

## ANALIZA STRUMIENIA DWUFAZOWEGO W PROCESIE WDMUCHIWANIA PROSZKÓW

K. JANERKA<sup>1</sup>, S. JURA<sup>2</sup>, J. JEZERSKI<sup>3</sup>, H. SZLUMCZYK<sup>4</sup>  
Katedra Odlewnictwa Wydziału Mechanicznego Technologicznego  
Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7

### STRESZCZENIE

W artykule omówiono zagadnienia modelowania fizycznego wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu. Przedstawione w pracy wyniki badań stanowią fragment realizowanych eksperymentów mających na celu opis strumienia dwufazowego w ośrodku ciekłym. Podjęto wstępną analizę wpływu parametrów pneumatycznego przemieszczania i właściwości wdmuchiwanego cząstek na zasięg tego strumienia i jego kształt. Badania mają na celu wyjaśnienie zjawisk zachodzących w kąpiel metalowej podczas prowadzenia procesu nawęglania metodą pneumatycznego wprowadzania pyłu grafitowego.

*Key words: liquid metal, injection, recarburization, diphas stream, physical modeling.*

### 1. WPROWADZENIE

Wdmuchiwanie proszków do ciekłego metalu jest procesem coraz częściej wykorzystywanym we współczesnym odlewnictwie i metalurgii. Wynika to z faktu, że zastosowanie metody pozwala na uzyskanie bardzo wysokich efektywności i szybkości prowadzonego procesu metalurgicznego. Natomiast w pełni zautomatyzowane urządzenia zapewniają precyzyjne i hermetyczne dozowanie danego składnika. Stąd metoda ta jest wykorzystywana w procesie odsiarczania i odfosforowania, nawęglania ciekłego metalu [3, 4, 5], wprowadzania dodatków stopowych i modyfikatorów oraz wdmuchiwania pyłów z pieców metalurgicznych. W zależności od miejsca

---

<sup>1</sup> Dr inż., janerka@zeus.polsl.gliwice.pl

<sup>2</sup> Prof. zw. dr hab.inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

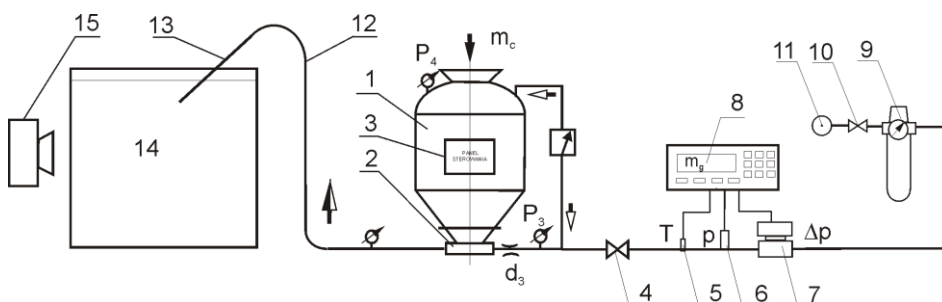
<sup>3</sup> Mgr inż., georgeko@zeus.polsl.gliwice.pl

<sup>4</sup> Dr inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

wprowadzania reagenta (kadź, piec metalurgiczny, struga ciekłego metalu) różne mogą być położenia lancy (zanurzona, nad powierzchnią, pochylona pod odpowiednim kątem). To z kolei wpływa na obraz strumienia dwufazowego (gaz nośny + reagent) w ciekłym metalu, który ma decydujące znaczenie i wpływ na uzyskiwane wskaźniki metalurgiczne. Obserwacja strumienia w ciekłym metalu z uwagi na wysokie temperatury jest niemożliwa. Również strumień dwufazowy mimo licznych badań w tym zakresie nie jest zbadany (ruch cząstki, jej prędkość). Stąd realizowane są badania modelowe, które w pewnym stopniu pozwalają na wyjaśnienie zjawisk zachodzących w procesach wdmuchiwania proszków.

## 2. STANOWISKA DO REALIZACJI PROCESU NAWĘGLANIA

Stanowisko badawcze zostało skonstruowane na bazie podajnika komorowego transportu pneumatycznego wysokociśnieniowego - rys.1 [1, 2]. Układem nadawczym jest zbiornik ciśnieniowy 1 o pojemności 0,01 m<sup>3</sup>. W dolnej części znajduje się zawór obrotowy 2, stanowiący jednocześnie komorę mieszania; pozwalający na odcinanie dopływu materiału do rurociągu transportowego. Posiada on kształt dyszy Laval'a z wydrążonym gniazdem, w którym umieszczona jest wymienna dysza regulacyjna ( $d_3$ ).



Rys. 1. Stanowisko badawczo – pomiarowe.  
Fig. 1. Research stand.

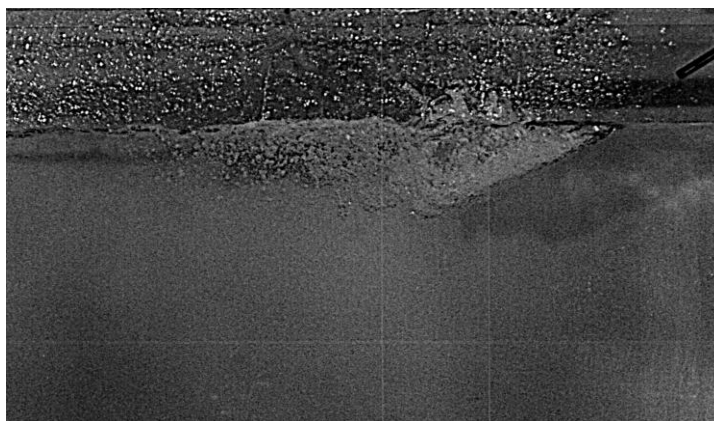
Zmiana średnicy dyszy pozwala na sterowanie natężeniem przepływu powietrza. Przy otwartym zaworze materiał zsypuje się do rurociągu i jest unoszony przez strugę gazu. Obrót zaworu o ok. 90° powoduje odcięcie dopływu proszku do rurociągu. W górnej części zbiornika znajduje się zawór dzwonowy. Nadciśnienie w zbiorniku, mające wpływ na wydajność urządzenia regulowane jest zaworem redukcyjnym. Do pomiaru nadciśnienia w poszczególnych punktach stanowiska zamontowano manometry sprężynowe. Układ zasilania czynnikiem nośnym składa się ze sprężarki 11, zaworu odcinającego 10 oraz reduktora 9. Do pomiaru natężenia przepływu gazu zastosowano czujniki temperatury 5, ciśnienia 6 i różnicy ciśnień 7 podłączone do komputera przepływu 8. Układ bezpośredniego wprowadzania proszków do cieczy

składa się z przewodów transportowych 12 zakończonych lancą 13 wprowadzaną do zbiornika 14 wykonanego ze szkła organicznego (wymiary 1000x500x100 mm). Przebieg każdego eksperymentu rejestrowano na kliszy aparatu fotograficznego 15.

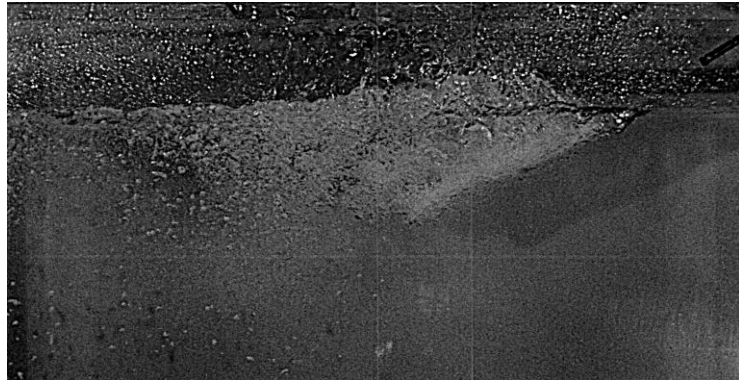
Proces wdmuchiwania obejmuje szereg czynności związanych z obsługą urządzenia. Po wsypaniu porcji materiału do zbiornika ciśnieniowego, następuje zamknięcie zaworu dzwonowego i doprowadzenie powietrza nad materiał i do komory mieszania, skąd jest unoszony przez gaz nośny, a następnie przewodami transportowymi przemieszczany do lancy. Poprzez lancę, mieszanina gazu i materiału, jest wprowadzana do cieczy.

### 3. SPOSÓB REALIZACJI BADAŃ

W trakcie realizacji badań przeprowadzono próby wprowadzania proszku polietylenowego (gęstość usypowa  $\rho_u = 301 \text{ kg/m}^3$ , średnica zastępcza  $d_z = 0,23 \text{ mm}$ ) oraz wosku polietylenowego ( $\rho_u = 554 \text{ kg/m}^3$ ,  $d_z = 0,7 \text{ mm}$ ) do ośrodka ciekłego (wody). Zmianie podlegały również następujące parametry: głębokość wprowadzenia lancy względem powierzchni cieczy (50 mm nad powierzchnią cieczy, na powierzchni cieczy, zanurzona na głębokość 50 mm) oraz natężenie przepływu gazu i materiału. W realizowanym cyklu badawczym ustalono kąt pochylenia lancy  $30^\circ$ . W trakcie każdego eksperymentu wykonywano fotografie ilustrujące kształt i zasięg strumienia dwufazowego w ośrodku ciekłym. Natężenie przepływu materiału zmieniano w zakresie 0,0125-0,0277 kg/s, a natężenie przepływu gazu w zakresie 0,00114-0,00273 kg/s. Pozwoliło to na uzyskanie prędkości na wylocie z lancy w przedziale 31-75 m/s i stężenia masowego mieszaniny  $\mu = 4,9 - 17,9 \text{ kg/kg}$ . Część wyników badań przedstawiono na poniższych rysunkach.

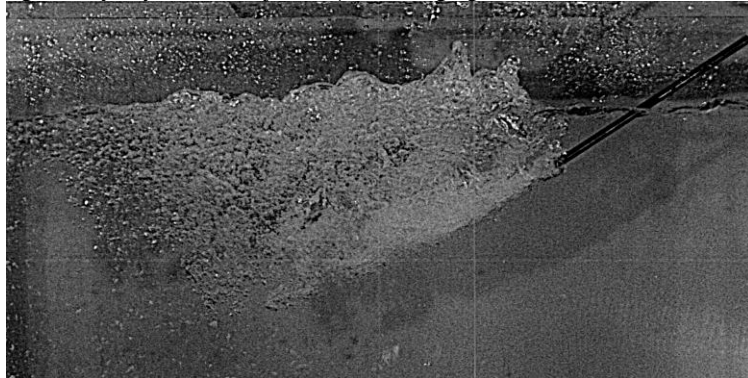


Rys.2. Wdmuchiwanie wosku polietylenowego  $\mu = 8,82 \text{ kg/kg}$ ,  $w = 42,4 \text{ m/s}$ .  
Fig. 2. Polyethylene wax injection  $\mu = 8,82 \text{ kg/kg}$ ,  $w = 42,4 \text{ m/s}$ .



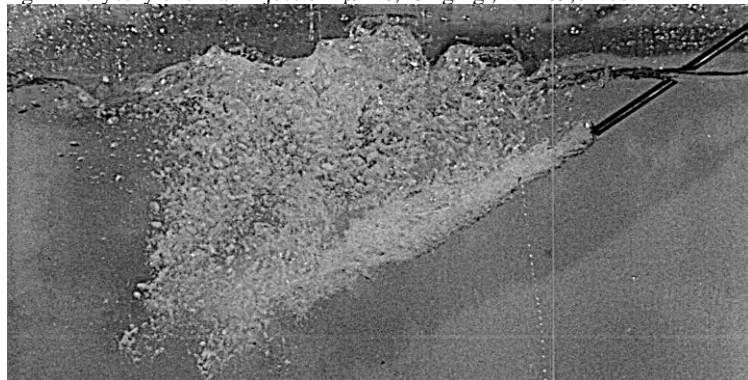
Rys.3. Wdmuchiwanie wosku polietylenowego  $\mu = 6,48 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .

Fig. 3. Polyethylene wax injection  $\mu = 6,48 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .



Rys.4. Wdmuchiwanie wosku polietylenowego  $\mu = 6,48 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .

Fig. 4. Polyethylene wax injection  $\mu = 6,48 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .



Rys.5. Wdmuchiwanie proszku polietylenowego  $\mu = 4,94 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .

Fig. 5. Polyethylene powder injection  $\mu = 4,94 \text{ kg/kg}$  ,  $w = 69,7 \text{ m/s}$ .

## 5. PODSUMOWANIE

Analizując obraz strumienia jednofazowego można stwierdzić, że jego zasięg wzrasta ze wzrostem natężenia przepływu gazu. Jest on jednak kilkukrotnie mniejszy niż w przypadku wdmuchiwania strumienia dwufazowego dla tych samych parametrów pneumatycznego przemieszczania. Wynika to zapewne z faktu, że strumień dwufazowy posiada znacznie większą energię. Wprowadzanie strumienia dwufazowego powoduje znaczne zmniejszenie niekorzystnych zjawisk na powierzchni cieczy (pryskanie). Oznacza to, iż po wprowadzeniu lancy do ciekłego metalu należy równocześnie z otwarciem dopływu powietrza wprowadzić sproszkowany materiał.

Obserwując strumień dwufazowy dla trzech położenia lancy: nad powierzchnią cieczy, powierzchnia cieczy i lanca zanurzona widać, że długość przenikania strumienia jest większa dla lancy znajdującej się pod powierzchnią ośrodka ciekłego. Jednak różnice długości strumienia dla tych trzech położenia lancy nie są aż tak znaczne. Zanurzenie lancy powoduje wzrost objętości strefy bezpośredniego działania strumienia, co z pewnością przyczyni się do intensyfikacji prowadzonego procesu metalurgicznego. Z drugiej jednak strony zanurzenie lancy powoduje jej zużywanie w trakcie procesu wdmuchiwania i w tym aspekcie korzystniejsze jest umieszczenie lancy na powierzchni ośrodka ciekłego. Wdmuchiwanie lancą niezanurzoną ma ponadto tę zaletę, że gaz nośny nie wnika w głąb cieczy i nie powoduje niekorzystnych zjawisk (rozbryzgiwanie cieczy na powierzchni). Wybór ustawienia jest, więc zależny od kształtu pieca, w którym realizowany będzie proces wdmuchiwania. Dla płtych pieców łukowych z pewnością wdmuchiwanie z powierzchni lub przy niewielkim zanurzeniu zapewni odpowiednią szybkość i efektywność procesu.

Analizując wpływ własności wdmuchiwanego proszku (wosk polietylenowy i proszek polietylenowy) należy stwierdzić, że większy zasięg strumienia uzyskano przy wdmuchiwaniu proszku polietylenowego. Może wynikać to z faktu, iż mniejsze cząstki mogą posiadać większą prędkość na wylocie z lancy, a z kolei opór ośrodka ciekłego dla tych cząstek jest mniejszy. Będzie to zapewne korzystne z punktu widzenia metalurgicznego, gdyż mniejsze cząstki zapewnią większą powierzchnię rozwinięcia wdmuchiwanego proszku i wzrost parametrów prowadzonego procesu metalurgicznego. Proszki o małej gęstości i drobnych ziarnach stwarzają problemy przy pneumatycznym przemieszczaniu, gdyż mają tendencję do zawieszania się w podajnikach komorowych i nierównomiernie się zsypują.

## LITERATURA

- [1] Gawroński J, Janerka K, Cholewa M, Szajnar J.; *Modelowanie pneumatycznego wprowadzania cząstek zbrojących do osnowy kompozytu*, Acta Metallurgica Slovaca, nr 5, 1999,
- [2] Janerka K, Gawroński J, Cholewa M, Jezierski J.: *Modelowanie fizyczne procesu wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu*, Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN, z.40, Katowice, 1999,

- [3] Janerka K, Jura S, Piątkiewicz Z, Szlumczyk H, Jezierski J.; *Szybkość nawęglania w funkcji parametrów strumienia dwufazowego w pneumatycznym nawęglaniu ciekłych stopów żelaza*, Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN, z.38, Katowice, 1998
- [4] Janerka K, Jura S, Piątkiewicz Z, Szlumczyk H; *Szybkość nawęglania w procesie pneumatycznego wprowadzania materiału węglowego*, ZN Pol. Sl., Mechanika, z. 128, Gliwice, 1997
- [5] Janerka K.; *Nawęglanie ciekłych stopów żelaza za pomocą urządzeń pneumatycznych*. Praca doktorska, Gliwice 1995 r.

### **ANALYSIS OF DIPHASE STREAM IN POWDER INJECTION INTO LIQUID METAL PROCESS**

#### **SUMMARY**

In the article there have been presented the problems of physical modeling of powder injection into liquid metal. The experimental results presented in the study are the fragment of the experiments which aim is a description of diphase stream into liquid medium. There have been taken a preliminary analysis of pneumatic displacement parameters influence and properties of injecting particles on stream range and its shape. The aim of the experiments is an explanation of effects into metal bath during pneumatic recarburization with a usage of graphite dust.

Recenzował Prof. Józef Gawroński