkcji prędkości przepływu płynu. Ogólne równanie dla określenia spadku ciśnienia Δp dla dowolnej wysokości złoża można przedstawić w postaci:

$$dp = g(\rho_w - \rho) \int_0^h (1 - \varepsilon) dx \quad (1)$$

W równaniu tym ε określa porowatość złoża, które oznacza stosunek objętości porów, tj. objętość fazy ciągłej (gazu) do objętości V_f , przy objętości właściwej cząstek V_n wynosi:

$$\varepsilon_f = 1 - \frac{V_n}{V_f} (1 - \varepsilon_n) = 1 - \frac{h_n \cdot \rho_n}{h_f \cdot \rho_w} \quad (2)$$

Bardziej ogólną, doświadczalnie opracowaną postacią równania umożliwiającą wyznaczenie spadku ciśnienia na złożu jest zależność Ernunga Orninga. Dla szerokiego zakresu liczby Reynoldsa $Re < 1000$ zależność tę określa wyrażenie:

$$\Delta p = 150\eta \frac{h}{d^2} \cdot w \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + 3,5 \frac{h}{d} \frac{\rho w^2}{2} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \quad (3)$$

gdzie : h - wysokość złoża, η - lepkość dynamiczna, d - średnica cząstek (średnia wielkość ziarna), w - prędkość średnia strumienia, ε - porowatość złoża

Fluidyzacja rozpoczyna się przy określonej prędkości zwanej prędkością początkową fluidyzacji lub prędkością krytyczną w_k . Odpowiada ona stanowi, podczas którego opór przepływu gazu przez rozluźniony stos ziaren jest równy ciśnieniu statycznemu złoża:

$$\Delta p = h \cdot g(\rho_w - \rho)(1 - \varepsilon) \quad (4)$$

Z powyższego równania wyznaczono prędkość krytyczną dla trzech stanów przepływu:

- dla przepływu laminarnego $Re < 10$

$$w_k = \frac{d^2 \cdot g(\rho_w - \rho)}{150 \cdot \eta} \cdot \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \quad (5)$$

- dla przepływu przejściowego $10 < Re < 100$

$$w_k = \sqrt{\left[\frac{150}{3,5} \cdot \frac{\nu(1 - \varepsilon)}{d} \right]^2 + \frac{d}{3,5} \frac{2g(\rho_w - \rho)}{\rho} \varepsilon^3} - \frac{150}{3,5} \frac{\nu(1 - \varepsilon)}{d} \quad (6)$$

- dla przepływu burzliwego $Re > 100$

$$w_k = \sqrt{\frac{d}{150} \frac{2g(\rho_w - \rho)}{\rho}} \varepsilon^3 \quad (7)$$

Jak wynika z powyższych wzorów prędkość krytyczna fluidyzacji zależy od wielkości cząstek d oraz gęstości właściwej cząstek i płynu, natomiast nie ma na nią wpływu wysokość warstwy. Fluidyzacja złoża monodispersyjnego charakteryzuje się określoną wartością prędkości krytycznej w odróżnieniu od złoża polidispersyjnego, dla którego przejście w stan upłynnienia ma miejsce dla przedziału wartości prędkości.

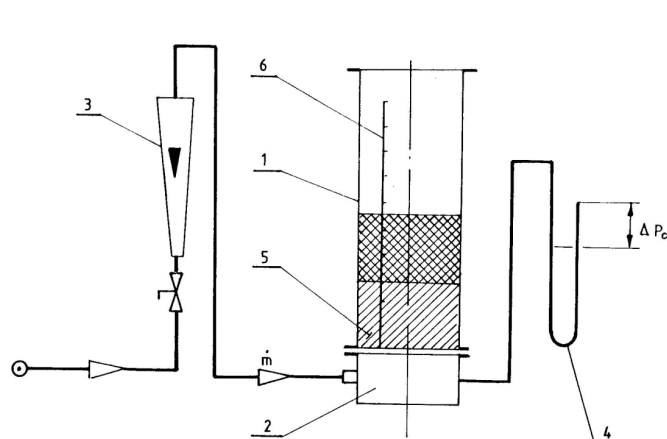
Parametrem charakteryzującym ruch cząstki w złożu fluidalnym jest ponadto prędkość unoszenia. Jest to prędkość graniczna, po przekroczeniu której cząstki o danej średnicy są wywiewane ze złoża. Prędkość unoszenia jest równa prędkości swobodnego opadania ziarn w danym płynie. Wartość prędkości unoszenia ustala się doświadczalnie bądź oblicza (znając parametry fizyczne cząstki i płynu) korzystając z ogólnego prawa oporu:

$$w_k = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d (\rho_w - \rho)}{3 \cdot \lambda \cdot \rho}} \quad (8)$$

gdzie: λ - współczynnik oporu.

Doświadczalnie stwierdzono, iż współczynnik oporu λ jest większy dla cząstek o kształcie odbiegającym od kulistego. Wnioskować stąd można, że prędkość unoszenia cząstki o nieregularnym kształcie jest mniejsza niż dla cząstki kulistej. Obszar fluidalny teoretycznie zawarty jest pomiędzy prędkością krytyczną w_k , wyznaczającą dolną granicę i prędkością unoszenia w_u pojedynczej cząstki wywiewanej ze złoża.

3. BADANIA PROCESU KLASYFIKACJI MONODISPERSYJNEJ MIESZANINY SKŁADNIKÓW O RÓŻNEJ GĘSTOŚCI



Badania procesu klasyfikacji (segregacji) składników mieszaniny prowadzono z wykorzystaniem układu pomiarowo - badawczego, którego schemat przedstawiono na rys. 1. Układ ten wyposażono w niezbędną aparaturę pomiarową, umożliwiającą określenie parametrów charakteryzujących przebieg procesu fluidyzacji (prędkość strumienia powietrza, spadek ciśnienia na złoże).

Rys. 1. Schemat układu badawczo - pomiarowego procesu fluidyzacji.

Fig. 1. Scheme of the fluidization process research and measurement system.

Materiałem do prób były składniki mieszaniny:

- piasek kwarcowy o ziarnistości 0,80 ÷ 1,60 mm
- śrut żeliwny okrągły o ziarnistości 0,80 ÷ 1,60 mm
- śrut stalowy cięty o ziarnistości 0,80 ÷ 1,60 mm

Z tych składników sporządzono mieszaninę w stosunku 1 : 1 w postaci:

- piasek kwarcowy + śrut żeliwny okrągły
- piasek kwarcowy + śrut stalowy cięty

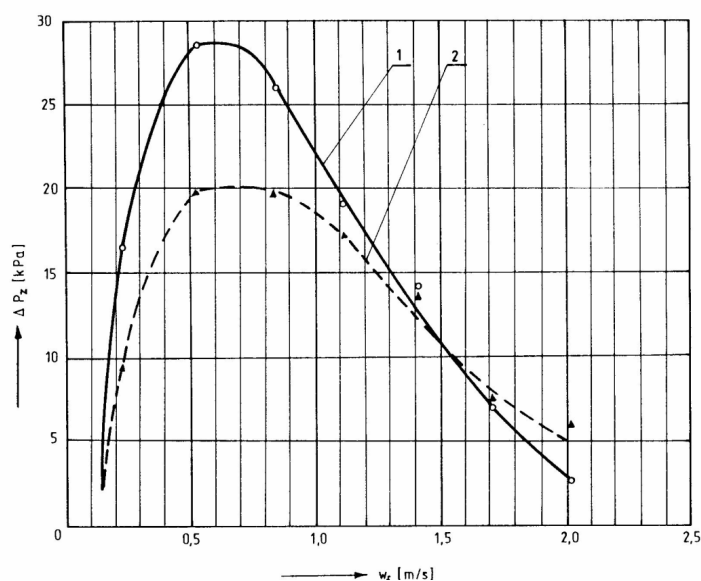
Parametry jakościowe poszczególnych składników zestawiono w tab. 1.

Tab. 1.

Lp	Materiał badany	ρ_k	ρ_w	ϵ_n	w_u	λ	ϵ_f
-	-	kg/m ³	kg/m ³	m ³ /m ³	m/s	-	m ³ /m ³
1	Piasek kwarcowy	1648	2694	0,388	2,77-6,42	3,05-1,14	0,673
2	Śrut żeliwny okrągły	4666	7388	0,368	11,29-25,60	0,50-0,20	0,513
3	Śrut stalowy cięty	4226	6702	0,369	7,44-18,24	1,05-0,35	0,482

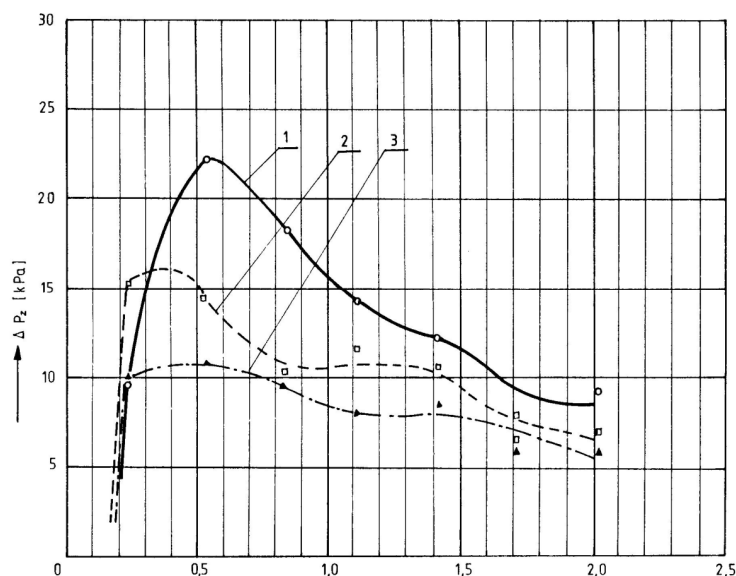
Cykl badawczy obejmował określenie charakterystyki fluidyzacji poszczególnych składników (piasek kwarcowy, śrut żeliwny kulisty oraz śrut stalowy cięty), których graficzny obraz przedstawiono na rys. 2. Kolejno przeprowadzono próby mieszania a następnie klasyfikacji

(segregacji) składników zgodnie z zależnościami, gdzie do kolumny fluidyzatora w układzie wejściowym zasypywano te składniki w kolejności: piasek kwarcowy ($h_o = 60$ mm) i śrut żeliwny okrągły ($h_o = 60$ mm) oraz piasek kwarcowy ($h_o = 60$ mm) i śrut stalowy cięty ($h_o = 60$ mm). Poszczególne fazy procesu intensywnego mieszania, a następnie segregacji składników zostały zarejestrowane w postaci zdjęć. Proces fluidyzacji przebiegał zgodnie z charakterystyką fluidyzacji mieszanin przedstawioną na rys. 3.



Rys. 2. Charakterystyki fluidyzacji poszczególnych składników mieszaniny. 1 - piasek kwarcowy, 2 - śrut żeliwny kulisty, 3 - śrut stalowy cięty.

Fig. 2. Characteristics of the fluidization of particular components of the mixture. 1 - silica sand, 2 - spherical cast iron shot, 3 - cut steel shot.



Rys. 3. Charakterystyki fluidyzacji mieszanin. 1 - piasek kwarcowy + śrut żeliwny kulisty, 2 - piasek kwarcowy + śrut stalowy cięty.

Fig. 3. Characteristics of the fluidization of mixtures. 1 - silica sand+ spherical cast iron shot, 2 - silica sand+ cut steel shot.

4. ANALIZA PRZEBIEGU PROCESU I PODSUMOWANIE

W początkowym etapie przepływu powietrza przez złożę ($w_f = 0,2 - 0,5$ m/s) układ dwuskładnikowy zasypywany warstwowo do aparatu pozostawał w spoczynku, co wynika z gęstości właściwej składników i porowatości złoża. W miarę wzrostu prędkości strumienia fluidyzującego ładunek pozostawał nieruchomy do czasu rozpoczęcia fazy tłokowania. Ekspansja ładunku nastąpiła w momencie zrównania się ciśnienia gazu z ciśnieniem statycznym słupa materiału ziarnistego. Obserwowano wówczas wzmożony proces przemieszczania się cząstek obu składników w obrębie złoża. Zjawisko to zaistniało przy prędkości przepływu strumienia fluidyzującego $w_f \sim 0,5$ m/s. Po przekroczeniu wartości prędkości $w_f > 1,4$ m/s proces fluidyzacji przebiegał burzliwie powodując intensywne mieszanie składników złoża. Wysokość warstwy złoża wzrosła do $h_f \sim 300$ mm, przy wysokości spoczynkowej $h_0 = 120$ mm. Stopniowe zmniejszanie natężenia przepływu powietrza fluidyzującego przez złożę ($w_f < 0,8$ m/s) spowodowało zanik procesu burzliwej fluidyzacji i rozpoczął się rozdział składników mieszaniny. Śrut żeliwny lub stalowy z uwagi na większą gęstość właściwą przemieszczał się w kierunku dolnych warstw złoża. Przy wartości prędkości $w_f \sim 0,5$ m/s wysokość złoża wynosiła $h_f \sim 140$ mm i zaznaczyła się wyraźna granica rozdziału poszczególnych składników. Całkowity zanik przepływu powietrza przez złożę spowodował ustabilizowanie się słupa materiału, w którym śrut zalegał na dnie porowatym aparatu natomiast piasek wypełniał przestrzeń ponad śrutem z bardzo wyraźną granicą rozdziału. Strefa przenikających się składników mieszaniny na granicy rozdziału nie przekraczała 2 mm. Oceny jednorodności składników na poszczególnych warstwach złoża dokonywano na podstawie pomiaru gęstości właściwej badanej części złoża. Proces fluidyzacji oraz segregacji składników mieszaniny realizowany dla obydwu materiałów (śrut żeliwny i stalowy) nie wykazywał istotnych różnic w efektywności segregacji

(klasyfikacji). Podobne badania przeprowadzono również dla mieszaniny piasku kwarcowego i chromitowego o ziarnistości w zakresie wielkości cząstek $d = 0,16 - 0,40$ mm. Strefa przejściowa rozgraniczająca poszczególne składniki po segregacji fluidalnej była większa i wynosiła ok. 40 mm. Czas niezbędny do uzyskania zamierzonego stopnia rozdziału uzależniony jest od natężenia przepływu powietrza (prędkości przepływu przez złożę) oraz od wielkości różnicy gęstości składników mieszaniny.

Uzyskane efekty rozdziału materiałów ziarnistych o porównywalnych wielkościach ziaren, lecz o znaczącej różnicy gęstości potwierdzają możliwości technologicznego wykorzystania procesu fluidyzacji dla tych celów. Stopień rozdziału poszczególnych składników mieszaniny stosowanych w badaniach jest zadowalający i wynosi 92 do 95 %, co należy rozumieć, że w materiale o większej gęstości (w tym przypadku śrut stalowy) zalegającym w dolnej części złoża zawartość składnika o gęstości mniejszej (piasek kwarcowy gruboziarnisty) nie przekracza 5 do 7 %.

Wyniki pracy mogą znaleźć zastosowanie w procesach oczyszczania powierzchni odlewów przy wykorzystaniu śrutownic, gdzie istnieje problem rozdziału składników mieszaniny po procesie (masa formierska i śrut stalowy).

LITERATURA

1. Szlumczyk H., Piątkiewicz Z., Janerka K. Klasyfikacja polidispersyjnych materiałów ziarnistych w złożu fluidalnym, Mat. konf. III Konf. Materiały pomocnicze w odlewnictwie i metalurgii, Pol. Śl. Katowice 1997,
2. Szlumczyk H., Piątkiewicz Z., Janerka K. Proces klasyfikacji materiałów sypkich w przepływowym urządzeniu fluidyzacyjnym, Krzepnięcie Metali i Stopów, ZN PAN, z.31 Katowice 1997,
3. Piątkiewicz Z. Transport pneumatyczny. Monografia 13, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1999,
4. Szlumczyk H., Homa D. Zastosowanie transportu pneumatycznego w procesach technologicznych, Pneumatyka 6 (19), Wyd. Lektorium, Wrocław 1999,
5. Szlumczyk H., Homa D. Transport fluidalny i jego aplikacje technologiczne – dozowanie i mieszanie materiałów sypkich, Transport Przemysłowy 1 (3)/2001, Wyd. Lektorium, Wrocław 2001,
6. Orzechowski Z. Przepływy dwufazowe, PWN Warszawa 1990,
7. Koch R., Noworyta A. Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. Inżynieria chemiczna, WNT Warszawa 1992,

THE CLASSIFICATION OF LOOSE MATERIALS IN A FLUIDIZED BED

The subject of the publication was to determine parameters of the process proceeding of the mixture components separation (classification) in the fluidized bed under experimental conditions. The mixture was prepared from loose materials similar granularity but of different specific densities. The result of carried out tests is the analysis of parameters that characterize a fluidization process in the aspect of the phenomena usability to separation of particular components in monodisperse bed.