

PNEUMATYCZNE WPROWADZANIE FeCr DO CIEKŁEGO ŻELIWA

J. JEZERSKI¹, S. JURA², K. JANERKA³

Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów wprowadzania dodatków stopowych metodą pneumatyczną przy zastosowaniu lancy nie zanurzonej. Prowadzone eksperymenty mają w założeniu wyjaśnić niektóre aspekty dynamiki strumienia dwufazowego, mającej zasadniczy wpływ na wyniki procesu. Przeanalizowano głównie wpływ wielkości ziarna wdmuchiwanego żelazostopu na efektywność przyswajania chromu przez ciekłe żeliwo. Zastosowania lancy nie zanurzonej wymaga specyfika pieców indukcyjnych.

Key words: powder injection, ferroalloys, pneumatic transportation, liquid cast iron, induction furnace

1. WPROWADZENIE

Metoda wdmuchiwania sproszkowanych materiałów do kąpielii metalowej jest stosowana z bardzo dobrymi wynikami w wielu procesach obróbki ciekłego metalu [2]. Wykorzystanie jej do wprowadzania dodatków stopowych jest jednak niewielkie. Dzieje się tak mimo udowodnienia skuteczności metody wdmuchiwania dodatków stopowych zarówno do kadzi [1] jak i do pieca elektrycznego indukcyjnego [3, 4, 5]. W obu przypadkach zanotowano wysokie efektywności procesu, dochodzące do 100 % [1]. Próby wdmuchiwania lancą nie zanurzoną podjęto, dlatego, że zastosowania takiej metody wymaga specyfika pieców elektrycznych indukcyjnych tyglowych, dla których

¹ mgr inż. georgeko@zeus.polsl.gliwice.pl

² prof. dr hab. inż. sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

³ dr inż. janerka@zeus.polsl.gliwice.pl

wdmuchiwanie lancą zanurzoną jest znacznie utrudnione, lub wręcz niemożliwe [6,7,8]. Wiąże się to z faktem znacznego wzburzenia kąpieli, mogącego spowodować wypłynięcie ciekłego stopu na pomost pieca jak również z większym spadkiem temperatury niż w piecach łukowych. W przypadku tym dochodzi jednak problem zapewnienia cząstkom materiału wystarczającej energii kinetycznej dla pokonania oporów powierzchni kąpieli i wnikięcia na dostateczną głębokość. Rozwiązanie tych właśnie zagadnień jest celem głównym prowadzonych badań a prezentowane w niniejszej publikacji wyniki są ich częścią.

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów i obliczeń efektywności i szybkości wprowadzania chromu z FeCr wdmuchiwanego z nad powierzchni kąpieli, jak również stanowisko badawcze i sposób prowadzenia badań.

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Wprowadzanie żelazochromu prowadzono do pieca elektrycznego indukcyjnego tyglowego o pojemności ok. 30 kg ciekłego wsadu. Wdmuchiwano żelazochrom o zawartości Cr = 69 %, C = 7,6% i ziarnistości 0 – 1,6 mm. Po załadunku pieca wsadem składającym się z ok. 12 kg surówki i 3 kg złomu stalowego, obliczonym na uzyskanie żeliwa wyjściowego odpowiadającego składem chemicznym żeliwu Zl 250 i jego roztopieniu, poszczególne operacje były prowadzone w następującej kolejności:

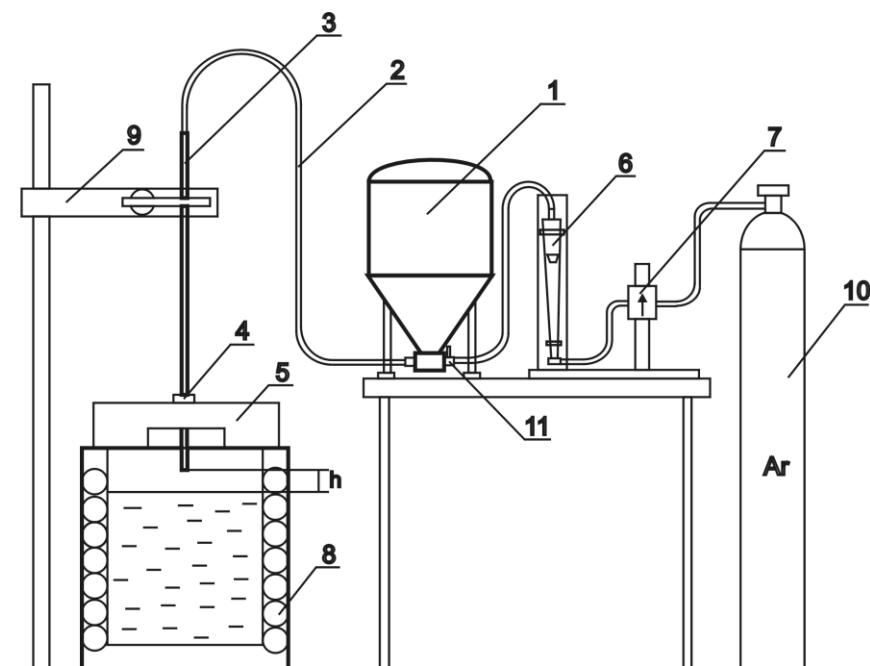
- pobranie próbki do analizy składu chemicznego,
- załadunek porcji materiału do zbiornika
- ustalenie odległości lancy od kąpieli
- zamknięcie zaworu dzwonowego,
- otwarcie dopływu argonu,
- otwarcie dyszy i rozpoczęcie pomiaru czasu trwania procesu,
- pomiar ciśnień w poszczególnych punktach układu oraz natężenia przepływu gazu,
- po zakończeniu wdmuchiwania, zamknięcie zaworu i podniesienie lancy,
- pobranie próbki stopu do analizy składu chemicznego po pięciu minutach wytrzymania w piecu
- ustawienie lancy do kolejnego eksperymentu (dla każdego wytopu przeprowadzano dwa wdmuchiwania) i powtórzenie powyższych czynności.

Proces wdmuchiwania prowadzony był przy włączonym piecu (przy zasilaniu zapewniającym stałą temperaturę ciekłego stopu w piecu bez wdmuchiwania proszku) po ściągnięciu żuźla i pomiarze temperatury kąpieli.

Na podstawie badań wstępnych i posiadanej wiedzy sporządzono kompozycyjny plan eksperymentu dla liczby zmiennych $S = 4$ i trzech poziomach 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,+)

Eksperymenty prowadzono na stanowisku badawczym przedstawionym na Rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko badawcze wdmuchiwania proszków do pieca elektrycznego indukcyjnego
 1-podajnik komorowy, 2-wąż gumowy, 3-lanca wprowadzająca proszek do kąpieli,
 4-zderzak, 5-pokrywa ochronna, 6-rotametr przemysłowy RDN-25, 7-reduktor ciśnienia
 gazu zasilającego, 8-piec elektryczny indukcyjny tyglowy, 9-przesuwne ramię, 10-butla
 z gazem transportującym, 11-zasuwa obrotowa

Fig. 1. Research stand of powder injection into induction furnace
 1-chamber feeder, 2-rubber hose, 3-injection lance, 4-buffer, 5- protective cover,
 6-rotameter RDN-25, 7-supply gas pressure regulator, 8-cruicable electric induction
 furnace, 9-slidable arm, 10-transportation gas cylinder, 11-swivel damper

Podczas każdego eksperymentu dokonywano pomiarów następujących wielkości:

- p_1 - ciśnienie gazu zasilającego (transportującego),
- p_4 - ciśnienie gazu w komorze zbiornika ciśnieniowego
- t - czas transportu
- V_N - objętościowe natężenie przepływu gazu
- m_m - oszacowana masa wsadu ciekłego
- m_{FeCr} - masa wprowadzonego proszku

Dla uzyskanych wyników eksperymentów i uzyskanych z analiz składu chemicznego wartości przyrostu chromu obliczono technologiczne parametry procesu. Są to: szybkość przyrostu chromu w żeliwie oraz efektywność procesu (Tabela 1).

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów technologicznych procesu wdmuchiwania FeCr

Table 1. Results of measurements and calculations of pneumatic injection parameters

Lp	d_{sr} mm	m_{FeCr} kg	m_m kg	Cr_p %	Cr_k %	E %	S %/s
1	0,5	0,41	14,9	0,13	1,70	82,69	0,15
2	0,5	0,49	15,0	1,70	3,65	86,51	0,05
3	0,5	0,50	14,7	0,14	2,24	89,48	0,04
4	0,5	0,47	14,9	2,24	4,20	90,05	0,10
5	0,5	0,51	15,0	2,05	4,20	91,65	0,06
6	0,5	0,48	15,0	0,09	2,10	91,03	0,06
7	0,5	0,48	15,2	2,10	4,20	96,38	0,08
8	0,1	0,53	15,4	0,08	1,92	77,48	0,04
9	0,1	0,47	15,6	1,92	3,50	76,00	0,02
10	0,1	0,48	14,7	0,18	2,13	86,55	0,10
11	0,1	0,53	14,9	2,13	4,30	88,41	0,07
12	0,1	0,52	15,1	0,13	2,12	83,75	0,04
13	0,1	0,54	15,1	0,16	2,45	92,80	0,02
14	0,1	0,44	15,3	2,45	4,01	78,62	0,02
15	0,1	0,47	15,3	2,03	4,00	92,94	0,02
16	0,1	0,48	15,3	2,15	4,30	99,32	0,02
17	0,1	0,53	15,1	0,09	2,15	85,06	0,07
18	0,1	0,53	15,1	0,29	2,03	71,85	0,05

Na wartości szybkości i efektywności procesu wpływ mają parametry pneumatyczne procesu wdmuchiwania, od których wartości zależy prędkość wylotowa mieszaniny dwufazowej z lancy. Prędkość ta decyduje o głębokości wnikania cząstek materiału do ciekłego stopu i równomierności jego w nim rozprowadzenia. Przyjęcie długości lancy $l=200d=1600\text{mm}$ oraz przyjęte parametry pneumatyczne zapewniają równomierne rozpędzenie wszystkich cząstek proszku, niezależnie od ich wielkości i masy. Prędkość ta w przybliżeniu odpowiada prędkości gazu na wylocie z lancy. Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów procesu przedstawia Tabela 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów pneumatycznego przemieszczania FeCr

Table 2. Results of measurements and calculations of FeCr pneumatic transportation parameters

Lp	d _{śr} mm	p ₁ MPa	p ₄ MPa	t s	w _k m/s	μ kg/kg
1	0,5	0,2	0,10	10,37	36,77	13,1
2	0,5	0,4	0,10	38,91	43,13	3,5
3	0,5	0,3	0,05	56,30	34,56	3,1
4	0,5	0,3	0,15	19,22	41,19	7,2
5	0,5	0,3	0,10	37,63	37,04	4,4
6	0,5	0,3	0,10	33,40	37,04	4,8
7	0,5	0,3	0,10	27,16	38,43	5,7
8	0,1	0,2	0,05	51,53	33,73	3,7
9	0,1	0,4	0,05	69,45	39,81	2,1
10	0,1	0,2	0,15	19,06	38,15	7,9
11	0,1	0,4	0,15	32,22	41,19	4,8
12	0,1	0,2	0,05	48,69	31,52	4,1
13	0,1	0,4	0,05	95,75	40,36	1,7
14	0,1	0,2	0,15	102,16	38,15	1,4
15	0,1	0,2	0,15	92,69	37,87	1,6
16	0,1	0,2	0,15	90,31	38,15	1,7
17	0,1	0,4	0,15	29,56	40,91	5,4
18	0,1	0,3	0,10	37,07	36,49	4,8

Oznaczenia w Tabeli 2 są następujące:

t- czas wdmuchiwania proszku

μ-koncentracja (stężenie mieszaniny dwufazowej)

3. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW BADAŃ

W ramach prac przeprowadzono eksperymenty wdmuchiwania FeCr do ciekłego żeliwa w piecu elektrycznym indukcyjnym tyglowym. Wykonano dotychczas 18 prób dla frakcji 0,1 i 0,5 mm (zgodnie z planem eksperymentu). Wartości prędkości gazu w_k na wylocie z lancy mieściły się w przedziale od 34,56 do 43,13 m/ s. Efektywność procesu zmieniała się w zakresie od 71,85 % do 99,32 przy czym widać wyraźną różnicę w uzyskanych wynikach w zależności od wielkości ziarna. Dla cząstek o średniej wielkości 0,1 mm uzyskano mniejsze efektywności niż dla tych o wielkości

0,5 mm. Wiąże się to z faktem niedostatecznego wnikania cząstek najdrobniejszych do kąpeli jak również znacznym pyleniem podczas wdmuchiwania. Szybkość przyswajania chromu z FeCr zmieniała się od 0,02 do 0,15 %Cr/s. Przeprowadzone eksperymenty wdmuchiwania FeCr do ciekłego żeliwa potwierdziły wysoką skuteczność tej metody wprowadzania dodatków stopowych jak również wpływ wielkości ziarna żelazostopu na efektywność procesu.

LITERATURA

- [1] Carlsson G., Berg B.: *An overview of injection metallurgy*. Int. Conf. Secondary Metallurgy, Aachen 1987
- [2] Janerka K., Piątkiewicz Z., Szluczyk H.: *Urządzenia do wdmuchiwania proszków do pieców metalurgicznych*. Przegląd Odlewnictwa, nr 6, 1993
- [3] Warchała T., Borkowski S.: *Żeliwo niskochromowe o zawartości do 1,5% Cr uzyskiwane przez rozpuszczanie żelazokrzemochromu*. Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1989
- [4] Warchała T., Borkowski S.: *Wytwarzanie żeliwa niskochromowego metodą wdmuchiwania FeSiCr do kąpeli*. Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1990
- [5] Warchała T., Borkowski S.: *Spadek temperatury ciekłego żeliwa podczas obróbki pozapiecowej*. Przegląd Odlewnictwa, nr 1, 1991
- [6] 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
- [7] Janerka K i inni: *Modelowanie fizyczne pneumatycznego wprowadzania dyspersoidu do osnowy metalowej*. Krzepnięcie metali i Stopów, PAN Katowice, v. 1, nr 39, 1999, s. 121-128
- [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

Publikacja finansowana przez Komitet Badań Naukowych w ramach projektu badawczego promotorskiego 7 T08B 010 19

PNEUMATIC INJECTION OF FeCr INTO LIQUID CAST IRON

SUMMARY

This paper presents results of pneumatic injection of alloy additions using non-immersed lance. The experiments should explain some aspects of diphas stream dynamics, which fundamentally influences on the results of the process. Influence of injected ferroalloys grain size for increasing of chromium contents was analyzed. Experiments were concern for a case of injection into an induction furnace with non-submerged lance (above the liquid) powder injection into liquid cast iron.

Recenzował Prof. Józef Gawroński