

HENRYK SZLUMCZYK^{*}, STANISŁAW JURA^{**},
ZBIGNIEW PIĄTKIEWICZ^{***}, KRZYSZTOF JANERKA^{****}

PROCES KLASYFIKACJI MATERIAŁÓW SYPKICH W PRZEPLYWOWYM URZĄDZENIU FLUIDYZACYJNYM

W publikacji przedstawiono analizę procesu klasyfikacji polidispersyjnych materiałów sypkich z wykorzystaniem zjawiska fluidyzacji. Wyniki badań procesu klasyfikacji piasku kwarcowego uzyskane w przystosowanym układzie urządzeń potwierdzają możliwość rozdziału polidispersyjnego materiału sypkiego na wymagane zakresy funkcji ziarnowych. Wykorzystanie przedstawionego rozwiązania umożliwia uzyskanie materiałów sypkich o wyższej jednorodności w wymaganym zakresie frakcji. Skuteczność rozdziału oceniano na podstawie wykonanych analiz sitowych i obliczonej liczby polidispersji

1. WPROWADZENIE

Zagadnienie procesu klasyfikacji materiałów sypkich (rozdziłu frakcji ziarnowych) jest ściśle związane z przygotowaniem osnowy mas formierskich dla potrzeb odlewniczych. Dotyczy ono zarówno procesu odpylania osnowy, czyli usuwania z materiału osnowy niepożądanych drobnych frakcji ziarnowych (poniżej 0,1 mm) jak i rozdziału tego materiału na wymagane zakresy ziarnistości. Dotychczasowe prace badawcze klasyfikacji materiałów sypkich w przepływowym układzie urządzeń (klasyfikatorze) fluidyzacyjnych dotyczą zjawisk opisujących wykorzystanie fluidyzacji w aspekcie odpylania osnowy dla potrzeb jej regeneracji. Jednakże nie tylko odpylanie regenerowanej osnowy stanowi o jej przedatności dla celów technologicznych wykonania formy odlewniczej. Niepożądane są również frakcje gruboziarniste. Najkorzystniejszym materiałem osnowy mas formierskich jest składnik (najczęściej piasek kwarcowy) o wysokim stopniu jednorodności i czystości

Praca niniejsza obejmuje swoim zakresem analizę możliwości wykorzystania zjawiska fluidyzacji dla potrzeb wymaganego (założonego) rozdziału frakcyjnego sypkich materiałów ziarnistych.

^{*} dr inż. - Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach
^{**} prof.dr hab.inż - Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach
^{***} prof.dr inż. - Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach
^{****} dr inż - Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach

2. CHARAKTERYSTYKA WARSTW FLUIDALNYCH

Opis stanu warstwy fluidalnej uwzględnia wzrost prędkości fluidyzacji w_1 , którą nazywana jest prędkość gazu (powietrza) w złożu fluidalnym. Zagadnienie powyższe omawiane będzie na tle zależności $\Delta p = f(w_1)$, gdzie Δp jest spadkiem ciśnienia gazu na grubości warstwy fluidalnej.

Stan nieruchomy - cząstki są nieruchome i podtrzymywane przez kontakt z innymi cząstkami. Spoczywają one na ruszcie (wkładce porowatej), który nie tylko utrzymuje warstwę, lecz również równomiernie rozdziela tłoczony od dołu gaz (powietrze). Spadek ciśnienia Δp rośnie ze wzrostem prędkości w_1 . Porowatość warstwy ϵ_0 oraz jej wysokość H_0 decydują o wartości spadku ciśnienia

Warstwa ruchoma - znajduje się w stanie rozluźnionym, przy czym cząstki pozostają w dalszym ciągu we wzajemnym kontakcie nie zmieniając położenie względem siebie. Rozluźnienie warstwy następuje wtedy, gdy nadejście gazu zrówna się z ciśnieniem wywieranym przez warstwę. Omówiony stan oznacza początek fluidyzacji, któremu odpowiada prędkość początku fluidyzacji $w_1 = w_{mf}$, porowatość $\epsilon = \epsilon_{mf}$ dla wysokości H_{mf} . Spadek ciśnienia Δp_{mf} osiąga w tym stanie największą wartość.

Warstwa fluidalna - odpowiada stanowi, w którym przekroczona została wartość prędkości w_{mf} . Faza gęsta warstwy fluidalnej stanowi zawartość złoża; po przekroczeniu wartości prędkości przepływu gazu przez złożo i dalszym jej wzroście warstwa w fazie gęstej przechodzi w fluidalną warstwę turbulentną. Występuje wtedy intensywne mieszanie cząstek w całym obszarze warstwy. Cechą charakterystyczną warstwy fluidalnej jest spadek ciśnienia Δp_1 , mimo wzrostu prędkości w_1 . Dalszy wzrost prędkości w_1 powoduje wzrost wysokości warstwy fluidalnej H_1 oraz zmianę porowatości złoża ϵ_1 . Drobne cząstki przemieszczają się do góry, tworząc tzw. fazę rzadką (zawiesinę o małym stężeniu, czyli dużej porowatości) nie posiadającą górnej powierzchni swobodnej. Fazę rzadką od fazy gęstej dzieli wyraźna granica wynikająca ze zmian porowatości w przedziale $\epsilon_{mf} \leq \epsilon_1 \leq 1$. Przy dalszym wzroście prędkości w_1 rośnie stężenie fazy rzadkiej przy malejącej fazy stałej. Stan graniczny występuje przy zrównaniu się prędkości w_1 z prędkością swobodnego opadania (unoszenia) cząstek w_{mf} , w którym kończy się fluidyzacja i porowatość złoża przyjmuje wartość $\epsilon = 1$. Jeżeli prędkość fluidyzacji jest większa od prędkości swobodnego opadania (unoszenia) $w_1 > w_{mf}$, cząstki są wywiewane z warstwy i unoszone w strudze gazu.

Przedstawiony obraz fluidyzacji został uproszczony, gdyż nie uwzględnia w nim sposobu zasilania złoża i odprowadzania cząstek. Poza tym jeżeli rozmiary cząstek różnią się znacznie następuje ich segregacja, która prowadzi do stratyfikacji warstwy fluidalnej. Cząstki największe opadają na dno porowate, czyli najmniejsze wydmuchiwane są na zewnątrz złoża. Zjawisko to można wykorzystać w procesie rozdzielu frakcji ziarnowych (klasyfikacja cząstek,

odpylanie złoza). Warstwy fluidalne w związku z powyższym mogą być jednorodne i niejednorodne.

Warstwa jednorodna charakteryzuje się jednakową porowatością we wszystkich punktach (charakterystyczne dla warstw cieczowych). Do warstw niejednorodnych należą warstwy pęcherzykowe, tłokowe, kanalikowe i fontannowe. Podczas przepływu strumienia materialu sypkiego w warunkach jego sfluidyzowania rozważać można warstwy pęcherzykowe lub fontannowe. Warstwa pęcherzykowa charakteryzuje się tym, że część gazu płynie w postaci pęcherzy, co prowadzi do zróżnicowania porowatości złoza. W warstwie fontannowej cząstki wynoszone są do góry w obszarze występowania dużej prędkości przepływu płynu przez złoze. Profil prędkości cząstek w poprzecznych przekrojach warstwy jest bardzo nierównomierny.

3. PRĘDKOŚĆ POZĄTKU FLUIDYZACJI

Wartość prędkości początku fluidyzacji w_{mf} i jej prawidłowe określenie posiada podstawowe znaczenie w projektowaniu i badaniu rzeczywistych procesów fluidyzacji. Prędkość w_{mf} odpowiada takiej wartości prędkości przepływu płynu przez złoze, podczas której nadeisnienie Δp_{mf} , zrównuje się z ciśnieniem wywieranym przez warstwę fluidalną o wysokości H_{mf} . Ciśnienie wywierane przez cząstki w odniesieniu do jednostki wysokości warstwy fluidalnej wynosi:

$$\frac{\Delta p_{mf}}{H_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \quad (1)$$

gdzie: ε_{mf} i $(1 - \varepsilon_{mf})$ oznacza porowatość i stężenie cząstek w warstwach, natomiast $(\rho_2 - \rho_1)$ - gęstość względna cząstek.

Dla przedziału laminarnego, prędkość początkowa fluidyzacji w_{mf} wynosi:

$$w_{mf} = \frac{1}{150} \cdot \frac{\varepsilon_{mf}^3}{1 - \varepsilon_{mf}} \cdot \frac{g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot d}{\mu_1} \quad (2)$$

gdzie: μ_1 - lepkość kinematyczna płynu, d - średnica cząstek

Dla przedziału turbulენტnego prędkość początkowa fluidyzacji wynosi:

$$w_{mf}^2 = \frac{1}{1,75} \cdot \frac{\varepsilon_{mf}^3}{\rho_1} \cdot \frac{g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot d}{\rho_1} \quad (3)$$

Porowatość ε_{mf} na ogół nie jest znana. Stwierdzono, że dla szerokiego przedziału zmian ε_{mf} z uwzględnieniem sferyczności cząstek ψ dla przepływów laminarnych

$$\frac{1 - \varepsilon_{mf}}{\psi^2 \cdot \varepsilon_{mf}^2} \approx 11 \quad (4)$$

oraz dla turbulentnych

$$\frac{1}{\psi \cdot \varepsilon_{mf}^3} \approx 14 \quad (5)$$

Pozwala to określić wartości w_{mf} odpowiednio:

- przepływ laminarny

$$w_{mf} = \frac{g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot d^2}{1650 \mu_1} \quad (6)$$

- przepływ turbulentny

$$w_{mf} = 0,2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot d}{\rho_1}} \quad (7)$$

4. PRZEPLYW W WARSTWACH WIELOFRAKCYJNYCH

Prędkość początku fluidyzacji w_{mf} można stosunkowo łatwo zmierzyć w przypadku warst jednofrakcyjnych. W warstwach wielofrakcyjnych stan upłynnienia następuje w przedziale prędkości fluidyzacji $w_{min} \leq w_{mf} \leq w_{max}$. Dolna granica tego przedziału jest większa niż w przypadku warstwy jednofrakcyjnej cząstek o najmniejszych średnicach, a prędkość w_{max} jest mniejsza niż w przypadku warstwy cząstek największych, co można określić liczbą polidispersji

$$LP = \frac{w_{min}}{w_{max}} \quad (8)$$

Istotne znaczenie dla analizy rozdziału frakcji znajdują warstwy wieloskładnikowe, tzn. zawierające cząstki zróżnicowane pod względem rozmiarów, kształtu oraz gęstości. Analityczny opis zjawisk występujących w złożu polidispersyjnym nie został jednoznacznie dokonany i wymaga przeprowadzenia prob. których wyniki wykorzystywane mogą być do ustalenia zależności empirycznych.

Uwzględniając, że $Re = w \cdot d \cdot \rho / \mu$ oraz porowatość warstwy fluidyzacyjnej cząstek małych $\varepsilon_{mf} = 0,4$ i cząstek dużych $\varepsilon_{mf} = 0,5$ otrzymuje się zależność dla przedziału laminarnego

$$LP = 0,347 \left(\frac{d_{200}}{d_{100}} \right) \quad (9)$$

a dla przedziału turbulentnego

$$LP = 0,590 \sqrt{\frac{d_{\min}}{d_{\max}}} \quad (10)$$

5. BADANIA WSTĘPNE PROCESU ROZDZIAŁU FRAKCJI ZIARNOWYCH W PRZEPLYWOWYM UKŁADZIE KLASYFIKACJI FLUIDYZACYJNEJ

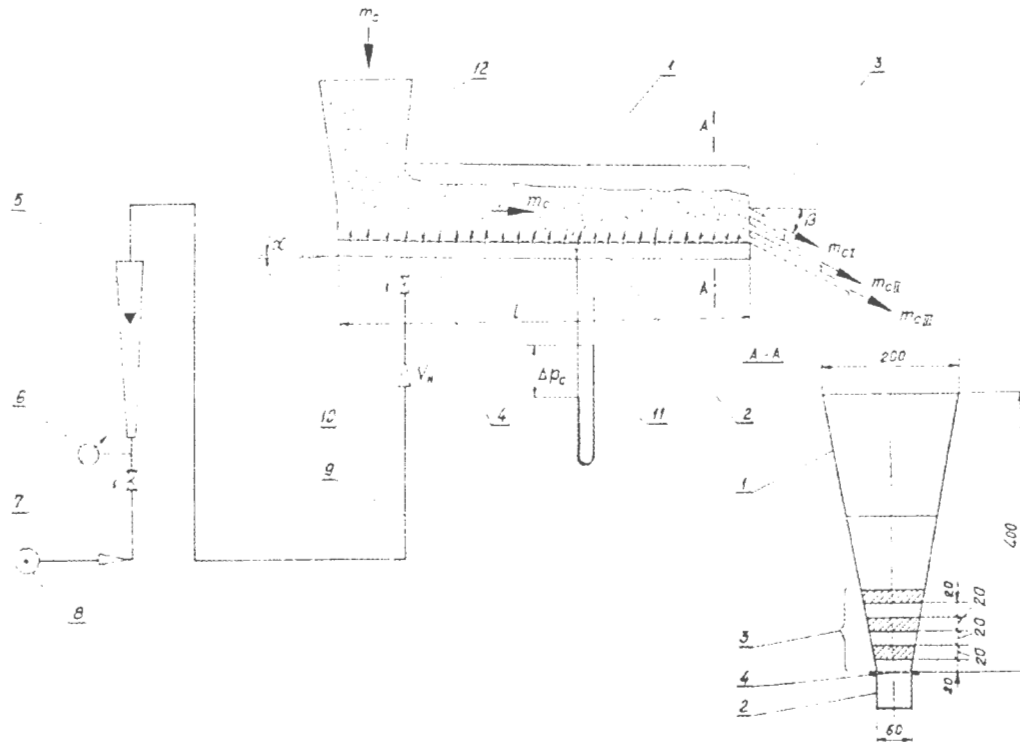
Badanie procesu klasyfikacji przeprowadzono wykorzystując do tego celu stanowisko doświadczalne, wyposażone w niezbędną aparaturę pomiarową. Przedmiotem prób był polidispersyjny materiał ziarnisty, stanowiący mieszaninę grubo- i drobnoziarnistego piasku kwarcowego. Celem prób jest określenie skuteczności działania badanego układu dla potrzeb rozdziału (klasyfikacji) materiałów polidispersyjnych. Zakładanym efektem prób jest uzyskanie materiałów o wyższej jednorodności w zakresie wymaganych wielkości czastek.

5.1. Stanowisko badawczo pomiarowe

Dla potrzeb badawczych procesu klasyfikacji przystosowano rynnę fluidyzacyjną, którą wyposażono w przyrządy pomiarowe dla określenia warunków przebiegu procesu. Schemat układu urządzeń przedstawiono na rys. 1. Uzyskanie rozdziału frakcji ziarnowych badanego materiału polidispersyjnego możliwe jest poprzez podział warstwy fluidalnej. Podziału tego dokonać można wprowadzając elementy rozdzielające na wylocie strumienia sfluidyzowanego materiału z rynny fluidyzacyjnej. W tym celu dla realizacji założeń badawczych rynnę wyposażono w szczelną wysyp (3 - rys. 2). Wielkość szczelin w wysypie oraz ich usytuowanie dobrana została wstępnie na podstawie analizy ruchu strumienia materiału sypkiego w kanale transportowym i rynny fluidyzacyjnej. Powietrze niezbędne do upłynienia materiału sypkiego doprowadzono do warstwy fluidyzowanej poprzez skrzynię powietrzną 2 i wkładkę porowatą 4. Materiał polidispersyjny (niejednorodny piasek kwarcowy) wprowadzono do kanału transportowego 1 zasypem 12. Ponadto układ badawczy wyposażono w elementy regulacyjne (zawory 7 i 10) i pomiarowe (rotametr 5, manometr cieczowy 11, manometr sprężynowy 6).

5.2. Sposób przeprowadzania prób i badań

Materiałem stanowiącym przedmiot klasyfikacji jest mieszanina gruboziarnistego i drobnoziarnistego piasku kwarcowego. Przygotowany do prób materiał zasypywano do przepływowego klasyfikatora (rys. 1) zasypem 12 z intensywnością m . Układ badawczy opisany w p. 5.1. zasilany był powietrzem



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczo - pomiarowego klasyfikacji materiałów sypkich. 1 - kanał transportowy, 2 - skrzynia powietrzna, 3 - wysyp szczelny, 4 - wkładka porowata, 5 - rotometr, 6 - manometr sprężynowy, 7 - zawór regulacyjny, 8 - źródło zasilania układu sprężonym powietrzem.

9 - przewód zasilający, 10 - zawór, 11 - manometr cieczowy, 12 - zasyp materiału klasyfikowanego

Fig. 1. Diagram of test measurement unit for loose materials classification. 1 - transporting channel, 2 - air box, 3 - slit dumper, 4 - porous inset, 5 - rotameter, 6 - manometer, 7 - control valve, 8 - pressurised air supply unit, 9 - supplying pipe, 10 - shut-off valve, 11 - liquid manometer, 12 - batch of classified material

doprowadzanym do skrzyni powietrznej 2. w ilości (natężenie przepływu) V_N . Natężenie przepływu powietrza ustalono w badanym zakresie na podstawie prób wstępnych. Zadane warunki zasilania gwarantują stabilny przepływ polidispersyjnego materiału sypkiego (mieszaniny piasku kwarcowego) w klasyfikatorze od zasypu 12. kanałem transportowym do szczelinowego wysypu 3. Pochylenie wkładki porowatej 4 w odniesieniu do poziomu ustalone w badaniach wstępnych wynosiło $\alpha = 1^\circ$. U wylotu kanału transportowego zainstalowany został wysyp szczelinowy, którego dobór postaci konstrukcyjnej, poparty wstępnymi próbami zgodnie z rys.1 (A -A). Kąt pochylenia wysypów rynnowych w stosunku do kierunku przepływającego złoża „ β „ powinien być większy od kąta tarcia wewnętrznego (kąt naturalnego usypu), co gwarantuje grawitacyjne odprowadzanie materiału sypkiego z kanału transportowego. Ustalona wcześniejszymi próbami wartość tego kąta wynosi $\beta > 35^\circ$. W pracy wykonany został wysyp szczelinowy o pochyleniu $\beta = 45^\circ$. Przepływający kanałem transportującym polidispersyjny materiał sypki w wysypie szczelinowym odbierany był na różnych wysokościach złoża. Z uwagi na zróżnicowanie ziarnistości materiału (a tym samym prędkości unoszenia cząstek) cząstki drobniejsze posiadają mniejszą wartość i unoszone są w górnych warstwach złoża. Dla zintensyfikowania rozdziału frakcji w przepływającym kanałem transportowym złoża materiału sypkiego, ściany boczne kanału zostały pochylone (rozszerzenie kanału od wkładki do górnej części). Układ taki prowadzi do możliwości sterowania rozkładem prędkości na wysokości złoża w zależności od zróżnicowania frakcyjnego materiału polidispersyjnego. Tym sposobem drobne frakcje w sposób wymuszony przemieszczane są w górnych warstwach złoża, natomiast większe cząstki w jego dolnych warstwach. Dostosowując wysyp szczelinowy kanału transportowego do żądanych warunków rozdziału frakcji (klasyfikacji) można uzyskać w poszczególnych wysokościach złoża frakcje ziarnowe o zróżnicowanych wartościach średniej wielkości ziarna. Przeprowadzone próby mają na celu określenie możliwości dokonania rozdziału frakcyjnego materiału sypkiego oraz ustalenie stopnia rozgraniczenia frakcji w zadanych warunkach eksploatacyjnych. Wyniki prób, stanowiące materiał wyjściowy do dalszych badań zawarte zostały w tab. I. Przedstawiono także wyniki badań ziarnistości materiału sypkiego poddawanego klasyfikacji (m_i) oraz produktów rozdziału frakcyjnego (m_{CI} , m_{CII} , m_{CIII}) odbieranych z poszczególnych wysokości złoża (I, II, III) przy zastosowaniu wysypu szczelinowego. Ponadto w tab. I zamieszczono parametry charakteryzujące warunki prowadzenia prób, w których zastosowano następujące oznaczenia:

V_N - objętościowe natężenie przepływu powietrza doprowadzanego do skrzyni powietrznej układu badawczego, l - długość kanału transportowego (wkładki porowatej), A_f - powierzchnia wkładki porowatej, w_f - prędkość średnia przepływu powietrza przez wkładkę porowatą, Δp_c - całkowity spadek ciśnienia powietrza w układzie zasilania mierzony w skrzyni powietrznej, $\Delta p_c = \Delta p_c - \Delta p_f$ - spadek ciśnienia powietrza na wysokości złoża w kanale transportowym, m_c - masowe natężenie przepływu materiału

Tablica 1

Wyniki analiz sitowych oraz parametrów eksploatacyjnych układu badawczego w warunkach klasyfikacji fluidyzacyjnej piasku kwarcowego
Results of sieve analyses and quartz sand fluidization classification process parameters of experimental unit

Lp	Przeswit oczka sita	Przeliczone odsiewy materiałów					Uwagi
		d	m	m ₁	m ₂	m ₃	
-	mm	mm	%	%	%	%	-
1	1,60	2,30	7,85	-	2,98	19,77	d ₀ = (Σn _i · d _i) / Σn _i
2	0,80	1,20	5,25	1,24	3,73	9,11	
3	0,63	0,715	6,15	3,88	5,08	8,04	LP = 0,590 (d _{max} - d _{min}) ^{0,5}
4	0,40	0,515	18,48	19,92	18,84	16,12	
5	0,315	0,3575	30,20	35,24	33,62	22,87	l = 1,0 m; A = 0,05m ²
6	0,20	0,2575	25,81	27,72	26,69	24,19	
7	0,16	0,18	3,08	6,04	5,91	2,24	Δp ₁ = 19,73 kPa; Δp ₂ = 4,96 kPa
8	0,10	0,13	2,17	3,71	2,03	0,66	
9	0,071	0,0855	0,83	1,73	1,04	-	V ₁ = 0,0381 m ³ /s; m ₁ = 0,706 kg/s
10	0,056	0,0635	0,16	0,50	0,08	-	
11	denko	0,038	0,02	0,02	-	-	w ₁ = 0,762 m/s
Σ			100,00	100,00	100,00	100,00	
d ₀ [mm]			0,556	0,360	0,450	0,846	średnia harmoniczna wielkość ziarna
LP			0,092	0,127	0,143	0,156	liczba polidispersji (przedział)

6. ANALIZA WYNIKÓW PRÓB I BADAŃ

Uzyskane wyniki prob i badan procesu klasyfikacji w przeplywowym układzie fluidyzacyjnym potwierdzają tezę o możliwości wykorzystania prędkości unoszenia cząstek o zróżnicowanych wielkościach dla rozdziału frakcji materiałów ziarnistych.

Wyniki analiz sitowych zamieszczono w tab. I i obliczono na ich podstawie średnie harmoniczne wielkości ziarn wskazują na znaczne zróżnicowanie ziarnistości piasku odbieranego z poszczególnych warstw złoża fluidalnego. Zmiany średniej wielkości ziarn zamykają się w granicach $d_p = 0,360$ do $0,846$ mm, przy średniej wielkości ziarn polidispersyjnego materiału ziarnistego (piasku) stanowiącego przedmiot prób $d_p = 0,556$ mm.

Zauważyć można również zmianę rozkładu ziarnowego w zakresie frakcji głównej. Wyniki uzyskane podczas prób pozwalają stwierdzić, że podczas przepływu polidispersyjnego materiału sypkiego w przeplywowym układzie fluidyzacyjnym o właściwie dobranej postaci konstrukcyjnej następuje segregacja złoża na jego wysokości.

Zjawisko to sprzyja wykorzystaniu układu dla potrzeb rozdziału frakcji (klasyfikacji). Dobór parametrów eksploatacyjnych, zawarty w tab. I dokonany został na podstawie wczesniej przeprowadzonych prób wstępnych jest wynikiem jednej ze zrealizowanych prób.

Praca wymaga rozszerzenia zakresu prób i przystosowanie układu również do warunków klasyfikacji materiałów sypkich o zróżnicowanych gęstościach właściwych składników mieszanki.

Ponadto w badaniach nie uwzględniono wpływ wysokości złoża (warstwy sfidyzowanej) na skuteczność klasyfikacji. Istnieje jeszcze szereg problemów, których rozwiązanie stanowi będzie o pełnej przydatności proponowanego układu dla potrzeb klasyfikacji.

7. WNIOSKI I ZALECENIA

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych prób i badań można stwierdzić przydatność proponowanego rozwiązania dla potrzeb rozdziału polidispersyjnego materiału (o jednakowej gęstości cząstek) na poszczególne zakresy frakcji. Niemniej istnieje szereg problemów jeszcze nie rozwiązanych całkowicie, których rozwiązanie stanowi będzie o szerszym wykorzystaniu zjawiska fluidyzacji w procesie klasyfikacji. Problemy te obejmują powiązania parametrów eksploatacyjnych z postacią konstrukcyjną elementów układu klasyfikującego (np. wys. warstwy złoża, wpływ długości drogi przepływu strumienia na rozdział frakcji, rozszerzenie układu szczelinowego przy wypływie strumienia z kanału transportowego, optymalizacje wartości prędkości przepływu czynnika fluidyzującego przez złożo).

Dlatego kontynuacja prób i badań jest warunkiem koniecznym dla pełnego rozwiązania problemu o istotnym znaczeniu nie tylko w procesach odlewniczych i metalurgicznych, lecz w szeroko pojętej inżynierii chemicznej.

LITERATURA

- [1] Kabyl, P. "Odpalenie i odpalenie (1)", WNT Warszawa 1992.
- [2] Koch, B., Nowotna, A. "Procesy mechaniczne w młynem chemicznej", WNT Warszawa 1992.
- [3] Orzechowski, Z. "Przepływy dwufazowe", PWN Warszawa 1990.
- [4] Szluczyk, Henryk. "Analiza stopnia wykorzystania klasifikatora fluidyzacyjnego dla potrzeb rozdziału frakcyjnych wycieków". Praca badawcza BW-423 RM11-3'96, nie publikowana, Gliwice 1996.

Henryk Szluczyk
 Stanisław Jura
 Zbigniew Piątkiewicz
 Krzysztof Jamerka

Process of loose material classification in the flow fluidization apparatus

SUMMARY

The paper presents an analysis of classifier process of polydispersive loose materials, which makes use of fluidization phenomenon. Results of particle classification process tests obtained with the adapted apparatus may verify the possibility of separation of a polydispersive loose material into required gran fractions. The presented method enables obtaining loose materials characterised by wider ranges of material size distribution. An effectiveness of separation has been evaluated by means of a performance index of polydispersion numbers calculated.