

PNEUMATYCZNE WPROWADZANIE ŻELAZOKRZEMU DO CIEKŁEGO ŻELIWA

J. JEZIERSKI¹, S. JURA², K. JANERKA³
Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

STRESZCZENIE

W artykule przedstawione zostały zagadnienia wprowadzania żelazokrzemu do ciekłego żeliwa metodą pneumatyczną. Przeanalizowano głównie wpływ wielkości ziarna wdmuchiwanego żelazostopu na efektywność przyswajania krzemu przez ciekłe żeliwo, jak również spadek temperatury kąpeli w czasie trwania procesu. Eksperymenty dotyczyły przypadku wdmuchiwania proszku do pieca elektrycznego indukcyjnego laną nie zanurzoną (znad powierzchni kąpeli).

Key words: pneumatic injection, cast iron, FeSi

WPROWADZENIE

Metoda wdmuchiwania sproszkowanych materiałów do kąpeli metalowej jest stosowana z bardzo dobrymi wynikami w wielu procesach obróbki ciekłego metalu dla nawęglania, odtleniania, odsiarczania, odfosforowania [2]. Natomiast wykorzystanie jej do wprowadzania dodatków stopowych jest bardzo 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]. Niniejsza publikacja jest wynikiem prac autorów nad tym zagadnieniem, które mają na celu pełniejsze jego rozwiązanie pod kątem ewentualnych zastosowań przemysłowych. Ponadto prowadzone eksperymenty mają w założeniu wyjaśnić niektóre aspekty

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

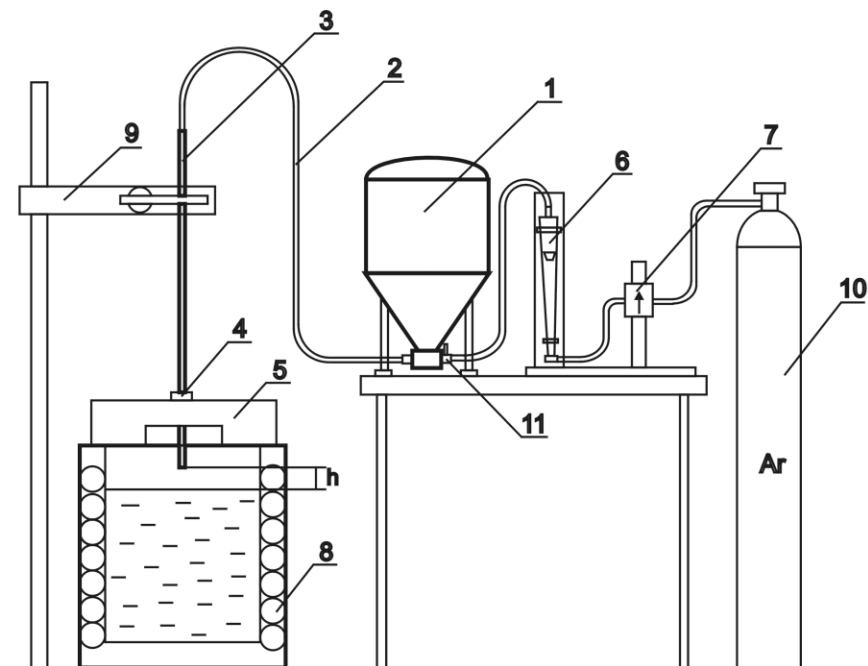
² prof. dr hab. inż. sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

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

dynamiki strumienia dwufazowego, która ma zasadniczy wpływ na wyniki procesu wdmuchiwania.

STANOWISK BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Wprowadzanie żelazokrzemu prowadzono do pieca elektrycznego indukcyjnego tyglowego o pojemności ok. 30 kg ciekłego wsadu. Wdmuchiwano żelazokrzem o zawartości Si = 60 % i ziarnistości 0 – 1,6 mm. Wdmuchiwanie proszku odbywało się lancą nad powierzchnię kąpeli, przy czym jej odległość wynosiła 40mm dla wytopów 2 i 6 i 80mm dla pozostałych. Parametry geometryczne lancy były następujące: średnica wewnętrzna $d_1 = 8\text{mm}$, długość $l = 200d_1 = 1600\text{mm}$. 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 kąpeli, 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-crucible electric induction furnace, 9-slidable arm, 10-transportation gas cylinder, 11-swivel damper

Skład żeliwa, do którego prowadzono wdmuchiwanie w poszczególnych wytopach przedstawia Tabela 1, w której podano jednocześnie wyniki analizy składu chemicznego próbek pobranych w poszczególnych etapach procesu.

Ze względu na fakt, że efektywność procesu nakrzemowywania badano w zależności od wielkości ziarna FeSi, dokonano jego podziału na frakcje, wdmuchiwane oddzielnie. Podział na frakcje przedstawia się następująco:

frakcja 1- materiał o wielkości ziarna 0 – 0,20 mm (wytop 2)

frakcja 2- materiał o wielkości ziarna 0,20 – 0,80 mm (wytopy 3,5,6)

frakcja 3- materiał o wielkości ziarna 0,80 – 1,6 mm (wytopy 1 i 4)

Proces wdmuchiwania prowadzony był przy takim zasilaniu pieca, które zapewniało wytrzymanie żeliwa w przybliżeniu stałej temperaturze bez wdmuchiwania proszku. Wiązało się to z niewielką masą ciekłego stopu, dla którego zachodził bardzo szybki spadek temperatury przy wyłączonym zasilaniu. Wdmuchiwanie przeprowadzano po roztopieniu wsadu, ściągnięciu żużla i pomiarze temperatury kąpieli. Po jego zakończeniu dokonywano kolejnego pomiaru temperatury i włączano nominalne zasilanie pieca na 5 minut. Po tym czasie przeprowadzano następną operację wdmuchiwania żelazostopu. Gazem transportującym był argon pobierany z butli.

Tabela 1. Skład chemiczny żeliwa w poszczególnych wytopach

Table 1. Chemical analysis of cast iron in individual casts

		Zawartość pierwiastków , %					
		C	Si	Mn	P	S	Cr
Wyt. 1	0	2,82	1,10	0,29	0,047	0,015	0,02
	I	2,69	3,03	0,31	0,047	0,013	0,05
	II	2,62	5,80	0,36	0,046	0,015	0,09
Wyt. 2	0	2,60	0,57	0,35	0,043	0,015	0,07
	I	2,67	2,48	0,42	0,054	0,028	0,04
	II	2,50	5,03	0,36	0,035	0,016	0,11
Wyt. 3	0	2,50	0,46	0,32	0,045	0,024	0,07
	I	2,50	3,55	0,36	0,040	0,026	0,09
	II	2,28	7,12	0,36	0,032	0,026	0,10
Wyt. 4	0	2,78	1,06	0,30	0,031	0,014	0,05
	I	2,66	4,76	0,30	0,025	0,016	0,08
	II	2,48	7,04	0,33	0,019	0,015	0,09
Wyt. 5	0	3,10	1,85	0,37	0,130	0,020	0,17
	I	3,10	4,10	0,37	0,133	0,028	0,16
	II	3,10	6,40	0,37	0,130	0,030	0,17
Wyt. 6	0	3,20	1,79	0,35	0,148	0,025	0,12
	I	3,10	3,30	0,34	0,142	0,029	0,11
	II	3,10	5,80	0,34	0,137	0,028	0,12

Oznaczenia w Tabeli 1 są następujące:

0 – skład chemiczny żeliwa przed wdmuchiowaniem (żeliwo wyjściowe)

I – skład chemiczny po pierwszym wdmuchnięciu

II – skład chemiczny po drugim wdmuchnięciu

Próbki do analizy składu chemicznego odlewano po roztopieniu wsadu i kolejno po dwóch etapach wdmuchiwania. Wyniki pomiarów temperatur jak również parametry pneumatyczne procesu (dobrane na podstawie wstępnych prób laboratoryjnych) przedstawia Tabela 2. Znajdują się w niej również wyniki obliczeń efektywności nakrzemowywania.

Tabela 2. Parametry pneumatyczne, wielkości mierzone i obliczone
Table 2. Pneumatic parameters, measured and calculated quantities

		p_1 MPa	p_4 MPa	m_c kg	m_m kg	t s	T_p °C	T_k °C	ΔT °C	E %	E_{sr} %
Wyt. 1	I	0,3	0,075	0,80	14,94	17,52	1440	1360	80	60,07	90,64
	II	0,3	0,075	0,55	14,44	20,32	1440	1435	5	121,21	
Wyt. 2	I	0,3	0,075	0,80	14,84	18,32	1440	1400	40	59,05	75,69
	II	0,3	0,075	0,66	14,34	17,94	1440	1380	60	92,34	
Wyt. 3	I	0,3	0,075	0,80	14,07	17,81	1450	1431	19	91,16	95,30
	II	0,3	0,075	0,80	13,37	16,83	1450	1392	58	99,44	
Wyt. 4	I	0,3	0,075	0,80	15,04	18,52	1440	1360	80	85,07	90,14
	II	0,3	0,075	0,55	14,54	21,32	1440	1430	10	95,21	
Wyt. 5	I	0,2	0,10	0,52	14,90	32,43	1454	1420	34	93,44	97,05
	II	0,4	0,10	0,53	14,40	52,43	1450	1440	10	90,57	
Wyt. 6	I	0,3	0,05	0,52	15,00	36,31	1450	1422	28	62,29	80,98
	II	0,2	0,15	0,52	14,50	18,15	1450	1420	30	99,64	

Oznaczenia w Tabeli 2 są następujące:

p_1 - ciśnienie zasilania

p_4 - ciśnienie w komorze podajnika

m_c - masa wprowadzonego żelazostopu

m_w - masa ciekłego wsadu

t - czas wdmuchiwania proszku

T_p, T_k - odpowiednio początkowa i końcowa temperatura próby wdmuchiwania

ΔT - spadek temperatury kąpieli

E - efektywność przyswajania krzemu przez żeliwo

E_{sr} - efektywność średnia dla dwóch kolejnych wdmuchnięć

ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Efektywności nakrzemowywania podczas wytopów 1, 2 i 6 dla poszczególnych etapów różnią się znacznie od siebie, a w pierwszym przypadku wynosi ona powyżej 100 %. Wynika to z faktu przyjęcia zbyt krótkiego czasu między wdmuchnięciem FeSi

a zalaniem próbki na analizę składu chemicznego, w związku z czym całkowity przyrost krzemu pod drugim wdmuchnięciu był większy niż wynikałoby to z wprowadzonej jego ilości. Dlatego podano w Tabeli 2 również wartości średniej efektywności dla obu następujących po sobie wdmuchnięć żelazostopu.

Po analizie tychże wartości można zaobserwować zjawisko analogiczne jak opisywane w pracach [3, 4, 5], a mianowicie, że zbyt drobne cząstki żelazostopu zmniejszają efektywność nakrzemowywania. Najkorzystniejsze w tym przypadku okazało się wprowadzanie cząstek o ziarnistości 0,20 – 0,80 mm, dla których uzyskano bardzo wysoką efektywność średnią równą ponad 95 %, co jest wynikiem bardzo dobrym w porównaniu z ok. 60 % efektywnością podczas sypania FeSi na powierzchnię kąpeli i mechanicznego jej mieszania.

Spadek temperatury kąpeli metalowej ΔT wywołany wdmuchiwaniami wahał się w granicach 5– 80 °C. Stosunkowo mały spadek temperatury kąpeli przy jej niewielkiej masie wiąże się zapewne z faktem zastosowania lancy nie zanurzonej, jak również z faktem egzotermiczności rozpuszczania żelazokrzemu.

Zaobserwowano również, że zbyt duża odległość lancy od powierzchni żeliwa przy jednocześnie drobniejszej frakcji żelazokrzemu nie zapewnia odpowiednio dużej energii kinetycznej jego ziaren. W takim przypadku znaczna ich część nie przenika w głąb co skutkuje niższą efektywnością przyswajania krzemu.

PODSUMOWANIE ORAZ KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Przeprowadzone eksperymenty wdmuchiwania FeSi do ciekłego żeliwa potwierdziły wysoką skuteczność tej metody wprowadzania dodatków stopowych. Potwierdziły również wpływ wielkości ziarna żelazostopu na efektywność procesu jak również zalety zastosowania lancy nie zanurzonej w kąpeli metalowej. Omawiane eksperymenty miały charakter badań wstępnych, a w ramach ich kontynuacji prowadzone są próby wdmuchiwania innych żelazostopów do ciekłego żeliwa przy większym zakresie analizowanych zmiennych oraz przy zastosowaniu nieco zmodyfikowanego stanowiska badawczego i warunków procesu. Modyfikacja dotyczy głównie zastosowania precyzyjniejszego układu do pomiaru natężenia przepływu gazu transportującego. Układ ten oparty jest o komputerowy miernik przepływu Masstrol, posiadający pełną kompensację zmian ciśnienia i temperatury. W dalszym etapie przeprowadzone zostaną badania symulacyjne procesu przekazywania ciepła z roztopionego wsadu do pojedynczego ziarna żelazostopu jak również analiza energetyczna 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 kąpieli*. Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1990
- [5] Warchała T., Borkowski S.: *Spadek temperatury ciekłego żeliwa podczas obróbki pozapiecowej*. Przegląd Odlewnictwa, nr 1, 1991

PNEUMATIC INJECTION OF FeSi INTO THE LIQUID CAST IRON

SUMMARY

This paper presents problem of pneumatic injection of FeSi into the liquid cast iron. Influence of grain size injected ferrous alloys for increase of silicon contents and a temperature of liquid decrease in process time was analyzed. Experiments were concern for a case of injection into an induction furnace with non-submerged lance (above the liquid).

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

Recenzował prof. dr hab. inż. Adam Gierk