



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE  
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE  
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS  
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference  
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

## ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

### Możliwości wykorzystania drobnych frakcji żelazostopów w procesie ich pneumatycznego wprowadzania do ciekłego żeliwa

J. Jezierski

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

Stosunkowo dawno zaobserwowano, że na stopień wykorzystania (efektywność) dodatków stopowych zasadniczy wpływ ma ich rozdrobnienie oraz sposób wprowadzania. Spośród wielu metod wprowadzania rozdrobnionych składników różnego rodzaju do ciekłego stopu wiodącą jest metoda pneumatycznego wdmuchiwania.

W przypadku pieców indukcyjnych, ze względu na specyfikę wytopu najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się być wstrzeliwanie proszków lancą, której wylot znajduje się w pewnej odległości od lustra ciekłego stopu. W tym przypadku pojawia się problem zapewnienia poszczególnym ziarnom proszku wystarczającej energii dla pokonania oporów ośrodka, jakim jest ciekły stop.

Rozwinięcie metody wdmuchiwania proszków wydaje się być celowe, zwłaszcza w aspekcie wykorzystywania drobnych frakcji niektórych materiałów, które w procesie wytwarzania są uważane za odpadowe. Uzyskanie pozytywnych wyników może umożliwić praktyczne wykorzystanie tej metody, zwłaszcza, że producenci materiałów dla metalurgii i odlewnictwa, sygnalizują potrzebę wykorzystania proszków żelazostopów dla efektywnego uzupełniania składników stopowych w żeliwie i staliwie.

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.

### 1. ZAKRES BADAŃ

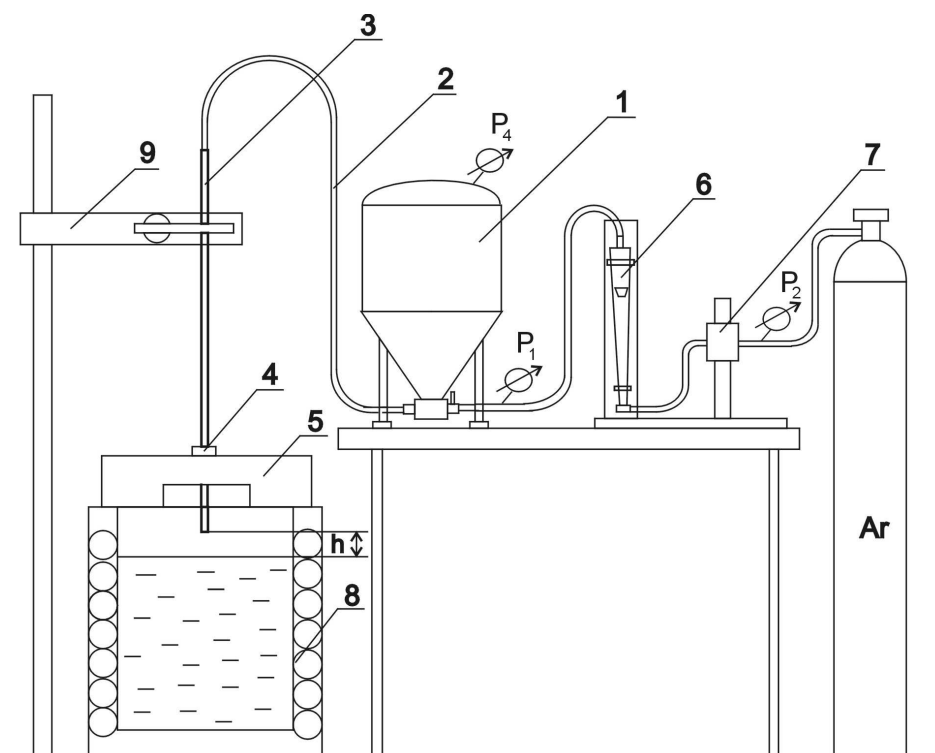
Cel pracy, który zakładał analizę metody wstrzeliwania pod kątem jej wykorzystania przemysłowego dla wprowadzania żelazostopów do żeliwa, został zrealizowany w oparciu o wyniki badań przeprowadzonych na zmodernizowanym stanowisku laboratoryjnym Zakładu Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. W publikacji przedstawiono stanowisko

doświadczalne, oraz skrócony opis badań, które prowadzone były w oparciu o schemat cyklu badawczego i zaproponowany kompozycyjny plan eksperymentu. Schemat stanowiska badawczego przedstawia rys. 1.

Urządzenie nadawcze zastosowane w badaniach umożliwia zmianę następujących parametrów pracy:

- natężenia przepływu gazu i koncentracji strumienia dwufazowego poprzez zmianę średnicy dyszy regulacyjnej  $d_a$ ,
- natężenia przepływu materiału poprzez zmianę nadciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym  $p_4$ ,

ciśnienia gazu zasilającego  $p_1$ , mającego zasadniczy wpływ na prędkość strumienia.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczo-pomiarowego:

1- podajnik transportu pneumatycznego, 2- przewód transportowy gumowy, 3- lanca, 4- zderzak, 5- pokrywa ochronna, 6-rotametr pomiarowy RDN-25, 7- reduktor ciśnienia gazu zasilającego, 8- piec elektryczny indukcyjny tyglowy, 9- ramię, Ar- butla z argonem technicznym,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_4$ - manometry mierzące ciśnienie w poszczególnych punktach instalacji

Strumień dwufazowy wprowadzany był do pieca elektrycznego indukcyjnego tyglowego o częstotliwości 8000 [Hz], mocy maksymalnej 55 kW z wyłożeniem korundowym, o pojemności nominalnej ok. 30 kg ciekłego żeliwa.

### 1.1. Sposób prowadzenia badań

Po załadunku pieca wsadem, obliczonym na osiągnięcie składu odpowiadającego żeliwu Zl 250 i jego roztopieniu oraz ściągnięciu żużla, poszczególne operacje były prowadzone w następującej kolejności:

- pobranie próbki stopu do analizy składu chemicznego,
- załadunek odważonej uprzednio porcji materiału do zbiornika,

- ustalenie żądanej odległości lancy od kąpieli oraz temperatury ciekłego stopu,
- otwarcie dopływu argonu oraz zasowy obrotowej i rozpoczęcie pomiaru czasu trwania transportu,
- pomiar ciśnień w poszczególnych punktach układu oraz natężenia przepływu argonu,
- po zakończeniu wdmuchiwania, zamknięcie zaworu i podniesienie lancy,
- pomiar temperatury ciekłego żeliwa po zakończeniu procesu,
- pobranie próbki stopu do analizy składu chemicznego.

W trakcie eksperymentów mierzono temperatury kąpieli metalowej przed  $T_p$  i po zakończeniu wdmuchiwania  $T_k$ . Temperaturę początkową ustalano na poziomie  $1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ , a proces wdmuchiwania prowadzony był przy włączonym piecu, przy zasilaniu zapewniającym stabilizację temperatury ciekłego stopu.

## 1.2. Wdmuchiwane żelazostopy

W eksperymentach zastosowano dwa żelazostopy:

- żelazochrom wysokowęglowy FeCr 650 o zawartości 69 % Cr oraz 7,6 % C,
- żelazokrzem FeSi 75 o zawartości 72 % Si.

Ze względu na fakt, że efektywność procesu wprowadzania dodatków stopowych badano między innymi w zależności od wielkości ich ziarna, dokonano podziału badanych żelazostopów na frakcje wdmuchiwane oddzielnie.

## 2. ANALIZA WYNIKÓW EKSPERYMENTÓW

Podczas eksperymentów wstrzeliwania dokonywano pomiarów wszystkich najważniejszych parametrów pneumatycznego przemieszczania żelazostopów oraz parametrów ciekłego żeliwa. Obliczono następnie najważniejsze wskaźniki procesu, jak również przy pomocy analizy statystycznej wskazano, które parametry wpływają najmocniej na uzyskiwane jego efekty. Oceny dokonano na podstawie analizy wpływu głównych parametrów pracy instalacji (zwłaszcza prędkości gazu na wylocie z lancy) na podstawowe wskaźniki technologiczne jak: szybkość i efektywność wprowadzania dodatków stopowych oraz ich bezwzględny przyrost w ciekłym żeliwie.

### 2.1. Prędkość gazu nośnego na wylocie z lancy

Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że najważniejszym dla właściwego rozproszczenia proszku w całej objętości ciekłego stopu jest prędkość gazu nośnego na wylocie z lancy, a parametr ten zależy głównie od wartości ciśnień w instalacji transportu, co przedstawiają zależności eksperymentalne (1) i (2) odpowiednio dla wstrzeliwania FeCr oraz FeSi:

$$w_k = 29,03 + 47,68p_1^2 + 4,974p_4 \quad (1)$$

gdzie:  $p_1$  – ciśnienie zasilania gazu nośnego  
 $p_4$  – ciśnienie wewnątrz podajnika

$$w_k = 46,09 + 1,033 \cdot 10^2 p_1^2 + 1,187 \cdot 10^2 p_4 \quad (2)$$

## 2.2. Zasięg strumienia w ciekłym metalu

Jednym z istotniejszych zagadnień w procesach pneumatycznego wprowadzania proszków jest zasięg strumienia dwufazowego  $L$  w ciekłym metalu. Parametr ten jest jeszcze bardziej istotny w przypadku wstrzeliwania materiału znad powierzchni kąpieli metalowej.

Obliczeniowy zasięg strumienia w większości prób wdmuchiwania żelazokrzemu oscylował w granicach połowy głębokości tygla.

Przeprowadzono analizę statystyczną, której wynikiem są równania (3) dla wdmuchiwania FeCr650 oraz (4) dla wdmuchiwania FeSi75.

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

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

gdzie:  $H$  – odległość wylotu lancy od powierzchni ciekłego metalu

$\mu$  – stężenie masowe mieszaniny

$w_k$  – prędkość gazu na wylocie lancy

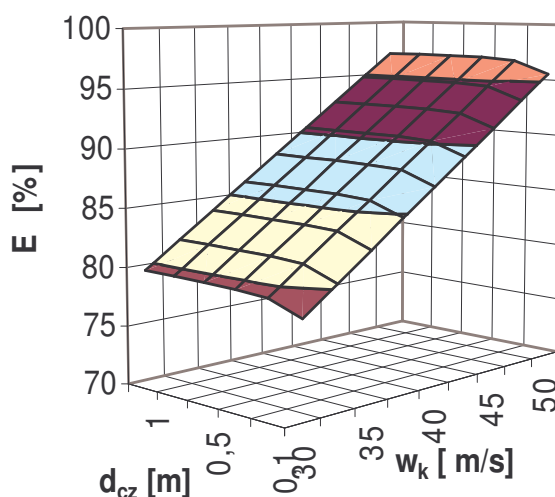
$d_{cz}$  – średnia średnica cząstek żelazostopu

## 2.3. Efektywność wprowadzania składnika stopowego

Wartość tego najistotniejszego technologicznie parametru zmieniała się w przedziale 78,9÷93,2 % dla wstrzeliwania FeCr oraz 89,8÷97,9 % dla FeSi75.

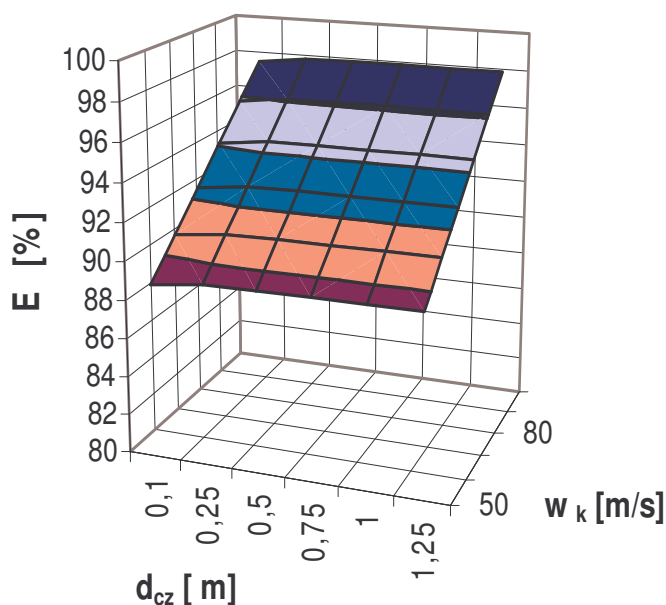
Wynikiem analizy statystycznej wielkości wpływających na efektywność są odpowiednio: równanie (5) dla wdmuchiwania FeCr650 i równanie (6) dla wdmuchiwania FeSi75, (rys. 2 i 3).

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



Rys. 2. Efektywność w funkcji prędkości gazu oraz wielkości ziarna dla eksperymentów wdmuchiwania FeCr650

$$E = 8,089 \cdot 10 + 1,697 \cdot 10^{-1} w_k - 3,668 \cdot 10^{-3} \frac{1}{d_{cz}^2} \quad (6)$$



Rys. 3. Efektywność w funkcji prędkości gazu oraz wielkości ziarna dla eksperymentów wdmuchiwania FeSi75

#### 2.4. Przyrost zawartości pierwiastków stopowych

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

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

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

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.

W równaniach uwidocznił się także ujemny wpływ zwiększania odległości wylotu lancy od powierzchni ciekłego metalu, co było zwłaszcza widoczne w odniesieniu do najdrobniejszych ziaren żelazostopów.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone eksperymenty wskazały jednoznacznie najważniejsze parametry, wpływające bezpośrednio na efekty technologiczne procesu pneumatycznego wprowadzania dodatków stopowych do ciekłego żeliwa.

Z przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych badań, można wysunąć następujące wnioski:

1. Metoda wdmuchiwania dodatków stopowych do ciekłego żeliwa lancą niezanurzoną, umożliwiła uzyskanie bardzo wysokich efektywności i szybkości przyswajania chromu i krzemu oraz ich przyrostu w ciekłym żelwie.
2. Decydujący wpływ na wymienione parametry, ma prędkość gazu na wylocie z lancy, warunkująca uzyskanie przez ziarna żelazostopów wystarczającej energii kinetycznej, niezbędnej do zanurzenia się w ciekłym metalu.
3. Odpowiednia wartość prędkości strumienia, zapewnia duży jego zasięg w kąpielii metalowej, od którego w znacznym stopniu zależą parametry technologiczne procesu.
4. Regulacja prędkości strumienia może odbywać się poprzez zmianę ciśnienia zasilania  $p_I$  lub, przez wymianę dyszy u wlotu komory mieszania podajnika. Sterowanie strumieniem masowym proszku możliwe jest poprzez regulację ciśnienia w podajniku.
5. Najwyższe wskaźniki procesu zapewnia użycie żelazostopów o średniej wielkości ziaren i odległości lancy od lustra ciekłego metalu równej 40 mm. Zastosowanie mniejszych ziaren lub większych odległości lancy wymaga zwiększenia ciśnienia zasilania  $p_I$ , celem uzyskania większej prędkości wylotowej gazu.
6. Uzyskane wyniki wskazują na fakt, że metoda wstrzeliwania dodatków stopowych, może być stosowana do ich wprowadzania w procesach wytwarzania żeliw stopowych. Opracowany modelowy zestaw urządzeń jest w pełni sterowalny i po powiększeniu skali, może być stosowany w warunkach przemysłowych.

### LITERATURA

- 1 J. Jeziński, S. Jura, K. Janerka, Pneumatyczne wprowadzanie żelazokrzemu do ciekłego żeliwa. *Archiwum Odlewnictwa*, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (1/2).
- 2 J. Jeziński, S. Jura, K. Janerka, Pneumatyczne wprowadzanie FeCr do ciekłego żeliwa. *Archiwum Odlewnictwa*, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2).
- 3 K. Janerka, J. Gawroński, M. Cholewa, J. Szajnar, H. Szlumczyk, J. Jeziński, Modelowanie fizyczne procesu wdmuchiwania proszków do ciekłego metalu. *Krzepnięcie Metali i Stopów*, Rocznik 1, Nr 40, PAN Katowice 1999.
- 4 J. Jeziński, K. Janerka, S. Jura, Z. Piątkiewicz, Parametry procesu wdmuchiwania żelazostopów do ciekłych stopów żelaza. *Krzepnięcie Metali i Stopów*, Rocznik 1, Nr 39, PAN Katowice 1999.
- 5 J. Jeziński, S. Jura, Wprowadzanie FeSi do ciekłego żeliwa metodą pneumatyczną. *Krzepnięcie Metali i Stopów*, Rocznik 1, Nr 40, PAN Katowice 1999.
- 6 K. Janerka, H. Szlumczyk, J. Jeziński, Transport pneumatyczny w procesach wdmuchiwania proszków do ośrodków ciekłych. *Transport Przemysłowy*, Nr2(8) 2002.
- 7 J. Jeziński, Pneumatyczne wprowadzanie dodatków stopowych do ciekłego żeliwa. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.