

Aleksander FEDORYSZYN

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## CHARAKTERYSTYKA PROCESU ROZDZIAŁU POLIDYSERSYJNYCH MATERIAŁÓW W PRZEPLYWOWYCH URZĄDZENIACH FLUIDYZACYJNYCH

**Streszczenie.** Procesowi fluidyzacji polidispersyjnych materiałów ziarnistych towarzyszy wywiewanie drobnoziarnistych frakcji, prowadząc do rozdziału nosiwa na drobno- i gruboziarniste produkty. Klasyfikacja granulometryczna występuje również przy przemieszczaniu warstwy fluidalnej nosiwa w rynnach fluidalnych i jest charakteryzowana odpowiednimi wskaźnikami ilościowymi i jakościowymi.

W referacie omówiono metodykę wyznaczania wskaźników, w tym liczb i funkcji rozdziału i rozkładu.

## A CHARACTERISTIC OF THE CLASSIFICATION PROCESS OF POLYDISPERSIVE MATERIALS IN FLOW-TYPE FLUIDIZED-BED INSTALLATIONS

**Summary.** The process of fluidization of polydisperse granular materials is accompanied by elutriation of the fine fractions which, in turn, results in a separation of the handled material into the fine-grained and coarse-grained products. The granulometric classification also occurs when a bed of the fluidized material is handled on the airslide conveyors, and it is described by appropriate quantitative and qualitative parameters.

In the paper some methods to determine these parameters, including their numerical values and the functions of classification and distribution, were discussed.

### 1. Wprowadzenie

Procesy przygotowania polidispersyjnych materiałów odlewniczych, w tym i regeneratu, wymagają oddzielenia szkodliwych technologicznie frakcji ziarn. Stąd istotna rola klasyfikacji granulometrycznej. Ze względu na zakres wielkości ziarn piasków odlewniczych znaczenie praktyczne ma klasyfikacja przepływowa. Urządzenia do klasyfikacji przepływowej to klasyfikatory kaskadowe oraz rynny fluidalne. Klasyfikatory kaskadowe ze względu na swoje zalety

stosowane są z powodzeniem w istniejących aktualnie liniach regeneracji. Metodyka ich projektowania, jak i opis efektów pracy są znane i szeroko omówione w licznych opracowaniach, w tym i własnych [1,4]. Zachodzący w warstwie fluidalnej rozdział ziarn o zróżnicowanych masach praktycznie wykorzystano w pracy separatorów fluidalnych i wibrofluidalnych do oddzielania drobnych zanieczyszczeń z masy formierskiej [7]. Aktualnie prowadzone prace poświęcone są zagadnieniom klasyfikacji granulometrycznej, zachodzącej w rynnach fluidalnych. Zawarto w nich propozycje wykorzystania rynnien fluidalnych zarówno do klasyfikacji granulometrycznej, jak i do stosowania w układach sterowania pracą zespołu: regenerator - klasyfikator [2-4,6].

## 2. Wielkości charakteryzujące rozdział granulometryczny

Skład granulometryczny materiałów polidispersyjnych opisuje się całkowitymi *funkcjami składu ziarnowego*: rosnącą  $\Phi(d)$  i malejącą  $F(d)$ . Funkcje te są jednocześnie dystrybuantami-funkcjami dystrybucji zmiennej  $D$  o rozkładzie określonym funkcją gęstości. Na podstawie przebiegu tych funkcji ustala się charakterystyczną wielkość  $d_{50} = d_M$ - medianę, której wartość badany zbiór dzieli na dwie, równe liczebnie części oraz takie wskaźniki, jak stopień jednorodności  $GG$  czy też współczynnik rozdziału  $S_0$ .

Podobnie dla oceny efektów rozdziału podstawowe znaczenie mają *funkcje rozdziału*  $T(d)$  i  $\tau(d)$ , podające w jakim stosunku pierwotne ilości ziarn nadawy rozdzielają się pomiędzy produkty. Z przebiegu tych funkcji wyznacza się charakterystyczną wielkość ziarna podziałowego  $d_p$ , określającą granicę klasyfikacji oraz dokładność rozdziału. Miarą dokładności jest rozproszenie prawdopodobne  $E_p$  oraz współczynniki rozdziału  $\chi$ .

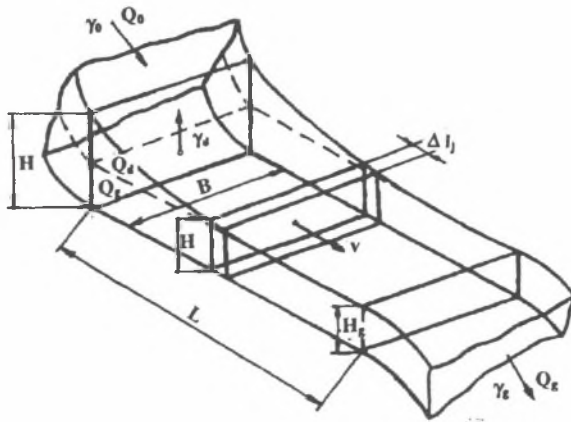
Charakterystykę pracy rynnien fluidalnych przeznaczonych do klasyfikacji granulometrycznej przedstawiają *funkcje rozkładu*, ujmujące zmiany rozdziału podczas przemieszczania się warstwy fluidalnej wzdłuż dystrybutora czynnika fluidyzującego.

Definicje funkcji rozkładu i rozdziału oraz ich oznaczenia przyjęto zgodnie z podanymi w pracach K. Sztaby [4], poświęconych rozdziałowi granulometrycznemu przez przesiewanie.

Analiza efektów pracy klasyfikatorów wymaga stosowania ponadto takich wskaźników, jak: skuteczność wydzielania poszczególnych produktów  $S$ , stopień ich zanieczyszczenia  $Z$  oraz efektywność procesu  $E$ .

### 3. Funkcje rozdziału. Granica klasyfikacji i dokładność rozdziału

Celem każdego procesu klasyfikacji jest rozdzielenie nadawy na co najmniej dwa produkty według z góry ustalonej granicy rozdziału. Zachodzący w rynnach fluidalnych proces rozdzielczy (rys.1) daje również możliwość otrzymania z nadawy N co najmniej dwu zbiorów: produktu D, zawierającego frakcje drobnoziarniste oraz produktu G, zawierającego gruboziarniste frakcje.



Rys.1. Schemat przepływu strumienia materiału w rynnie fluidalnej  
Fig.1. Schematic representation of the flow of material on an airslide conveyor

Granice rozdziału wyznacza wybrana arbitralnie wielkość ziarna podziałowego  $d_p$ , przewyższająca wielkości ziarn klas, uznanych za szkodliwe. Wybór wielkości ziarna podziałowego decyduje o wartości prędkości roboczej czynnika fluidyzującego z zakresu liczb fluidyzacji  $1 < LF < LF_{gr}$ . Powinna ona przewyższać wartość prędkości unoszenia klasy ziarnowej, zawierającej ziarno podziałowe. Praktycznie wartość prędkości roboczej wyznacza się ze znanej, kryterialnej zależności zapisanej w postaci:

$$u \geq u_{t(d_p)} = \left( \frac{v}{d_p} \right) \left( \frac{Ar}{18 + 0.61\sqrt{Ar}} \right), \quad (1)$$

gdzie:  $Ar$  - liczba Archimedes'a;  $\frac{gd_p^3(\rho_m - \rho_g)}{v^2 \rho_g}$ ,

$g$  - przyspieszenie ziemskie;  $m/s^2$ ,

$\rho_m, \rho_g$  - gęstość materiału i czynnika fluidyzującego;  $kg/m^3$ ,

$v$  - lepkość kinematyczna czynnika;  $m^2/s$ .

Dla tak wybranej prędkości roboczej uzyskuje się rozdział nosiwa, przemieszczającego się wzdłuż dystrybutora, charakteryzowany funkcjami rozdziału. Funkcje te definiuje się jako prawdopodobieństwa przejścia do poszczególnych produktów ziarna dowolnie obranej, wąskiej klasy. Funkcje rozdziału, odpowiednio dla produktu drobnoziarnistego i gruboziarnistego, wyznacza się z zależności:

$$\tau(d_i) = \frac{q_{di}}{q_{oi}} = \frac{q_{di} Q_d Q_o}{q_{oi} Q_d Q_o} = \frac{\gamma_d a_{di}}{a_{oi}}; \quad T(d_i) = \frac{q_{gi}}{q_{oi}} = \frac{q_{gi} Q_g Q_o}{q_{oi} Q_g Q_o} = \frac{\gamma_g a_{gi}}{a_{oi}}, \quad (2)$$

gdzie:  $q_{di}, q_{gi}, q_{oi}$  - masy ziaren i-tej klasy odpowiednio w produktach i nadawie,  
 $Q_d, Q_g, Q_o$  - masy produktów oraz nadawy,  
 $\gamma_d, \gamma_g$  - wychody produktów.

Krzywe rozdziału, przedstawiające omówione funkcje, pozwalają zweryfikować granicę rozdziału. Wyznacza się przy tym rzeczywistą granicę rozdziału oraz jego dokładność. Występujące różnice w wartościach ziarna podziałowego wynikają głównie z zakresu wielkości ziarn w ramach klas oraz ich rzeczywistego kształtu.

Granice rozdziału, charakteryzowaną wielkością ziarna podziałowego, wyznacza się z dowolnej krzywej rozdziału przyjmując wartość funkcji równą 1/2. Oznacza to, że ziarno podziałowe występuje w jednakowych ilościach w obu produktach. Charakterystykę dokładności otrzymuje się również z krzywej rozdziału wyznaczając rozproszenie prawdopodobne  $E_p$  oraz współczynniki rozdziału  $\chi$ .

#### 4. Funkcje rozkładu

Dla stosowania klasyfikatorów fluidalnych istotne znaczenie ma znajomość współzależności prędkości przemieszczania nosiwa, decydującej o wydajności, z szybkością wywiezania poszczególnych klas ziarnowych. Znajomość przebiegu tego procesu - eliutacji - pozwala na dobór długości rynny, a więc i czasu przebywania ziarn w warstwie fluidalnej.

Rozwiązanie przedstawionych zagadnień wiąże się z koniecznością wyznaczenia funkcji rozkładu, które charakteryzują proces rozdziału nosiwa, przemieszczającego się wzdłuż rynny fluidalnej (rys.2). Wyróżnia się przy tym różnicowe i względne funkcje rozkładu. Różnicowe funkcje określają zmiany średniej zawartości i-tej klasy ziarnowej w każdej j-tej części rynny. Oblicza się je jako stosunek masy i-tej klasy ziarnowej odwianej w j-tej części rynny do całkowitej masy tej klasy w nadawie:

$$\Delta\rho_j(d_i) = \Delta\rho_{ji} = \frac{\gamma_j a_{ji}}{a_{0i}}, \quad (3)$$

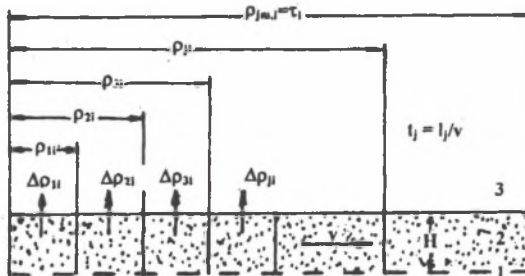
gdzie:  $\gamma_j$  - wychód drobnoziarnistych frakcji z j-tego odcinka warstwy fluidalnej,  
 $a_{ji}$  - zawartość i-tej frakcji wyniesionej z j-tego odcinka warstwy,  
 $a_{0i}$  - zawartość i-tej frakcji w nadawie.

Wartości tych funkcji zależą od długości wybranego przedziału (części rynny).

Odnosząc wartości różnicowej funkcji rozkładu do długości poszczególnych, wybranych części rynny otrzymuje się wartości różnicowej, względnej funkcji rozkładu:

$$\Delta\rho_{ji}^+ = \Delta\rho_{ji}^- = \frac{\Delta\rho_{ji} \sum_{k=1}^{jm} (I_k - I_{k-1})}{I_j - I_{j-1}}, \quad (4)$$

gdzie k oznacza kolejne odcinki rynny ; k = 1, 2, 3, ..., j, ..., jm.



Rys.2. Schemat warstwy fluidalnej z oznaczeniami parametrów rozkładu; 1 - dystrybutor czynnika fluidyzującego, 2 - warstwa fluidalna, 3 - przestrzeń separacyjna

Fig.2. Schematic representation of the fluidized bed with determination of the parameters of distribution; 1 - gas distributor for fluidizing agent, 2 - fluidized bed, 3 - freeboard

Poza omówionymi funkcjami wyznacza się również skumulowane funkcje rozkładu, opisujące proces od początku jego przebiegu do pewnej wybranej fazy, np. do momentu usunięcia najdrobniejszej klasy ziarnowej.

## 5. Ocena jakościowa efektów procesu klasyfikacji

Oceny efektów pracy klasyfikatorów przepływowych dokonuje się na podstawie takich wskaźników, jak: skuteczność wydzielenia produktów oraz stopień ich zanieczyszczenia. Wynikowa efektywność procesu wyznaczana jest przy tym jako różnica wartości tych wielkości.

Skuteczność wydzielenia (odwiania) produktu drobnoziarnistego oraz skuteczność wydzielenia produktu gruboziarnistego (stopień odpylenia) wyznacza się z zależności:

$$S_D = \frac{\sum_0^{d_p} q_i}{Q_D^0}; S_G = \frac{\sum_{d_p}^{d_{\max}} q_i}{Q_G^0}, \quad (5)$$

w których  $Q_D^0$  i  $Q_G^0$  oznaczają masę odpowiednio drobnoziarnistych i gruboziarnistych klas ziarnowych w nadawie.

Losowy rozdział nadawy na dwa zbiory sprzyja ich zanieczyszczeniu. Zanieczyszczenie produktu drobnoziarnistego ziarnami frakcji gruboziarnistych oraz gruboziarnistego drobnymi wyznacza się z zależności:

$$Z_D = \frac{\sum_{d_p}^{d_{\max}} q_i}{Q_G^0}; Z_G = \frac{\sum_0^{d_p} q_i}{Q_D^0}. \quad (6)$$

Efektywność rozdziału oblicza się odejmując wartość stopnia zanieczyszczenia od skuteczności wydzielenia danego produktu:

$$E_D = S_D - Z_D = E_G = S_G - Z_G. \quad (7)$$

## 6. Podsumowanie

1. Rynny fluidalne pozwalają na prowadzenie klasyfikacji materiałów ziarnistych, których ziarna różnią się masą, a więc wielkością ziarn lub gęstością. Rozdział polidispersyjnych materiałów dokonuje się zarówno w obrębie przestrzeni roboczej, mieszczącej warstwę fluidalną, jak również w przestrzeni separacyjnej.
2. Efekty rozdziału każdorazowo zależą od wartości prędkości roboczej czynnika fluidyzującego, przy czym należy oczekiwać tym lepszych efektów rozdziału, im większy jest zakres wielkości ziarn materiału, charakteryzowany liczbą polidispersyjności.
3. Prędkość robocza czynnika fluidyzującego powinna przewyższać wartość prędkości unoszenia ziarn o max średniej średnicy klas ziarnowych uznanych za szkodliwe. Korekty warunków prowadzenia rozdziału dokonywać należy na podstawie parametrów wyznaczonych z przebiegu funkcji rozdziału.

4. Analiza pracy klasyfikatora- rynny fluidalnej, zmierzająca do optymalizacji jego parametrów eksploatacyjnych, wymaga opracowania funkcji rozkładu, charakteryzujących przebieg zmian zawartości produktów w czasie procesu przy przemieszczaniu nosiwa wzdłuż rynny.
5. Dla oceny efektów przygotowania granulometrycznego piasku odlewniczego i regeneratu wystarczające jest wyznaczanie efektywności rozdziału, uwzględniającej skuteczność wydzielenia oraz stopień zanieczyszczenia produktów klasyfikacji.

## LITERATURA

1. Fedoryszyn A.: Wyniki badań rozdziału frakcji piasków kwarcowych w klasyfikatorze kaskadowym. Materiały XIX Sympozjum Naukowego Wydziału Odlewnictwa AGH, Kraków 1993, ss. 235 - 243.
  2. Fedoryszyn A.: Koncepcja sterowania procesem mechanicznej regeneracji osnowy piaskowej mas. Krzepnięcie metali i stopów PAN z. 33, Katowice, Bielsko- Biała, Częstochowa, Opole, 1997, ss. 230 - 234.
  3. Fedoryszyn A., Smyksy K., Bast J.: Mathematische Modellierung zur Beschreibung der Klassierprozesse körniger Güter in einem Wirbelschichtklassierer. Aufbereitungstechnik 37, 1996, 7, ss.301 - 310.
  4. Fedoryszyn A.: Analiza procesu pneumatycznej klasyfikacji ziarnistych materiałów odlewniczych. Praca naukowo-badawcza AGH nr 10.170.98. Kraków, 1994 -1997.
  5. Pastucha L.: Wielkości opisujące proces klasyfikacji substancji ziarnistych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 145, Mechanika 24. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1990, ss. 115 - 123.
  6. Szlumczyk H., Jura S., Piątkiewicz Z., Janerka K.: Proces klasyfikacji materiałów sypkich w przepływowym urządzeniu fluidyzacyjnym. Krzepnięcie metali i stopów, nr 31, PAN-Oddział Katowice, Katowice, Bielsko-Biała, Częstochowa, Opole, 1997, ss. 209 - 218.
  7. Sztefko F., Dańko J., Pitak W., Dyrda S., Bodzoń L., Fedoryszyn A.: Urządzenie do oddzielania zanieczyszczeń z materiałów polidispersyjnych, Patent nr 98510, 1982.
- Publikacja w ramach badań finansowanych przez KBN - praca AGH nr 10.170.98.

Recenzent: Prof.dr inż. Zbigniew Piątkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 10.10.1997 r.

## Abstract

The foundry materials like the new and reclaimed sands require some granulometric classification. In installations where the sand grains are reclaimed, classifiers of the cascade type are most often used. Another type of equipment which can be quite successfully used in those installations are the airslide conveyors. They are particularly recommended for use in the systems which control the operation of the whole integrated reclamation - classification unit.

The main operating parameter is the value of the working speed which should exceed the value of elutriation of the grains of a given grade, regarded as an unfavourable factor. The speed of elutriation is determined from criterial relationship (1).

The operating parameters of the conveyors can be adjusted by determination of the real separation limit, i.e. the size of the separated grains, and the accuracy of a function of distribution (2).

In the operating characteristic of airslide conveyors on which the handled material is subjected to the process of separation (Fig.1) it is, moreover, required to determine the function of separation. The functions of separation are determined from relationships (3) and (4). They describe the process of separation of the handled material moving along the airslide conveyor (Fig.2).

To see the effects of the granulometric classification of new foundry sands and reclaimed products, it is necessary to determine the effectiveness of classification (7), taking into account the effectiveness of separation (5) and the degree of contamination (6) of the products of classification.