41/10

Archives of Foundry,
Year 2003, Volume 3, № 10
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2003, Rocznik 3, Nr 10
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

WPŁYW PRĘDKOŚCI ZIAREN ŻELAZOSTOPÓW NA WSKAŹNIKI PNEUMATYCZNEGO WPROWADZANIA DODATKÓW STOPOWYCH DO CIEKŁEGO ŻELIWA

J. JEZIERSKI[1]
Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów wprowadzania dodatków stopowych do ciekłego żeliwa. Na uzyskiwane wskaźniki technologiczne tego procesu wpływ ma szereg parametrów takich jak konstrukcja podajnika i lancy wdmuchującej, wielkość wprowadzanych ziaren, temperatura ciekłego metalu i inne. Jednak na podstawie badań stwierdzono, że najważniejszy wpływ na efektywność wdmuchiwania dodatków stopowych do ciekłego żeliwa lancą niezanurzoną ma prędkość ziaren żelazostopów na wylocie z lancy. Zapewnia ona wystarczający dla należytego rozprowadzenia dodatku stopowego zasięg strumienia dwufazowego w ciekłym stopie.

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

1.WPROWADZENIE

Wdmuchiwanie proszków jako metoda wprowadzania różnego rodzaju reagentów do ciekłych stopów ma już swoje stałe miejsce w procesach metalurgicznych i odlewniczych. Badania nad nią prowadzone są jednak dalej w wiodących jednostkach badawczych w kraju i za granicą. W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej eksperymenty wdmuchiwania proszków doprowadziły do rozwiązania problemu pneumatycznego nawęglania ciekłego żeliwa w piecach elektrycznych łukowych. Obecnie obok modelowych badań procesu wdmuchiwania mających na celu jednoznaczne wskazanie wielkości wpływających na proces wdmuchiwania nawęglacza

[1] *dr inż., georgeko@zeus.polsl.gliwice.pl*

lancą zanurzoną w aspekcie nawęglania żeliwa [1, 2, 3], prowadzone są badania wdmuchiwania dodatków stopowych lancą niezanurzoną [4, 5, 6, 7, 8]. Prezentowane w artykule wyniki wskazują na decydujący wpływ na właściwe rozprowadzanie a co za tym idzie przyswajanie wprowadzonych składników, prędkości strumienia dwufazowego proszek-gaz na wylocie z lancy wdmuchującej. Ponieważ badania dotyczą lancy zanurzonej (w aspekcie wykorzystania metody wdmuchiwania w piecach elektrycznych indukcyjnych) najważniejszym dla powodzenia procesu jest etap wprowadzenia ziaren żelazostopu do ciekłego stopu poprzez pokonanie oporów ośrodka i należyte ich rozprowadzenie w całej objętości obrabianego stopu.

Aby nadać ziarnom energię kinetyczną wystarczającą dla pokonania oporów ciekłego ośrodka o dużej gęstości jakim jest ciekłe żeliwo, musi być zapewniona odpowiednia prędkość gazu nośnego i linia transportu (zwłaszcza lanca) o odpowiedniej dla rozpędzenia cząstek długości. Opisywane badania pozwoliły ustalić optymalne wartości parametrów pneumatycznych dla dwóch różniących się znacznie gęstością żelazostopów – FeSi oraz FeCr o różnej wielkości ziaren, wdmuchiwanych lancą umieszczoną w różnych odległościach od lustra kąpieli metalowej.

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Wprowadzanie żelazostopów prowadzono do pieca elektrycznego indukcyjnego tyglowego o pojemności ok. 30 kg ciekłego wsadu. Wdmuchiwano żelazochrom FeCr650 oraz żelazokrzem FeSi75 o ziarnistości 0 ÷ 1,6 mm podzielone na trzy frakcje:

- frakcja 1 – średnia średnica ziaren $d_c = 0,1$ mm,
- frakcja 2 – średnia średnica ziaren $d_c = 0,5$ mm,
- frakcja 3 – średnia średnica ziaren $d_c = 1,2$ mm,

Zarówno opis i schemat stanowiska badawczego jak również opis eksperymentów wdmuchiwania przedstawiono szczegółowo we wcześniejszych publikacjach [4, 6, 7].

Na podstawie badań wstępnych i posiadanej wiedzy sporządzono kompozycyjny plan eksperymentu dla liczby zmiennych S=4 i trzech poziomów ich zmienności. Przyjęto następujące zmienne niezależne:

- ciśnienie zasilania $p_1 = 0,2;\ 0,3;\ 0,4$ MPa (-,0,+)
- ciśnienie wewnątrz podajnika $p_4 = 0,05;\ 0,1;\ 0,15$ MPa (-,0,+)
- średnia wielkość cząstki $d_{cz} = 0,1;\ 0,5;\ 1,2$ mm (-,0,+)
- odległość lancy od powierzchni kąpieli $h = 40;\ 80;\ 120$ mm (-,0,+)

Podczas badań dokonywano pomiarów wszystkich niezbędnych dla obliczenia zarówno parametrów pneumatycznych jak i wskaźników technologicznych wielkości a ich wyniki następnie poddano szczegółowej analizie statystycznej. Najważniejsze z punktu widzenia uzyskiwanej prędkości strumienia dwufazowego wielkości zebrano w tabelach i szczegółowo opisano we wcześniejszych publikacjach.

Przedstawione w tabelach parametry są wielkościami, które w zależności od specyfiki wdmuchiwanego materiału czy też warunków wytopu mogą być regulowane

w szerokim zakresie czy to poprzez zmiany w geometrii układu dozującego (zmiana dyszy wlotowej do komory mieszania podajnika) czy tez poprzez zmianę parametrów gazu zasilającego.

W czasie eksperymentów ustalano parametry instalacji zgodnie z założonym planem eksperymentu, uzyskując prawie dla wszystkich wartości efektywności wprowadzania krzemu i chromu do żeliwa na bardzo wysokim poziomie [9].

3. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERYMENTÓW

Przeprowadzono analiza statystyczną uzyskanych dwóch zbiorów danych (dla obu żelazostopów), wiążąc w równania eksperymentalne najważniejsze wielkości wpływające na wskaźniki technologiczne procesu. Jak wskazano na wstępie decydująca okazała się wartość prędkości strumienia gaz-proszek na wylocie z lancy zależna głownie od prędkości wylotowej gazu.

3.1. Prędkość gazu na wylocie z lancy

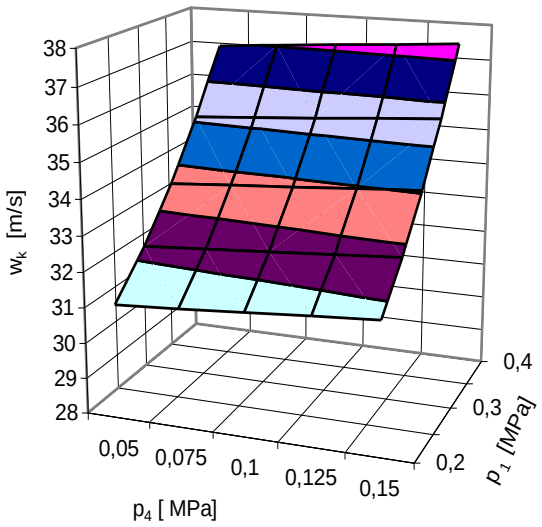
Możliwość uzyskania odpowiedniej dla danego materiału prędkości gazu na wylocie z lancy zapewnia regulacja ciśnienia gazu zasilającego oraz ciśnienia gazu wewnątrz podajnika transportu. Skokowe zwiększenie prędkości gazu można uzyskać poprzez wymianę dyszy wlotowej na wejściu do komory mieszania podajnika – miało to miejsce dla eksperymentów wdmuchiwania FeSi (ze względu na znacznie niższą gęstość właściwą tego materiału). Poniżej przedstawiono równania statystyczne uzyskane metodą regresji krokowej (program Regresja), opisujące zależność prędkości gazu od ciśnień w układzie. Są to odpowiednio równanie (1) dla eksperymentów wdmuchiwania FeCr oraz równanie (2) dla eksperymentów wdmuchiwania FeSi.

$$w_k = 29{,}03 + 47{,}68 p_1^2 + 4{,}974 p_4 \tag{1}$$

$$w_k = 46{,}09 + 1{,}033 \cdot 10^2 p_1^2 + 1{,}187 \cdot 10^2 p_4 \tag{2}$$

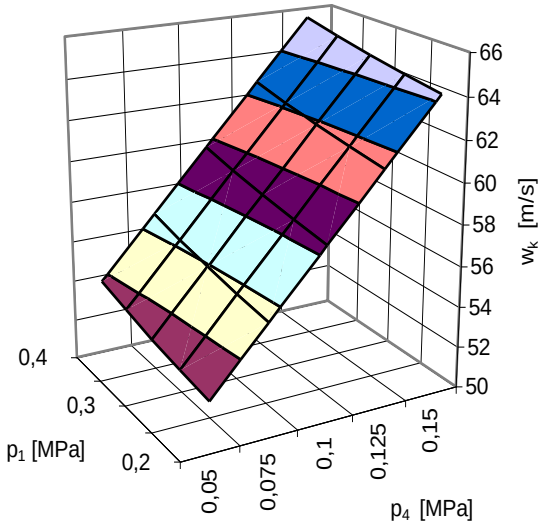
gdzie: p_1 – ciśnienie gazu zasilającego, p_4 – ciśnienie gazu w podajniku

Z obu równań widać, że decydujący wpływ na prędkość gazu na wylocie z lancy ma ciśnienie zasilania p_1, natomiast ciśnienie wewnątrz podajnika p_4 pełni funkcję regulacyjną dla wartości koncentracji mieszaniny dwufazowej w linii transportu (zwiększanie tego ciśnienia powoduje zwiększanie koncentracji masowej mieszaniny μ) Na rys. 1. i 2. przedstawiono graficznie powyższe równania.



Rys. 1. Zależność prędkości gazu na wylocie z lancy od wartości ciśnień w układzie dla wdmuchiwania FeCr

Fig. 1. Dependence between gas velocity in lance outlet and the pressures in system for FeCr injection



Rys. 2. Zależność prędkości gazu na wylocie z lancy od wartości ciśnień w układzie dla wdmuchiwania FeSi

Fig. 2. Dependence between gas velocity in lance outlet and the pressures in system for FeSi injection

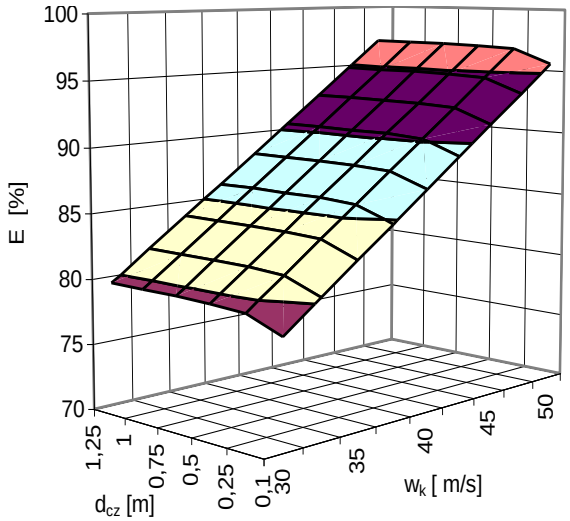
3.2. Efektywność wdmuchiwania żelazostopów

Wpływ prędkości gazu na wylocie z lancy na wskaźniki procesu przedstawiają uzyskane równania statystyczne. I tak efektywność wprowadzania żelazostopów przedstawia się następująco dla eksperymentów wdmuchiwania żelazochromu (3) i żelazokrzemu (4):

$$E = 5{,}323 \cdot 10 + 8{,}750 \cdot 10^{-1} w_k - 1{,}299 \cdot 10^{-2} \frac{1}{d_{cz}^2} \tag{3}$$

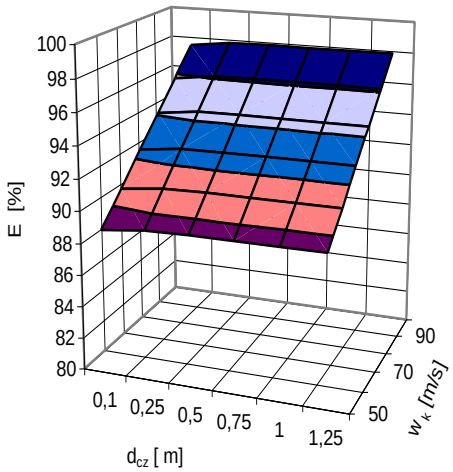
$$E = 8{,}089 \cdot 10 + 1{,}697 \cdot 10^{-1} w_k - 3{,}668 \cdot 10^{-3} \frac{1}{d_{cz}^2} \tag{4}$$

Z zależności wynika, że zarówno wzrost prędkości gazu na wylocie z lancy w_k jak również wzrost wielkości cząstek żelazostopu powoduje wzrost efektywności wprowadzania obu dodatków stopowych. Zależności te obrazują graficznie odpowiednio rys. 3. dla żelazochromu i rys. 4. dla żelazokrzemu.



Rys. 3. Efektywność wdmuchiwania żelazochromu w funkcji prędkości gazu na wylocie z lancy oraz wielkości cząstki żelazostopu

Fig. 3. The effectiveness of ferrochromium injection in function of gas velocity in lance outlet and a ferroalloy size



Rys. 4. Efektywność wdmuchiwania żelazokrzemu w funkcji prędkości gazu na wylocie z lancy oraz wielkości cząstki żelazostopu
Fig. 4. The effectiveness of ferrosilicon injection in function of gas velocity in lance outlet and a ferroalloy size

3.3. Zasięg strumienia dwufazowego w ciekłym stopie

Od wartości prędkości strumienia dwufazowego na wylocie z lancy zależy wielkość jego zasięgu w ciekłym stopie. Wielkość tę wyliczono zgodnie z wzorem Engha [10] a jego wartość w większości eksperymentów zapewniała należyte rozprowadzenie ziaren żelazostopów w objętości ciekłego żeliwa.

Uzyskane na podstawie analiz statystycznych równania przedstawiają się następująco, odpowiednio (5) dla wdmuchiwania FeCr oraz (6) dla wdmuchiwania FeSi.

$$L = 1{,}477 \cdot 10^{-1} - 9{,}388 \cdot 10^{-4} H + 2{,}568 \cdot 10^{-3} \mu \tag{5}$$

$$L = 1{,}513 \cdot 10^{-1} - 9{,}485 \cdot 10^{-4} H + 1{,}430 \cdot 10^{-2} w_k - 1{,}051 \cdot 10^{-2} d_{cz} \tag{6}$$

W obu równaniach widoczny jest wpływ położenia wylotu lancy względem lustra ciekłego stopu *H*. Tylko w równaniu (6) jako wielkość wpływająca pojawia się prędkość gazu na wylocie z lancy oraz wielkość cząstki żelazostopu na wartość zasięgu strumienia. Jest tak dlatego, że żelazokrzem (równanie 6) ma znacznie mniejszą gęstość niż żelazochrom (równanie 5) w związku z czym aby umożliwić wystarczające wnikanie cząstek należy zapewnić im znacznie większą prędkość.

3.4. Przyrost zawartości pierwiastków stopowych

Z punktu widzenia przemysłowego wykorzystania metody wdmuchiwania dodatków stopowych ważna jest łatwość uzyskiwania dużych przyrostów pierwiastków stopowych w ciekłym żeliwie. Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność metody wdmuchiwania także w tym aspekcie, a uzyskane równania statystyczne opisujące przyrost odpowiednio chromu (7) i krzemu (8) są następujące:

$$\Delta Cr = -4{,}213 \cdot 10^{-1} + 4{,}035 m_d - 3{,}818 \cdot 10^{-6} H^2 + 2{,}544 w_k^2 \qquad (7)$$

$$\Delta Si = -5{,}978 \cdot 10^{-1} + 5{,}424 m_d - 3{,}049 \cdot 10^{-6} H^2 + 3{,}083 \cdot 10^{-5} w_k^{\ 2} + 3{,}320 Si_p \qquad (8)$$

W powyższych równaniach ponownie pojawia się prędkość wylotowa gazu jako jeden z decydujących parametrów procesu jak również związany z nią zasięg strumienia dwufazowego. Ponadto na bezwzględny przyrost zawartości pierwiastka stopowego wpływa wprowadzona jego ilość co jest uzasadnione z punktu widzenia zjawisk rozpuszczania ziaren żelazostopu przez ciekłe żeliwo.

LITERATURA

[1] Janerka K., *Nawęglanie ciekłych stopów żelaza za pomocą urządzeń pneumatycznych*. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1994.

[2] Janerka K., Jura S., Łukasiewicz Z., Rzepka R., Swaczyna S.: Obniżenie kosztu wytapiania żeliwa w piecach elektrycznych łukowych przez pneumatyczne nawęglanie. Przegląd Odlewnictwa Nr. 2, 1994.

[3] Janerka K i inni*: Szybkość nawęglania w funkcji parametrów strumienia dwufazowego w pneumatycznym nawęglaniu ciekłych stopów żelaza,* Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice, 1998, nr. 38, s. 207-212

[4] Jezierski J., Jura S., Janerka K., *Pneumatyczne wprowadzanie żelazokrzemu do ciekłego żeliwa*. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (1/2).

[5] Jezierski J., Jura S., Janerka K., *Pneumatyczne wprowadzanie FeCr do ciekłego żeliwa*. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2)

[6] Jezierski J., Jura S, Janerka K., *Parametry procesu wdmuchiwania żelazostopów do ciekłych stopów żelaza*. Krzepnięcie Metali i Stopów, Rocznik 1, Nr 39, PAN Katowice 1999.

[7] Jezierski J.,. Jura S., *Wprowadzanie FeSi do ciekłego żeliwa metodą pneumatyczną*. Krzepnięcie Metali i Stopów, Rocznik 1, Nr 40, PAN Katowice 1999.

[8] Jezierski J., Janerka K., Jura S., Piątkiewicz Z: *Parametry wdmuchiwania żelazostopów do ciekłych stopów żelaza*. Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice, v. 1, z. 39, 1999, s. 129-134

[9] Jezierski J., *Wdmuchiwanie dodatków stopowych do ciekłego żeliwa.* Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
[10] T. A. Engh, *Penetration of particles through a gas liquid interface.* I International Conference SCANINJECT I, Luleå, Sweden, June 9 – 10 1977.

Publikacja finansowana przez Komitet Badań Naukowych w ramach projektu badawczego PBU-63/RMT-3/2002.

VELOCITY OF THE FERROALLOYS PARTICLES INFLUENCE ON THE PARAMETERS OF THE PNEUMATIC INJECTION OF ALLOY ADDITIONS INTO LIQUID CAST IRON

SUMMARY

In the paper has been presented the results of the experiments of alloy addition introduction into liquid cast iron. There are many parameters that influence on the technological parameters of the process as: powder dispenser and a lance construction, size of the introduced particles, liquid metal bath temperature and others. There were assumed that the main influence on the efficiency of alloy additions injection into liquid cast iron with use of non-submerged lance has the velocity of ferroalloy grains in lance outlet. It ensures the proper diphase stream range for appropriate distribution of alloy addition in liquid alloy.

Recenzował Prof. Józef Gawroński