https://doi.org/10.62753/ctp.2001.02.2.2



**Józef Gawroński[1], Mirosław Cholewa[2], Krzysztof Janerka[3], Jan Jezierski[4]**
**Politechnika Śląska, Katedra Odlewnictwa, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice**

# MODELOWANIE WDMUCHIWANIA CZĄSTEK DO KĄPIELI

**W pracy przedstawiono zagadnienia modelowania fizycznego wdmuchiwania cząstek o różnej gęstości, położeniu lancy i zmiennych parametrach strumienia dwufazowego do wody. Uzyskane wyniki badań zaprezentowano w formie fotografii. Stanowią one podstawę do określenia optymalnych parametrów wdmuchiwania cząstek zbrojących do osnowy kompozytu wytwarzanego na bazie stopów aluminium.**

## MODELING OF PARTICLES INJECTION INTO THE METAL MATRIX

**The work presents issues concerning physical modeling of particles injection having different densities, at various position of the lance as well as variable parameters of the two-phase stream into water. The results of researches were presented on the photographs. They are the basis for optimal parameters of particles injection defining with aluminum based composite matrix. The researches were conducted at a stand shown at Fig. 1. Its main part is the pneumatic transportation high-pressure feeder with cyclic work. The researches were conducted by introducing of one-phase stream with various velocity into liquid (Fig. 2) and two-phase stream - polystyrene + carrier gas (Fig. 3 and 4). It is very important to find out the interaction of stream into liquid metal. The depth of stream penetration depending on way insertion of the lance and the material and gas flow rate is of great importance. In summary the influence of the most important parameters on stream character in liquid were discussed.**

## CELOWOŚĆ PROWADZENIA BADAŃ MODELOWYCH

W Katedrze Odlewnictwa od wielu lat prowadzone są eksperymenty wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu (nawęglanie, wprowadzanie dyspersoidu do osnowy kompozytu, wprowadzanie dodatków stopowych) [1-3]. Badania realizowane są na stanowiskach doświadczalnych wykonanych w skali laboratoryjnej oraz stanowiskach przemysłowych w odlewniach. Jedyną drogą wizualizacji obrazu strumienia dwufazowego w ośrodku ciekłym jest modelowanie fizyczne [4, 5]. Przeprowadzone w Katedrze badania modelowe pozwalają na:

- przedstawienie obrazu strumienia dwufazowego w ośrodku ciekłym, jego rozproszenia, mieszania cieczy, przenikania w głąb ośrodka ciekłego,
- określenie wpływu natężenia przepływu gazu na głębokość przenikania strumienia. Nie chodziło tutaj o stwierdzenie, że ze wzrostem natężenia wzrasta przenikalność, gdyż to jest logiczne i nie wymagało eksperymentów, ale o uzyskanie zależności określających, jak daleko ten strumień może przenikać, co jest bardzo istotne z punktu widzenia wdmuchiwania do ciekłego aluminium. Umożliwia również sprawdzenie zależności występujących w literaturze oraz pewności ich stosowania w badaniach własnych,
- określenie wpływu gęstości materiału na otrzymane zasięgi strumienia dwufazowego.

Można w ten sposób uzyskać wiele bardzo ciekawych spostrzeżeń i uwag do prowadzenia procesu wdmuchiwania dyspersoidu do ciekłego aluminium. Z uwagi na ograniczoną objętość niniejszego artykułu i bieżącą realizację cyklu badawczego przedstawiono w nim tylko fragment wyników.

## STANOWISKO DO WDMUCHIWANIA DYSPERSOIDÓW

Stanowisko badawcze zostało skonstruowane na bazie podajnika komorowego systemu POLKO (rys. 1). Układem nadawczym jest zbiornik ciśnieniowy transportu pneumatycznego wysokociśnieniowego (1) o pojemności 0,01 $m^3$. Układ zasilania sprężonym gazem (2) składa się ze źródła zasilania, komputerowego miernika do pomiaru natężenia przepływu gazu $V_N$ oraz reduktora do regulacji nadciśnienia zasilania, mającego wpływ zarówno na natężenie przepływu gazu, jak i materiału. Głównym elementem układu bezpośredniego wprowadzania proszku (3) jest zbiornik o wymia-

[1] prof. zw. dr inż., [2,3] dr inż., [4] mgr inż.

rach 1000x500x100 mm (wcześniejsze eksperymenty realizowano przy wdmuchiwaniu do zbiornika cylindrycznego, lancą pionową umieszczoną nad powierzchnią, ciekłego metalu [4, 5]), wykonany ze szkła organicznego wypełnionego wodą. Podczas prowadzenia procesu wdmuchiwania obraz strumienia w ośrodku zapisywano na kliszy aparatu fotograficznego.

Rys. 1. Stanowisko badawczo-pomiarowe

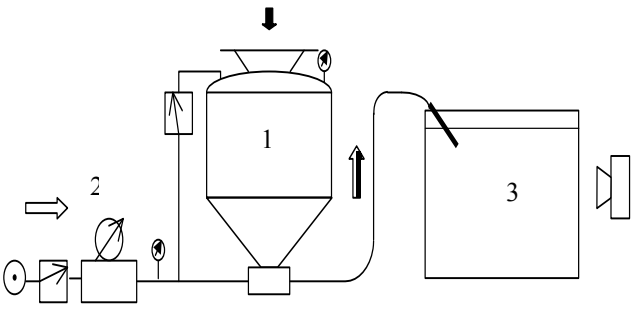



Fig. 1. Research stand

## PARAMETRY STRUMIENIA DWUFAZOWEGO W OŚRODKU CIEKŁYM

W celu opisania przemieszczania strumienia dwufazowego przyjęto następujące parametry:

*Natężenie przepływu gazu* to ilość gazu przepływającego przez dany odcinek na jednostkę czasu (masowe $m_g$ wyrażone jest w jednostkach masy kg/s, objętościowe $V_N$ jest w jednostkach objętości $m^3/s$).

*Prędkość gazu* na wylocie lancy $w = m_g/(P\rho)$, gdzie: $P$ - pole powierzchni wylotu lancy, $\rho$ - gęstość powietrza na wylocie z lancy.

*Natężenie przepływu materiału* transportowanego (wydajność) określono jako stosunek masy transportowanego materiału $m_c$ w czasie $t$ stabilnej pracy instalacji.

*Stężenie masowe mieszaniny* to iloraz natężenia przepły- wu materiału do natężenia przepływu gazu w rurociągu.

W procesie wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu istotnym zagadnieniem jest poznanie głębokości przenikania strumienia dwufazowego. Poniższa zależność określa odległość przenikania cząstek w funkcji kąta pochylenia lancy [6]

$$L = \left[ \frac{3\dot{m}_c \cdot w_c \cdot \sin\alpha}{\pi \tan^2(\theta/2)\rho \cdot g} \right]^{1/3} + L_0$$

gdzie: $L$ - odległość penetracji cząstek, $L_0$ - odległość między wniknięciem cząstek do ośrodka a wirtualnym punktem rozejścia się strumienia w dyszy, $\alpha$ - kąt wprowadzenia lancy, $\theta$ - kąt stożka rozejścia strumienia, $\rho$ - gęstość ośrodka ciekłego, $w_c$ - prędkość cząstek w lancy, $g$ - przyspieszenie ziemskie, $m_c$ - natężenie przepływu cząstek.

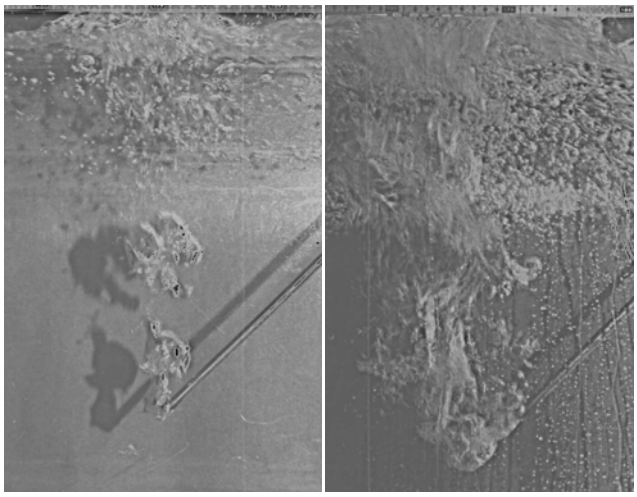
Przy wprowadzaniu strumienia dwufazowego do cieczy można wyróżnić dwa stany przepływu, barbotaż i przepływ strumieniowy. Bardziej korzystny ze względu na przebieg procesów metalurgicznych jest ten drugi przypadek. Autorzy do ich rozgraniczenia stosują liczbę przepływu $N_E$ i liczbę strumienia $N_j$ [4, 5]. Znajomość wartości tych liczb pozwala na odpowiedni dobór parametrów strumienia dwufazowego dla zapewnienia korzystnych warunków przebiegu procesu wdmuchiwania dyspersoidu do ciekłej osnowy.

## PRZEBIEG EKSPERYMENTÓW I UZYSKANE WYNIKI

Proces badawczy realizowano, wprowadzając do wody polistyren niespieniony o gęstości 1651 $kg/m^3$ i średnicy zastępczej ziaren 0,095 mm oraz polistyren spieniony o gęstości 525 $kg/m^3$ i średnicy zastępczej 0,630 mm. Eksperymenty prowadzono przy lancy zanurzonej na głębokość 30 mm i ustawionej pod kątem 30º do powierzchni ciekłego metalu. Przy wprowadzaniu strumienia jednofazowego wylot lancy pochylonej pod kątem 45º był zanurzony na głębokości 300 mm. Natężenie przepływu gazu zmieniano w zakresie 0,000677÷ ÷0,001853 kg/s, co umożliwiło uzyskanie prędkości strumienia od 18,5 do 51,6 m/s. Natężenie przepływu materiału zmieniano w zakresie 0,0123÷0,0353 kg/s. Uzyskano w ten sposób stężenie masowe mieszaniny od 9,07 do 38,1 kg/kg.

Analizę zachowania strumienia jednofazowego w ośrod- ku ciekłym przeprowadzono przy zmianie natężenia przepływu gazu od 0,000160 do 0,00305 kg/s. Uzys-kano w efekcie zmianę prędkości strumienia w zakresie 4,4÷84,2 m/s.

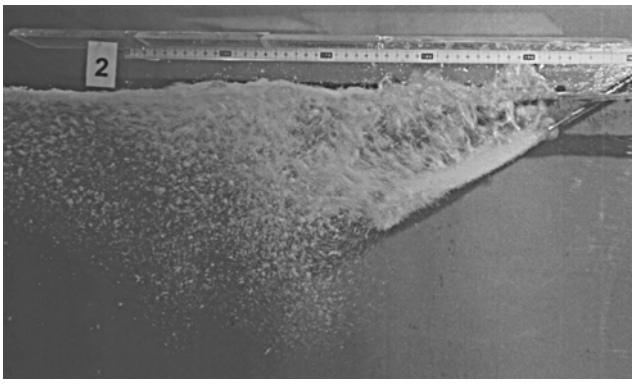
Na rysunku 2 przedstawiono wdmuchiwanie samego powietrza do ośrodka ciekłego przy różnych prędkościach, natomiast na rysunkach 3 i 4 odpowiednio wdmu-



chiwanie polistyrenu spienionego i niespienionego.

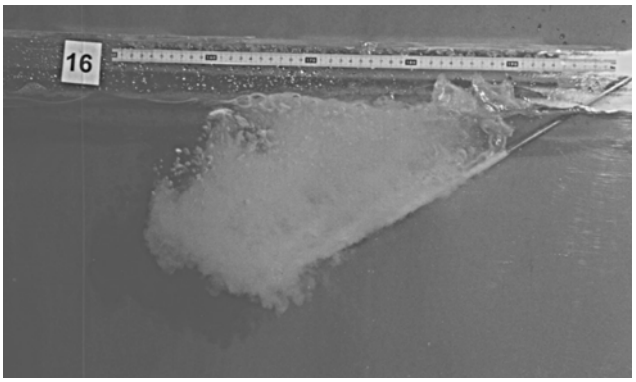
Rys. 2. Wdmuchiwanie strumienia dwufazowego do ośrodka ciekłego przy prędkości $w = 6{,}8$ m/s i $w = 78{,}52$ m/s

Fig. 2. One-phase stream injection into liquid with velocity $w = 6.8$ m/s and $w = 78.52$ m/s




Rys. 3. Wdmuchiwanie polistyrenu ($\rho$ = 525 kg/m$^3$) przy prędkości $w = 49{,}6$ m/s

Fig. 3. Polystyrene injection ($\rho$ = 525 kg/m$^3$) with velocity $w = 49.6$ m/s




Rys. 4. Wdmuchiwanie polistyrenu ($\rho$ = 1651 kg/m$^3$) przy prędkości $w = 21{,}4$ m/s

Fig. 4. Polystyrene injection ($\rho$ = 1651 kg/m$^3$) with velocity $w = 21.4$ m/s

Na uzyskanych materiałach fotograficznych dokonano pomiaru charakterystycznych wielkości: $L$ - głębokości przenikania strumienia, $A$ - zasięgu strumienia i $H$ - głębokości odniesionej do powierzchni cieczy (rys. 5).

Rys. 5. Strumień dwufazowy w ośrodku ciekłym

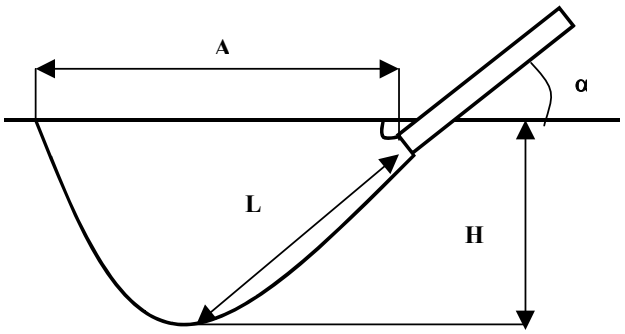



Fig. 5. Two-phase stream into liquid

Na podstawie uzyskanych wyników badań, odczytów, obliczeń zasięgu wprowadzania i wielkości charakteryzujących strumień dwufazowy przeprowadzono analizę statystyczną, której celem jest określenie zależności głębokości przenikania strumienia i jego zasięgu w funkcji parametrów strumienia i własności cząstek. W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskano następujące zależności:

$$L = 0{,}123 + 5{,}38 \cdot m_c + 4{,}29 \cdot 10^{-5} \rho_c$$

dla następujących wartości parametrów statystycznych:

$$L_{śr} = 0{,}28, \quad R = 0{,}866, \quad F = 27{,}06$$

gdzie: $L_{śr}$ - wartość średnia, $R$ - współczynnik korelacji wielokrotnej, $F$ - test Fishera

$$H = 0{,}13 - 31{,}1 \cdot m_g + 3{,}09 \cdot m_c + 3{,}28 \cdot 10^{-5} \rho_c$$

dla następujących wartości parametrów statystycznych:

$$H_{śr} = 0{,}18, \quad R = 0{,}928, \quad F = 35{,}5$$

$$A = 0{,}141 + 4{,}37 \cdot m_c + 1{,}12 \cdot 10^{-5} \rho_c$$

dla następujących wartości parametrów statystycznych:

$$A_{śr} = 0{,}28, \quad R = 0{,}944, \quad F = 73{,}9$$

Z przedstawionych zależności wynika, że największy wpływ na zmianę głębokości przenikania strumienia posiada natężenie przepływu materiału i gęstość cząstek. Porównując uzyskane wyniki z zależnością przedstawioną w literaturze, zauważono znaczne rozbieżności. W prowadzonych eksperymentach zasięg strumienia był większy o kilkadziesiąt procent.

Przedstawione powyżej wyniki badań stanowią tylko fragment realizowanego obecnie eksperymentu. Uwzględnia on znacznie większe zakresy zmienności gęstości i średnicy wdmuchiwanych cząstek, a także gęstość ośrodka ciekłego, do którego cząstki są wprowadzane. Po zakończeniu całego cyklu badań z pewnością można będzie dokonać opisu ruchu cząstki, jak również wpływu poszczególnych parametrów procesu na jego przebieg.

## LITERATURA

[1] Janerka K., Nawęglanie ciekłych stopów żelaza za pomocą urządzeń pneumatycznych, Praca doktorska, Gliwice 1995.

[2] Janerka K., Jura S., Piątkiewicz Z., Szlumczyk H., Szybkość nawęglania w procesie pneumatycznego wprowadzania materiału węglowego, ZN Pol. Śl., Mechanika 128, Gliwice 1997.

[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, ZN PAN 38, Katowice 1998.

[4] Janerka K., Gawroński J., Cholewa M., Jezierski J., Modelowanie fizyczne procesu wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu, Krzepnięcie metali i stopów, ZN PAN 40, Katowice 1999.

[5] Gawronski J., Janerka K., Cholewa M., Szajnar J., Modelowanie pneumatycznego wprowadzania cząstek zbrojących do osnowy kompozytu, Acta Metallurgica Slovaca 1999, 5.
[6] Engh T.A., Larsen K., Penetration of particle-gas jets into liquids, Ironmaking and Steelmaking 1979, 6.

Recenzent
Edward Guzik