

**PRZYCZYNEK DO BADAŃ KRZEPNIĘCIA ŻELIWA  
SFEROIDALNEGO METODĄ „ZAMRAŻANIA”**M.S. SOIŃSKI<sup>1</sup>, M. WILK<sup>2</sup>, W. PAUL<sup>3</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki  
Stosowanej, Katedra Odlewnictwa, Al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa**STRESZCZENIE**

Przeprowadzono badania struktury próbek z żeliwa sferoidalnego, stopionych i przegrzanych do temperatury 1350°C, a następnie „zamrażanych” w temperaturach 1200°C – 1120°C. Stwierdzono występowanie w fazie ciekłej grafitu w postaci zwartych wydzielen, zbliżonych nawet do kulistych.

*Key words: nodular cast iron, inoculation, freezing.*

**WSTĘP**

Metoda „zamrażania”, stosowana m.in. w badaniach procesu krzepnięcia stopów odlewniczych, polega na gwałtownym schładzaniu próbek w trakcie ich stygnięcia i krzepnięcia. Może być wykorzystywana w szerokim zakresie temperatur, nawet jeszcze ze stanu ciekłego. W wyniku „zamrożenia” następuje utrwalenie stanu krystalizacji poszczególnych faz w ściśle określonej temperaturze. Próbki o ściśle ograniczonej masie, pobierane w danej temperaturze, powinny być studzone z tak dużą prędkością, aby nie zaszły przemiany dyfuzyjne [1]. Metoda „zamrażania” stosowana była zarówno w badaniach żeliwa [1÷7], jak i np. stopów aluminium [8,9].

W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Częstochowskiej zbudowano przed kilkunastoma laty stanowisko do „zamrażania” próbek. Stosunkowo niedawno poddane zostało istotnej modernizacji [10].

---

<sup>1</sup> dr hab. inż., prof. P.Cz.

<sup>2</sup> mgr inż., wolf@mim.pcz.czest.pl

<sup>3</sup> mgr inż.

## BADANIA WŁASNE

Podjęto próbę określenia, czy w żeliwie, poddanym uprzednio sferoidyzacji i ponownie stopionym oraz przegrzanym do temperatury 1350°C, występują (w zakresie temperatur 1200°C÷1120°C) wydzielenia grafitu.

Przedmiotem pracy było żeliwo EN-GJS-500-7 (wg normy PN-EN 1563: Odlewnictwo. Żeliwo sferoidalne) pochodzące z dwóch wytopów. Żeliwo wytapiano w warunkach przemysłowych w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości, sferoidyzowano metodą dzwonową, a następnie poddano modyfikacji grafityzującej. W przypadku żeliwa z wytopu nr 1 użyto modyfikatora zawierającego, obok żelaza i krzemu, wapń i aluminium, w przypadku żeliwa z wytopu nr 2 – modyfikatora zawierającego, obok podstawowych pierwiastków, także stront. Wzięto tutaj pod uwagę fakt, że różny może być stan fizykochemiczny ciekłego metalu w zależności od rodzaju użytego przy wytwarzaniu żeliwa modyfikatora grafityzującego [11].

Z żeliwa (skład chemiczny podano w tabeli 1) odlano wlewki próbne w kształcie litery Y, typu II (wg normy PN – EN 1563), o grubości ścianki części badawczej równej 25mm. Wycięto z nich próbki o masie ok. 5g. Sposób przeprowadzenia eksperymentów był analogiczny do przedstawionego w pracy [10]. Każdą z próbek umieszczano w tygielku alundowym, stapiano, stosunkowo szybko przegrzewano do temperatury 1350°C (±10°C), a następnie schładzano do temperatury „zamrożenia” (tzn. odpowiednio: 1200°C, 1180°C, 1160°C, 1140°C i 1120°C.) Zamrożone próbki posłużyły do wykonania zglądów metalograficznych. Wyniki obserwacji przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Tabela 1. Skład chemiczny badanego żeliwa

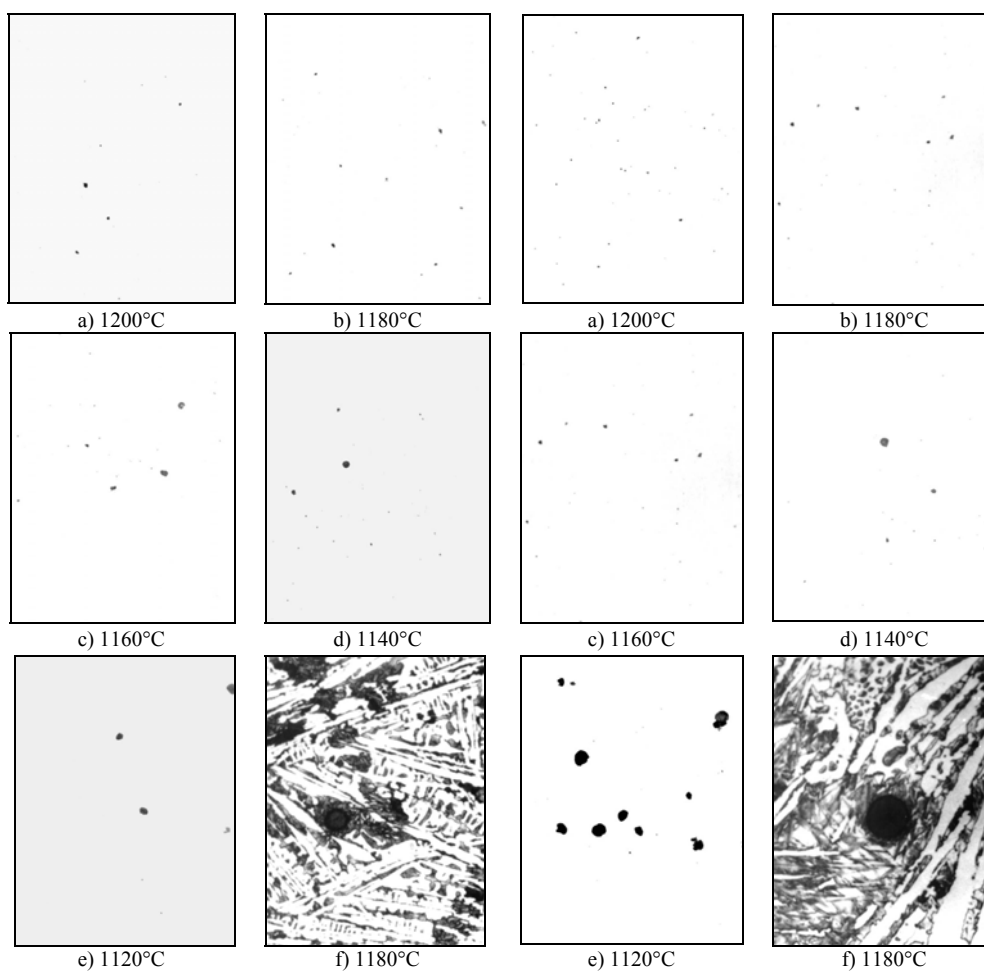
Table 1. Chemical composition of investigated cast iron

| Numer<br>wytopu | Zawartość [%] |      |      |       |       |      |      |      |      |       | Sc    |
|-----------------|---------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
|                 | C             | Mn   | Si   | P     | S     | Cr   | Ni   | Mo   | Cu   | Mg    |       |
| 1               | 3,67          | 0,34 | 2,48 | 0,035 | 0,009 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,14 | 0,062 | 1,051 |
| 2               | 3,42          | 0,37 | 2,37 | 0,036 | 0,008 | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,075 | 0,968 |

$$S_c = \frac{C_c}{C_{eut}}$$

$$C_{eut} = 4,25 - 0,3Si - 0,33P + 0,027Mn - 0,40S + 0,063Cr - 0,074Cu - 0,053Ni - 0,015Mo$$

gdzie:  $C_c$  – całkowita zawartość węgla w żeliwie w %  
 $C_{eut}$  – zawartość węgla w eutektyce grafitowej w %  
Si, P, Mn, S – zawartość danego pierwiastka w żeliwie w %

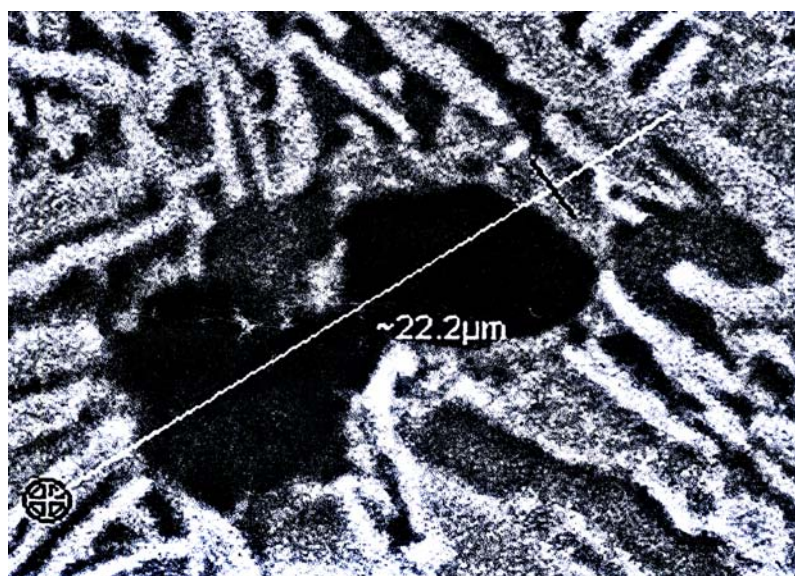


Rys. 1. Kształt i wielkość wydzieliń grafitu w żeliwie z wytopu nr 1, „zamrożonym” w podanej temperaturze (rys. a-e – zglądy nietrawione, pow. 400x) oraz mikrostruktura stopu (rys. f, zgląd trawiony nitałem, pow. 1000x)

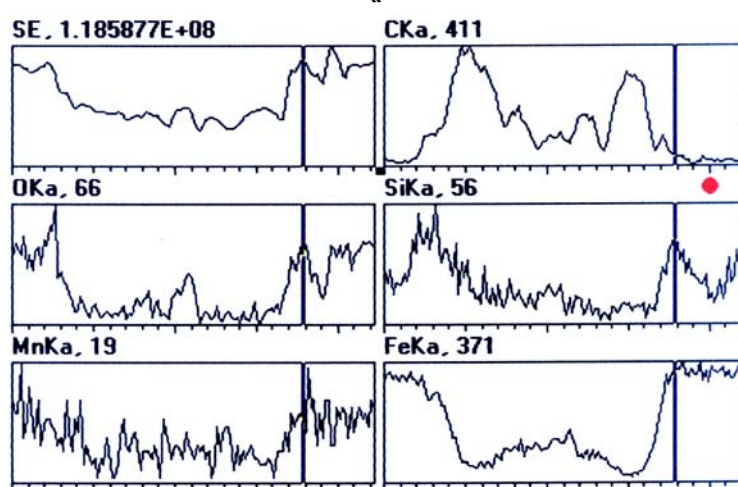
Fig. 1. Shape and size of graphite precipitates from smelting no. 1, frozen at given temperature (fig.a-e – 400x, unetched) and microstructure of alloy quenched at 1180° (fig. f, 1000x, nital etched)

Rys. 2. Kształt i wielkość wydzieliń grafitu w żeliwie z wytopu nr 2, „zamrożonym” w podanej temperaturze (rys. a-e – zglądy nietrawione, pow. 400x) oraz mikrostruktura stopu (rys. f, zgląd trawiony nitałem, pow. 1000x)

Fig. 2. Shape and size of graphite precipitates from smelting no. 2, frozen at given temperature (fig.a-e – 400x, unetched) and microstructure of alloy quenched at 1180° (fig. f, 1000x, nital etched)



a



b

Rys. 3. Wyniki obserwacji na mikroskopie skaningowym próbki z wytopu 2 „zamrożonej” w temperaturze 1200°C (rys. a) oraz rozkładu podstawowych pierwiastków wzdłuż „linii cięcia” (rys b)

Fig. 3. Results of the observation on the scanning microscope - the specimen “frozen” at 1200°C (fig. a) – and distribution of the basic elements along the “cutting line” (fig. b)

W celu sprawdzenia, czy obserwowane wydzielenia są wydzieleniami grafitu, dwie próbki (po jednej dla każdego badanego żeliwa) poddano dodatkowym obserwacjom na mikroskopie skaningowym, wyposażonym w przystawkę do mikroanalizy rentgenowskiej. Wyniki badań jednej z tych próbek pokazano na rysunku 3.

## PODSUMOWANIE

Przedmiotem badań było żeliwo sferoidalne, poddane przetopieniu i „zamrażaniu” z temperatur  $1200^{\circ}\text{C} \div 1120^{\circ}\text{C}$ . Pochodziło ono z dwóch wytopów przemysłowych; w trakcie ich wywarzania użyto różnych modyfikatorów grafityzujących. W jednym przypadku (tworzywo z wytopu nr 1) było to żeliwo nadeutektyczne ( $S.C.=1,05$ ), w drugim (stop z wytopu nr 2) –podeutektyczne ( $S_C=0,97$ ).

Analiza struktury próbek, przeprowadzona przy użyciu mikroskopu optycznego (rysunki 1 i 2) wykazała, że we wszystkich rozpatrywanych przypadkach wystąpiły w żeliwie, „zamrożonym” ze stanu ciekłego, bardzo niewielkie wydzielenia. Analiza przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego pozwala na stwierdzenie, że były to wydzielenia grafitu. Wraz z obniżaniem temperatury badań (w przedziale  $1200^{\circ}\text{C} - 1120^{\circ}\text{C}$ ) obserwuje się tendencję do powiększania się tych wydzieleni (por. kolejne rysunki od 1a do 1e, odnoszące się do żeliwa obrabianego modyfikatorem zawierającym niewielkie ilości wapnia i aluminium, oraz rysunki od 2a do 2e, odnoszące się do żeliwa obrabianego modyfikatorem zawierającym stront).

Zbliżone ilości wydzieleni grafitu o kształcie zwartym, bliskim kulistemu, obserwuje się zarówno w „zamrożonym” w tej samej temperaturze żeliwie nadeutektycznym, jak w żeliwie podeutektycznym.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, że w poddanym sferoidyzacji żeliwie, ponownie przetapianym i stosunkowo szybko przegrzanym do temperatury  $1350^{\circ}\text{C}$ , występują zwarte (a nawet kuliste) wydzielenia grafitu. Mogą one wzrastać w trakcie stygnięcia żeliwa, znajdującego się w stanie ciekłym.

## LITERATURA

- [1] Watterfall S-E., Fredriksson H., Hiller M.: Solidification Process of Nodular Cast Iron. J. Iron Steel Inst., vol. 210, 1972, nr 5, s. 323 – 333.
- [2] Zhou J., Schmitz W., Engler S.: Untersuchung der Gefügebildung von Gußeisen mit Kugelgraphit bei langsamer Erstarrung, Giessereiforschung., vol. 39, 1987, nr 2 s. 55 – 70.
- [3] Kim D.G., Ra H.Y.: Microstructure and Mechanical Properties with Al Content in Fe-Al-C System Cast Iron. Imono, vol. 58, 1986, nr 9, s. 939 – 948.
- [4] Soiński M.S.: Sferoidyzacja żeliwa niskoaluminiumowo – krzemowego mieszanką cerową. Wyd. Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej. Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2001.

- [5] Soiński M.S.: Badania krystalizacji żeliwa niskoalumiowego z grafitem kulkowym i krętkowym. Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN, Katowice 1994, nr 20, s.115 – 120.
- [6] Benecke T., Venkateswaran S., Schubert W - D., Lux B.: Untersuchung des Einflusses von Siliciumcarbid bei der Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei, vol.80, 1993, nr 19, s. 656 - 662.
- [7] Chen Q., Langer E. W., Hansen P. N.: Volume Change During the Solidification of SG Iron-Comparison Between Experimental Results and Simulation. J. Mater. Sci., vol. 32 ,1997, nr 7, s. 1825- 1833.
- [8] Wierzbička B.: Ocena przebiegu krystalizacji siluminów metodą zamrażania. Krzepnięcie Metali i stopów, PAN, Katowice 1997, nr 31, s. 235 – 242.
- [9] Wierzbička B.: Krystalizacja stopów Al.- Cu w procesie szybkiego chłodzenia. Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN, Katowice 1998, nr 38, s. 143 – 150.
- [10] Soiński M.S., Wilk M.: Komputerowo wspomagane stanowisko do „zamrażania próbek w badaniach procesu krzepnięcia i krystalizacji. Archiwum Odlewnictwa, 2003, Rocznik 3, Nr 10, s. 181- 186.
- [11] Podrzucki Cz., Żeliwo. Struktura, własności, zastosowanie. Wyd. ZG STOP, Kraków, 1991.

#### **CONTRIBUTION TO THE “FREEZING” SOLIDIFICATION RESEARCH METHOD OF NODULAR CAST IRON**

##### **SUMMARY**

Research into the structure of nodular cast iron specimens, first melted and superheated to 1350°C, next “frozen” at 1200°C – 1120°C was conducted. Appearance of compacted, even similar to nodular, precipitates of graphite was noticed.

Recenzował: Prof. Janusz Braszczyński