

Metoda oceny skuteczności sferoidyzacji żeliwa za pomocą uproszczonego wzoru na uzysk magnezu

Ł. Kostrzewski^{a*}, R. Kołodziej^a, J. Szajnar^b

^a Odlewnia Żeliwa TERIEL ul. Lipowa 2a, 63-800 Gostyń, Polska

^b Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: Lukasz.Kostrzewski@Teriel.com.pl

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę oceny skuteczności sferoidyzacji żeliwa za pomocą uproszczonego wzoru na uzysk magnezu. Metodę opracowano na podstawie kilkudziesięciu wytopów żeliwa. Otrzymane wyniki badań potwierdzono przy użyciu urządzenia do badania prędkości fali oraz na podstawie obserwacji zdjęć mikrostruktury. Oceny sferoidyzacji badanych próbek przeprowadzono dla odlewów o średniej grubości ścianki 12 mm. W artykule podano również przedziały wyznaczone do oceny sferoidyzacji żeliwa w warunkach Odlewni, jak również schemat postępowania z odlewami po obróbce ciekłego metalu zaprawami FeSiMg.

Słowa kluczowe: żeliwo sferoidalne, uzysk, ocena skuteczności, sferoidyzacja.

1. Wprowadzenie

Żelazostopy na bazie magnezu, do pozapiecowej obróbki ciekłego żeliwa, należą do grona najdroższych żelazostopów używanych w odlewniach na całym świecie, jednocześnie będąc najpowszechniej używanymi półproduktami w branży.

Trudność w wyprodukowaniu stopu Fe-Mg o jednorodnym składzie chemicznym, na pewno ma ogromny wpływ na jego wartość. Jednak uzyskanie parametrów fizycznych takich jak odpowiednia granulacja i wilgotność również podnosi finalną cenę produktu jaką odlewnia musi zapłacić za niezbędny dodatek do produkcji żeliwa sferoidalnego.

Dlatego maksymalne wykorzystanie przedmiotowego żelazostopu w znacznym stopniu wpływa na osiągnięcie dodatniego wyniku finansowego odlewni.

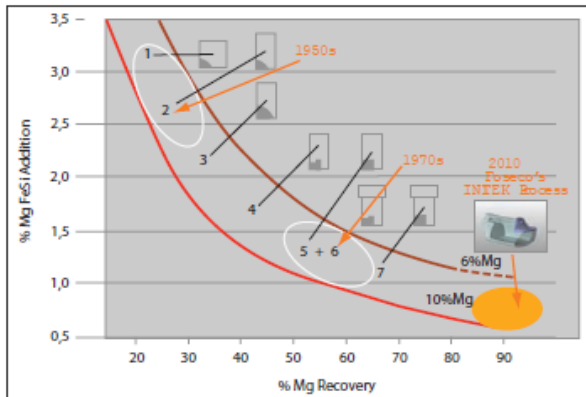
Przez lata wykorzystywania Mg jako sferoidyzatora, opracowano szereg metod jego wprowadzania do ciekłego żeliwa (rys. 1). Jednak bez względu na metodę na uzysk Mg wpływa [1, 2, 3]:

- temperatura przegrzania i temperatura zalewania
- czas pomiędzy dodaniem zaprawy sferoidalnej a końcem zalewania
- zawartość siarki i tlenu z żeliwie wyjściowym
- smukłość kadzi (stosunek wysokości do średnicy kadzi)
- procentowa zawartość Mg w nośniku magnezu
- metody zabiegu sferoidyzacji.

2. Efektywność sferoidyzacji za pomocą magnezu

Największym problemem w sferoidyzacji żeliwa jest jego duże powinowactwo do tlenu jak i siarki. Z termodynamiki reakcji wynika, że w pierwszej kolejności magnez reaguje z tlenem zgodnie z reakcją odtleniania [5]:





Rys. 1. Uzysk Mg w zależności od metody jego wprowadzania [4]

Entalpia swobodna reakcji określa powinowactwo danego pierwiastka do tlenu i siarki. Tlen wiąże dwa razy więcej magnezu niż siarka i wynika to z jego stechiometrycznego stosunku, który wynosi 1,5. Stabilność reakcji odtleniania jest związana z wartością entalpii swobodnej, im wartość ta jest bardziej ujemna tym wiązania są stabilniejsze i wcześniej dochodzi do łączenia magnezu w tlenki a następnie w siarczki [5].



Stechiometryczny stosunek siarki do magnezu wynosi 0,76. Dodatkowo Mg często łączy się z SiO_2 powodując kolejne straty magnezu zgodnie z reakcją [5]:



lub



Połączone w ten sposób tlenki, siarczki i krzemiany tworzą zwartą warstwę wtrącając w cieczy, która wskazuje tendencje do wypływania lub pozostaje pochłonięta przez krzepnące żeliwo. Wtrącenia te klasyfikowane są jako wady typu zażuzlenia i często są powodem odrzucenia (zabrakowania) odlewu.

W ostatnich latach bardzo popularna stała się metoda sferoidyzacji żeliwa za pomocą przewodu elastycznego (PE) tzw. metoda drutowa. Metoda ta wykorzystuje prosty algorytm (5) wyznaczający ilość dodawanego przewodu magnezowego opierający się na wzorze [2, 3]:

$$L = \frac{[0,76 \cdot \Delta S + \text{MgFe}] \cdot M_z}{\text{Mg rec.} \cdot \text{Mg}} \quad (5)$$

gdzie:

- L** – niezbędna długość PE, m
- $\Delta S = S_1 - S_2$ – różnica zawartości siarki w żeliwie przed i po wprowadzeniu Mg, %
- MgFe** – udział Mg w żeliwie finalnym, %
- Mg rec.** – uzysk Mg, %
- Mg** – ilość Mg na metr przewodu elastycznego, kg/m

M_z – ilość obrabianego metalu, kg
0,76 – współczynnik, wynikający z mas atomowych S i Mg.

Wzór (6) jest rozwinięciem wzoru A. De Sy na ilość dodawanego magnezu [3]:

$$\text{Mg d} = \frac{0,76 \cdot \Delta S + \text{Mg Fe}}{\text{Mg rec.}} \quad (6)$$

gdzie:

- Mg d** – wprowadzona ilość magnezu, %
- Mg rec** – uzysk magnezu, %
- $\Delta S = S_1 - S_2$ – różnica zawartości siarki w żeliwie przed i po wprowadzeniu Mg, %
- MgFe** – udział Mg w żeliwie finalnym, %
- 0,76** – współczynnik, wynikający z mas atomowych siarki i magnezu.

Niestety tylko część odlewni w kraju jest wyposażonych w urządzenie do sferoidyzacji za pomocą przewodu elastycznego. Większość wykorzystuje metody sferoidyzacji typu „Sandwich” oraz „Tundisch”, w których dozowanie zależy w dużej mierze od pracowników pracujących przy pozapiecowej obróbce metalu oraz jego zalewaniu.

W powyższych dwóch metodach badanie efektu sferoidyzacji jest możliwe jedynie po zalaniu odlewu i wycięciu próbek z odlewu i następnemu sprawdzeniu mikrostruktury pod mikroskopem.

3. Badania własne

W warunkach Odlewni Żeliwa TERIEL, w celu optymalnego wykorzystania zaprawy magnezowej wprowadzanej z wykorzystaniem metody Tundisch oraz uzyskania przekonujących dowodów, iż żeliwo po obróbce zaprawą jest w pełni żeliwem sferoidalnym można opierać się na wzorze (7):

$$\text{Mg}_{\text{ü}} = \text{Mg} - 0,76 \cdot \text{S} \quad (7)$$

gdzie:

- $\text{Mg}_{\text{ü}}$** – współczynnik Mg określający stopień sferoidyzacji,
- Mg** – zawartość magnezu po obróbce zaprawą, %
- S** – zawartość siarki po obróbce zaprawą, %

Poprawność wzoru $\text{Mg}_{\text{ü}}$ sprawdzono na kilkunastu próbach dla średniej grubości ścianki odlewu wynoszącej 12 mm.

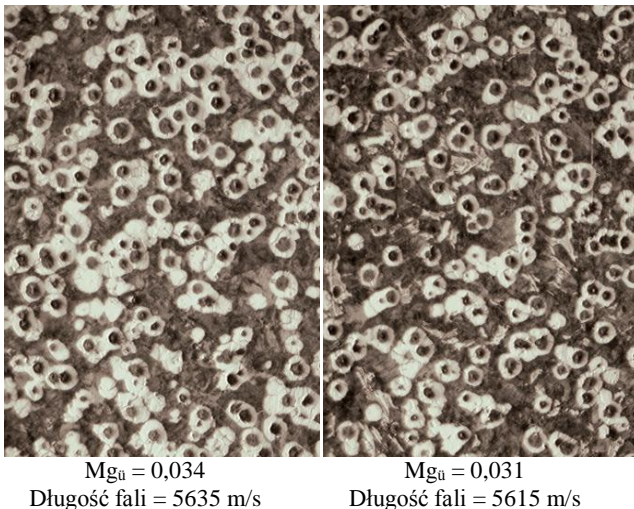
Badania rozpoczęto od ustalenia stałego przedziału temperatury zalewania (dla grubości ścianki od 7 mm do 12 mm). Temperaturę tę określono na poziomie $1420 \text{ }^\circ\text{C}^{+20}$, pozwalającym na bezpieczne wylanie porcji metalu, bez narażania się na powstanie wad typu niespaw i niedolew.

Przeprowadzono szereg prób w celu określenia najsukuteczniejszych i najbezpieczniejszych (dla danej metody) zapraw magnezowych. Najwłaściwszym nośnikiem magnezu wybrano zaprawę o zawartości tego pierwiastka w granicach 6 % oraz granulacji 15÷40 mm [6].

Po serii badań z wykorzystaniem pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej rozchodzącej się w odlewie stwierdzono, że dla wartości $Mg_{\bar{u}}$ powyżej 0,027 uzyskuje się żeliwo sferoidalne:

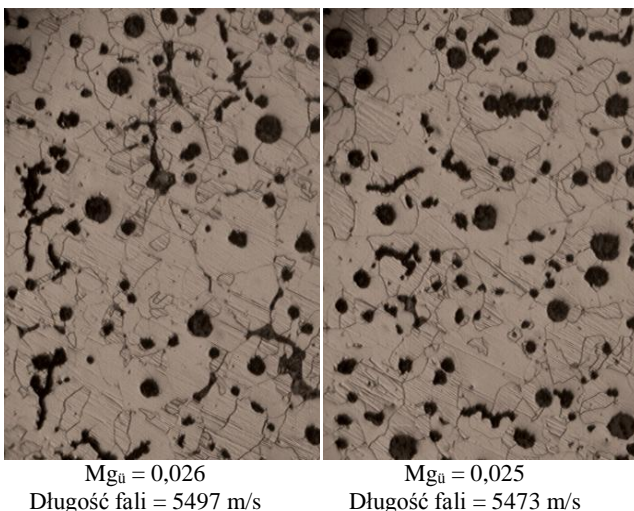
$Mg_{\bar{u}} > 0,027$ – żeliwo sferoidalne

Wyniki przeprowadzonych badań w warunkach Odlewni obrazują wybrane zdjęcia mikrostruktury połączone z wynikami pomiarów prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w odlewie. Prędkość powyżej 5550 m/s potwierdza to, że żeliwo jest wytworzone jako sferoidalne.

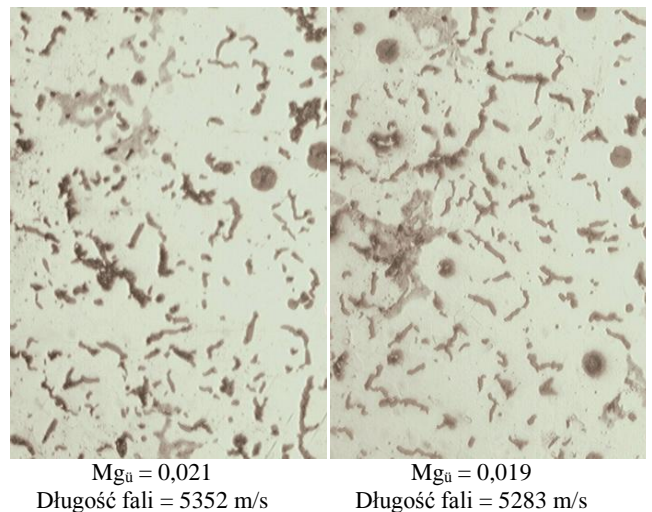


Rys. 2. Poprawne mikrostruktury żeliwa EN-GJS-500-7

W celu wymuszenia powtarzalności procesu wytwarzania żeliwa sferoidalnego w Odlewni, na podstawie przeprowadzonych badań, wykonano algorytm postępowania przedstawiony na poniższym schemacie (rys. 5).



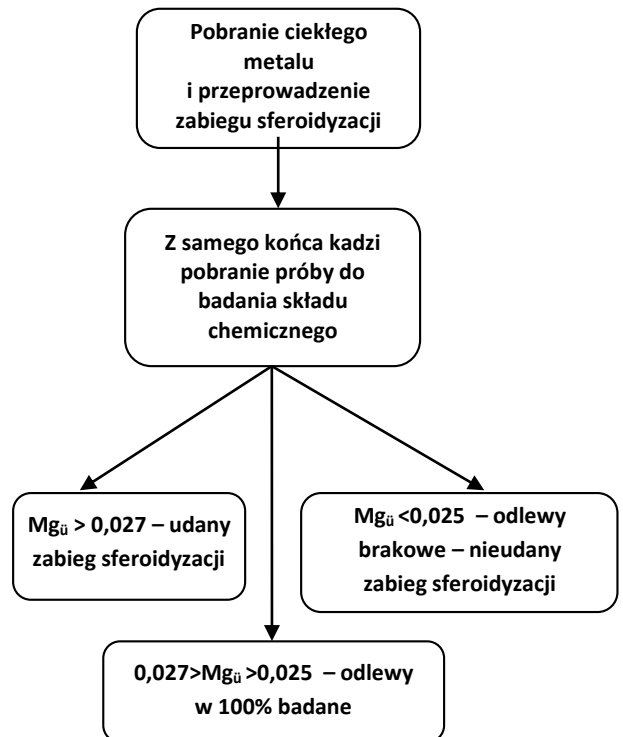
Rys. 3. Mikrostruktury żeliwa EN-GJS-400-15 dopuszczonego warunkowo



Rys. 4. Niewłaściwa mikrostruktura żeliwa

Wszystkie próbki wysyłane są pocztą pneumatyczną do laboratorium w celu przeprowadzenia analizy składu chemicznego. Po badaniu wyniki odsyłane są do wytopialni w celu bieżącej kontroli składu chemicznego oraz ewentualnej korekty ilości dodawanej zaprawy.

Jeżeli wystąpią niezgodności składu chemicznego odlewy są brakowane lub przesłane do weryfikacji za pomocą badania ultradźwiękowego oraz do kontroli mikrostruktury wycinka z problematycznego odlewu lub odlewów.



Rys. 5. Algorytm postępowania podczas produkcji żeliwa sferoidalnego

Wszystkie wyniki badań składu chemicznego przechowywane są w tabeli (rys. 6) i są ogólnodostępne z poziomu Odlewni.

Nazwa	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mg	Zn	As	Cl	Sr	M
ZS400-15 232734/37/17/5 05 15	3.91	1.05	0.405	0.0284	0.0178	0.0742	0.0304	0.0069	0.0025	0.0131	4.28	1.01	
ZS400-15 A 131804 PO SFERO 3 00 1	3.79	2.48	0.434	0.0342	0.0226	0.1070	0.0285	0.0545	0.0022	0.0172	4.64	1.11	0.037
ZS500-7 A 131806 PO SFERO 4 05 20	3.75	2.76	0.421	0.0324	0.0134	0.0918	0.0318	0.0557	0.0024	0.0175	4.68	1.13	0.046
ZS500-7 A 131806 PO SFERO 5 05 45	3.77	2.67	0.416	0.0315	0.0165	0.0915	0.0307	0.0571	0.0024	0.0166	4.68	1.13	0.045
ZS400-15 M 131807 06 20	3.89	1.28	0.420	0.0305	0.0173	0.0936	0.0281	0.0072	0.0024	0.0155	4.44	1.05	
ZS600-3 232735/125/2 06 20	3.35	1.16	0.706	0.0307	0.0091	0.1170	0.0242	0.0070	0.0020	0.0151	3.75	0.87	
ZS400-15 A 131807 PO SFERO 1 06 5	3.74	2.64	0.421	0.0294	0.0047	0.0951	0.0330	0.0417	0.0024	0.0146	4.64	1.11	0.038
ZS400-15 232736/38/17/5 07 30	3.52	1.00	0.390	0.0251	0.0119	0.0810	0.0300	0.0070	0.0023	0.0130	3.87	0.90	
ZS400-15 131807 PO SFERO 2 08 00	3.69	2.76	0.409	0.0299	0.0137	0.0895	0.0311	0.0611	0.0024	0.0167	4.62	1.11	0.051
ZS600-3 A 232735 PO SFERO 1 08 35	3.25	2.30	0.746	0.0356	0.0148	0.5910	0.0306	0.0586	0.0024	0.0218	4.03	0.94	0.047
ZS400-15 A 131807 PO SFERO 3 09 1	3.79	2.44	0.423	0.0333	0.0231	0.1030	0.0330	0.0528	0.0026	0.0192	4.62	1.11	0.035
ZS400-15 M 131808 09 15	3.80	1.35	0.421	0.0289	0.0194	0.0922	0.0295	0.0071	0.0023	0.0156	4.27	1.00	
ZS400-15 A 131807 PO SFERO 1/7/5 09 30	3.69	0.90	0.343	0.0283	0.0178	0.0794	0.0348	0.0073	0.0024	0.0149	4.00	0.94	
ZL300 232738/26/2 09 45	2.99	1.54	0.705	0.0285	0.0069	0.4160	0.0258	0.0069	0.0021	0.0149	3.51	0.80	
ZS400-15 F 131808 PO SFERO 1 09 5	3.70	2.56	0.410	0.0328	0.0213	0.0872	0.0335	0.0550	0.0023	0.0174	4.57	1.09	0.039
ZS400-15 A 131808 PO SFERO 2 09 5	3.64	2.53	0.418	0.0332	0.0148	0.0885	0.0337	0.0454	0.0024	0.0175	4.50	1.07	0.034
ZL300 232738 PR NR2 10 05	3.29	1.48	0.707	0.0278	0.0052	0.4050	0.0258	0.0069	0.0021	0.0149	3.80	0.88	
ZS400-15 A 131808 PO SFERO 3 10 5	3.65	2.53	0.389	0.0321	0.0241	0.0830	0.0420	0.0514	0.0024	0.0148	4.51	1.07	0.033
ZS400-15 131809 11 23	3.78	1.28	0.394	0.0313	0.0210	0.0872	0.0296	0.0071	0.0023	0.0162	4.23	0.99	
ZS400-15 A 131808 PO SFERO 4 11 2	3.65	2.58	0.399	0.0307	0.0106	0.0880	0.0374	0.0503	0.0026	0.0168	4.53	1.08	0.042
ZS400-15 232739/40/17/5 11 30	3.84	1.12	0.354	0.0281	0.0159	0.0818	0.0275	0.0072	0.0022	0.0136	4.23	0.99	
ZL300 A 232738 Z KADZI 11 40	3.20	1.84	0.765	0.0319	0.0123	0.6330	0.0257	0.0072	0.0019	0.0173	3.83	0.88	
ZL300 A 232738 Z KADZI 2 11 50	3.18	1.86	0.771	0.0313	0.0141	0.6240	0.0266	0.0070	0.0022	0.0148	3.82	0.88	
ZS400-15 A 131809 PO SFERO 1 12 3	3.61	2.62	0.417	0.0332	0.0134	0.1110	0.0394	0.0547	0.0026	0.0179	4.50	1.07	0.045
ZS400-15 F 131809 PO SFERO 2 12 5	3.76	2.49	0.380	0.0326	0.0178	0.0830	0.0348	0.0489	0.0025	0.0170	4.61	1.10	0.036
ZS400-15 A 131809 PO SFERO 3 13 0	3.65	2.60	0.396	0.0327	0.0181	0.0851	0.0375	0.0461	0.0024	0.0156	4.53	1.08	0.032
ZS400-15 A 131809 PO SFERO 4 13 2	3.63	2.63	0.394	0.0301	0.0133	0.0847	0.0363	0.0526	0.0025	0.0162	4.52	1.08	0.042
ZS400-15 232741/14/17/5 13 45	3.86	1.18	0.370	0.0252	0.0086	0.0810	0.0244	0.0071	0.0025	0.0123	4.27	1.01	
ZS600-3 232740/127/2 13 40	3.39	1.33	0.692	0.0283	0.0041	0.2270	0.0267	0.0068	0.0020	0.0145	3.85	0.89	
ZS400-15 A 131809 PO SFERO 5 13 5	3.63	2.69	0.392	0.0296	0.0081	0.0871	0.0384	0.0419	0.0023	0.0152	4.56	1.09	0.036

Rys. 6. Fragment tabeli z wynikami analiz chemicznych poszczególnych wytopów żeliwa

4. Podsumowanie

Dzięki wprowadzeniu wzoru Mg_{ust} ustalono optymalną ilość zaprawy sferoidalnej dodawanej do danej porcji metalu przetwarzanej w piecu kanałowym. Ta prosta metoda oceny skuteczności zabiegu sferoidyzacji pozwoliła na szybką weryfikację

zabiegu obróbki ciekłego metalu żelazostopem na bazie magnezu. Sprawdzalność metody jest po kilkudziesięciu próbach jest niemalże 100% zgodna pod warunkiem, iż próbka do badania składu chemicznego jest pobierana pod koniec zalewania porcji metalu, ze względu na zanik efektu sferoidyzacji. Dzięki metodzie zaistniała możliwość ograniczania zużycia zaprawy FeSiMg. Przed wprowadzeniem zaprawa magnezowa dodawana była w ilościach 2,3% w stosunku do masy ciekłego metalu. Po wprowadzeniu tej metody oceny jakości sferoidyzacji zużycie zaprawy magnezowej spadło do 0,2 – 0,5 % i dało możliwość stałej kontroli zabiegu wraz z zmieniającym się składem chemicznym po dolewaniu kolejnej porcji metalu do pieca przetrzymującego (kanałowego).

Literatura

- [1] *The Sorelmetal Book of Ductile Iron*. Warszawa 2006. Metals Minerals Sp. z o.o.
- [2] Guzik, E. (2001). *Procesy uszlachetniania żeliwa. Wybrane zagadnienia*. Monografia Nr 1. Wyd. Archives of Foundry. Komisja Odlewnictwa PAN.
- [3] Warchala, T. (1995). *Metalurgia i odlewnictwo*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- [4] Simmons, B. (2011). A new metallurgical process for ductile iron foundry melt shop. *Foundry Practice* (253).
- [5] Muller, J. & Wolf, G. (2001). Optimierte Magnesium-Drahtinjektionstechnik zur Herstellung von hochwertigem Gusseisen mit Kugelgraphit aus Kupolofenbasisseisen, *Giessereiforschung* 53(3), 85-103.
- [6] <http://www.elkem.com/foundry/>

Method of Evaluating the Effectiveness of Cast Iron Spheroidization Using a Simplified Formula for the Yield of Magnesium

Abstract

The paper presents a method for evaluating the effectiveness of iron spheroidization using a simplified formula for the yield of magnesium. The method was developed on the basis of dozens of cast iron melts. Obtained results confirmed by a test device and on the velocity images by observing the microstructure. The evaluation of the test samples was performed spheroidization castings with an average wall thickness of 12 mm. The article also stated intervals to be evaluated in terms nodularisation iron foundry, as well as workflow with the cast after the treatment of liquid metal with FeSiMg.