

## PARAMETRY OBRÓBKII REGENERATU W PNEUMATYCZNYCH KLASYFIKATORACH PRZEPLYWOWYCH

Aleksander FEDORYSZYN  
Wydział Odlewnictwa AGH  
ul. Reymonta 23  
30-059 Kraków

### 1. Wstęp

Proces regeneracji, w którego wyniku odzyskuje się osnowę piaskową ma istotne znaczenie gospodarcze i ekologiczne. Właściwe przygotowanie regeneratu decyduje o jego jakości. Proces regeneracji obejmuje również klasyfikację, polegającą na wyodrębnieniu ziaren regeneratu o określonych wielkościach. Klasyfikację regeneratu, głównie uzyskanego metodami suchymi, wykonuje się przy użyciu przede wszystkim pneumatycznych klasyfikatorów przepływowych.

### 2. Ocena efektów klasyfikacji

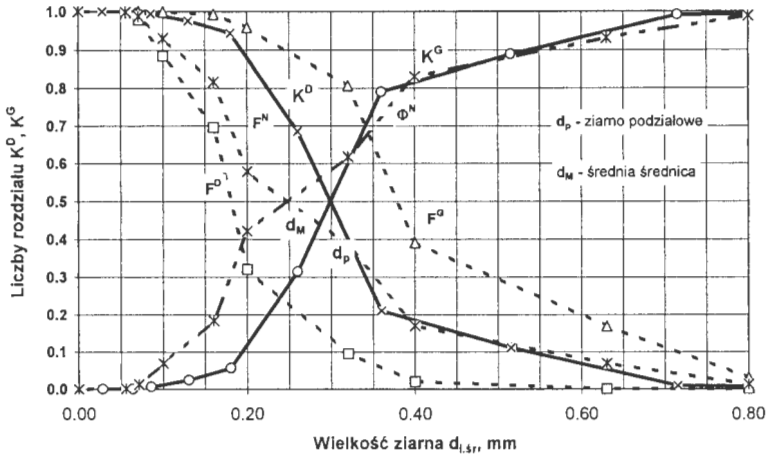
Zadaniem klasyfikacji granulometrycznej jest oddzielenie, szkodliwych technologicznie, drobnoziarnistych i pylistych frakcji o wymiarach ziaren poniżej  $0,1 \div 0,16$  mm. Ze względu na wielkość ziarna podziałowego praktyczne znaczenie ma jedynie klasyfikacja przepływowa, realizowana w komorach grawitacyjnych, między innymi o przeciuprądowym i krzyżowym przepływie strumienia materiału w stosunku do przepływu powietrza [1,7].

Wielkość ziarna podziałowego  $d_p$ , określająca granicę klasyfikacji, jest podstawowym parametrem charakteryzującym efekty rozdziału. Wielkość ziarna podziałowego wyznaczają wartości liczb rozdziału  $K^G$  i  $K^D$ , odpowiednio odnoszących się do produktu drobno i gruboziarnistego [6]:

$$K_i^G = \frac{q_i^G}{q_i^N} = \gamma^G \frac{a_i^G}{a_i^N}, \quad K_i^D = \frac{q_i^D}{q_i^N} = \gamma^D \frac{a_i^D}{a_i^N} \quad (1)$$

przy czym  $a_i^N, a_i^D, a_i^G$  oznaczają zawartości i-tej klasy ziarnowej odpowiednio wyjściowe (w nadawie N) oraz końcowe (w produkcie drobnoziarnistym D i gruboziarnistym G); przy czym  $K_i^G + K_i^D = 1$ , a dla  $d_p$   $K_i^G = K_i^D = 0.5$ .

Przykładowy przebieg omawianych funkcji przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Funkcje rozdziału  $K^D, K^G$  oraz funkcje składu ziarnowego: nadawy  $\Phi^N, F^N$ , drobnoziarnistego  $F^D$  oraz gruboziarnistego  $F^G$  produktu

Fig. 1. The functions of classification  $K^D, K^G$  and functions of cumulative distribution material  $\Phi^N, F^N$ , the fine-grained  $F^D$  and coarse-grained  $F^G$  product

Określenie granicy klasyfikacji warunkuje możliwość oceny efektów poprzez takie wskaźniki jak: skuteczność wydzielenia produktów, stopień ich zanieczyszczenia oraz efektywność procesu. Skuteczność  $S^D$  i  $S^G$  wydzielenia produktu odpowiednio drobnoziarnistego i gruboziarnistego wyznacza się z zależności:

$$S^D = \frac{q_d^D}{q_d^N} = \gamma^D \frac{a_d^D}{a_d^N}, \quad S^G = \frac{q_g^G}{q_g^N} = \gamma^G \frac{a_g^G}{a_g^N} \quad (2)$$

gdzie  $a_d^N, a_g^N, a_d^D, a_g^D$  oznaczają zawartości drobnych i grubych klas ziarnowych odpowiednio w nadawie, produkcie drobnoziarnistym i gruboziarnistym.

Proces klasyfikacji każdorazowo prowadzi do wyodrębnienia przynajmniej dwóch produktów w ilościach  $\gamma^D$  i  $\gamma^G$  ( $\gamma^D + \gamma^G = 1$ ). Ilości te (wychody produktów) wyznaczyć można bezpośrednio lub też pośrednio w oparciu o wyniki analizy sitowej produktów, określających zawartości klas ziarnowych w produktach rozdziału [6]:

$$\gamma^D = \frac{a_d^N - a_d^G}{a_d^D - a_d^G} \quad \gamma^G = \frac{a_d^D - a_d^N}{a_d^D - a_d^G} \quad (3)$$

Wykorzystując zapisy (3) otrzymuje się zależność na skuteczność wydzielenia produktów. Przykładowo dla produktu drobnoziarnistego:

$$S^D = \frac{a_d^D (a_d^N - a_d^G)}{a_d^N (a_d^D - a_d^G)} 100\% \quad Z^D = \frac{(100 - a_d^D) (a_d^N - a_d^G)}{(100 - a_d^N) (a_d^D - a_d^G)} 100\% \quad (4)$$

Końcową efektywność  $E$  ( $E = E^D = E^G$ ) określa zależność podana przez R.T. Hancocka [7]:

$$E = 10000 \frac{(a_d^N - a_d^G)(a_d^D - a_d^N)}{a_d^N (a_d^D - a_d^G)(100 - a_d^N)} \quad (5)$$

### 3. Parametry pracy klasyfikatorów

Badania klasyfikacji przeprowadzono wykorzystując doświadczalną instalację. Obejmuje ona kolumny fluidyzacyjne, klasyfikatory kaskadowe o wymiarach  $0,16 \times 0,16$  m i  $0,29 \times 0,29$  m (powierzchnia przekroju odpowiednio  $0,0256$  m<sup>2</sup> i  $0,0841$  m<sup>2</sup>) oraz rynny fluidyzacyjne oraz wibrofluidyzacyjne o wymiarach komór roboczych (dytrybutorów powietrza) do  $0,05 \times 2,0$  m.

Konstrukcja klasyfikatorów i ich oprzyrządowanie umożliwiły realizację rozdziału ziaren ze względu na ich masę (określoną wielkością ziaren i gęstością właściwą materiału) wraz z oceną jakości produktów. Oceniano ilość i jakość produktów w zależności od: prędkości strumienia powietrza, składu granulometrycznego materiału wyjściowego oraz sposobu i natężenia podawania materiału [3÷5].

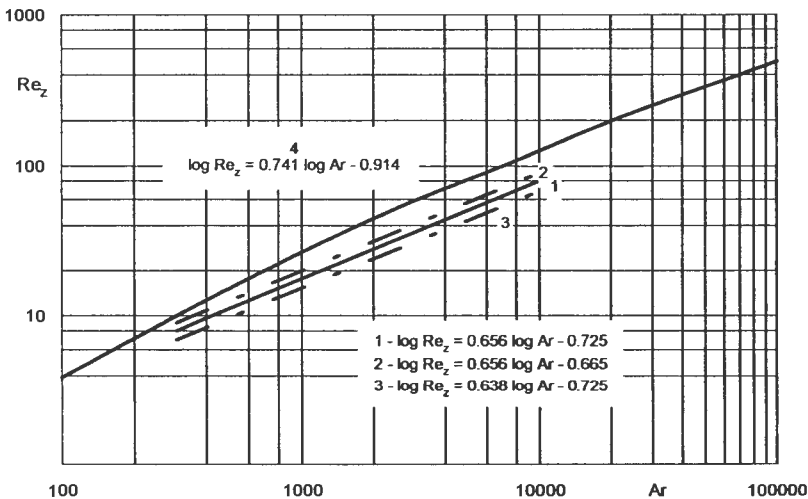
Badania dotyczyły szeregu materiałów ziarnistych: piasków odlewniczych o zróżnicowanych gęstościach oraz wielkościach ziaren, rudy chromowej, masy formierskiej kierowanej do regeneracji osnowy oraz zregenerowanej osnowy. Zakres badań obejmował wyznaczanie charakterystyk badanych materiałów tj. funkcji składu ziarnowego oraz wielkości charakteryzujących proces klasyfikacji, w tym granice i dokładność wyznaczane z funkcji rozdziału.

Stwierdzono [1÷6], że podstawowym czynnikiem kształtującym ustalającą się granicę rozdziału jest prędkość powietrza. Granica ta wynika z wszelkich uwarunkowań procesu. Zależy od natężenia przepływu strumienia materiału oraz gabarytów i konstrukcji komory roboczej. Ilość materiału podawanego do obróbki oraz jego skład granulometryczny wpływają głównie na dokładność rozdziału.

Wpływ prędkości powietrza na ustalającą się granicę rozdziału określano na podstawie badań laboratoryjnych rozdziału ziaren wskutek ich wynoszenia z warstwy fluidyzowanej powietrzem. W oparciu o wyniki analiz sitowych nadawy oraz produktów wyznaczano zawartości ziaren o określonych wielkościach. Warunki klasyfikacji, tj.

odbiór mieszaniny piaskowo-powietrznej na wysokości  $H = 1,9$  m, smukłość warstwy  $H_0/B < 1$  oraz czas procesu  $t = 600$  s, zapewniały uzyskanie maksymalnych efektów rozdziału w zakresie stosowanych prędkości przepływu powietrza.

Zebrane dane pozwoliły określić charakterystyczne wartości liczb rozdziału, a więc podziału połowicznego oraz ćwiartkowych. Wyznaczono wartości liczb  $K^G$  dla ziaren piasków kwarcowych o  $d_{50} = 0,188 \div 0,257$  mm fluidyzowanych w kolumnie o  $D_k = 0,06$  m. Dla porównania przedstawiono wartości  $u_z = f(d)$  wyznaczone z kryterialnej zależności  $Re_z = f(Ar)$  – krzywa 4 na rysunku 2. Wartości liczb kryterialnych  $Re_z$  oraz  $Ar$  wyznaczono przyjmując: gęstość i lepkość kinematyczną powietrza:  $\rho_g = 1,16$  kg/m<sup>3</sup>,  $\nu = 0,157 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (dla warunków normalnych, technicznych) oraz wielkości ziaren określających granice rozdziału 50-, 25- i 75-procentowego.



Rys. 2. Zależność liczb kryterialnych dla maksymalnych zakresów prędkości fluidyzacji;

1 – rozdział ziaren o  $K^G=0,5$ , 2 –  $K^G=0,25$ , 3 –  $K^G=0,75$

Fig. 2. Dependence of criterial numbers at maximum fluidizing velocity:

1 – grains division  $K^G=0,5$ , 2 –  $K^G=0,25$ , 3 –  $K^G=0,75$

Analiza wyników badań wskazuje, że kryterialna zależność dotyczy przypadków kiedy  $K^G = 0$  ( $K^D = 1$ ).

Wyznaczone efekty pracy badanych klasyfikatorów przepływowych (fluidyzacyjnych i kaskadowych) wskazują na ich duże możliwości. Efekty ich pracy można dowolnie kształtować przede wszystkim poprzez dobór wartości prędkości powietrza. W zakresie stosowanych prędkości powietrza skuteczność  $S^D$  zawierała się w granicach 67,9÷99,1% [3÷6].

Stopień zanieczyszczenia  $Z^D$  produktu drobnoziarnistego zawierał się w granicach 12,9÷45%. Dla stałej granicy rozdziału ziaren wraz ze wzrostem prędkości powietrza

następuje wzrost zanieczyszczenia produktu drobnoziarnistego. Zwiększenie ilości przepływającego materiału oraz wzrost koncentracji strumienia piaskowo-powietrznego powoduje zanieczyszczenie w mniejszym stopniu.

Efektywności procesu rozdziału w badanym zakresie zmienności parametrów procesu zawierała się w granicach  $47,6 \div 76,6\%$ .

#### 4. Propozycje zastosowań klasyfikatorów przepływowych

Zakres możliwych do osiągnięcia efektów pracy uzasadnia celowość stosowania klasyfikatorów przepływowych w systemach regeneracji osnowy piaskowej mas zużytych. Wybór uzasadnia też ich prosta budowa i łatwa eksploatacja. Uzasadnione jest ich stosowanie do klasyfikacji jak również do sterowania pracą regeneratorów.

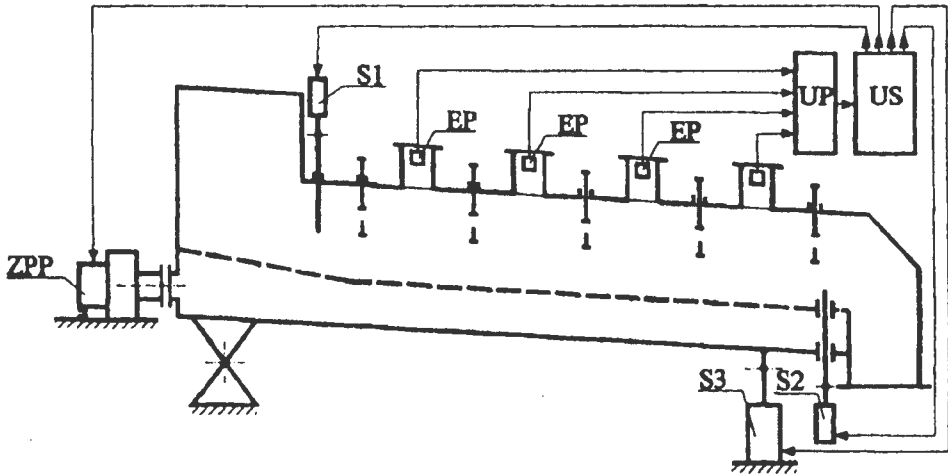
W opracowanych [1, 2] układach przewidziano stosowanie klasyfikatorów – rynien fluidyzacyjnych do wstępnej obróbki masy zużytej kierowanej do regeneratora oraz do obróbki końcowej zregenerowanej osnowy piaskowej. Efektem wstępnej obróbki byłoby oddzielenie zarówno drobnoziarnistych frakcji jak również wszystkich zanieczyszczeń. Rynny ponadto umożliwiają podawanie do obróbki regeneracyjnej masy z zadaniem natężeniem. Końcowa obróbka polegałaby również na wyodrębnieniu produktu o zadanych wymiarów ziaren.

Efektywność obróbki regeneratu można zwiększyć poprzez stosowanie klasyfikatorów kaskadowych. Klasyfikatory tego typu, wchodzące w skład instalacji badawczej z powodzeniem wykorzystywano do obróbki osnowy piaskowej zużytych mas formierskich oraz samych piasków np. chromitowych. Uzyskiwany zakres koncentracji w przypadku klasyfikatora doświadczalnego, wyposażonego w podajnik śrubowy, wynosił  $\mu_c = 0,74 \div 5,82$  kg/kg w zakresie prędkości powietrza  $u = 1,08 \div 3,04$  m/s. uzyskiwano przy tym wydajności  $0,8$  Mg/godz. Wersja przemysłowa charakteryzowała się równie korzystnymi parametrami przy wydajności z zakresu  $7 \div 10$  Mg/godz.

Klasyfikatory fluidyzacyjne spełniają warunki dla efektywnego odpylania regeneratu. Predyspozycje do tego wynikają choćby z możliwości szerokiego zakresu zmian wartości koncentracji przy określonej prędkości czynnika fluidyzującego poprzez zmianę wymiarów warstwy i pochylenie dystrybutora. Istotną, dodatkową możliwość sterowania w oparciu o wyniki rejestrowanych zmian w składzie ziarnowym obrabianego materiału zapewnia specjalna, oryginalna konstrukcja rynien fluidyzacyjnych. Wprowadzenie wprowadzeniu elementów rozdzielających przestrzeń separacyjną (rys. 3) umożliwia śledzenie przebiegu procesu klasyfikacji.

Klasyfikator fluidyzacyjny o przedstawionym rozwiązaniu może być wykorzystywany do sterowania pracą regeneratora w zablokowanym układzie: regeneratory-klasyfikator pneumatyczny. Parametrami sterującymi są sygnały o ilości drobnoziarnistych frakcji. Natomiast parametrami sterowanymi są te, które decydują o intensywności oddziaływania powietrza oraz czasie procesu klasyfikacji. W oparciu o pomiary (choćby nawet z dwóch odcinków: początkowego i końcowego rynny) można spowodować zmiany natężenia przepływu strumieni.

Sterowanie pracą regeneratora w oparciu o wyniki klasyfikacji polega na doborze wartości parametrów decydujących o intensywności oddziaływań na ziarna osnowy piaskowej.



Rys. 3. Klasyfikator fluidyzacyjny z wydzielonymi segmentami przestrzeni separacyjnej.  
Fig. 3. Fluidised-bed classifier with the distinct segments of the separation area

## 5. Podsumowanie

Klasyfikatory przepływowe, grawitacyjne ze względu na prostą budowę i skuteczną pracę powinny być powszechnie stosowane w układach regeneracji osnowy piaskowej ze zużytych mas formierskich.

Zakres możliwych do osiągnięcia efektów pracy uzasadnia celowość ich stosowania. Efekty te wynikają przede wszystkim z przyjętych prędkości powietrza.

W proponowanych rozwiązaniach instalacji do przygotowania (regeneracji i klasyfikacji) osnowy piaskowej zużytych mas formierskich występują zarówno klasyfikatory fluidyzacyjne oraz kaskadowe.

Klasyfikatory fluidyzacyjne, zwłaszcza o rozdzielonej przestrzeni separacyjnej, umożliwiają wprowadzenie automatycznej regulacji parametrów działania oraz uzyskiwanie optymalnych efektów rozdziału ziaren oraz regeneracji osnowy piaskowej.

## Literatura

1. Fedoryszyn A.: Analiza procesu pneumatycznej klasyfikacji ziarnistych materiałów odlewniczych. Praca naukowo-badawcza AGH nr. 10,10,170,98. Kraków, 1999.
2. Fedoryszyn A.: Koncepcja sterowania procesem mechanicznej regeneracji osnowy piaskowej mas. Krzepnięcie metali i stopów PAN z. 26, Katowice, Bielsko-Biała, Częstochowa, Opole, 1996, s. 230÷235

3. Fedoryszyn A.: Charakterystyka procesu rozdziału polidispersyjnych materiałów w przepływowych urządzeniach fluidyzacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Mechanika z. 128. Gliwice, 1997, s. 27÷35.
4. Fedoryszyn A., Smyksy K.: Parametry klasyfikacji granulometrycznej w urządzeniach fluidyzacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Mechanika z. 128. Gliwice, 1997, s. 35÷43.
5. Fedoryszyn A.: Charakterystyka przeciwprądowych klasyfikatorów pneumatyczno-grawitacyjnych. Krzepnięcie metali i stopów. PAN z. 39, Katowice, Bielsko- Biała, Częstochowa, Opole, 1999, s. 43÷50
6. Fedoryszyn A.: Analiza rozdziału ziarn materiałów w odlewniczych urządzeniach fluidyzacyjnych. Rozprawy, Monografie nr. 87. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków, 1999.
7. Sztaba K. Przesiewanie. Śląskie Wydawnictwo Techniczne. Katowice, 1993.

Recenzował: