

## WPROWADZANIE FeSi DO CIEKŁEGO ŻELIWA METODĄ PNEUMATYCZNĄ

JEZIERSKI Jan, JURA Stanisław  
Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska  
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

### STRESZCZENIE

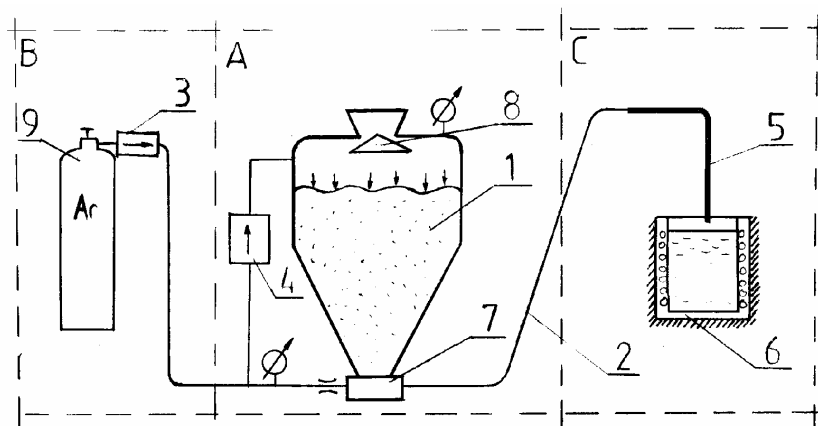
W artykule przedstawiono zagadnienie wprowadzania FeSi do ciekłego żeliwa metodą pneumatyczną. Przeanalizowano głównie wpływ wielkości ziarna wdmuchiwanego żelazostopu na efektywność nakrzemowywania żeliwa, jak również spadek temperatury kąpieli w czasie trwania procesu. Eksperymenty dotyczyły przypadku wdmuchiwania proszku do pieca elektrycznego indukcyjnego łańcuchem nie zanurzoną (znad powierzchni kąpieli).

### 1. Wprowadzenie

Metoda wdmuchiwania sproszkowanych materiałów do kąpieli metalowej jest stosowana z powodzeniem do obróbki ciekłego metalu w procesach nawęglania, odtleniania, odsiarczania, odfosforowania [2]. Natomiast wykorzystanie jej do wprowadzania dodatków stopowych jest praktycznie żadne. 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 dla niektórych żelazostopów do 100 % [1]. Niniejsza publikacja jest wynikiem rozpoczęcia prac autorów nad tym praktycznie zaniechanym obszarem wiedzy, które mają na celu pełniejsze rozwiązanie zagadnienia pod kątem jego ewentualnych zastosowań przemysłowych. Ponadto prowadzone eksperymenty mają w założeniu wyjaśnić niektóre aspekty dynamiki strumienia dwufazowego, która ma zasadniczy wpływ na wyniki procesu wdmuchiwania proszków.

## 2. Stanowisko badawcze i metodyka badań

Wdmuchiwanie żelazostopu prowadzono do pieca elektrycznego indukcyjnego tyglowego o pojemności ok. 30 kg. Wprowadzanym materiałem był żelazokrzem o zawartości Si = 60 % i ziarnistości 0 – 1,6 mm. Wdmuchiwanie proszku odbywało się lancą znad powierzchni kąpeli (ok. 10 mm) na stanowisku badawczym przedstawionym na Rys. 1. Stanowisko składa się z trzech głównych elementów: układ nadawczy – A, układ zasilania sprężonym gazem – B, układ bezpośredniego wprowadzania proszku do kąpeli metalowej – C. 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.



Rys. 1. Stanowisko badawcze – pomiarowe: 1 - podajnik transportu pneumatycznego, 2 – przewody transportowe, 3 – reduktor nadciśnienia zasilania, 4 – reduktor nadciśnienia gazu w podajniku, 5 – lanca, 6 – urządzenie odbiorcze (piec elektryczny indukcyjny), 7 – komora mieszania, 8 – zawór dzwonowy, 9 – butla z gazem (argon)

Fig. 1. Research stand: 1 – pneumatic transport vessel, 2 – pipes, 3 – reducing valve of feed pressure, 4 – reducing valve of pressure in vessel, 5 – injection lance, 6 – receiver (induction furnace), 7 – mixing chamber, 8 – „bell” valve, 9 – bottle of gas (argon)

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 w poszczególnych wytopach: wytop 1: materiał nie rozdzielony na frakcje o ziarnistości 0 – 1,6 mm  
wytop 2: materiał o wielkości ziarna 0 – 0,20 mm  
wytop 3: materiał o wielkości ziarna 0,20 – 0,63 mm  
wytop 4: materiał nie rozdzielony na frakcje o ziarnistości 0 – 1,6 mm wsypano na powierzchnię kąpeli w celu porównania uzyskanej w ten sposób efektywności nakrzemowywania z otrzymanymi metodą wdmuchiwania.

Proces wdmuchiwania prowadzony był przy wyłączonym piecu po ściągnięciu żużla i pomiarze temperatury kąpieli.

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 1. Skład chemiczny żeliwa w poszczególnych wytopach

		Zawartość pierwiastków, %									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al.
Wyt. 1	0	2,82	1,10	0,29	0,047	0,015	0,02	0,03	-----	0,06	-----
	I	2,69	3,03	0,31	0,047	0,013	0,05	0,03	-----	0,06	-----
	II	2,62	5,80	0,36	0,046	0,015	0,09	0,03	-----	0,06	-----
Wyt. 2	0	2,60	0,57	0,35	0,043	0,015	0,07	0,03	0,01	0,06	0,006
	I	2,67	2,48	0,42	0,054	0,028	0,04	0,02	0,01	0,05	0,005
	II	2,50	5,03	0,36	0,035	0,016	0,11	0,03	0,01	0,05	0,020
Wyt. 3	0	2,50	0,46	0,32	0,045	0,024	0,07	0,04	0,01	0,06	0,008
	I	2,50	3,55	0,36	0,040	0,026	0,09	0,03	0,01	0,06	0,030
	II	2,28	7,12	0,36	0,032	0,026	0,10	0,03	0,01	0,06	0,029
Wyt. 4	0	2,78	1,06	0,30	0,031	0,014	0,05	0,04	0,01	0,07	0,006
	I	2,66	4,76	0,30	0,025	0,016	0,08	0,04	0,01	0,07	0,014
	II	2,48	7,04	0,33	0,019	0,015	0,09	0,04	0,01	0,06	0,020

0 – przed wdmuchiowaniem (żeliwo wyjściowe)

I – pierwsze wdmuchnięcie (wytop 4 – materiał wsypany na powierzchnię)

II – drugie wdmuchnięcie (wytop 4 – materiał wsypany na powierzchnię)

Tabela 2. Parametry pneumatyczne, wielkości mierzone i obliczone

		$p_1$ MPa	$p_4$ MPa	$m_c$ kg	$m_m$ kg	$t$ s	$T_p$ °C	$T_k$ °C	$\Delta T$ °C	$E$ %	$E_{sr}$ %	$m_c$ kg/s
Wyt. 1	I	0,3	0,075	0,80	14,94	17,52	1440	1360	80	60,07	90,64	0,046
	II	0,3	0,075	0,55	14,44	20,32	1440	1435	5	121,21		0,027
Wyt. 2	I	0,3	0,075	0,80	14,84	18,32	1440	1400	40	59,05	75,69	0,044
	II	0,3	0,075	0,66	14,34	17,94	1440	1380	60	92,34		0,037
Wyt. 3	I	0,3	0,075	0,80	14,07	17,81	1450	1431	19	91,16	95,30	0,045
	II	0,3	0,075	0,80	13,37	16,83	1450	1392	58	99,44		0,047
Wyt. 4	I	-----	-----	0,80	13,40	-----	1448	-----	-----	-----	60,32	-----
	II	-----	-----	0,80	12,20	-----	1447	-----	-----	60,32		-----

### 3. Analiza otrzymanych wyników badań

Efektywności nakrzemowywania podczas wytopów 1 i 2 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 wdmuchnięciem był większy niż wynikałoby to z wprowadzonej jego ilości. Dlatego podano w Tabeli 2 również wartości średniej efektywności dla obu 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 – 0,63 mm, dla których uzyskano bardzo wysoką efektywność średnią równą ponad 95 %, co jest wynikiem bardzo dobrym w porównaniu z 60 % efektywnością podczas sypania FeSi na powierzchnię kąpieli i mechanicznego jej mieszania.

Spadek temperatury kąpieli metalowej  $\Delta T$  wywołany wdmuchiwaniami wahał się w granicach 40 – 80 °C (wartości  $\Delta T = 5$  i 19 °C są raczej mało prawdopodobne i należy je raczej uznać za błędne). Stosunkowo mały spadek temperatury kąpieli przy jej niewielkiej masie i wyłączonym piecu wiąże się zapewne z faktem zastosowania lancy nie zanurzonej.

### 4. Podsumowanie i wnioski

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 kąpieli metalowej. Omawiane eksperymenty miały charakter badań wstępnych, a w ramach ich kontynuacji przeprowadzone zostaną próby wdmuchiwania innych żelazostopów do ciekłego żeliwa przy większym zakresie analizowanych zmiennych oraz przy zastosowaniu nieco zmodyfikowanego stanowiska badawczego i warunków procesu. Modyfikacja dotyczyć będzie zmiany konstrukcji lancy, gazu transportującego jak również pneumatycznych parametrów procesu.

Przewiduje się, że wprowadzone zmiany umożliwią rozwiązanie niektórych zagadnień związanych z dynamiką procesu wdmuchiwania proszków, co jest jednym z głównych celów rozpoczętych prac.

**Literatura**

1. Carlsson G., Berg B.: An overview of injection metallurgy, Int. Conf. Secondary Metallurgy, Aachen 1987
2. Janerka K., Piątkiewicz Z., Szlumczyk H.: Urządzenia do wdmuchiwania proszków do pieców metalurgicznych, Przegląd Odlewnictwa, nr 6, 1993
3. Warchala T., Borkowski S.: Żeliwo niskochromowe o zawartości do 1,5% Cr uzyskiwane przez rozpuszczanie żelazokrzemochromu, Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1989
4. Warchala T., Borkowski S.: Wytwarzanie żeliwa niskochromowego metodą wdmuchiwania FeSiCr do kąpiel, Przegląd Odlewnictwa, nr 4, 1990
5. Warchala T., Borkowski S.: Spadek temperatury ciekłego żeliwa podczas obróbki podapiecowej, Przegląd Odlewnictwa, nr 1, 1991

**PNEUMATIC INJECTION OF FeSi INTO THE LIQUID CAST IRON.****ABSTRACT.**

This paper presents problem of pneumatic injection of FeSi into the liquid cast iron. Influence of grain size injected ferroalloys for increase of silica 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).

Recenzował  
Prof. dr inż. Zbigniew Piątkiewicz