

OCENA ZMIAN STRUKTURY ŻELIWA SFEROIDALNEGO W ZALEŻNOŚCI
OD PARAMETRÓW CZASOWO-TEMPERATUROWYCH
PROCESU METALURGICZNEGO

THE ASSESSMENT OF CHANGES OF THE STRUCTURE OF DUCTILE CAST IRON
DEPENDING ON THE TIME AND TEMPERATURE OF THE METALLURGIC PROCESS

Marek Kranc, Andrzej Gwiżdż, Krzysztof Jaśkowiec

Instytut Odlewnictwa, Zakład Stopów Żelaza, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków
Foundry Research Institute, Department of Ferrous Alloys, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

E-mail: marek.kranc@iod.krakow.pl

Streszczenie

Przedstawiono wyniki prób technologicznych (skład chemiczny, krzywe krzepnięcia, mikrostruktura) przy wytopianiu żeliwa sferoidalnego w Instytucie Odlewnictwa w piecu indukcyjnym. W przypadku krystalizacji grafitu sferoidalnego nie obserwowano długiego przystanku o stałej temperaturze związanego z krystalizacją tej struktury, a następnie gwałtownego obniżenia temperatury po zakończeniu krzepnięcia, z wyraźnie widocznym punktem przegięcia krzywej termicznej, gdy krystalizuje eutektyka z grafitem. Temperatura, po osiągnięciu maksimum, powoli, lecz systematycznie spadała, a punkt przegięcia końca krystalizacji był trudny do wyznaczenia. W przypadku, gdy grafit wydzielał się w postaci wermikularnej obraz krzywej stygnięcia miał charakter pośredni. Występował wprawdzie przystanek o stałej temperaturze, ale był on krótszy, niż w przypadku wystąpienia grafitu płatkowego i nie obserwowano wyraźnego punktu przegięcia po zakończeniu krzepnięcia. Wytrzymywanie ciekłego metalu w piecu indukcyjnym w trakcie prób powodowało znaczny ubytek zawartości magnezu przyswojonego w procesie sferoidyzacji. Prace badawcze wykonano na zlecenie Fabryki Armatury JAFAR SA w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, działanie pt.: „Wdrożenie innowacyjnej technologii produkcji zaworów w Fabryce Armatury JAFAR SA”.

Słowa kluczowe: żeliwo sferoidalne, armatura żeliwna, struktura

Abstract

The results of technological tests (chemical composition, solidification curves, microstructure) of ductile cast iron smelting in the Foundry Research Institute in an induction furnace. In the case of crystallization of spheroidal graphite no long fixed temperature stop associated with the crystallization of the structure was observed, and then rapid reduction of temperature after the solidification process, with a clearly visible thermal inflection point during eutectic and graphite crystallization. The temperature, after reaching the maximum, slowly but steadily declined, and the inflection point of the end of the crystallization was difficult to determine. In the case when graphite precipitated in the vermicular form the image of the cooling curve was of indirect nature. In fact there was a stop with fixed temperature but it was shorter than in the case of scale graphite occurrence and there was no clear inflection point observed after the end of solidification. Suspending the molten metal in the induction furnace during the test resulted in a significant loss of magnesium assimilated in the process of spheroidization. The research was carried out on behalf of Fabryka Armatur JAFAR SA under the Innovative Economy Operational Programme 2007–2013, project: “Implementation of innovative technology of valve manufacturing in Fabryka Armatur JAFAR SA”.

Keywords: ductile cast iron, cast iron fittings, structure

Wstęp

W publikacji omówiono część prac badawczych [1, 2] dotyczących procesu metalurgicznego przygotowania żeliwa sferoidalnego gatunku EN-GJS-400-15 na armaturę żeliwną. Badania przedstawione

Introduction

The publication discusses some part of the scientific works [1, 2] on the metallurgic process of production of ductile cast iron of class EN-GJS-400-15 for cast iron fittings. The research presented in the publi-

w publikacji obejmowały ocenę mikrostruktury grafitu przeprowadzoną przez porównanie mikrostruktury próbek nietrawionych z wzorcami zamieszczonymi w normie PN-EN ISO 945:1999 oraz ocenę mikrostruktury osnowy metalowej przeprowadzoną przez porównanie mikrostruktury próbek trawionych z wzorcami mikrostruktury zamieszczonymi w normie PN-H-04661:1975P. Obserwacje mikroskopowe i zdjęcia zostały wykonane za pomocą mikroskopu metalograficznego AXIO OBSERVER Z1M. Krzywe stygnięcia (proces krzepnięcia) poszczególnych wytopów wykonano przy użyciu rejestratora MrAC 15 za pomocą 15 niezależnych kanałów pomiarowych. W praktyce odlewniczej temperatura jest jednym z najważniejszych parametrów. Zarówno uzyskanie odpowiedniej jakości, jak i właściwej struktury zależy w znacznym stopniu od tego parametru. Wyniki przeprowadzonych badań struktury i składu chemicznego w powiązaniu z krzywymi krzepnięcia i stygnięcia pozwoliły ocenić trwałość efektu sferoidyzacji i modyfikacji. Wyniki tych prac będą wykorzystane do weryfikacji technologii wytapiania żeliwa w nowej odlewni żeliwa w JAFAR SA wyposażonej w piec indukcyjny ABP INDUCTION o pojemności 2000 kg.

Wykonanie wytopów

Celem przeprowadzonych wytopów było ilościowe zobrazowanie wpływu temperatury i czasu na proces otrzymywania żeliwa sferoidalnego (zanik efektów zabiegu sferoidyzowania i modyfikowania) w warunkach prób prowadzonych w Instytucie Odlewnictwa [2, 3].

Do prób wytopowano żeliwo sferoidalne o założonym wyjściowym składzie chemicznym (% wag.) – zależnie od ilości wprowadzanej zaprawy magnezowej w trakcie sferoidyzacji:

- dla wytopów o mniejszej ilości zaprawy:
 - C – 3,7–3,9%,
 - Si – 1,4–1,6%,
 - Mn – do 0,2%,
 - P – do 0,05%,
 - S – do 0,03%
- dla wytopów o większej ilości zaprawy:
 - C – 3,7–3,9 %,
 - Si – 1,0–1,2%,
 - Mn – do 0,2%,
 - P – do 0,05%,
 - S – do 0,03%.

Wytopy wykonano w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości firmy RADYNE o pojemności tygla 100 kg wsadu metalowego i wyłożeniu obojętnym.

Jako materiały wsadowe stosowano:

- surówkę odlewniczą o składzie:
 - C – 4,44%,
 - Si – 0,97%,

cation included the assessment of the microstructure of graphite carried out as a comparison of indigested samples with specimens of microstructure presented in standard EN ISO 945:1999 and the assessment of the microstructure of metal matrix carried out as a comparison of the study of microstructure of metal matrix was carried out by comparison of digested samples with specimens of microstructure presented in standard PN-H-04661:1975P. Microscopic observations and photographs were taken using a metallographic microscope AXIO OBSERVER Z1M. Cooling curves (solidification process) of the individual casts were performed using the MrAC 15 recorder with 15 independent measuring channels. In the casting practice temperature is one of the most important parameters. Both obtaining proper quality and structure significantly depends on this parameter. The results of the research on the structure and chemical composition in connection with solidification and cooling curves allowed for assessing the durability of the spheroidization and modification effect. The results of this research will be used for verification of the cast iron production technology in the new cast iron foundry in JAFAR SA equipped with induction furnaces ABP INDUCTION with a capacity of 2000kg.

Melting and casting

The main aim of the melting and casting operations was to determine the influence of casting parameters (time and temperature) on the preparation of ductile cast iron process (spheroidization effects). The trials were performed at the Foundry Research Institute [2, 3].

Initial chemical composition of the ductile cast iron was selected (wt. %). The composition of the charge varied due to different amount of master alloy that was applied:

- for the castings with a smaller amount of the master alloy:
 - C – 3.7–3.9%,
 - Si – 1.4–1.6%,
 - Mn – up to 0.2%,
 - P – up to 0.05%,
 - S – up to 0.03%
- for the castings with a bigger amount of the master alloy:
 - C – 3.7–3.9 %,
 - Si – 1.0–1.2%,
 - Mn – up to 0.2%,
 - P – up to 0.05%,
 - S – up to 0.03%.

The castings trials were carried out in a RADYNE medium frequency induction furnace equipped with 100 kg crucible.

The used charge materials were the following:

- pig iron of the composition:

Mn – 0,05%,
P – 0,05%,
S – 0,013%

- żłom stalowy o składzie:
C – 0,1%,
Si – 0,02%,
Mn – 0,3%,
P – 0,02%,
S – 0,02%
- żelazokrzem FeSi75.

Sferoidyzację i modyfikację przeprowadzano w tyglu pieca topialnego. Sferoidyzowano zaprawą magnezową FeSiMg17, a modyfikowano za pomocą modyfikatora FeSi75T. Zabiegi te wykonywano w różnej temperaturze, stosując zmienną ilość zaprawy sferoidyzującej.

Z wytopów pobierano próbki do badań laboratoryjnych po określonym czasie od momentu sferoidyzacji.

W tabeli 1 przedstawiono przebieg prób wykonanych w Instytucie Odlewnictwa.

C – 4.44%,
Si – 0.97%,
Mn – 0.05%,
P – 0.05%,
S – 0.013%

- steel scrap of the composition:
C – 0.1%,
Si – 0.02%,
Mn – 0.3%,
P – 0.02%,
S – 0.02%
- ferrosilicon FeSi75.

Spheroidization and modification were carried out in the crucible of the melting furnace. Magnesium master alloy FeSiMg17 was used for spheroidization and FeSi75T inoculant for modification. The treatments were performed at various melt temperatures using different amounts of spheroidizing master alloy.

Test samples were taken from the melt at certain time after the spheroidization operation.

Table 1 showed the course of the trials carried out at the Foundry Research Institute.

Tabela 1. Przebieg prób wykonanych w Instytucie Odlewnictwa
Table 1. The course of the tests carried out in the Foundry Research Institute

Cykl technologiczny Technological cycle	wytop 1 melt 1	wytop 2 melt 2	wytop 3 melt 3	wytop 4 melt 4
Temperatura w piecu po stopieniu / Temperature in the furnace after melting Próbka spectro 0 / Sample spectro 0	1375°C	1425°C	1375°C	1425°C
Sferoidyzacja/Spheroidization Modyfikator/Modifier Temperatura/Temperature Spust 0 / Drain 0 Próbka spectro / Sample spectro Analiza termiczna / Thermal analysis	po/after 1' po/after 1'30" 1360°C	po/after 1' po/after 1'30" 1424°C	11:35 2'00" 1375°C	10:12 1'40" 1425°C
Temperatura/Temperature Spust 1 / Drain 1 Próbka spectro / Sample spectro Analiza termiczna / Thermal analysis	1370°C po/after 8'45"	1420°C po/after 9'50"	1370°C po/after 9'45"	1425°C po/after 8'00"
Temperatura/Temperature Spust 2 / Drain 2 Próbka spectro / Sample spectro Analiza termiczna / Thermal analysis	1365°C po/after 13'45"	1425°C po/after 14'50"	1365°C po/after 14'45"	1425°C po/after 13'00"
Temperatura/Temperature Spust 3 / Drain 3 Próbka spectro / Sample spectro Analiza termiczna / Thermal analysis	1375°C po/after 18'45"	1425°C po/after 19'50"	1375°C po/after 19'45"	1425°C po/after 18'00"

Analiza chemiczna

Analizę chemiczną wykonanych wytopów przeprowadzono metodą spektrometrii emisyjnej na

Chemical analysis

The chemical analysis of the produced casts with emission spectrometry on the device ARL TYPE MA

urządzeniu ARL TYP MA zgodnie z certyfikowanymi procedurami badawczymi opracowanymi w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2.

certified in accordance with the test procedures developed at the Foundry Research Institute in Kraków. The results are presented in Table 2.

Tabela 2. Wyniki analizy chemicznej
Table 2. The results of the chemical analysis

Żeliwo sferoidalne / Ductile cast iron			Skład chemiczny, % wag. / Chemical composition, wt. %					
Ilość zaprawy FeSiMg19 Amount of FeSiMg19 master alloy	Temperatura sferoidyzacji Spheroidization temperature	Oznaczenie próbek Marking of the sample	C	Si	Mn	P	S	Mg
1,8% wag. / 1.8 wt. %	1375°C	1.0	3,51	2,52	0,10	0,040	0,007	0,018
		1.1	3,63	2,52	0,10	0,046	0,008	0,007
		1.2	3,65	2,63	0,10	0,045	0,008	0,000
		1.3	3,60	2,63	0,10	0,045	0,010	0,000
	1425°C	2.0	3,40	2,50	0,10	0,045	0,015	0,025
		2.1	3,63	2,58	0,10	0,046	0,013	0,007
		2.2	3,58	2,57	0,10	0,046	0,014	0,00
		2.3	3,54	2,56	0,10	0,047	0,017	0,000
3,0% wag. / 3.0 wt. %	1375°C	3.0	3,45	2,77	0,10	0,045	0,011	0,050
		3.1	3,65	2,77	0,09	0,046	0,009	0,019
		3.2	3,64	2,75	0,09	0,046	0,008	0,006
		3.3	3,60	2,75	0,09	0,044	0,009	0,000
	1425°C	4.0	3,60	2,77	0,12	0,040	0,011	0,019
		4.1	3,72	2,76	0,11	0,045	0,009	0,050
		4.2	3,71	2,75	0,11	0,045	0,013	0,006
		4.3	3,67	2,75	0,11	0,043	0,013	0,000

Badania metalograficzne żeliwa w stanie odlanym

Badania mikrostruktury grafitu przeprowadzono przez porównanie mikrostruktury próbek nietrawionych z wzorcami zamieszczonymi w normie PN-EN ISO 945:1999.

Badania mikrostruktury osnowy metalowej przeprowadzono przez porównanie mikrostruktury próbek trawionych z wzorcami mikrostruktury zamieszczonymi w normie PN-H-04661:1975P. Zgłady trawiono w odczynniku Mi1Fe (4% nital) wg normy PN-H-04503:1961P.

Obserwacje mikroskopowe i zdjęcia zostały wykonane przy użyciu mikroskopu metalograficznego AXIO OBSERVER Z1M.

Wyniki obserwacji metalograficznych zestawiono w tabeli 3.

Metallographic examination of ductile cast iron after casting

The study of microstructure of graphite was carried out by comparison of undigested samples with specimens presented in standard PN-EN ISO 945-1999.

The study of microstructure of metal matrix was carried out by comparison of digested samples with specimens of microstructure presented in standard PN-H-04661:1975P. The microsections were digested in reagent Mi1Fe (4% nital) according to the standard PN-H-04503:1961P.

Microscopic observations and photographs were taken using a metallographic microscope AXIO OBSERVER Z1M.

The results of the metallographic observations are presented in Table 3.

Tabela 3. Wyniki obserwacji metalograficznych badanych próbek w stanie odlanym
 Table 3. The results of the metallographic observations of the studied samples after casting

Żeliwo sferoidalne / Ductile cast iron			Skład chemiczny, % wag. / Chemical composition, wt. %	
Ilość zaprawy FeSiMg19 Amount of FeSiMg19 master alloy	Temperatura sferoidyzacji Spheroidization temperature	Oznaczenie próbki Marking of the sample	Mikrostruktura grafitu Graphite microstructure	Mikrostruktura osnowy metalowej Metal matrix microstructure
1,8% wag. / 1.8 wt. %	1375°C	1.0	80%III5 + 20%V6	P6-Pf1-Pd0,5
		1.1	70%III5 + 30%V6	P6-Pf1-Pd0,5
		1.3	80%ID6 + 20%IE5	P6-Pf1-Pd0,5
	1425°C	2.0	70%III5 + 30%V6	P6-Pf1-Pd0,5
		2.1	ID6	P6-Pf1-Pd0,5
		2.3	80%ID6 + 20%IE6	P6-Pf1-Pd0,5
3,0% wag. / 3.0 wt. %	1375°C	3.0	80%VI6 + 20%V6	P6-Pf1-Pd0,5
		31	80%III5 + 20%VI6	P6-Pf1-Pd0,5
		3.3	ID6	P0
	1425°C	4.0	60%VI6 + 20%V6 + 20%III6	P6-Pf1-Pd0,5
		4.1	ID6	P0
		4.3	ID6	P6-Pf1-Pd0,5

Analiza termiczna

Analizę termiczną przeprowadzono przy zastosowaniu wielokanałowego rejestratora MrAC-15 wraz z wyposażeniem firmy JOTA s.c. (rys. 1). Rejestrator przeznaczony jest do pomiarów sygnałów elektrycznych za pomocą 15 niezależnych kanałów pomiarowych.

Analizę termiczną przeprowadzano rejestrując przebieg zmian temperatury krzepnącego i stygnącego żeliwa w formach odlewniczych (znormalizowane kliny do pobierania próbek wytrzymałościowych) wykonanych z masy bentonitowej. Rejestrowano proces krzepnięcia żeliwa z każdego dokonanego spustu metalu (tabela 1).

Zarejestrowane krzywe stopów poddanych badaniom metalograficznym przedstawiono na rysunkach 2–5.

Thermal analysis

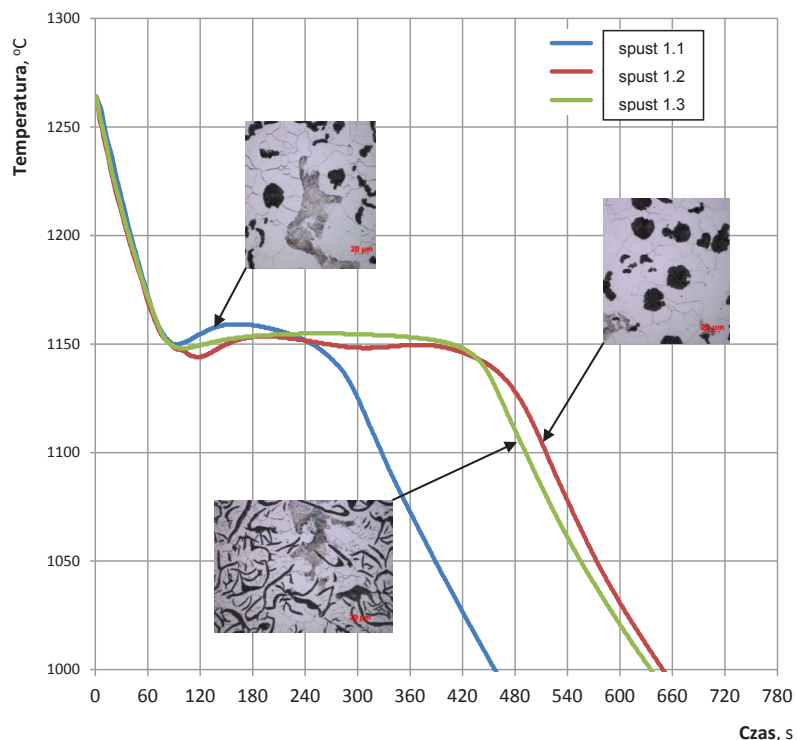
The thermal analysis was performed with a multi-channel recorder MrAC-15 and the JOTA s.c. equipment (Fig. 1). The recorder is designed to measure the electric signals with 15 independent measurement channels.

Thermal analysis was conducted by recording changes of temperature of cooling and solidifying of cast iron in casting molds (normalized wedges for strength sampling) made of bentonite. The process of metal solidification was registered after each drain of metal (Table 1).

The recorded curves of the alloys subject to metallographic tests are presented in Figures 2–5.

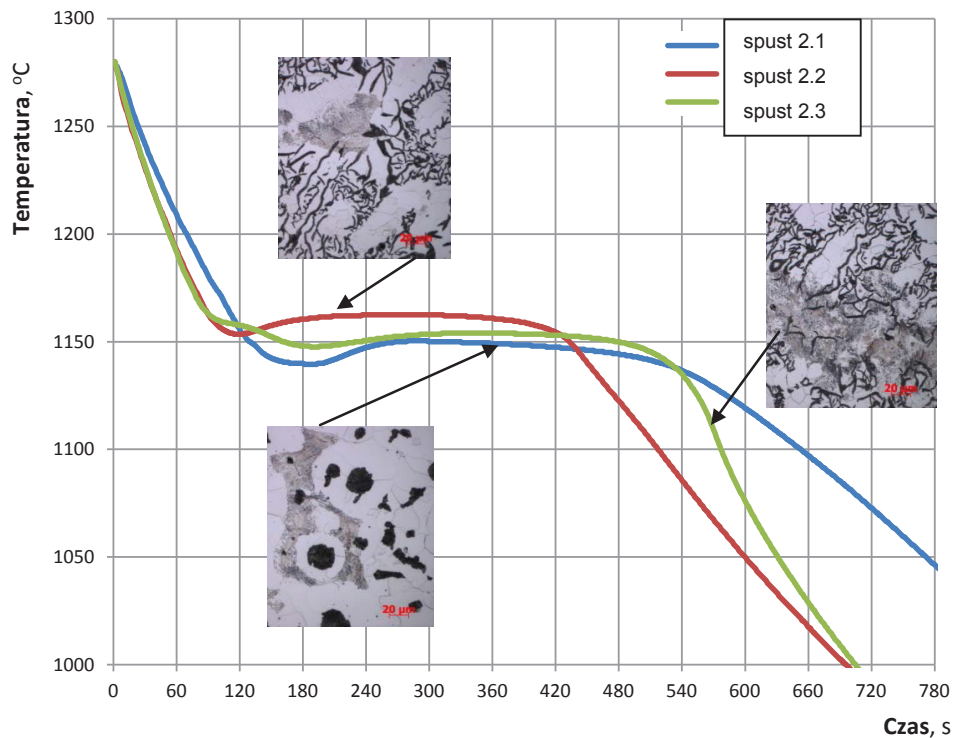


Rys. 1. Widok wielokanałowego rejestratora MrAC-15
 Fig. 1. The multichannel recorder MrAC-15



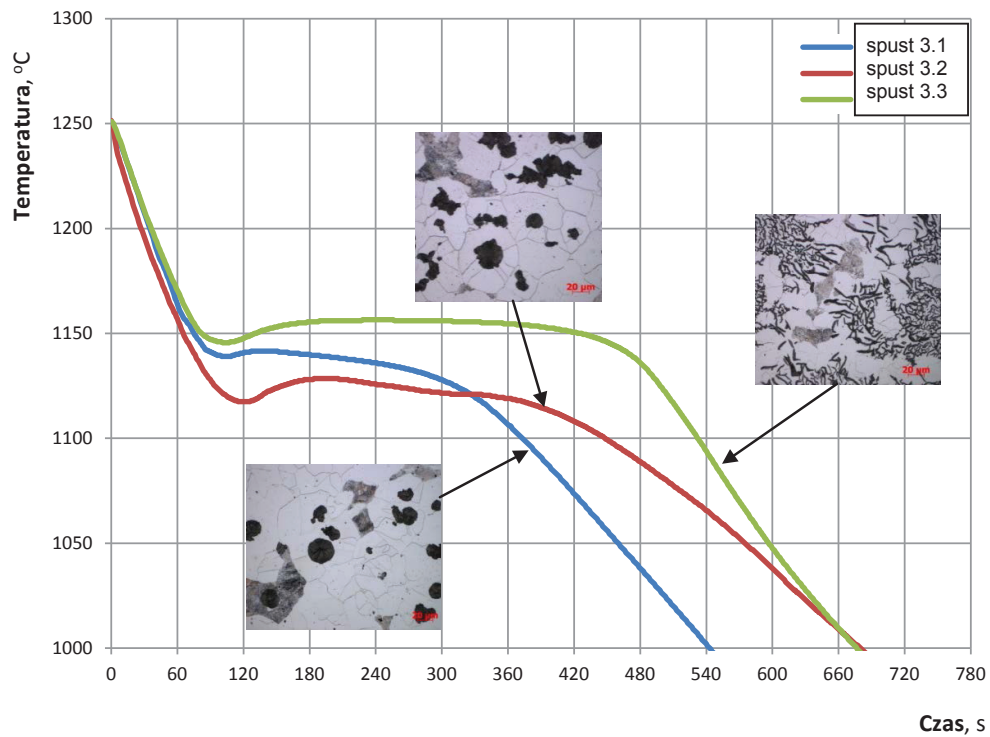
Rys. 2. Zarejestrowane krzywe stygnięcia żeliwa sferodyzowanego zaprawą FeSiMg17 w ilości 1,8% wag. w temperaturze 1375°C (wytop 1)

Fig. 2. The recorded cooling curves of ductile cast iron with FeSiMg17 master alloy in the amount of 1.8 wt. % in temperature 1375°C (cast 1)



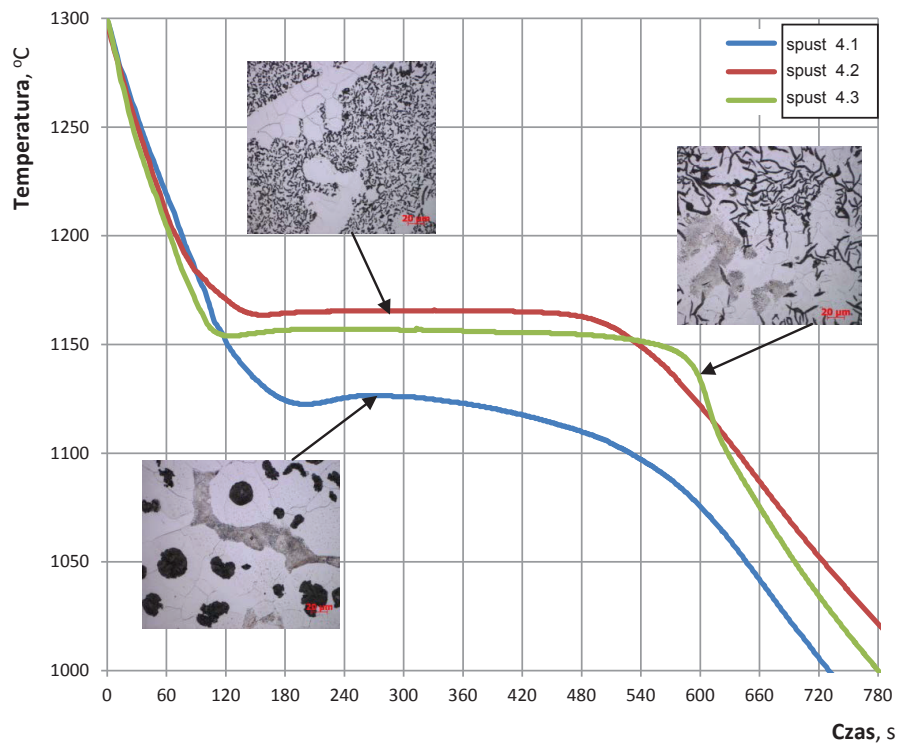
Rys. 3. Zarejestrowane krzywe stygnięcia żeliwa sferodyzowanego zaprawą FeSiMg17 w ilości 1,8% wag. w temperaturze 1425°C (wytop 2)

Fig. 3. The recorded cooling curves of ductile cast iron with FeSiMg17 master alloy in the amount of 1.8 wt. % in temperature 1425°C (cast 2)



Rys. 4. Zarejestrowane krzywe stygnięcia żeliwa sferoidyzowanego zaprawą FeSiMg17 w ilości 3,0% wag. w temperaturze 1375°C (wytop 3)

Fig. 4. The recorded cooling curves of ductile cast iron with FeSiMg17 master alloy in the amount of 3.0 wt. % in temperature 1375°C (cast 3)



Rys. 5. Zarejestrowane krzywe stygnięcia żeliwa sferoidyzowanego zaprawą FeSiMg17 w ilości 3,0% wag. w temperaturze 1425°C (wytop 4)

Fig. 5. The recorded cooling curves of ductile cast iron with FeSiMg17 master alloy in the amount of 3.0 wt. % in temperature 1425°C (cast 4)

Podsumowanie wyników i wnioski

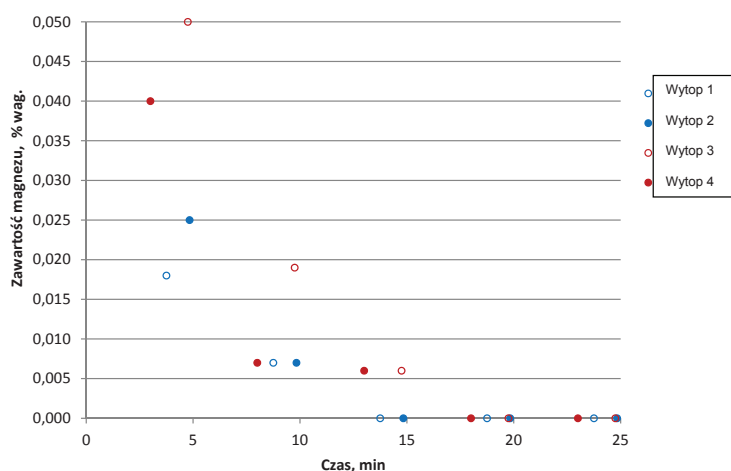
Wytrzymywanie ciekłego metalu w piecu indukcyjnym w trakcie prób przeprowadzanych w warunkach Instytutu Odlewnictwa powodowało znaczny ubytek zawartości magnezu przyswojonego w procesie sferoidyzacji. Kinetykę tego zjawiska zilustrowano na rysunku 6.

W warunkach przeprowadzonych eksperymentów efektywny czas sferoidyzacji był bardzo krótki i wyniósł około 5 minut od momentu wprowadzenia zaprawy do ciekłego metalu. Po upływie tego czasu zawartość magnezu w żeliwie spadła poniżej 50% jego wartości wyjściowej (spust 0) – rysunek 7.

Summary of the results and conclusions

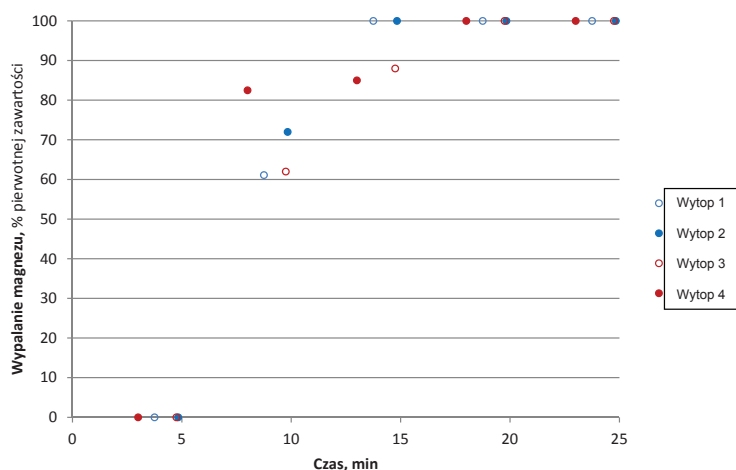
Suspending the molten metal in the induction furnace during the test conducted in the Foundry Research Institute resulted in a significant loss of magnesium assimilated in the process of spheroidization. The kinetics of this phenomenon is illustrated in Figure 6.

Under the conditions of the experiments the effective time of spheroidization was very short and was about 5 minutes from the introduction of the master alloy into the liquid metal. After this time, the magnesium content in the iron fell below 50% of its initial value (drain 0) – Figure 7.



Rys. 6. Kinetyka wypalania magnezu w żeliwie w wyniku przetrzymywania ciekłego metalu w warunkach prowadzenia wytopów w Instytucie Odlewnictwa

Fig. 6. The kinetics of magnesium burning in cast iron due to suspending the molten metal in the conditions of performance of the castings in the Foundry Research Institute



Rys. 7. Wypalanie magnezu w żeliwie w wyniku przetrzymywania ciekłego metalu, w odniesieniu do uzyskanej wartości początkowej zawartości Mg (spust 0) w danych warunkach techniczno-technologicznych

Fig. 7. Burning of magnesium in the iron as a result of suspending the liquid metal, with respect to the resulting value of the initial content of Mg (drain 0) in given technical and technological conditions

Zanik zawartości magnezu w ciekłym stopie prowadzi do zdegenerowania wydzielań grafitowych. Grafit sferoidalny rozpada się, przechodząc początkowo w wermikularny, a następnie w bardzo drobny grafit płatkowy o rozłożeniu międzydendrytycznym. W wyniku dalszego wytrzymania ciekłego metalu (powyżej 15 minut) zanikał dodatkowo efekt modyfikacji żelazokrzemem, a płatki grafitu rozrastały się, zilustrowano to na rysunkach 2–5.

Proces degeneracji grafitu odzwierciedlają zarejestrowane krzywe stygnięcia poszczególnych stopów (rys. 2–5). W przypadku krystalizacji grafitu sferoidalnego (np. spust 4.1 na rys. 5), po widocznym efekcie rekalescencji (obniżenie temperatury przed krystalizacją eutektyki), nie obserwuje się długiego przystanku o stałej temperaturze związanego z krystalizacją tej struktury, a następnie gwałtownego obniżenia temperatury po zakończeniu krzepnięcia, z wyraźnie widocznym punktem przegięcia krzywej termicznej, tak jak to ma miejsce w przypadku, gdy krystalizuje eutektyka z grafitem płatkowym – np. spust 4.3 na tym rysunku. Temperatura, po osiągnięciu maksimum, powoli, lecz systematycznie spada, a punkt przegięcia końca krystalizacji jest trudny do wyznaczenia.

W przypadku, gdy grafit wydziela się w postaci wermikularnej obraz krzywej stygnięcia ma charakter pośredni (np. spust 3.1 – rys. 4). Występuje wprawdzie przystanek o stałej temperaturze, ale jest on krótszy niż w przypadku wystąpienia grafitu płatkowego i nie obserwuje się wyraźnego punktu przegięcia po zakończeniu krzepnięcia.

Wyniki tych prac będą wykorzystane do weryfikacji technologii wytapiania żeliwa w nowej odlewni żeliwa w JAFAR SA wyposażonej w piec indukcyjny ABP INDUCTION o pojemności 2000 kg.

Podziękowania

Prace badawcze wykonano na zlecenie Fabryki Armatury JAFAR SA w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, działanie pt.: „Wdrożenie innowacyjnej technologii produkcji zaworów w Fabryce Armatury JAFAR SA”.

Literatura/References

1. Kranc M. i in. (2011). *Sprawozdanie z pracy badawczej pt.: „Opracowanie dokumentacji odlewniczej”*. Kraków: Instytut Odlewnictwa (zlec. 1325/11).
2. Kranc M. i in. (2012). *Sprawozdanie z pracy badawczej pt.: „Nadzór nad realizacją projektu”*. Kraków: Instytut Odlewnictwa (zlec. 1325/04).
3. Piaskowski J., Jankowski A. (1974). *Żeliwo sferoidalne*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
4. Tabor A. (2007). *Odlewnictwo*. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Centrum Szkolenia i Organizacji Jakości Politechniki Krakowskiej.
5. Żółkiewicz Z., Karwiński A., Żółkiewicz M., Pirowski Z., Uhl W., Stefański Z., Madej W., Krawiarz J. (2007). Trial manufacture by the lost foam process of pilot castings of high abrasion resistance plates, *VISNIK*, 2(94), 192–196. Chmielnicki.

Loss of magnesium in the liquid alloy leads to the degeneration of graphite precipitates. Spheroidal graphite breaks down, changing first in vermicular, and then in very fine scale graphite of interdendritic distribution. As a result of further suspension of molten metal (over 15 minutes) the effect of modification with ferrosilicon disappeared and the flakes of graphite were expanding, it is illustrated in Figures 2–5.

The process of degeneration of graphite is presented in the recorded cooling curves for the particular alloys (Figs. 2–5). In the case of spheroidal graphite crystallization (eg. drain 4.1 in Fig. 5), after visible recalescence (lowering of temperature before the crystallization of eutectic) no visible long fixed temperature stop associated with the crystallization of the structure and then rapid reduction of the temperature at the end of solidification process, with a clearly visible thermal inflection point as it happens during eutectic and scale graphite crystallization was observed – eg. drain 4.3 in this Figure. The temperature, after reaching the maximum, slowly but steadily declined, and the inflection point of the end of the crystallization was difficult to determine.

In the case when graphite precipitates in the vermicular form the image of the cooling curve is of indirect nature (eg. drain 3.1 – Fig. 4). In fact there is a stop with a fixed temperature but it is shorter than in the case of scale graphite occurrence and there is no clear inflection point observed after the end of solidification. The results of this research will be used for verification of the cast iron production technology in the new cast iron foundry in JAFAR SA equipped with induction furnaces ABP INDUCTION with a capacity of 2000 kg.

Acknowledgments

The research was carried out on behalf of Fabryka Armatury JAFAR SA under the Innovative Economy Operational Programme 2007–2013, project: “Implementation of innovative technology of valve manufacturing in Fabryka Armatury JAFAR SA”.

6. Pirowski Z., Olszyński J. (2003). *Sprawozdanie z pracy statutowej pt.: „Wstępne badania przydatności nowych tworzyw odlewniczych na lementy maszyn rolniczych”*. Kraków: Instytut Odlewnictwa (zlec. 2053/00).
7. Pirowski Z. (2011): Application of Nickel Superalloys on Castings for Conventional Energy Equipment Items. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 11C*, 246–255.