

Tadeusz SZMIGIELSKI, Ireneusz DZWONNIK

Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra

## TRANSPORT PNEUMATYCZNY PYŁU Z OGRANICZONYM ODBIOREM

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki z procesu nanoszenia pyłu węglowego na formy piaskowe metodą ID. Dokonano analizy ruchu cząstek pyłu w kierunku wnęki formy oraz określono mechanizmy biorące udział w zatrzymywaniu pyłu w masie formierskiej.

## PNEUMATIC TRANSPORT OF COAL DUST WITH THE LIMITED OUTLET

**Summary.** The results of coating the green sand mixes by coal dust with the use of ID method have been presented in the paper. The movement of coal dust particles towards mould cavity has been analysed and the mechanism responsible for the retention of dust by sand mixers has been determined.

### 1. Wprowadzenie

Proces ID związany z pokrywaniem form piaskowych proszkami wielofrakcyjnymi, jak np. pył węglowy, jest procesem bardzo złożonym. Złożoność ta polega na trudności sterowania procesem unoszenia pyłu, jak również procesem zatrzymywania ziaren pyłu w formie piaskowej.

Sam proces nanoszenia można podzielić na trzy fazy:

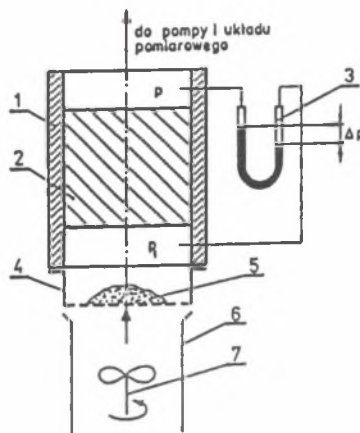
- a) wytworzenie zawiesiny pyłu w powietrzu w obszarze przed wnęką formy,
- b) transport zawiesiny do wnęki formy,
- c) zatrzymanie pyłu w formie i przepuszczenie powietrza przez formę piaskową.

Proces nanoszenia można zaliczyć do klasycznego procesu filtracji powierzchniowej [3] ze względu na przepływ układów dwufazowych (pył + powietrze) i złożę porowate (forma

piaskowa). Na podstawie wcześniejszych badań [5,6] stwierdzono, że pył węglowy jest pyłem wielofrakcyjnym o zróżnicowanym kształcie ziaren. Nie gwarantuje to, że wszystkie ziarna zostaną uniesione do powierzchni formy. Z kolei sama forma należy do ośrodków porowatych o różnej konfiguracji wnęki formy oraz trudnej do opisanie strukturze wewnętrznej [6]. W związku z tym problematyczne z punktu widzenia technologii procesu może być uzyskanie odpowiedniej jakości wytworzonej warstwy. W celu określenia wpływu poszczególnych czynników biorących udział w procesie nanoszenia dokonano analizy w zakresie ruchu cząstek pyłu, będącego w zawieszinie powietrza oraz określono mechanizmy biorące udział w zatrzymywaniu pyłu w masie.

## 2. Ruch ziaren pyłu węglowego w procesie nanoszenia

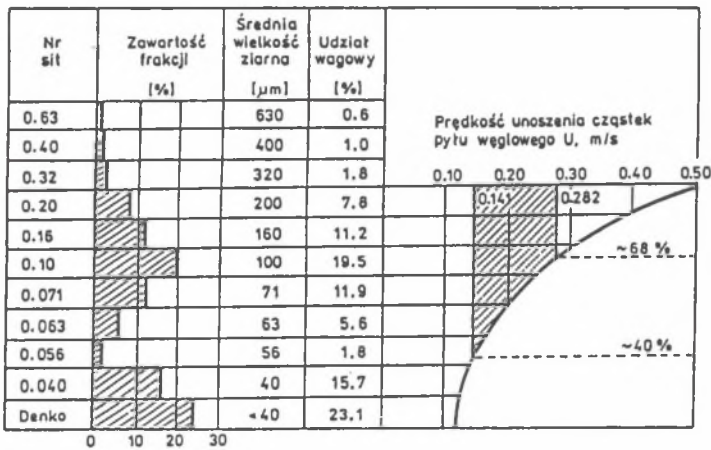
Pył węglowy nanoszono metodą ID na urządzeniu, którego schemat przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat urządzenia do nanoszenia pyłu metodą ID  
Fig. 1. Scheme of device for covering moulds surface with by ID - suction method

Zagęszczoną w tulei (1) próbkę masy formierskiej (2) jako formę zakładano do urządzenia i uszczelniano układ. Górna strona tulei (1) była dociskana do głowicy, w której wytwarzano obniżone ciśnienie ( $p$ ). Dolną część tulei (1) zamykano pojemnikiem (4) z dnem perforowanym, na którym rozprowadzano określoną ilość wysuszonego pyłu węglowego (5). Wywołując obniżone ciśnienie ( $p$ ) wymuszono przepływ powietrza w układzie przez perforo-

wane dno pojemnika (4) i przez warstwę pyłu węglowego (5). Powietrze, przepływając z ustaloną prędkością  $U$ , unosiło ziarna pyłu zalegające w warstwie bądź będące w zawieszinie powietrznej. Unoszone ziarna pyłu były zatrzymywane i osadzone w przypowierzchniowej warstwie formy, tworząc mieszaninę pyłu i masy formierskiej. Ilość pyłu zatrzymywanego w masie formierskiej określano stężeniem w warstwie masy o grubości 1mm. Ilość tę wyrażono w procentach [5]. W badaniach użyto odlewniczego pyłu węglowego z Bytomia, którego skład ziarnowy i prędkość unoszenia poszczególnych odsiewów przedstawiono na rys. 2.

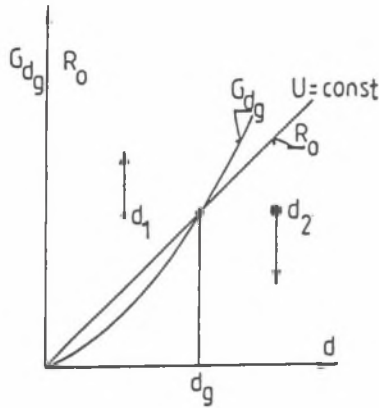


Rys. 2. Skład ziarnowy pyłu węglowego (a), oraz prędkość „unoszenia” (b)  
 Fig. 2. Grain composition of coal dust (a) and drifting velocity (b)

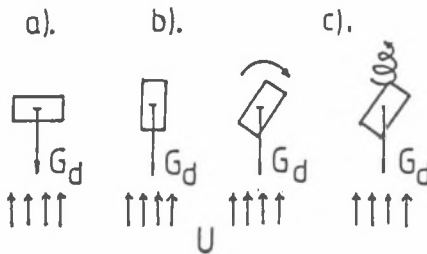
Zgodnie z prawem Stokesa, aby wystąpił ruch cząsteczek zalegających w warstwie, prędkość  $U$  przepływającego powietrza w układzie zasysającym musi być większa od prędkości „unoszenia” cząstki.

Według schematu ideowego przedstawionego na rys.3 przy ustalonej prędkości przepływu wystąpi rozdział pyłu na klasy ziarnowe. Ziarna o wymiarach  $d_1 < d_g$  będą unoszone ku górze w stronę powierzchni formy, natomiast ziarna o wymiarach  $d_2 \geq d_g$  pozostają w warstwie zalegającego pyłu, gdyż siła  $G_{d_2} > R_{o_2}$ . Przy wzroście prędkości  $U$  ponad prędkość unoszenia wszystkie ziarna o wymiarze  $d$  będą transportowane zgodnie z kierunkiem przepływającego powietrza, osiągając powierzchnię formy. W przypadku pyłu węglowego wielkości ziaren są zróżnicowane, a ustalenie jakiegoś typowego ich kształtu jest bardzo trudne. Powstaje problem określenia prędkości unoszenia na podstawie znanych w literaturze wzorów matematycznych. Duże błędy mogą wystąpić przy określaniu siły oporu hydrodynamicznego [2,4]. Jeżeli kształt

ziarna pyłu jest w formie płytki jak na rys.4, wtedy wartość siły oporu  $R_o$  będzie zależna od położenia i ruchu ziarna w stosunku do kierunku płynącego powietrza.



Rys. 3. Ruch cząstek pyłu w zawieszynie płynącego powietrza z prędkością  $U$   
 Fig. 3. Movement of dust particles in air suspension flowing with the velocity  $U$



Rys. 4. Przykłady ruchu niekulistych cząstek pyłu w zawieszynie  
 Fig. 4. Examples of movement of non-globular dust particles in air suspension

Nie ulegnie zmianie siła  $G_{dg}$ , ponieważ ziarno ma stałą masę, natomiast siła  $R_o$  zależy od wielkości powierzchni czołowej. Dla ziarna zorientowanego jak na rysunku 4a powierzchnia (oporowa) jest największa i wtedy ( $R_o > G_{dg}$ ) przy ustalonej prędkości  $U$  ziarno jest unoszone do góry. Dla ziarna zorientowanego jak na rys. 4b powierzchnia oporowa jest znacznie mniejsza niż na rys. 4a i unoszenie ziarna może być ograniczone przy niezmiennych warunkach przepływu. Ziarna zorientowane jak na rys. 4c, d, podlegające ruchowi obrotowemu lub śrubowemu, powodować mogą oscylacyjny ruch dodatkowo zakłócając stan równowagi sił  $G_{dg}$  i  $R_o$ . Z obserwacji poszczególnych klas ziarnowych pyłu wynika, że ziarna

$\geq 320\mu\text{m}$  mają kształt zbliżony do płytek jak na rys. 4. W związku z tym do dalszych badań użyto pyłu, z którego usunięto ziarna  $\geq 320\mu\text{m}$ . Na rys. 2b przedstawiono prędkości unoszenia ziaren zalegających w warstwie nieruchomej. Z przebiegu zależności  $U=f(d_{cz})$  wynika, że przy minimalnej prędkości przepływu powietrza  $U=0,141$  m/s około 40% ogólnej ilości pyłu zostanie przetransportowana do powierzchni formy, przy prędkości  $U=0,282$  m/s około 68% pyłu, a dla prędkości  $U=0,5$  m/s około 90% pyłu użytego do próby osiąga powierzchnię formy.

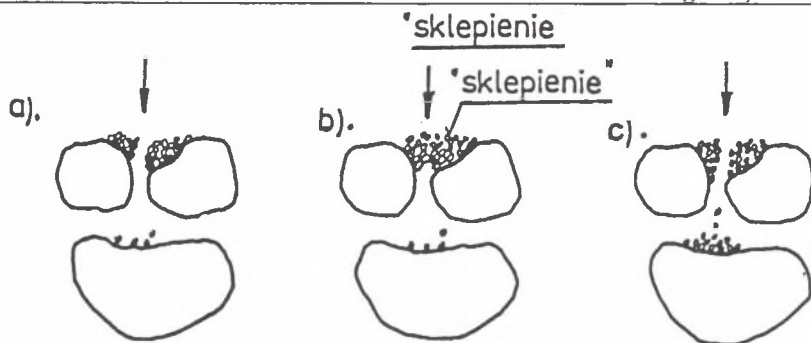
### 3. Zatrzymywanie i osadzanie ziaren pyłu w masie formierskiej

Kiedy ziarno pyłu znajdzie się w bezpośredniej odległości od przegrody porowatej, zaczyna podlegać prawu wynikającemu z teorii filtracji i mechanizmów zatrzymywania ziaren. Przeprowadzona analiza teoretyczna [6] pozwoliła wyodrębnić trzy mechanizmy mogące brać udział w zatrzymywaniu ziaren pyłu. Są to: mechanizm przegrodowy  $M_p$ , mechanizm bezpośredniego zaczepienia  $M_z$  i mechanizm bezwładnościowy  $M_b$ . Ilościowy udział mechanizmów ( $M_p, M_z, M_b$ ) w zatrzymywaniu ziaren pyłu jest uzależniony od struktury wewnętrznej zagęszczonej masy formierskiej, wielkości, kształtu ziaren pyłu oraz od parametrów zasysania pyłu [6]. Dla masy formierskiej kryterium oddziaływania mechanizmu przegrodowego wyrazić można zależnością:

$$d_{cz}/d_p \geq 1; \quad (1)$$

kiedy  $d_{cz}/d_p < 1$ , w zatrzymywaniu ziarna pyłu będą dominować mechanizmy  $M_z$  i  $M_b$ , gdzie:  $d_{cz}$  - średnica ziarna pyłu,  $d_p$  - średnica kanalika.

Jeżeli czas zasysania pyłu będzie wydłużony ( $>10$  sekund), wtedy ziarna osadzone na powierzchni zagęszczonej masy bądź w pobliżu wlotu do kanalika powodują zmniejszenie przekroju wlotu do kanalika (rys. 5a) aż do jego zatkania (rys. 5b). Utworzone „sklepienie” jest przegrodą mechaniczną dla ziaren będących w zawieszynie. W tym okresie w zatrzymywaniu ziaren pyłu dominuje mechanizm przegrodowy  $M_p$ . Jeżeli opór utworzonego „sklepienia” znacznie przekroczy wartość sił przyczepności ziaren w warstwie,



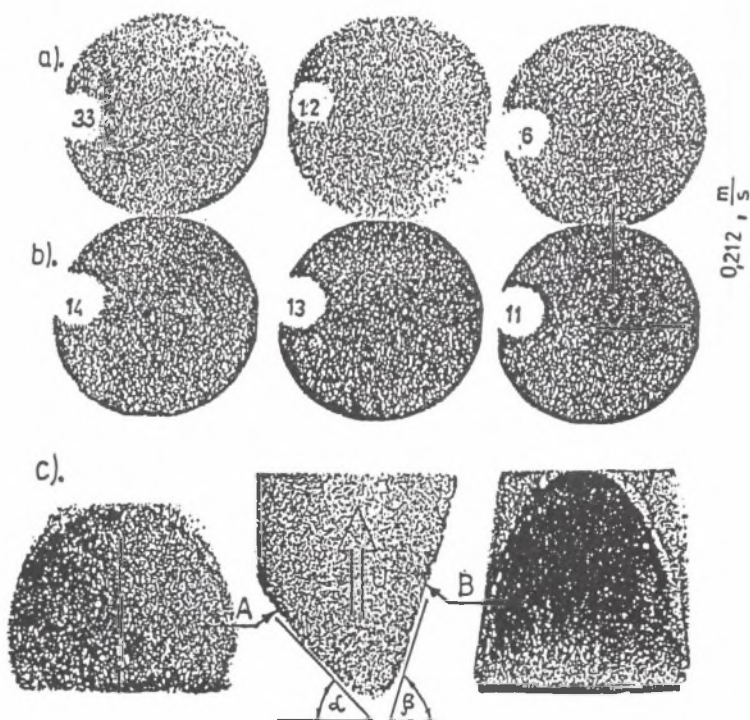
Rys. 5. Schemat zatrzymywania ziaren pyłu węglowego  
Fig. 5. Scheme of coal dust retention process

może wystąpić przerwanie „sklepienia”. Wtedy znaczna część ziaren pyłu zostanie osadzona w głębszych warstwach masy (rys.5c).

#### 4. Efekty nanoszenia pyłu węglowego na formy o różnej konfiguracji wnętrza

Pył węglowy nanoszono na formy doświadczalne wykonane z mas opartych na piaskach grubych o liczbie ziarnistości  $L = 42$  i frakcji głównej 0,20/0,40/0,32 oraz piaskach drobnymi o liczbie  $L=62$  i frakcji 0,20/0,16/0,10. Masy zagęszczano do gęstości  $\rho = 1630 \text{ kg/m}^3$ . Rezultaty nanoszenia pyłu węglowego z odsianą frakcją powyżej sita 0,63 przedstawiono na rys. 6.

Na rys. 6a i b przedstawiono płaskie powierzchnie kształtek cylindrycznych z naniesionym pyłem, przy prędkości przepływu  $U = 0,212 \text{ m/s}$ , w czasie zasysania odpowiednio  $\tau_F = 5, 10$  i 30 sekund. Rysunek 6a ilustruje efekty krycia powierzchni mas opartych na piasku grubym o  $L=42$ , natomiast na rys. 6b mas opartych na piasku drobnym o  $L=62$ . Porównując ze sobą powierzchnie pokryte pyłem widać różnice w stopniu zaczernienia tych powierzchni. Im dłuższy czas nanoszenia, tym różnice są mniejsze. Z analizy wymiarowej ziarna pyłu węglowego (rys 2) oraz średnic kanalików masy  $d_p = (3 \text{ do } 7) \cdot 10^{-5} \text{ m}$  [6] wynika, że poszczególne ziarna zatrzymywane są w wierzchniej warstwie masy głównie w wyniku oddziaływania mechanizmu przegrodowego  $M_p$  (kryterium - 1). W efekcie otrzymuje się powierzchnię o większym stopniu zaczernienia (rys. 6b). W przypadku ziaren, dla których kryterium (1) nie jest spełnione, tzn.  $d_{cz}/d_p < 1$ , zatrzymywanie ich w masie jest wynikiem oddziaływania mecha-



Rys. 6. Powierzchnia formy piaskowej z naniesionym pyłem węglowym:

a) powierzchnia płaska - masa sporządzona na piasku grubym o  $L = 42$ ,

b) powierzchnia płaska - masa sporządzona na piasku drobnym o  $L = 62$ ,

c) powierzchnia kształtowa - masa sporządzona na piasku grubym o  $L = 42$ ,  $\alpha = 50^\circ$ ,  $\beta = 70^\circ$

Fig. 6. Sand mould surface coated with coal dust

nizmu bezwładnościowego  $M_b$  i mechanizmu bezpośredniego zaczepienia  $M_z$ . Dotyczy to głównie ziaren pyłu o wymiarach mniejszych od  $4 \cdot 10^{-5}$  m i mas opartych na piasku grubym (rys 6a). W efekcie otrzymuje się powierzchnie o mniejszym stopniu zaczernienia. Nieco inne efekty niż to ma miejsce w przypadku powierzchni płaskich otrzymano nanosząc pył na powierzchnie kształtowe. Stwierdzono mianowicie znaczne różnice w stopniu zaczernienia powierzchni nachylonych pod pewnym kątem w stosunku do poziomu, co zostało przedstawione na rysunku 6c. Im większy kąt nachylenia powierzchni, tym większe różnice w zaczernieniu (rys. 6c, pow.B). Zgodnie z wcześniejszymi opracowaniami [1,6] stwierdzono, że dla warstw masy o wysokości  $H = 0,01$ m do  $H = 0,05$ m prędkości zasysania odpowiednio wynoszą od 1,05 m/s do 0,21 m/s. Korzystając z zależności przedstawionych na rysunku 2 (krzywa 1) stwierdzono, że do obszarów powierzchni o wysokości warstwy równej 0,05m

będą zasysane ziarna o wielkości max 63 $\mu$ m, natomiast do obszarów powierzchni o wysokości warstwy równej 0,01m ziarna ze wszystkich klas ziarnowych.

## 5.Podsumowanie

W procesie nanoszenia pyłu węglowego na formy piaskowe mamy do czynienia z transportem pneumatycznym ziaren pyłu, będących w zawieszynie lub zalegających w warstwie z odbiorem na powierzchni wnęki formy. Ziarna pyłu węglowego są zatrzymywane w wierzchniej warstwie masy formierskiej, a proces można zakwalifikować do filtracji powierzchniowej. Samo osadzanie ziaren pyłu w masie jest zjawiskiem bardzo złożonym z uwagi na duże zróżnicowanie składu ziarnowego pyłu pod względem wielkości i kształtu ziaren, oraz na zróżnicowane opory masy związane z konfiguracją wnęki formy. Jak wynika z kryterium (1) zatrzymywania pyłu w masie, ziarna, dla których  $d_{cz}/d_p < 1$ , wnikają w głąb kanalików i dają mniejsze zaczernienie na powierzchni formy niż ziarna, dla których  $d_{cz}/d_p > 1$ . Generalnie należy przyjąć, że w zatrzymywaniu ziaren pyłu bierze udział mechanizm przegrodowy  $M_p$ . Jego oddziaływanie jest większe w masach formierskich sporządzonych z piasków drobnych i zmniejsza się na rzecz mechanizmu bezpośredniego zaczepienia  $M_z$  i mechanizmu bezwładnościowego  $M_b$  w masach o ziarnach grubych. Mechanizmy zaczepienia i bezwładnościowy występują głównie w masach o średnicy kanalików  $d > 4 \cdot 10^{-5}$  m, co odpowiada przepuszczalności  $P^W > 119 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/Pa·s [6]. Jednak przy długich czasach nanoszenia  $t > 10$  sek. pyłu na masy gruboziarniste oddziaływanie mechanizmu  $M_z$  stopniowo zanika na rzecz mechanizmu przegrodowego w wyniku „zarastania” wlotu kanalika przez osadzanie się tam ziaren pyłu (rys 5b). W nanoszeniu pyłu na powierzchnie kształtowe decydujący wpływ wywierają zmienne warunki zasysania ziaren, wynikające z geometrycznego ukształtowania wnęki formy. Zmienna wysokość warstwy masy bezpośrednio wpływa na opory przepływu  $\Delta p$  i w efekcie na prędkości zasysania poszczególnych klas ziarnowych pyłu [1,6]. Na obszary powierzchni o większych oporach zasysane są ziarna mniejsze, wnikające głębiej w masę formierską, natomiast na obszary powierzchni o niższych oporach zasysane są ziarna większe, wnikające na mniejsze głębokości.



## LITERATURA

1. Dzwonnik I.: Badania fizykochemicznych zjawisk w wilgotnych formach napyłanych pyłem węglowym. Monografia Nr 56 Wyd. WSiInż, Zielona Góra 1991.
2. Gutowski W. Andrzejewski R.: Fizyczne własności pyłów. PWN, Warszawa 1968.
3. Juda J.: Pomiary zapyłania i technika odpyłania. WNT, Warszawa 1968.
4. Kneule F.: Suszenie. Wyd. Arkady, Warszawa 1970.
5. Szmigielski T., Dzwonnik I.: Metoda określania ilości nanoszonego pyłu w wierzchnią warstwę materiałów porowatych. Materiały II Konferencji - Zjawiska Powierzchniowe w procesach odlewniczych Komisja KBM. PAN - oddział Poznań, Kołobrzeg 1994.
6. Szmigielski T.: Własności filtracyjne wilgotnej masy bentonitowej w procesie nanoszenia pyłu węglowego metodą - ID. Praca doktorska Inst. Odlewnictwa, Kraków 1983.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Piątkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 27.09.1997 r.

**Abstract**

The results of coating the green sand mixes by coal dust with the use of ID method have been presented in the paper. The movement of coal dust particles towards mould cavity has been analysed and the mechanism responsible for the retention of dust by sand mixers has been determined.