50/15

Archives of Foundry,
Year 2005, Volume 5, № 15
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2005, Rocznik 5, Nr 15
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

ANALIZA RUCHU STRUMIENIA DWUFAZOWEGO W REGENERATORZE LINIOWYM

H. SZLUMCZYK[1]
Zakład Odlewnictwa
Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej
44-100 Gliwice ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

Artykuł obejmuje analizę przepływu strumienia gazu i materiału sypkiego (piasku) w przewodach o zmiennym przekroju uwzględniającym warunki oddziaływania cząstek względem siebie podczas zmiany trajektorii ich ruchu. Zjawisko to wykorzystywane jest w realizacji procesu regeneracji osnowy mas formierskich w regeneratorze liniowym. Regeneracja osnowy mas formierskich polega na oczyszczeniu powierzchni ziaren celem wykorzystania materiału osnowy w kolejnym cyklu technologicznym. Skutecznym sposobem oczyszczania powierzchni ziaren materiału sypkiego jest ścierne oddziaływanie cząstek względem siebie lub o elementy konstrukcyjne układu. W regeneratorze liniowym oczyszczanie przebiega w warunkach wzajemnego oddziaływania cząstek na siebie w wyniku zmian trajektorii ich ruchu w unoszącym strumieniu gazu (powietrza). Niniejsza publikacja stanowi opis ruchu strumienia gazu w dyszach i zwężkach dla realizacji procesu regeneracji w regeneratorze liniowym.

1. WPROWADZENIE

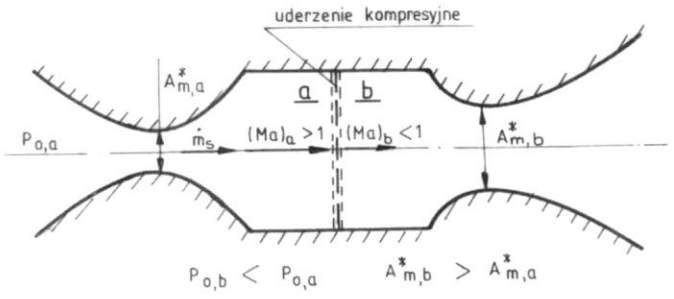
Energię strumienia powietrza stosowanego do pneumatycznego przemieszczania materiałów sypkich wykorzystać można dla realizacji procesu regeneracji osnowy mas formierskich. Regeneracja osnowy mas formierskich jest procesem umożliwiającym odzyskanie materiału osnowy (piasku) o parametrach technologicznych zapewniających jego wykorzystanie w kolejnym cyklu wykonywania form. Proces regeneracji polega na rozdrobnieniu (kruszeniu) zużytej masy formierskiej, oczyszczeniu powierzchni ziaren osnowy z pozostałości spoiwa oraz usunięciu zanieczyszczeń z produktu regeneracji.

[1] *dr inż., henryk.szlumczyk@polsl.pl*

Tak przygotowany materiał osnowy masy formierskiej może być wykorzystany w kolejnym cyklu wykonywania form. Zakres jego wykorzystania uzależniony jest od stopnia oczyszczenia ziaren osnowy (usunięcia spoiwa z powierzchni ziaren i klasyfikacji produktów regeneracji). Istotną częścią procesu regeneracji jest usunięcie spoiwa, która może być realizowana poprzez ścierne oddziaływanie wzajemne między ziarnami osnowy.
Sterowane wprowadzanie zakłóceń przepływu pneumatycznie przemieszczanego strumienia w rurociągu transportowym intensyfikują proces ściernego oczyszczania powierzchni ziaren z pozostałości spoiwa. Ruch przemieszczanych cząstek określony jest siłami oporów wywołanymi tarciem gazu i materiału transportowanego o ścianki przewodów rurowych, tarciem cząstek między sobą oraz siłami ciężkości i bezwładności unoszonych cząstek. Dla pokonania oporów wywoływana jest różnica ciśnień powodująca ruch strumienia w zadanych warunkach przemieszczania.

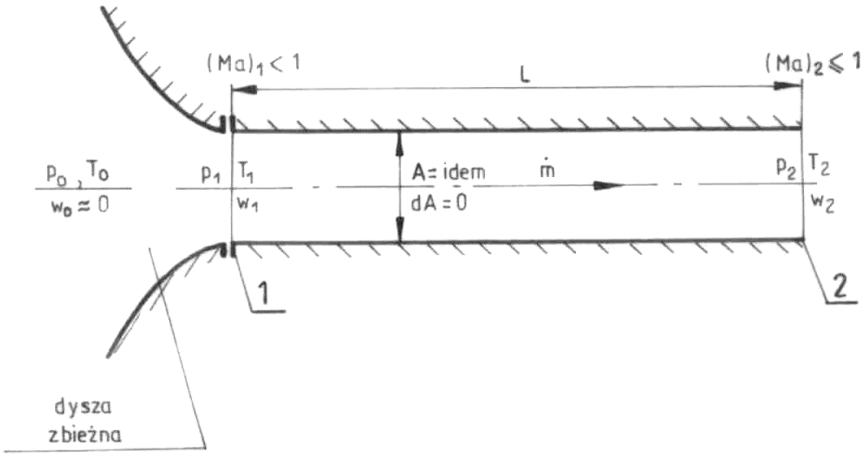
2. ANALIZA ZJAWISK PRZEPŁYWOWYCH

Przedmiotem prowadzonej analizy są zjawiska przepływowe zachodzące w kanałach o zmiennym przekroju. Na każdy układ przepływowy składa się kanał przepływowy i płyn przemieszczający się w jego obszarze (ciecze i gazy). Realizacja zjawisk przepływowych uwarunkowana jest stałym wzajemnym oddziaływaniem na siebie kanału przepływowego i płynu. Kanały przepływowe mogą posiadać zróżnicowany układ geometryczny z wyraźnie wyróżnionym kierunkiem przepływu czynnika. W odniesieniu do płynu przyjmuje się strukturę ciągłą, co pozwala na analizowanie ruchu dowolnej jego ilości. Rzeczywiste procesy przepływowe są zawsze nieodwracalne. Poszczególne porcje płynu przystosowują się stale do nowych, zmieniających się warunków przepływu. Szybkość dochodzenia do stanu równowagi zależy od istniejących w układzie gradientów przepływu (prędkości, temperatury), które są jednocześnie miarą oddalenia od stanu równowagi. Jednym z zjawisk występującym w kanałach o zmiennym przekroju jest uderzenie kompresyjne.



Rys.1. Zmiana przekroju krytycznego podczas uderzenia kompresyjnego.
Fig. 1. Change of critical cross section during compression hit.

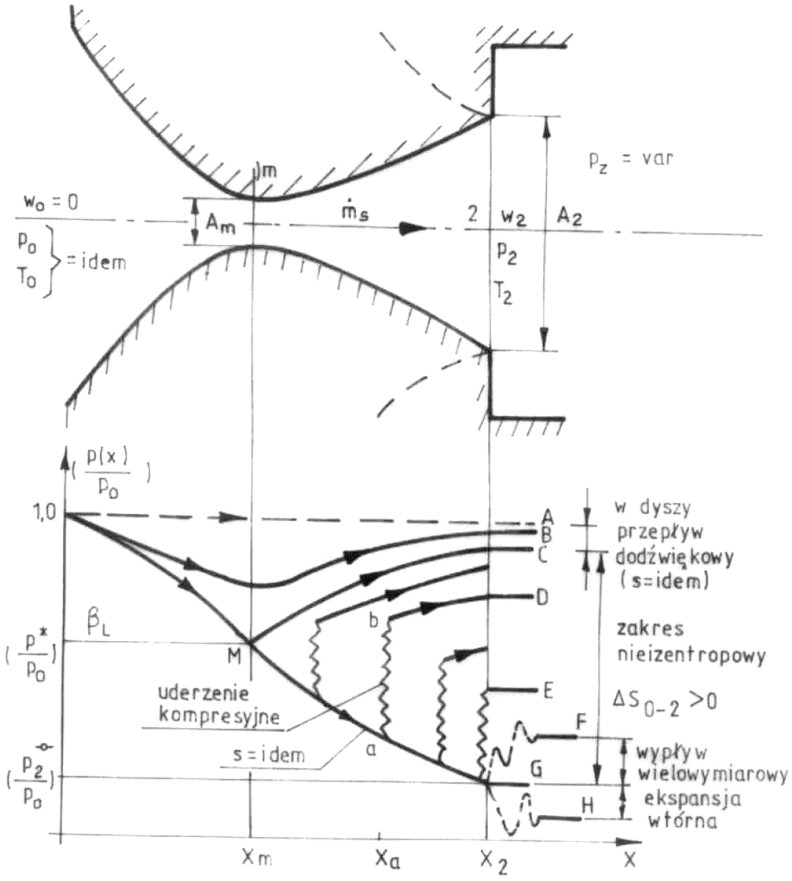
Cechą charakterystyczną tego zjawiska jest wystąpienie nagłego, skończonego „skoku” parametrów płynu (np. prędkości) na bardzo małej odległości, co oznacza, że gradient prędkości temu towarzyszący osiąga wartość nieskończenie wielką. Przebieg tego zjawiska przedstawiono na rys.1.
Zjawisko prostego uderzenia kompresyjnego przebiega w sposób nierównowagowy, przy czym określić można jedynie wartości parametrów przed i po wystąpieniu zjawiska. Efektem uderzenia kompresyjnego jest spadek ciśnienia, a stanom przed i po uderzeniu odpowiadają różne przekroje krytyczne wynoszące odpowiednio A_a* i A_b*.
Dla przepływów płynów ściśliwych określonych przepływami Fanno musimy założyć, że kanał jest zaizolowany (szczelny) i w układzie występuje tarcie. Istnieją dwa przypadki realizacji przepływu Fanno: przepływ poddźwiękowy (Ma < 1) i przepływ naddźwiękowy (Ma > 1). W zakresie analizowanych procesów przemieszczania pneumatycznego mamy do czynienia z przepływami poddźwiękowymi.
W celu realizacji poddźwiękowego przepływu Fanno stosować można układ składający się z dyszy zbieżnej Bendemanna oraz dołączonego odcinka kanału o stałym przekroju. Sposób realizacji poddźwiękowego przepływu Fanno przedstawiono na rys.2. Podczas realizacji poddźwiękowego przepływu Fanno występują istotne zmiany parametrów płynu, a mianowicie: spadek ciśnienia i wzrost prędkości.



Rys.2. Realizacja poddźwiękowego przepływu Fanno.
Fig. 2. Realization of subsonic Fanno’s flow

Do realizacji zjawisk przepływowych stosujemy układy dysz: zbieżnej dyszy Bendemanna oraz zbieżno – rozbieżnej de Lavala.

Dysza zbieżna jest krótkim kanałem przepływowym o przekroju malejącym. W układzie dyszy zbieżnej nie można osiągnąć przepływu poddźwiękowego, o ile taki nie występował już na wlocie do dyszy. W stanie ustalonym masa strumienia jest niezmienna, a jego zagęszczenie wzrasta wzdłuż drogi przepływu. W bezpośredniej przestrzeni poza dyszą występuje wtórna ekspansja, polegająca na nagłym, niekontrolowanym rozprężaniu się płynu ściśliwego. Duże znaczenie praktyczne posiadają układy dysz połączonych np. szeregowo o tym samym przekroju minimalnym. Układ przepływowy dyszy zbieżno – rozbieżnej na rys.3.



Rys. 3. Przepływ płynu ściśliwego przez dyszę zbieżno – rozbieżną.
Fig. 3. Flow of compressible fluid through converging – divergent nozzle

3. KONSTRUKCYJNE ROZWIĄZANIA ZMIAN PRZEKROJU RUROCIĄGU TRANSPORTOWEGO

Zmiana przekroju rurociągu powinna gwarantować wprowadzenie zaburzeń przepływu ruchu strumienia dwufazowego przy zachowaniu jego ciągłości. Zaburzenia te wywołane celowo w określonych warunkach prędkości strumienia spowodować powinny bardziej intensywne ścieranie spoiwa z powierzchni ziaren osnowy.
Dobór kształtu i parametrów geometrycznych przewężeń dokonany powinien być zgodnie z analizą zjawisk występujących przy przepływie gazów przez przewód o zmiennym przekroju, czyli charakterystycznych dla dysz i dyfuzorów.
Z punktu widzenia termodynamiki dyszą nazywamy przewód o zmiennym przekroju, w którym czynnik rozpręża się w sposób ciągły przy jednoczesnym wzroście prędkości przepływu, dyfuzorem natomiast przewód, występuje zjawisko odwrotne tzn. sprężanie czynnika przy jednoczesnym zmniejszaniu jego prędkości. Termodynamiczne warunki przepływu najlepiej spełnia dysza Lavala. W przypadku, gdy mamy do czynienia z prędkościami poddźwiękowymi (podczas przemieszczania pneumatycznego), wystarczającym rozwiązaniem jest kształt zbieżny. Oznacza to możliwość zastosowania dyszy Bendemanna lub dyszy Witoszyńskiego. Dla potrzeb sterowanego zakłócenia przepływu strumienia dwufazowego wprowadzonego do rurociągu w warunkach poddźwiękowych najkorzystniej jest zastosować dyszę określoną wzorem Witoszyńskiego oraz dyfuzor Lavala. Dla prawidłowego przepływu dysza powinna posiadać u wylotu cylindryczną część prostującą. Rozkład prędkości w danym przekroju dyszy jest równomierny w ukształtowaniu profilu dyszy zgodnie z zależnością:

$$\frac{d}{d_{cr}} = \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{d_{cr}}{d_1} \right)^2 \right] \frac{\left(1-\xi^2\right)^2}{\left(1+0{,}33\xi^2\right)^3} \right\}^{-1} \tag{1}$$

gdzie: d_{cr} - średnica krytyczna, przy czym $\frac{d_{cr}}{d_1} = 0{,}416$

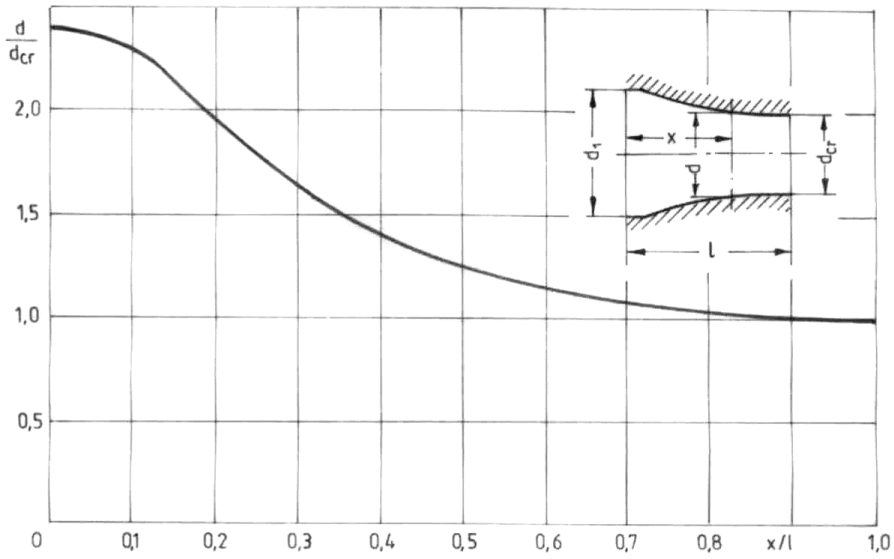
oraz $\xi = \frac{x}{l}$

Jak wiadomo z wcześniejszych rozważań dyfuzor poddźwiękowy posiada kształt rozbieżny. Jego długość zależy od kąta stożka δ_d, który w praktyce wynosi $6^0 - 8^0$. Stosowanie większych kątów nie jest wskazane z uwagi na możliwość oderwania się strumienia.

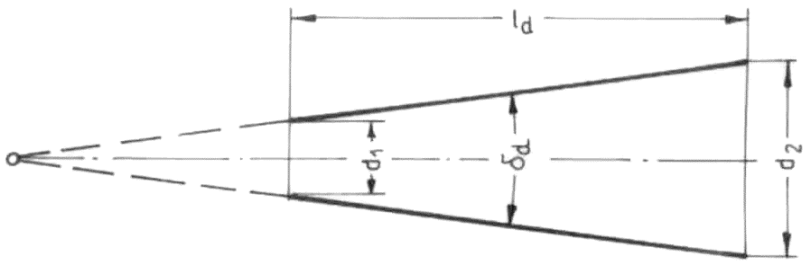
Długość dyfuzora oblicza się z zależności:

$$l_d = \frac{d_2 - d_1}{2tg\frac{\delta_d}{2}} \tag{2}$$

Powyższe parametry są zgodne z oznaczeniami przedstawionymi na rys. 4. i rys. 5.



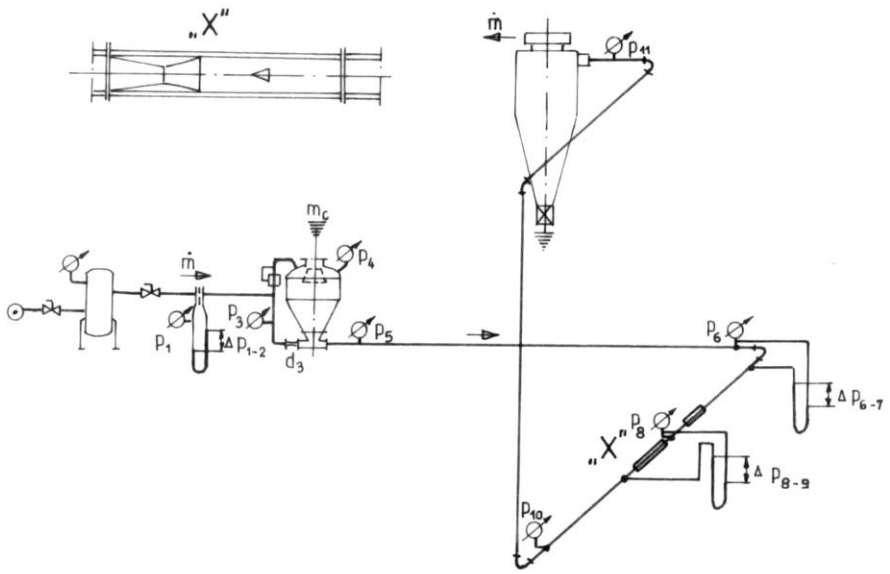
Rys.4. Profil dyszy poddźwiękowej określonej wzorem Witoszyńskiego
Fig. 4. Profile of sub sonic nozzle with Witoszyński's formula specified



Rys.5. Schemat wymiarowy dyfuzora poddźwiękowego.
Fig. 5. Dimensional scheme of subsonic diffuser

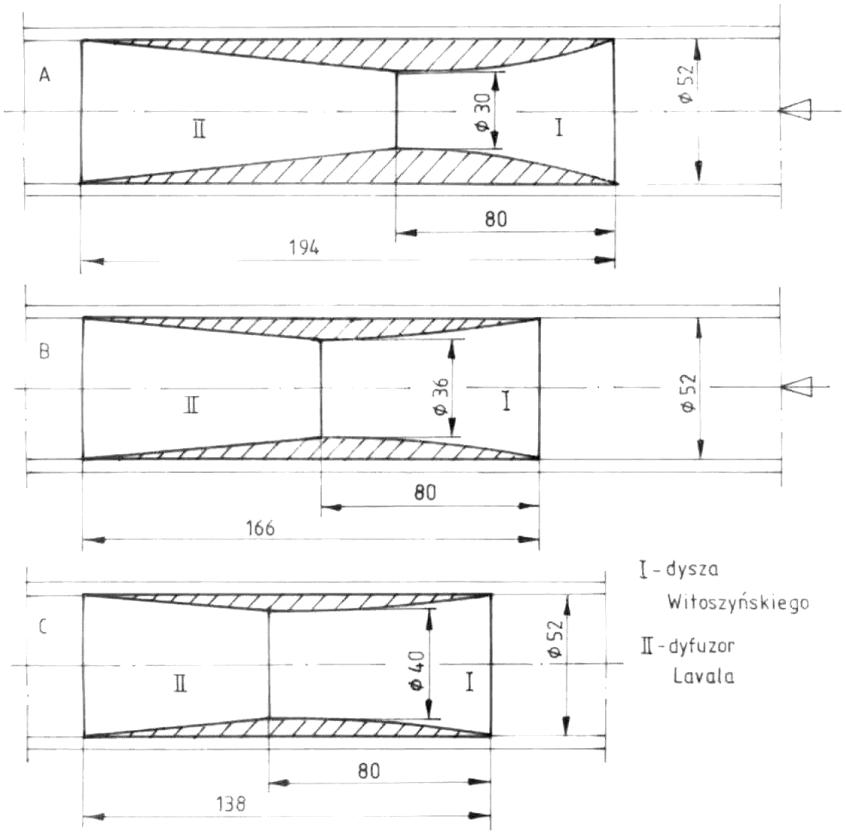
4. REALIZACJA PROCESU BADAWCZEGO

Dla realizacji postawionego zadania badawczego przeprowadzono eksperyment polegający na porównaniu parametrów charakteryzujących przepływ strumienia dwufazowego (powietrze i piasek kwarcowy) z przepływem strumienia jednofazowego (powietrze) w zróżnicowanych warunkach geometrycznych układu badawczego.
Układ urządzeń zastosowanych w procesie badawczym przedstawiono na rys. 6, który przystosowany został do analizy przebiegu przepływu strumienia w warunkach realizacji regeneracji z zastosowaniem regeneratora liniowego.



Rys.6. Schemat układu badawczego.
Fig. 6. Scheme of research system

Badania realizowano celem określenia zmian w strukturze ziarnowej materiału sypkiego (piasku kwarcowego) przemieszczanego pneumatycznie rurociągiem, w którym wprowadzano zaburzenia przepływu stosując zwężki. Zwężki montowane były w miejscu rurociągu zaznaczonym na schemacie (rys.6. – X), gdzie dokonywano pomiaru spadku ciśnienia oraz określano parametry charakteryzujące przepływ strumienia dwufazowego (prędkości, masowe stężenia mieszaniny piasku i powietrza). Rozwiązania konstrukcyjne zwężek stosowanych podczas prób zamieszczono na rys.7.



Rys.7. Rozwiązania konstrukcyjne zwężek stosowanych do zmiany przekroju rurociągu.
Fig. 7. Constructional solution of reducer using for pipeline cross-section change

Wprowadzając zmianę przekroju rurociągu zakłócony zostaje przepływ strumienia, a tym samym opory z tego wynikające są znacznie wyższe od oporów przepływu w rurociągu o stałym przekroju przy zbliżonych wartościach prędkości. Wielkość oporów uzależniona jest od stopnia przewężenia (S_p), określonego stosunkiem powierzchni przekroju wewnętrznego rurociągu transportowego (A) do powierzchni przekroju wewnętrznego zwężki (A_p). Dla poszczególnych układów badawczych stopnie przewężenia wynoszą:

- układ badawczy 0 S_p = 1,000
- układ badawczy A S_p= 3,004
- układ badawczy B S_p= 2,207
- układ badawczy C S_p= 1,690

Zakres zmian parametrów przepływu strumienia dwufazowego zawierał się w granicach: dla prędkości określonej w miejscu pomiaru ciśnienia p_8 od w_8=16,4 m/s do w_8=38,7 m/s oraz dla masowego stężenia mieszaniny powietrza transportującego i przemieszczanego piasku od μ_m=10,8 kg/kg do μ_m= 18,9 kg/kg. Oceny przebiegu procesu przemieszczania strumienia dwufazowego w przewężeniach dokonywano na podstawie pomiaru oporów przepływu Δp_{8-9} i zmian w uziarnieniu piasku przed i po procesie (analiza sitowa). Efektywność stosowanych zwężek określano porównując przepływ strumienia w układach badawczych A, B i C z wynikami uzyskanymi w układzie 0 (bez zwężek).

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dokonując oceny skuteczności wprowadzonych przewężeń w zakresie ściernego oddziaływania na przemieszczany piasek kwarcowy przeprowadzono analizę warunków przebiegu procesu. Porównując zmiany oporów przepływu strumienia przez zwężki (układy A,B i C) z prostym odcinkiem rurociągu (układ 0) określono wielokrotności wzrostu tego parametru. Przy prędkości strumienia dwufazowego w_8= 18m/s i masowym stężeniu mieszaniny μ_m=12 kg/kg opory przepływu przez zwężkę w układzie A były 12- krotnie większe od oporów w układzie 0. W zbliżonych warunkach przepływu strumienia przez zwężki w układzie B opory wzrosły ok. 6 razy oraz w układzie C ok. 3,5 – krotnie. Analiza porównawcza oporów przepływu (Δp_{8-9}) wykazuje, że ze wzrostem prędkości przemieszczania strumienia dwufazowego rosną opory oraz wyższe wartości stężenia masowego mieszaniny powodują ich wzrost. Dla przykładu można podać, że przy przepływie strumienia dwufazowego przez zwężkę w układzie A z prędkością w_8=18,9 m/s i stężeniu masowym mieszaniny μ_m=16.2 kg/kg opory wzrosły 23-krotnie w porównaniu z przepływem przez odcinek rurociągu w układzie 0. Jednakże istotą analizowanego problemu nie jest wzrost oporów, lecz ścierne oddziaływanie ziaren piasku między sobą, co decyduje o prawidłowym przebiegu regeneracji osnowy mas formierskich. Wzrost oporów odzwierciedla wyższą skuteczność ściernego oddziaływania elementów zaburzających przepływ strumienia w założonych warunkach, co zostało potwierdzone wynikami badań laboratoryjnych piasku kwarcowego. Na podstawie analizy sitowej stwierdzono, że średnia przeliczeniowa wielkość ziaren (średnica zastępcza) przy 23-krotnym wzroście oporów uległa zmniejszeniu o ok.6% (d_z=0,214 mm przed przemieszczaniem i d_z=0,202 mm). Obserwacje mikroskopowe nie wykazały zniekształceń na powierzchni ziaren w postaci złuszczeń lub pęknięć (kruszenia). Świadczy to o prawidłowym przebiegu procesu ścierania w analizowanym układzie.

LITERATURA

[1] Szlumczyk H., Gawroński J. „Regeneracja mas formierskich w regeneratorze liniowym", Konferencja Odlewnicza, Technical 2002, Nowa Sól, 2002,
[2] Szlumczyk H., Gawroński J. „ Regenerator liniowy- nowoczesna technologia pneumatycznej regeneracji mas formierskich", Archiwum Odlewnictwa PAN O/Katowice nr 8, 2003,
[3] Szlumczyk H., Homa D., Majchrzak R. „Przemysłowe zastosowania transportu pneumatycznego systemu POLKO", Przegląd Odlewnictwa nr 2, 2002,
[4] Szlumczyk H., Homa D., „Analiza transportu pneumatycznego w aspekcie zastosowań technologicznych", Transport Przemysłowy nr 1/2000, Wrocław 2000,
[5] Goliński J.A., Troskolański A.T.," Strumienice", WNT, Warszawa 1979,
[6] Koch R., Noworyta A. „Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej", WNT Warszawa 1992,

ANALYSIS OF DIPHASE STREAM IN THE LINEAR REGENERATOR

SUMMARY

In this article were presented the analysis of diphase gas-sand stream in the pipelines with changeable section, taking particle interaction conditions into consideration during its moving trajectory changing. This phenomenon is used in molding sand reclamation process in linear regenerator. That kind of sand reclamation consists in grain surface cleaning for using the sand grains in the next technological cycle. Effective method of loose material grains surface cleaning is abrasive particle reaction between themselves or at structural system parts. In the linear regenerator the cleaning is going in conditions of particles interaction caused by its moving trajectory in ascending gas stream (air). The article is a description of gas stream moving in nozzles and tubes for realization of sand reclamation process in linear regenerator.

Recenzował Prof. Jan Szajnar