

**WDMUCHIWANIE PROSZKÓW DO CIEKŁYCH STOPÓW  
METALI JAKO NARZĘDZIE POPRAWY ICH JAKOŚCI**

J. JEZIEFSKI<sup>1</sup>, K. JANERKA<sup>2</sup>, J. SZAJNAR<sup>3</sup>  
Zakład Odlewnictwa, Politechnika Śląska  
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

**STRESZCZENIE**

W pracy przedstawione zostały korzyści wynikające z zastosowania metody pneumatycznego wprowadzania sproszkowanych reagentów do ciekłych stopów żelaza w aspekcie poprawy ich jakości. Najszersze zastosowanie wdmuchiwania proszków w odlewnictwie wiąże się z nawęglaniem (dowęglaniem) ciekłego żeliwa a także wprowadzaniem niewielkich ilości dodatków stopowych i analiza tych właśnie zagadnień jest głównym tematem niniejszej pracy. Ponadto przedstawiono propozycję modyfikacji stanowiska do wdmuchiwania proszków, zapewniającą utrzymanie wysokich wartości wskaźników technologicznych (efektywności) przy jednoczesnej poprawie jakości ciekłego stopu w czasie procesu wdmuchiwania.

*Key words: powder injection, pneumatic transportation, liquid cast iron, injection lance.*

**1. WPROWADZENIE**

Wytapianie stopów odlewniczych jest najbardziej energochłonnym procesem, a co za tym idzie generującym znaczną część kosztów w całej technologii wytwarzania odlewów. Wynika to przede wszystkim z długiego czasu roztapiania stałego wsadu metalowego i niemetalowego ale także obróbki ciekłej kąpieli (rafinacja, modyfikacja, nawęglanie, wprowadzanie dodatków stopowych i in.), w czasie trwania których konieczne jest utrzymywanie wysokiej temperatury kąpieli metalowej. Rozwój metod

---

<sup>1</sup> dr inż. [jan.jezierski@polsl.pl](mailto:jan.jezierski@polsl.pl)

<sup>2</sup> dr inż. [krzysztof.janerka@polsl.pl](mailto:krzysztof.janerka@polsl.pl)

<sup>3</sup> dr hab. inż. [jan.szajnar@polsl.pl](mailto:jan.szajnar@polsl.pl)

wprowadzania wymaganych reagentów dąży więc do maksymalnego skrócenia czasu ich podawania, przy jednoczesnym zapewnieniu jak najwyższych technologicznych wskaźników oraz jakości ciekłego stopu. Jedną z najlepszych metod takiej intensyfikacji procesów metalurgicznych jest pneumatyczne wprowadzanie sproszkowanych reagentów, zapewniające krótki czas trwania oraz wysoką efektywność (uzysk) i szybkość procesu.

Duży wpływ na koszt wytopu ma możliwość wykorzystania drobnych frakcji wprowadzanych reagentów (np. żelazostopów), które jako materiały odpadowe pozyskiwane mogą być za znacznie niższą cenę. Ponadto zastosowanie metody wdmuchiwania pozwala na utylizację pyłów odlewniczych, co w ostatecznym rozrachunku przynosi dalsze, często długofalowe korzyści ekonomiczne.

Istotnym zagadnieniem jest jednak zapewnienie takiej samej (lub wyższej) jakości wytapianego stopu po zakończeniu procesu wdmuchiwania, bez dodatkowej rafinacji w celu np. usunięcia z stopu wprowadzonego z reagentem gazu nośnego.

Dlatego też w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach od lat prowadzone są badania dwóch rodzajów metod wdmuchiwania proszków. Pierwsza z nich, przy użyciu lanc zanurzonych w ciekłym stopie przeznaczona jest dla pieców elektrycznych łukowych, gdzie charakter wytopu powoduje, że wprowadzenie nawet dużej ilości powietrza nie stanowi metalurgicznego problemu. Druga metoda, gdzie zastosowane są lance niezanurzone, przeznaczona jest dla pieców indukcyjnych, gdzie wprowadzanie gazu nośnego do kąpieli metalowej jest niepożądane.

Najlepsze rezultaty daje pneumatyczne nawęglanie żeliwa w piecach elektrycznych łukowych, w przypadku konieczności znacznego zwiększenia zawartości węgla w żeliwie przed jego sferoidyzacją. Ma to szczególne znaczenie, gdy dla zmniejszenia kosztów jako wsad stosuje się złom stalowy o niskiej zawartości węgla. Na tym polu Zakład Odlewnictwa Politechniki Śląskiej ma bardzo duże osiągnięcia, mierzone kilkunastoma działającymi w kraju instalacjami wdmuchiwania nawęglacza.

## **2. WSKAŹNIKI EKONOMICZNE PROCESU NAWĘGLANIA ŻELIWA Z WYKORZYSTANIEM METODY WDMUCHIWANIA PROSZKÓW**

Do niedawna wytapianie żeliwa o dużej zawartości węgla oparte było o wsad na bazie surówki. Takie rozwiązanie wynikało z dużego problemu dowęglania ciekłej kąpieli i utrudnionego przyswajania węgla z nawęglacza wraz ze zwiększaniem się jego zawartości w żeliwie. Problemy te nie występują, gdy zamiast tradycyjnych metod nawęglania zaczęto wprowadzać rozdrobniony nawęglacz metodą pneumatyczną.

Wprowadzanie rozdrobnionego materiału nawęglającego w strumieniu gazu nośnego powoduje uzyskanie bardzo dużej powierzchni styku nawęglacz-ciekły metal, przez co szybkości i efektywności procesu są bardzo wysokie. Dodatkowo gaz nośny miesza kąpiel metalową a ruch cząstek nawęglacza powoduje, że zmniejsza się grubość warstwy dyfuzyjnej, przyspieszając proces wymiany masy między nawęglaczem a ciekłym metalem. Zalety te spowodowały zastosowanie metody pneumatycznego nawęglania w piecach elektrycznych łukowych w wielu krajowych odlewniach [1,2,3].

W przypadku stosowania surówki, dowęglanie pneumatyczne umożliwia prawie całkowitą jej eliminację i zastąpienie złomem stalowym, co daje w konsekwencji:

- obniżenie kosztów wytopu wynikające z różnicy cen materiałów wsadowych,
- zastosowanie większej ilości złomu stalowego, który jest dla odlewni żeliwa materiałem o małej użyteczności ze względu na niską zawartość węgla [1,2].

W procesie wytopu bezsurówkowego omawiana metoda umożliwia:

- bardzo szybką i pewną korektę węgla po roztopieniu wsadu metalowego,
- produkcję różnych gatunków żeliwa, w tym sferoidalnego, które wymaga podwyższonej zawartości węgla w oparciu o złom obiegowy i stalowy,
- znaczne zmniejszenie pylenia materiałów grafitowych w porównaniu z metodami tradycyjnymi, gdyż nawęglacz jest wprowadzany pod lustro ciekłego metalu,
- zmniejszenie uciążliwości pracy obsługi pieca, eliminując ręczny załadunek nawęglacza i zastępując go dokładnym dozowaniem pneumatycznym.

Badania prowadzone na instalacji funkcjonującej w Odlewni Staliwa „Łabędy” wskazały na następujące korzyści zastosowania metody wdmuchiwania nawęglacza [2]:

- nawet 20-krotne skrócenie czasu nawęglania,
- 3 do 5-krotne zmniejszenie ilości materiału nawęglającego,
- wykorzystanie jako nawęglacza mielonego złomu elektrod grafitowych.

Spowodowane jest to 10-20 krotnym zwiększeniem szybkości nawęglania i znacznym zwiększeniem stopnia wykorzystania węgla (6-8 razy).

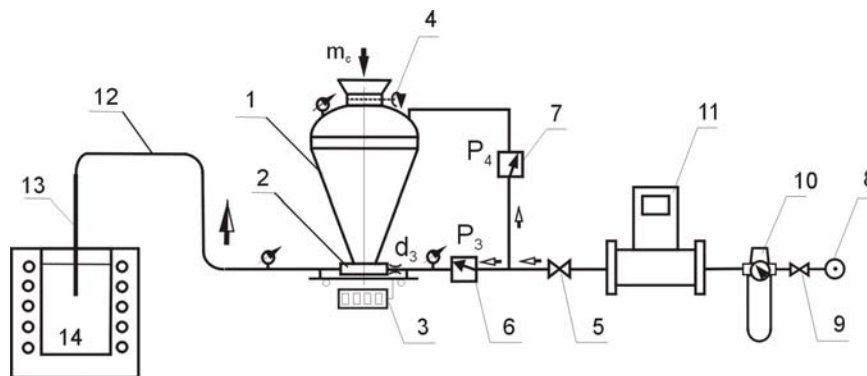
W pracy [4] przedstawiono z kolei wyniki analiz ekonomicznych prowadzonych w czasie wdrażania metody pneumatycznego wdmuchiwania nawęglacza w odlewni METAEXPORT Odlewnia Koluszki. Oprócz podobnych do cytowanych wcześniej badań wniosków, przeprowadzone próby wykazały, że:

- największy udział w kosztach wytopu żeliwa ma wsad metalowy,
- wyeliminowanie surówki, przy zastosowaniu pneumatycznego wdmuchiwania nawęglacza, znacznie obniża koszty wytapiania żeliwa, szczególnie sferoidalnego,
- zastosowanie pneumatycznego nawęglania ciekłego żeliwa umożliwia elastyczną produkcję różnych gatunków żeliwa z identycznego wsadu metalowego.

Od wielu lat instalacja wdmuchiwania nawęglacza funkcjonuje również w Odlewni Teksid Iron Poland w Skoczowie, gdzie służy do nawęglania żeliwa w piecach łukowych dla wytwarzania żeliwa sferoidalnego na bazie złomu stalowego i obiegowego. Wieloletnia jej eksploatacja potwierdziła wysoką skuteczność, i bardzo wysoką opłacalność tej metody nawęglania, zwłaszcza do dużych jego zawartości, co ma miejsce przy produkcji żeliwa sferoidalnego. Bardzo istotna jest też wysoka pewność, powtarzalność i niezawodność metody wdmuchiwania, co jest zagadnieniem priorytetowym w aspekcie zapewnienia najwyższej jakości produkowanych odlewów.

Mimo poznania procesu pneumatycznego nawęglania, co skutkuje dużą ilością przemysłowych wdrożeń, w Zakładzie Odlewnictwa nadal prowadzone są badania, pozwalające rozszerzyć spektrum jego zastosowań. Jeden z eksperymentów stanowił porównanie wskaźników nawęglania metodą pneumatyczną i metodami tradycyjnymi i wskazał na znaczną przewagę tej ostatniej, zwłaszcza w aspekcie powtarzalności bardzo dobrych rezultatów procesu [5].

Na rys. 1. przedstawiono stanowisko pneumatycznego nawęglania żeliwa w piecu elektrycznym indukcyjnym a w Tab. 1 wyniki kilku prób nawęglania żeliwa.



Rys. 1. Schemat stanowiska do nawęglania kąpiel metalowej: 1- podajnik nawęglacza, 2- komora mieszania, 3- waga tensometryczna, 4- dzwon, 5,9- zawory, 6,7- reduktory, 8- kompresor, 10- filtr, 11- miernik przepływu, 12- przewód transportowy, 13- lanca, 14- kąpiel metalowa  
 Fig. 1. Scheme of stand for gas-operated metal bath carburising: 1- carburizer feeder, 2- mixing chamber, 3- tensometric scale, 4- bell valve, 5,9- valves, 6,7- reducers, 8- compressor, 10- filter, 11- flow meter, 12- transportation pipe, 13- lance, 14- liquid metal bath

Tabela 1. Zestawienie otrzymanych wyników w poszczególnych wytopach metodą pneumatycznego wprowadzania nawęglacza do kąpiel metalowej  
 Table 1. Comparison of results obtained in each melt carburised with pneumatic injection of carburizer to liquid metal

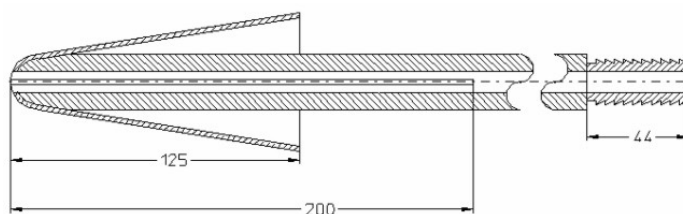
Nr wytopu	Frakcja [mm]	$m_m$ [kg]	$m$ [kg]	$C_p$ [%]	$C_k$ [%]	$E$ [%]
5.10	0-1,6	11,4	0,15	0,28	1,31	82,4
5.11	0-1,6	11,4	0,15	1,31	2,33	81,6
5.12	0-1,6	11,4	0,15	2,33	3,31	78,4

Jak widać z tab. 1 średnia efektywność nawęglania wynosiła dla wdmuchiwanego nawęglacza 80,8% i jest to wynik lepszy zarówno od uzyskanego dla nawęglania poprzez dodanie mielonego grafitu do stałego wsadu ( $E = 72,8\%$ ) oraz poprzez narzucanie nawęglacza na lustro kąpiel metalowej ( $E = 74,1\%$ ) [5].

Bardzo istotny jest także fakt, że prowadzone badania w zakresie jakości uzyskanego w ten sposób żeliwa (żeliwo syntetyczne: złom stalowy + wdmuchiwany grafitowy nawęglacz) wykazały, że własności mechaniczne nie są gorsze od własności żeliwa uzyskanego przy wytopie z udziałem surówki [6,7]. Dotyczy to zarówno żeliwa szarego jak i żeliwa sferoidalnego (przy zapewnieniu odpowiedniej jakości złomu stalowego). Ograniczenie lub wyeliminowanie surówki ze wsadu i zastosowanie pneumatycznego nawęglania powoduje więc obniżenie kosztów wytopu żeliwa przy zachowaniu wszystkich jakościowych parametrów stopu.

### 3. ZASTOSOWANIE LANCY NOWEJ KONSTRUKCJI W PROCESIE WDMUCHIWANIA PROSZKÓW DO PIECÓW INDUKCYJNYCH

W przypadku pieców indukcyjnych, najlepszym rozwiązaniem procesu pneumatycznego wprowadzania jest wstrzeliwanie proszków lancą, której wylot znajduje się w pewnej odległości od lustra kąpieli. Pojawia się jednak problem zapewnienia ziarnom proszku wystarczającej energii dla pokonania oporów ośrodka, jakim jest ciekły stop. W Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej prowadzone są badania mające na celu udoskonalenie metody „wstrzeliwania” proszków niezanurzoną lancą (zwłaszcza dodatków stopowych), co umożliwiłoby jej stosowanie w dowolnych jednostkach piecowych [8,9]. Badania te doprowadziły do zaproponowania nowej konstrukcji lancy wdmuchującej, której ogólny widok przedstawiono na rys. 2, a której użycie zapobiega wprowadzaniu znacznych ilości gazu nośnego do kąpieli metalowej, przy zachowaniu wszystkich zalet metody wdmuchiwania proszków.



Rys. 2. Lanca wdmuchująca nowej konstrukcji [10,11]

Fig. 2. Injection lance of new design

Istotą konstrukcji prezentowanej lancy jest zabezpieczenie ciekłej kąpieli przed wnikaniem gazu transportującego, co realizowane jest przez wzdłużne nacięcia przy wylocie lancy odprowadzające gaz po rozprężeniu ziaren materiału.

Z punktu widzenia wykorzystania wdmuchiwania dodatków stopowych, ważną jest łatwość uzyskiwania dużych przyrostów pierwiastków stopowych w stopie. Przeprowadzone badania potwierdziły skuteczność tej metody, jak również wskazały na dużą łatwość uzyskania bardzo wysokich efektywności procesu powyżej 90% [5,6].

Prowadzone badania w warunkach przemysłowych oraz eksperymenty modelowania fizycznego wykazały, że decydujący wpływ na wymienione parametry ma prędkość gazu na wylocie z lancy. Warunkuje ona uzyskanie przez ziarna żelazostopów wystarczającej energii kinetycznej, niezbędnej do zanurzenia się w ciekłym metalu. Zastosowana lanca nowej konstrukcji zapewnia uzyskanie odpowiedniego zasięgu strumienia ziaren proszku w kąpieli metalowej a użyty do rozprężenia cząstek gaz nośny zostaje odprowadzony przez specjalnie ukształtowaną końcówkę lancy zanim wniknie do ciekłego stopu.

Zaprezentowane wyniki badań w pełni potwierdzają, że pneumatyczne wprowadzanie proszków do ciekłych stopów powinno być stosowane szeroko, jako narzędzie poprawy ich jakości i ekonomiczności produkcji odlewniczej.

## LITERATURA

- [1] Janerka K., *Nawęglanie ciekłych stopów żelaza za pomocą urządzeń pneumatycznych*. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
- [2] Janerka K., i inni: *Obniżenie kosztu wytapiania żeliwa w piecach elektrycznych lukowych przez pneumatyczne nawęglanie*. Przegląd Odlewnictwa Nr. 2, 1994.
- [3] Kokoszka J. i inni: *Pneumatic cast iron carburizing in WSK "PZL-Rzeszów" S.A.*, Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice, v.1, nr 41, 1999.
- [4] Pietrowski S.: *Analiza ekonomiczna nawęglania pneumatycznego ciekłego metalu w piecu lukowym*. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Nr 1 (1/2).
- [5] Janerka K., Bartocha D., Szajnar J., Gawroński J.: *Porównanie efektywności nawęglania metodą pneumatyczną i metodami tradycyjnymi*. Mat. Konf. IX Międz. Konf. TP'2005.
- [6] D. Bartocha, K. Janerka, J. Suchoń: *Charge materials and technology of melt and structure of gray cast iron*, Journal of Materials Processing and Technology, 162-163, 2005, s. 465-470.
- [7] D. Bartocha, K. Janerka, J. Suchoń: *Materiały wsadowe i technologia wytopu a struktura żeliwa szarego*, Archiwum Odlewnictwa, PAN Katowice, 2004, vol. 4, nr 14, str. 29-39.
- [8] Jezierski J., *Wdmuchiwanie dodatków stopowych do ciekłego żeliwa*. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2002
- [9] Jezierski J., Jura S., Janerka K., *Pneumatyczne wprowadzanie żelazokrzemu do ciekłego żeliwa*. Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (1/2).
- [10] Jezierski J. Szajnar J., *Diphase stream forces in pneumatic powder injection into liquid metal*, Proc. Of the 11-th Int. Scientific. Conf. CAM<sup>3</sup>S, Gliwice-Zakopane 2005, 430-435.
- [11] J. Jezierski, J. Szajnar, *Wpływ dynamiki strumienia dwufazowego na wskaźniki procesu wdmuchiwania proszków*, Mat. Konf. IX Międzynarodowej Konferencji Transport Pneumatyczny TP'2005, 136-142.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy nr 3 T08B 043 28.

## POWDER INJECTION INTO LIQUID ALLOYS AS A TOOL FOR ITS QUALITY IMPROVING

### SUMMARY

In the paper has been presented the benefits of pneumatic reagents introduction into liquid alloys in aspect of its quality improving. The widest use of powder injection technique in foundry is the cast iron recarburization and small quantities of alloy additions introduction and those problems are the main subject of this work. Moreover, there were presented a modification of injection stand which give the same high technological parameters (efficiency) and better quality of alloy through all the injection process.

Recenzował: Prof. Józef Gawroński