

Józef DAŃKO

Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków

WŁAŚCIWOŚCI DWUFAZOWEGO TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO STRUMIENIA POWIETRZNO-PIASKOWEGO W MASZYNACH DMUCHOWYCH

Streszczenie. Badania własne, dotyczące dynamicznego oddziaływania strumienia piaskowo-powietrznego na warstwy masy w rdzennicy, umożliwiły identyfikację wpływu parametrów roboczych procesu dmuchowego na jego rzeczywisty przebieg. Określenie takich wielkości, jak siły naporu dynamicznego strumienia piaskowo-powietrznego w połączeniu z pomiarem natężenia wypływu masy z otworu strzałowego pozwoliło na znaczne uproszczenie struktury wzorów stosowanych do obliczania pneumatycznych i technologicznych parametrów procesu.

PROPERTIES OF TWO-PHASE PNEUMATIC TRANSPORT OF SAND-AIR JET IN BLOWING MACHINES

Summary. Author's own investigations of an effect of the dynamic action of sand-air jet on sand mixture in a core box allows to identify the effect of the operating parameters of a blowing process on its effective course. Such determined quantities as dynamic force of sand-air jet combined with the sand-air flow rate enables considerably simplification the structure of formulae used for the calculation of pneumatic and technological parameters of the process.

Wstęp

Masa wpływająca z komory naboowej strzelarki ma postać dwufazowego strumienia, w którym fazę stałą stanowią cząstki masy rdzeniowej lub formierskiej, natomiast fazą gazową jest powietrze o ciśnieniu równym ciśnieniu w zbiorniku masy. We wnęce rdzennicy z mieszaniny piaskowo-powietrznej zostaje oddzielona masa, która wypełniając rdzennicę jednocześnie przyjmuje kształt jej wnętrza i ulega zagęszczeniu. Osobliwością procesu jest bezprzewodowy,

dwufazowy transport pneumatyczny strumienia powietrzno-piaskowego na odcinku od otworu dmuchowego do rdzennicy i związane z nim przyspieszanie ziarn masy, w którym nie występuje tarcie masy o ściany przewodu transportującego.

1. Parametry strumienia piaskowo-powietrznego w odlewniczych maszynach dmuchowych

Do opisu procesu dmuchowego konieczne jest określenie i pomiar szeregu wielkości w nim występujących, z których jedne mają podstawowe znaczenie, natomiast inne są wielkościami pomocniczymi. Wielkości podstawowe, uzyskiwane najczęściej w wyniku pomiarów doświadczalnych, integrują w sobie wpływy szeregu zmiennych wielkości procesu na jego przebieg. W procesach dmuchowych takimi wielkościami, wpływającymi na uzyskane zagęszczenie masy oraz na rzeczywisty czas procesu zapełniania wnęki technologicznej, są:

- natężenie wypływu masy z komory nabojoyej,
- wartość siły oddziaływania dynamicznego strumienia piaskowo-powietrznego na warstwy masy zawarte w rdzennicy,

Wielkości pomocnicze to przede wszystkim te parametry strumienia piaskowo-powietrznego, które analizowane w kategoriach transportu pneumatycznego uwzględniają:

- gęstość strumienia powietrzno-piaskowego lub wielkości bezpośrednio związane z gęstością (koncentracja lub stężenie objętościowe bądź ciężarowe fazy stałej, porowatość),
- uśrednioną prędkość obu faz składowych strumienia piaskowo-powietrznego,

2. Główne parametry robocze maszyn dmuchowych - metody ich pomiaru

2.1. Dynamiczny napór strugi piaskowo-powietrznej

Jako miarę dynamicznego oddziaływania strugi piaskowej na warstwy masy znajdujące się w rdzennicy przyjęto we wcześniejszych badaniach własnych [1] wartość siły naporu w osi działania tej siły prostopadle do jej wektora:

$$P_D = \rho_{str} \cdot c_m^2 \cdot f_1, \quad f_1 = 0,25 \cdot \pi \cdot D_1^2, \quad (1)$$

gdzie: f_1 - powierzchnia otworu strzałowego; m , c_m - rzeczywista prędkość strumienia w ruchu ustalonym; m/s, ρ_{str} - gęstość strumienia piaskowo-powietrznego; kg/m^3 , d_1 - średnica otworu strzałowego; m.

Natężenie wypływu strumienia piaskowo-powietrznego jest równe:

$$M = \frac{\Delta m}{\Delta \tau}, \quad (2)$$

gdzie: Δm - ilość masy wypływająca z komory naboowej w jednym cyklu roboczym maszyny; kg, $\Delta \tau$ - rzeczywisty czas ewakuacji masy określony z wykresu siły dynamicznej; s.

Do pomiaru siły naporu strumienia piaskowo-powietrznego zaprojektowano i wykonano ciśnieniowy przetwornik siły, wprowadzony do układu pomiarowego strzelarki [2]. Przykładowe przebiegi czasowe siły P_D w połączeniu z przebiegami ciśnienia p_b w komorze naboowej przedstawiono na rysunku 1 dla trzech badanych rodzajów masy. Z kolei na rysunku 2 przedstawiono dla tych samych warunków przebiegi czasowe natężenia wypływu masy M oraz współczynnika stężenia objętościowego m_v fazy stałej w strumieniu piaskowo-powietrznym. Należy zaznaczyć, że czasowe przebiegi analizowanych wielkości, z wyjątkiem ciśnienia, nie mają swoich odpowiedników w dostępnej literaturze przedmiotu.

2.2. Koncentracja strumienia piaskowo-powietrznego i jej pomiar

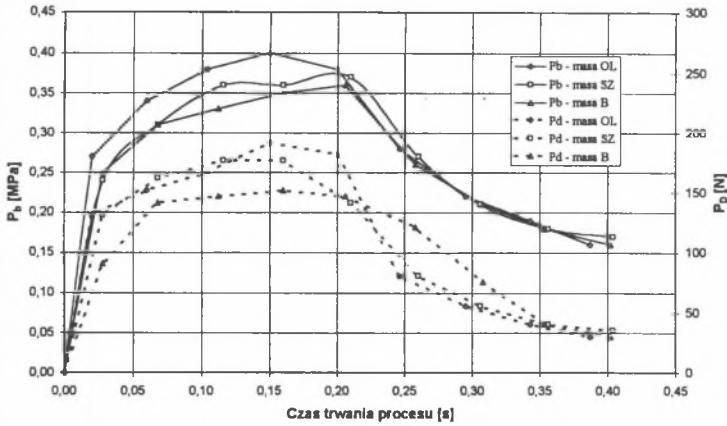
Adaptacja definicji koncentracji objętościowej, stosowanej w publikacjach odnoszących się do ośrodka dwufazowego gaz - ciało stałe [3], pozwala w odniesieniu do strumienia piaskowo-powietrznego napisać, że

$$\mu_v = \frac{V_m}{V_p} = \frac{v_z \cdot n_z}{V_p}, \quad (3)$$

Stężenie cząstek masy w strumieniu powietrza, w inny sposób oddające sens koncentracji, wynosi:

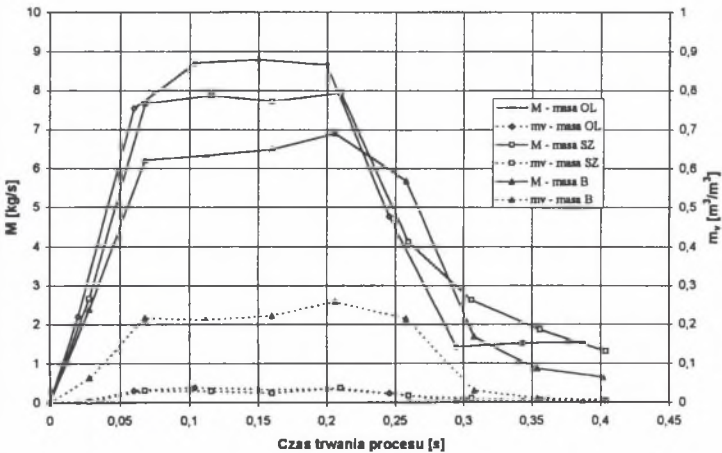
$$m_v = \frac{v_z}{V_c}, \quad (4)$$

gdzie: V_m - sumaryczna, rzeczywista objętość cząstek przenoszonej masy; m , V_m - objętość unoszonej masy, V_p - objętość powietrza unoszącego masę, v_z - objętość pojedynczej cząstki masy, n_z - liczba cząstek masy, $V_c = v_z \cdot n_z + V_p$ - całkowita (sumaryczna) objętość elementarnej porcji masy i powietrza.



Rys. 1. Przebiegi czasowe siły P_D i ciśnienia p_b w komorze nabojewej dla badanych rodzajów masy: strzelarka o pojemności komory nabojewej 3 dm^3 , ciśnienie robocze $p_r = 0,6 \text{ MPa}$, średnica przelotu zaworu strzałowego (d_0) i otworu strzałowego (d_1) równe 25 mm [2]

Fig. 1. The time-run diagrams of sand-air dynamic force P_D , and pressure p_b in shooting chamber for testing sands. The volume of core shooter's chamber equal 3 dm^3 , operating pressure $p_r = 0,6 \text{ MPa}$, diameters of shooting valve intake (d_0), and shooting hole (d_1) both equal 25 mm [2]



Rys. 2. Przebiegi czasowe natężenia wypływu masy M oraz współczynnika stężenia objętościowego m_v fazy stałej w strumieniu piaskowo-powietrznym. Warunki realizacji procesu jak na rys. 1

Fig. 2. The time-run diagrams of core sand flow rate M and volume concentration coefficient m_v of solid phase in sand-air jet. All testing conditions and process parameters - same as presented on fig. 1

Związki łączące obie zdefiniowane wielkości są następujące:

$$\mu_v = \frac{m_v}{1 - m_v}; \quad m_v = \frac{\mu_v}{1 + \mu_v}. \quad (5)$$

Wielkości występujące we wzorze (5) można rozpatrywać jako średnie w całym okresie ewakuacji masy lub jako wartości chwilowe, przy czym wyrażające je wzory mają następującą postać:

$$\mu_v = \frac{\rho_{str} - \rho_p}{\rho_m - \rho_{str}}; \quad m_v = \frac{\rho_{str} - \rho_p}{\rho_m - \rho_p} \quad (\text{wartość średnia}), \quad (6)$$

$$\mu_{v(\tau)} = \frac{\rho_{str(\tau)} - \rho_p}{\rho_m - \rho_{str(\tau)}}; \quad m_{v(\tau)} = \frac{\rho_{str(\tau)} - \rho_p}{\rho_m - \rho_p} \quad (\text{wartość chwilowa}). \quad (6a)$$

3.3. Gęstość strumienia powietrzno-piaskowego

Analogicznie, gęstość strumienia powietrzno-piaskowego może również być przedstawiona jako wartość średnia w czasie trwania procesu lub jako wartość chwilowa:

$$\rho_{str} = \frac{M^2}{f_1 \cdot P_D} \quad (\text{wartość średnia}), \quad \rho_{str(\tau)} = \frac{M_{(\tau)}^2}{f_1 \cdot P_{D(\tau)}} \quad (\text{wartość chwilowa}), \quad (7)$$

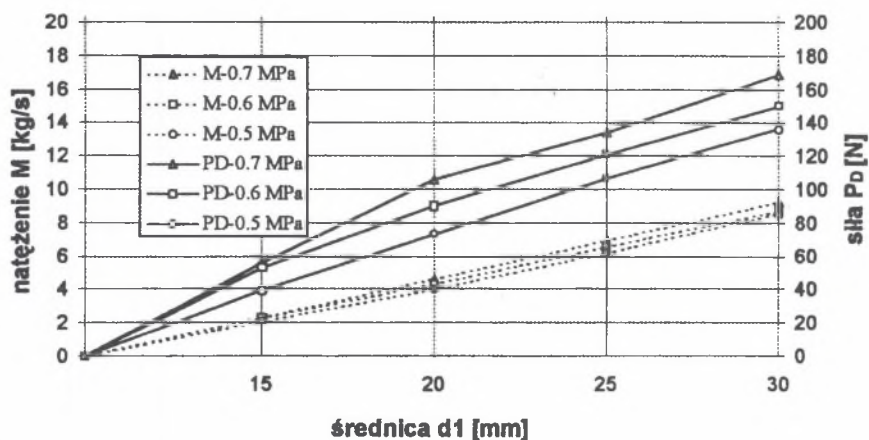
gdzie: ρ_{tech} - gęstość powietrza w warunkach technicznych; kg/m^3 , p_{str} - ciśnienie powietrza w strumieniu (statyczne); Pa, κ - wykładnik adiabaty ($\kappa = 1,41$).

3. Realizacja pomiaru i uzyskane wyniki badań

Chwilowe wartości natężenia wypływu masy były mierzone za pomocą specjalnego przyrządu, usytuowanego pod otworem wylotowym komory nabojoyej na drodze strumienia piaskowo-powietrznego. Przyrząd ma postać obracającej się poziomej tarczy, na obwodzie której rozmieszczono 14 pojemników o pojemności $0,2 \text{ dm}^3$, przechwytyjących strumień masy wypływającej z głowicy strzałowej do naczyń przesuwających się wraz z kołem. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sporządza się wykresy ilustrujące czasowe przebiegi natężenia wypływu M_i , wykorzystując wartości reprezentujące ilość masy zgromadzonej w poszczególnych pojemnikach Δm_i ; i zmierzony czas ich zapełniania $\Delta \tau_i$.

Dane, dotyczące wpływu średnicy otworu strzałowego na wartość siły naporu dynamicznego, natężenia wypływu dla jednego, określonego rodzaju masy i ciśnienia roboczego zostały przedstawione graficznie na rysunku 3.

Wpływ średnicy otworu strzałowego na badane wielkości w zakresie ciśnienia roboczego 0,45 – 0,7 MPa, ilustrują dane zawarte w tabeli 1.



Rys.3. Wpływ średnicy otworu strzałowego na wartości natężenia wypływu masy i siły naporu dynamicznego strumienia piaskowo-powietrznego na warstwy masy w rdzennicy

Fig.3. An influence of shooting hole diameter on sand flow rate value and sand-air dynamic force P_D , exerted upon sand layers in core box

Tabela 1

Parametry strumienia piaskowo-powietrznego uzyskane dla różnych rodzajów masy rdzeniowej w zakresie ciśnienia roboczego $p_r = 0,45 - 0,7$ Mpa

Parametry (wielkości)	Masa Ol			Masa Sz			Masa B		
	0,015	0,020	0,025	0,015	0,020	0,025	0,015	0,020	0,025
Średnica d_1 ; [m]	0,015	0,020	0,025	0,015	0,020	0,025	0,015	0,020	0,025
Gęstość strumienia ρ_{str} ; [kg/m ³]	580,7	367,6	188,3	448,2	284,5	172,7	224,7	205,5	141,5
Prędkość mieszanki 2 fazowej c_m ; [m/s]	21,75	33,88	50,32	33,80	34,78	49,23	40,00	42,20	51,67
Koncentracja objętościowa m.; [m ³ /m ³]	0,223	0,141	0,072	0,172	0,109	0,066	0,086	0,079	0,054
Jednostkowe natężenie q ; [kg/m ² s]	14966	11817	9050	10766	9616	8217	8983	8200	7283

Badania przeprowadzono dla czterech rodzajów masy rdzeniowej, przy czym masa oznaczona symbolem "O1" zawierała olej lub pokost lniany jako spoiwo. W masie oznaczonej "Sz" spoiwem było szkło wodne, natomiast masa oznaczona "B" była masą syntetyczną, zawierającą 6% bentonitu i 2% wody. Masy testowe dobrano ze względu na odmienne właściwości technologiczne, fizyko-mechaniczne i różny przebieg ich ewakuacji ze strzelarki, płynięcie we wnętrzu rdzennicy oraz zagęszczanie.

5. Podsumowanie wyników badań

Konfrontacja danych przytoczonych w tabeli 1 z wartościami koncentracji uzyskanymi przez Rakogona [4] i we wcześniejszych badaniach własnych, prowadzonych według metody tradycyjnej, podanej przez Aksjonowa [5], pozwala stwierdzić, że otrzymane wartości są praktycznie o jeden rząd wielkości większe. Czynnikiem weryfikującym poprawność zastosowanej metody własnej jest uzyskiwanie takich samych wartości jednostkowego natężenia wpływu masy q [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] oraz prędkości strumienia c_m podanych przez Aksjonowa.

Zaproponowana metoda umożliwia identyfikację wpływu parametrów roboczych procesu dmuchowego na jego rzeczywisty przebieg. Określenie wartości siły naporu dynamicznego strumienia piaskowo-powietrznego w połączeniu z pomiarem natężenia wypływu masy z otworu strzałowego pozwala na znaczne uproszczenie struktury wzorów stosowanych do obliczania pneumatycznych i technologicznych parametrów procesu. Właściwości quasi-hydrauliczne strumienia, reprezentowane przez prędkość, gęstość lub koncentrację fazy stałej oraz intensywność wypływu masy, określoną przez jednostkowy wydatek fazy stałej i przez siłę naporu dynamicznego strumienia, można kształtować i kontrolować w stosunkowo szerokich granicach za pomocą odpowiedniej konstrukcji maszyny, doboru parametrów roboczych i rodzaju stosowanej masy. W pracy [2] wykazano istnienie jednoznacznych związków pomiędzy wielkościami determinującymi właściwości quasi-hydrauliczne strumienia piaskowo-powietrznego a wydatkiem masy i siłą naporu dynamicznego.

LITERATURA

1. Pelczarski S., Dańko J.: Dynamiczne oddziaływanie strumienia piaskowo-powietrznego na warstwy masy w rdzennicy. PAN – Kraków, Metalurgia 23, 147 – 161 (1975).
2. Dańko J.: Monografia: Proces wytwarzania rdzeni i form odlewniczych metodami dmuchowymi. Badania i teoria. Zeszyty Naukowe Metalurgia i Odlewnictwo nr 145, AGH Kraków 1992.
3. Orzechowski Z.: Przepływy dwufazowe, jednowymiarowe, ustalone, adiabatyczne. PWN, Warszawa 1990.
4. Rakogon W. G.: Teoria i praktyka izgotowlenija stierzniej pieskodownym sposobom. Mszgiz, Moskwa 1962.
5. Aksjonow P. N.: Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych. Wyd. "Śląsk", Katowice 1965.

Recenzent: Prof.dr inż. Zbigniew Piątkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 17.10.1997 r.

Publikacja w ramach badań finansowanych przez KBN, praca statutowa AGH nr 11.170.230

Abstract

The paper gives the basis for consideration of the dynamic pressure force of the sand-air jet flowing from the shooting chamber as the factor of evaluation of the efficiency of core shooting machines in the aspect of proper compacting of mould and cores produced by shooting. The described method of direct dynamic pressure force measurement may be adopted to compare core shooters of different designs from the point of view of their ability to compact sand in the core box. Since the higher are the values of sand jet impact force in the core box the higher are the obtained values of sand compaction. With the known value of the impact force achieved in a shooting machine of a given design, an adequate machine may be chosen for the production of required cores or moulds. After the method described one could determine the

density of the sand-air suspension in the jet as well as to calculate, more precisely than it was possible hitherto, the values of volumetric concentration which, besides the velocity, represent the main factor in the formulae determining the optimal condition for the process of mould and core shooting.