

OPISU PROCESU WDMUCHIWANIA PROSZKÓW POPRZEC NAPÓR STRUMIENIA DWUFAZOWEGO

J. JEZIERSKI¹

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,
Zakład Odlewnictwa, Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań siły naporu dynamicznego strumienia dwufazowego na powierzchnię ośrodka ciekłego. Przedstawione badania nie dotyczyły właściwego procesu wdmuchiwania (do ciekłego metalu) były, bowiem badaniami mającymi określić jedynie wielkość oddziaływania strumienia po opuszczeniu lancy wdmuchującej. Pozwoliły one określić zasadniczy przedział zmienności wartości siły naporu oraz podstawowe parametry wpływające na jej wartość.

Key words: powder injection, pneumatic transportation, liquid cast iron, diphase stream velocity, diphase stream force.

1.WPROWADZENIE

Procesy wdmuchiwania różnego rodzaju reagentów w postaci drobnoziarnistych proszków należą do dość dobrze poznanych pod względem zarówno teoretycznym jak i praktyki technologicznej. Istnieje wiele odmian tej metody różniących się między innymi sposobem wprowadzania reagenta zwłaszcza zaś umieszczeniem wylotu lancy wdmuchującej względem powierzchni ciekłego stopu. W tym aspekcie można wyróżnić wdmuchiwanie lancą zanurzoną i nieznanurzoną w kąpeli metalowej. Mimo wielu podobieństw, przede wszystkim w sensie charakteru przepływu a właściwie wnikania strumienia dwufazowego gazowo-proszkowego są to dwa zgoła odmiennie zjawiska fizyczne. W przypadku lancy zanurzonej mamy do czynienia z przypadkiem, gdy opuszczający lancę strumień dwufazowy wnika

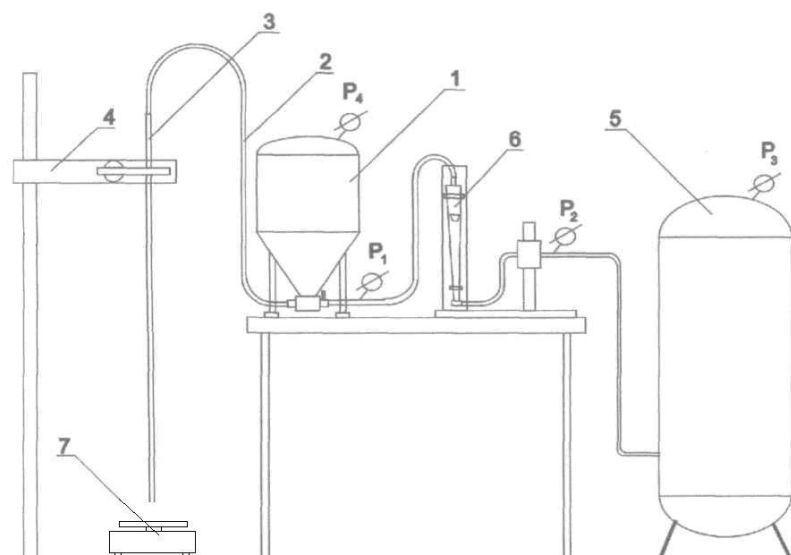
¹ dr inż., jan.jezierski@polsl.pl

bezpośrednio do ośrodka ciekłego, jakim jest ciekły stop. W przypadku drugim, strumień niesionych poprzez gaz nośny cząstek proszku wnika w głąb kąpielii metalowej dopiero po pokonaniu ośrodka przejściowego, jakim jest powietrze otoczenia. W tym momencie pojawiają się trudności zarówno przy opisie mechanizmu procesu, jak i bezpośrednio wynikające z zapewnienia technologiczności takiej metody wprowadzania reagentów. Wiadomo, bowiem, że podstawowym warunkiem koniecznym uzyskania wysokich parametrów technologicznych dowolnego procesu metalurgicznego przy użyciu pneumatycznych metod wprowadzania reagentów jest równomierne i szybkie rozprawienie ich w całej objętości obrabianego stopu. O ile dla lancy zanurzonej nie sprawia to na ogół większych problemów o tyle wykorzystanie lanc niezanurzonych nie jest pozbawione pewnych znaczących ograniczeń i wad. Pojawia się tu problem uzyskania przez strumień dwufazowy wystarczającej energii kinetycznej do pokonania oporów ośrodka ciekłego o dużej gęstości, jakim jest ciekły stop. Od jej wartości zależy w dużym stopniu wielkość uzyskiwanego zasięgu strumienia w ciekłym metalu, od którego z kolei zależy intensywność mieszania oraz asymilacji wprowadzonego reagenta. Aby wskaźniki procesu wdmuchiwania lancą niezanurzoną były na odpowiednim poziomie, należy ustalić takie wartości parametrów pneumatycznych, aby uzyskać odpowiednie prędkości strumienia na wylocie z lancy wdmuchującej. Dzięki temu siła naporu strumienia jest wystarczająca dla jego wnikięcia przez granicę ośrodków gaz-ciekły stop i osiągnięcia wystarczającego w nim zasięgu [1,2,3,4].

W Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, specjalizującym się w problematyce wdmuchiwania proszków prowadzone są badania mające wyjaśnić charakter przepływu i wpływ dynamiki strumienia dwufazowego na osiągnięte rezultaty procesu [3,5,6,7,8]. W publikacji opisano wyniki badań laboratoryjnych opartych o pomiar siły naporu strumienia dwufazowego na atakowaną powierzchnię płaską. Były to badania wstępne, które pozwoliły na określenie podstawowych wielkości wpływających na wartość analizowanej siły. Przedstawiono poniżej stanowisko badawcze, sposób prowadzenia pomiarów oraz zależności opisujące badane zjawiska.

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

W celu określenia wartości siły naporu dynamicznego strumienia dwufazowego gazowo-proszkowego oraz poznania podstawowych wielkości na wartość tą wpływających, przeprowadzono eksperymenty z wykorzystaniem stanowiska badawczego przedstawionego na rys. 1. Zostało ono oparte o typowy podajnik transportu pneumatycznego wysokociśnieniowego a analizowany układ wprowadzania proszku (lanca pionowa stalowa połączona z podajnikiem elastycznym przewodem gumowym) odpowiada procesowi wdmuchiwania proszków lancą niezanurzoną.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczo-pomiarowego: 1- podajnik transportu pneumatycznego, 2- przewód transportowy gumowy, 3-lanca, 4-ramię chwytaka lany, 5- zbiornik wyrównawczy, 6- rotametr pomiarowy RDN-25, 7- waga tensometryczna laboratoryjna.

Fig. 1. Research stand scheme: 1-chamber feeder, 2-rubber hose, 3-injection lance, 4- slidable arm, 5- equalizing tank, 6-rotameter RDN-25, 7-extensometric scales.

Początkowo planowano przeprowadzenie badań od początku z wykorzystaniem hermetycznego układu pomiarowego, który miał być zanurzany w cieczy na różne zadane głębokości. W ten sposób można by określić jak zmienia się wielkość analizowanej siły w zależności od przebytej drogi w ośrodku ciekłym. Jednak ze względu na fakt, że opisywane badania były badaniami wstępnymi, mającymi na celu określenie zakresu zmienności wartości siły naporu, zdecydowano się wpiery na eksperymenty „na sucho” bez zanurzania układu pomiarowego. Zastosowana w badaniach waga laboratoryjna umożliwiła przy ustalonych parametrach przepływowych (nieznacznie zmieniającej się prędkości wylotowej strumienia dwufazowego) wystarczająco precyzyjny na tym etapie badań pomiar naporu (na początku jako „masy”) strumienia.

Prowadzone badania są kontynuacją badań autora nad zagadnieniami wdmuchiwania proszków lancami niezanurzonymi, dlatego też podczas planowania eksperymentu można było znacznie zmniejszyć ilość zmiennych (na podstawie wniosków z wcześniejszych badań), których wpływ na analizowane zjawiska przewidywano.

Po przeprowadzonej analizie wniosków przyjęto następujące zmienne niezależne:

- ciśnienie zasilania $p_1 = 0,1; 0,2; 0,3$; MPa,

- ciśnienie wewnątrz podajnika $p_4 = 0,05; 0,1; 0,15$ MPa,
- średnia wielkość cząstki $d_{cz} = 0,1; 0,5$ mm, materiałem proszkowym wykorzystanym w badaniach był żelazokrzem FeSi75, podzielony na frakcje jak wyżej,
- odległość lancy od powierzchni pomiarowej $H = 0; 40; 80$ mm.

Takie parametry pracy układu są możliwe i właściwe z punktu widzenia osiągnięcia zakładanych efektów technologicznych, na co wskazują wyniki wcześniejszych badań.

Pojedynczy eksperyment zasadniczo nie różnił się od typowych procesów wdmuchiwania lancą niezanurzoną opisanych dokładnie w [3]. Istotną różnicę stanowiła jedynie końcowa część procesu, w której materiał proszkowy zamiast wnikać wgłąb ciekłego stopu, uderzał w odpowiednio przygotowaną powierzchnię szalki wagi laboratoryjnej. W prowadzonych eksperymentach dokonano analizy następujących wielkości opisujących przemieszczanie mieszaniny gaz-proszek:

- masowe natężenie przepływu gazu transportowego,
- masowe natężenie transportowanego dodatku stopowego FeSi75,
- stężenie masowe mieszaniny dwufazowej,
- prędkość gazu u wylotu z lancy,
- dynamiczny napór strumienia mieszaniny gaz-proszek.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki pomiarów umożliwiły przeprowadzenie analizy wpływu poszczególnych parametrów procesu na analizowaną wartość siły naporu. Poniżej przedstawiono uzyskane zależności opisujące jej wartość oraz wykresy przedstawiające graficznie tendencje zmian w zależności od wartości ciśnień w instalacji wdmuchiwania (ciśnienie zasilania p_1 oraz ciśnienie w podajniku komorowym p_4).

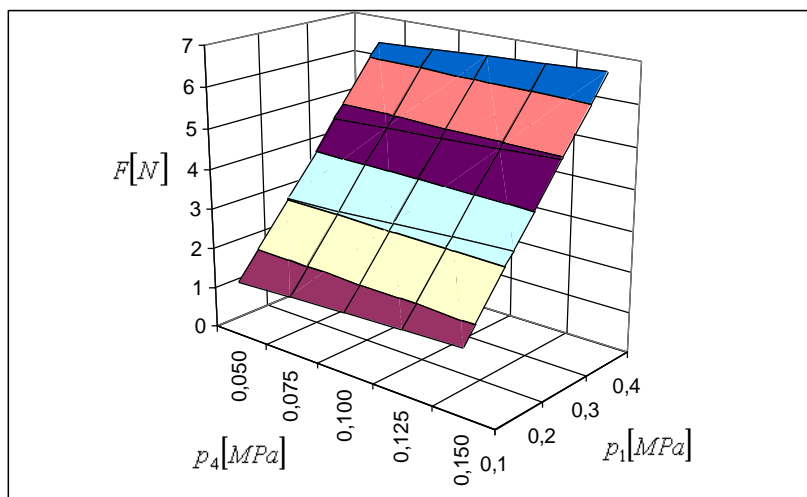
Siła dynamicznego naporu strumienia dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0 – 0,2mm:

$$F = -4,733 \cdot 10^{-1} + 2,815 p_1 + 16,68 p_4 \quad (1)$$

Siła dynamicznego naporu strumienia dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0,2 – 0,8mm:

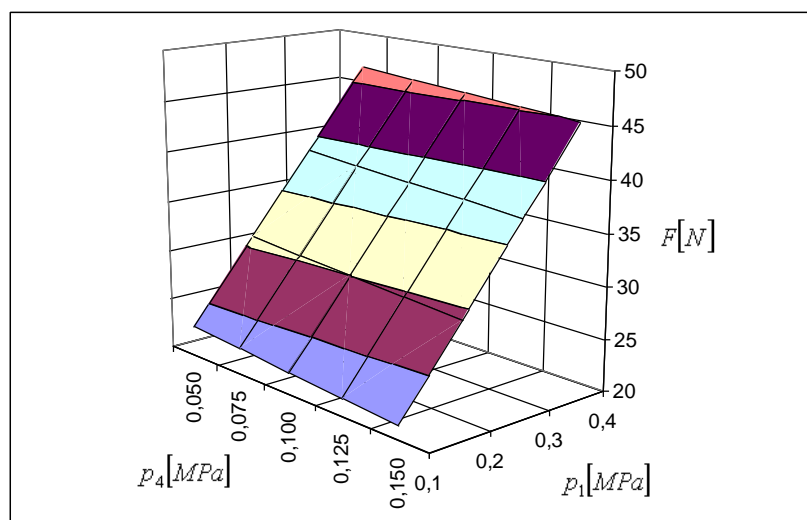
$$F = 16,02 + 16,79 p_1 + 78,35 p_4 \quad (2)$$

Z analizy otrzymanych równań oraz zamieszczonych dalej wykresów wynika, że najsilniej na wartość siły naporu strumienia dwufazowego na wylocie z lancy wpływa wartość ciśnienia zasilania p_1 . Jego zwiększanie powoduje mimo zmniejszenia się wartości masowego stężenia mieszaniny większą wartość siły naporu. Przeczy to w pewnym sensie wcześniejszym badaniom i obserwacjom eksperymentów modelowych, z których wynika, że strumień o większej koncentracji wnika głębiej do ośrodka ciekłego, czyli powinien oddziaływać większą siłą naporu dynamicznego.



Rys. 2. Zależność siły dynamicznego naporu mieszaniny gaz-proszek od ciśnień w układzie dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0 - 0,2 mm.

Fig. 2. Dependence between gas-powder mixture force and pressures in installation for injection of FeSi75, grain size 0 - 0,2 mm.



Rys. 3. Zależność siły dynamicznego naporu mieszaniny gaz-proszek od ciśnień w układzie dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0,2 - 0,8 mm.

Fig. 3. Dependence between gas-powder mixture force and pressures in installation for injection of FeSi75, grain size 0,2 - 0,8 mm.

Niejednoznaczny jest natomiast wpływ ciśnienia gazu w podajniku nad materiałem p_4 . Jego wzrost powoduje albo nieznaczny tylko wzrost wartości siły naporu albo wręcz jej spadek. Jak wiadomo, przy większych wartościach ciśnienia w podajniku wzrasta koncentracja mieszaniny na wylocie z lancy. Wydaje się więc, że wzrost koncentracji nie powoduje wzrostu siły naporu dynamicznego strumienia dwufazowego.

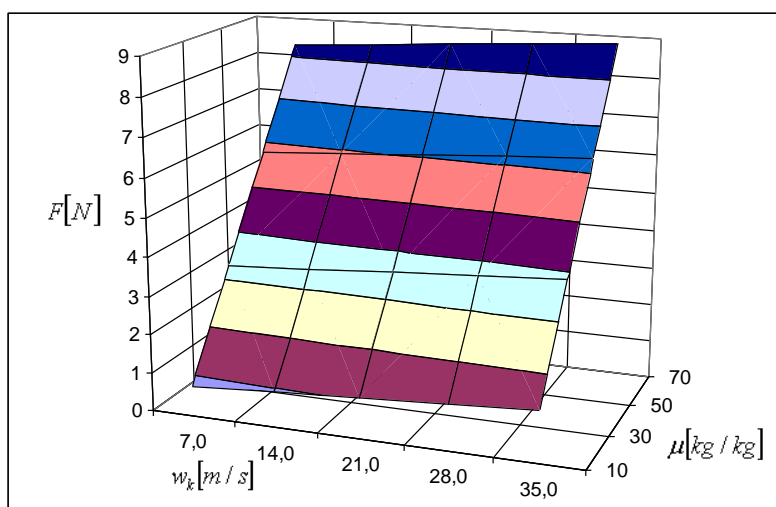
Dalsze jednak zależności i wykresy ukazują dodatni wpływ koncentracji mieszaniny na wartość siły naporu, co może wskazywać na fakt, że przy ustalonej geometrii układu dozowania proszku, zwiększanie ciśnienia p_4 do pewnego tylko momentu wpływa na wzrost koncentracji masowej mieszaniny.

Siła dynamicznego naporu strumienia dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0 – 0,2mm

$$F = -6 \cdot 10^{-1} + 1,94 \cdot 10^{-2} \mu + 1,25 \cdot 10^{-1} w_k \quad (3)$$

Siła dynamicznego naporu strumienia dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0 – 0,2mm

$$F = -8,83 \cdot 10^{-1} + 4,41 \cdot 10^{-2} \mu + 5,29 \cdot 10^{-2} w_k \quad (4)$$

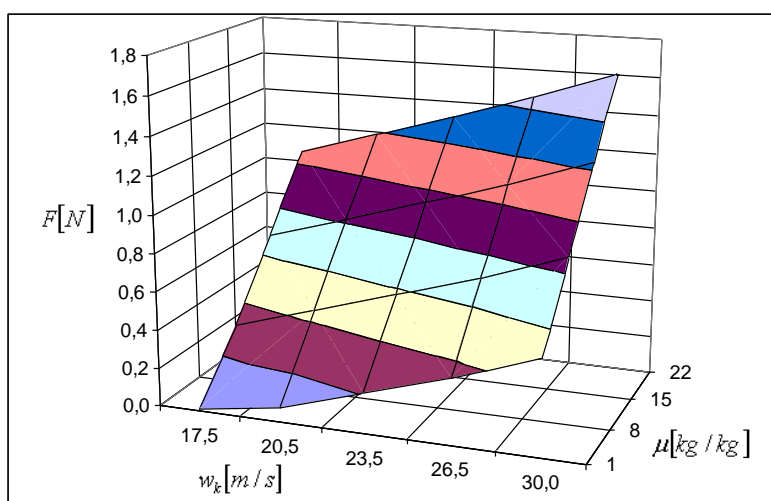


Rys. 4. Zależność siły dynamicznego naporu mieszaniny gaz-proszek od masowego stężenia mieszaniny dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0 – 0,2 mm.

Fig. 4. Dependence between gas-powder mixture force, mixture mass concentration and gas in lance outlet velocity for injection of FeSi75, grain size 0 – 0,2 mm.

Z analizy zależności siły naporu od prędkości gazu na wylocie z lancy w_k oraz koncentracji μ wynika, że obie te wielkości wpływają na badaną siłę rosnąco, choć można by się było spodziewać większego dodatniego wpływu prędkości

gazu. Należy więc w praktyce dążyć do zapewnienia jak największej prędkości strumienia przy dużej jego koncentracji co w pewnym sensie się wyklucza, gdyż prędkość przy znaczącym wzroście koncentracji strumienia dwufazowego maleje. Decydujące w tym przypadku o wzajemnej proporcji wartości tych parametrów muszą być wówczas wskaźniki technologiczne, jak np. czas wdmuchiwania, którego wielkość silnie zależy od masowego stężenia wdmuchiwanej mieszaniny.



Rys. 5. Zależność siły dynamicznego naporu mieszaniny gaz-proszek od masowego stężenia mieszaniny prędkości gazu u wylotu lancy dla wdmuchiwania FeSi75 o frakcji 0,2 – 0,8 mm.

Fig. 5. Dependence between gas-powder mixture force, mixture mass concentration and gas in lance outlet velocity for injection of FeSi75, grain size 0,2 – 0,8 mm.

4. WNIOSKI

Na podstawie badań siły dynamicznego naporu strumienia sformułowano następujące wnioski i uwagi do dalszych badań:

1. Zwiększenie prędkości gazu u wylotu lancy oraz masowego stężenia mieszaniny gaz-proszek, powoduje zwiększenie siły dynamicznego naporu mieszaniny..
2. Największe wartości siły dynamicznego naporu uzyskujemy przy zastosowaniu materiału o frakcji 0-0,2mm i odległości wylotu lancy od płaszczyzny natarcia 40mm. Wskazuje to na fakt, że energia strumienia dwufazowego po wyjściu z lancy rośnie do pewnej odległości od jej wylotu.
3. Wnioski z przeprowadzonych analiz w pewnym aspekcie różnią się od wcześniejszych uzyskanych przy wdmuchiwaniu proszków do ośrodków

ciekłych, gdzie wzrost prędkości strumienia na wylocie z lancy bezpośrednio wpływał na wzrost wartości uzyskanych wskaźników. Potwierdza to fakt, że bardzo istotne zjawiska występują w obszarze zanurzenia strumienia w cieczy, co uzasadnia dalsze badania siły naporu w ośrodku ciekłym.

LITERATURA

- [1] Jezierski J., Jura S., Janerka K., Pneumatyczne wprowadzanie żelazokrzemu do ciekłego żeliwa. Archiwum Odlewnictwa, Nr 1 (1/2),2001.
- [2] Jezierski J., Jura S., Janerka K., Pneumatyczne wprowadzanie FeCr do ciekłego żeliwa. Archiwum Odlewnictwa, Rok Nr 1 (2/2),2001.
- [3] Jezierski J., Pneumatyczne wprowadzanie dodatków stopowych do ciekłego żeliwa. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
- [4] J. Jezierski. Pneumatic injection of ferroalloys into liquid cast iron. 12-th Metallurgical & Material Conf. 20-22.05.2003r. Hradec n. Moravici. Czechy.
- [5] J. Jezierski, S. Jura, Wdmuchiwanie żelazostopów do ciekłego żeliwa. Acta Metallurgica Slovaca, 7, 2001.
- [6] Jezierski J, Jura S, Janerka K.: Wskaźniki technologiczne wprowadzania dodatków stopowych do ciekłego żeliwa, Mat. Międz. Konf. Transport Pneumatyczny TP 2002, Gliwice, 2002
- [7] Jezierski J, Jura S, Janerka K., Wykorzystanie drobnych frakcji żelazostopów poprzez ich wstrzeliwanie do ciekłego żeliwa. IX Międzynarodowa Konferencja Odlewników WSPÓLPRACA'03, Kraków, 28-30.04.2003.
- [8] J. Jezierski. Pneumatic powder injection into liquid alloys as a tool of quality improving. 13-th Metallurgical & Material Conference, 20-22.05.2004r. Hradec nad Moravici. Czechy.

DESCRIPTION OF POWDER INJECTION PROCESS BY DIPHASE STREAM PRESSURE FORCE

SUMMARY

In the article has been presented the results of the experiments with diphase stream force on the liquid medium surface. The experiments were the first one for making descriptions of stream effect influence after outgoing the lance outlet. It has made possible to know the main value of stream force and the parameters which effect on it. On the powder injection process have influenced many parameters connected with diphase stream dynamics introduced into liquid alloy. It is very important with use of the electric crucible furnace where it is necessary to use non-immersed lance. But it may cause the small stream range in liquid. That is the reason to know every phenomenon connected with introducing of diphase stream through air-liquid alloy surface. The experiments are the part of bigger one to explain and describing those phenomenons.

Recenzował Jan Szajnar