

Jerzy Tybulczuk

Instytut Odlewnictwa MPC - Kraków

WPLYW PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH NA DEGENERACJĘ GRAFITU W ŻELIWIE SFEROIDALNYM

Streszczenie: Zbadano wpływ oddziaływania pierwiastków śladowych na degenerację grafitu w żelowie sferoidalnym w zależności od stężenia magnezu, szybkości krzepnięcia odlewu oraz składu chemicznego żeliwa. W podsumowaniu podano kierunki zmian postaci grafitu sferoidalnego spowodowanych oddziaływaniem: bizmutu, ołowiu, antymonu, arsenu, telluru i tytanu, oraz wpływ postaci grafitu na zmianę własności mechanicznych żeliwa sferoidalnego.

Wstęp

W procesie produkcji żeliwa sferoidalnego często występują trudności w uzyskaniu żądanej postaci kulkowej grafitu, a co za tym idzie i założonych własności mechanicznych. Najczęstszą przyczyną takich trudności poza przypadkiem zbyt małej zawartości magnezu, jest występowanie w materiałach wsadowych pierwiastków śladowych w ilościach od kilku tysięcznych do kilku setnych procenta. Wykrycie takiej małej ilości tych pierwiastków metodą analizy chemicznej nastręcza wiele trudności i w praktyce kontroli jakości materiałów wsadowych jest jeszcze rzadko stosowane. Do pierwiastków zakłócających przebieg sferoidyzacji grafitu w żelowie należą: antymon, tellur, cyna, arsen, tytan, miedź, aluminium, tlen a także siarka i fosfor [1 - 36]. Szkodliwe oddziaływanie określonego pierwiastka śladowego jest tym silniejsze, im posiada on większy ciężar atomowy i wykazuje mniejszą rozpuszczalność w osnowie [22, 36]. Poza tym działanie pierwiastków śladowych jest bardziej intensywne, gdy występują w żelowie łącznie. Określony wpływ na degenerację grafitu wywołaną obecnością pierwiastków śladowych wywierają również stopień eutektyczności oraz szybkość stygnięcia odlewu. Źródłem pierwiastków śladowych w żelowie są najczęściej materiały wsadowe, tzn. żelony stalowy i surówka oraz modyfikatory [5, 13, 18, 26].

Dotychczasowe badania nad zagadnieniem degeneracji grafitu sferoidalnego nie były prowadzone w sposób systematyczny i nie uwzględniały niektórych czynników w procesie produkcyjnym, jak: szybkości stygnięcia odlewu, stężenia magnezu, składu chemicznego żeliwa sferoidalnego itp. W celu określenia indywidualnego wpływu poszczególnych pierwiastków śladowych na degenerację grafitu przeprowadzono badania na żelowie sferoidalnym ferry-

tycznym, ferrytycznym stopowym - silal, perlitycznym i austenitycznym z dodatkiem najsilniej działających pierwiastków śladowych, tj. bizmutu, ołowiu, arsenu, antymonu, telluru, tytanu, tlenu i siarki. Uwzględniono równocześnie wpływ dodatkowych parametrów technologicznych jak:

- zawartość magnezu w żeliwie od 0,13 do 0,005% Mg,
- grubość ścianki odlewu (próbki) - 6, 12 i 50 mm i odpowiadające tym grubościom szybkości stygnięcia - 100°C/min., 60°C/min i 15°C/min.

Warunki i sposób przeprowadzenia prób

W serii prób wstępnych, mających na celu określenie granicznych ilości pierwiastków śladowych, tj. takich, które nie wywołują całkowitej degeneracji grafitu, wykonano 60 wytopów w laboratoryjnym piecu indukcyjnym 12 kVA o wysokiej częstotliwości, typu Dosivac, w tyglu o pojemności 1 kg, wykonanym z czystego Al_2O_3 . W wytopach pierwszej serii stosowano trzy rodzaje żeliwa sferoidalnego o składzie chemicznym przedstawionym w tabelicy 1.

Tabela 1

Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego

Typ żeliwa	Skład chemiczny %								
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cr	Cu
Ferrytyczno-perlityczne	3,5÷3,7	2,0÷2,7	0,06	0,05	0,01	0,04÷ 0,07	0,7÷ 0,9	-	-
Austenityczne	2,5÷2,8	2,6÷2,8	1,2÷1,3	0,05	0,01	0,05	18,0 ÷20,0	1,5 ÷1,7	0,5 ÷0,6
Perlityczne	3,5÷3,7	2,4÷2,6	0,40÷ 0,50	0,05	0,01	0,03÷ 0,05	-	-	1,3 ÷1,5

Do żeliwa wprowadzono pierwiastki śladowe w ilości: bizmut 0,04÷0,06%, ołów 0,05÷0,06%, tellur 0,05÷0,06%, antymon 0,03÷0,07%, arsen 0,16÷0,20%, tytan 0,09÷0,45%, tlen w postaci Fe_2O_3 od 0,03÷0,08% oraz siarkę w postaci FeS od 0,04÷0,06%. Jako sferoidyzatora użyto zapraw magnezowych bezcerowych: NiMg20, CuMg13, FeSiMg6.

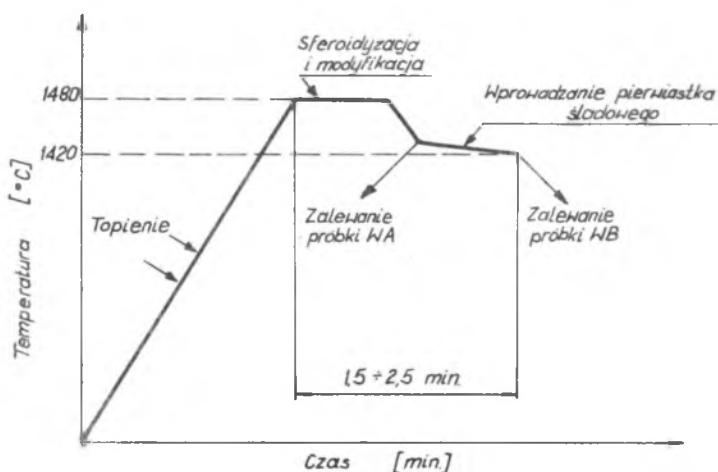
Do wytopów zastosowano żelazo armco oraz surówkę specjalną do produkcji żeliwa sferoidalnego o nazwie handlowej Saulnes et Ukange, zawierającą: 4,3%C; 0,90%Si; 0,065%Mn; 0,05%P; 0,008%S; 0,005%Bi; 0,017%Al, 0,014%As oraz 0,032%Ti.

Tablica 2

Skład wsadu metalowego do wytopów serii pierwszej

Typ żeliwa	Skład wsadu %							Zaprawa, rodzaj, ilość %	Modyfikator FeSi175 %
	su-rówka	armco	FeSi175	ni-kiel	miedź	FeCr61	FeMn75		
Ferrytyczno-perlityczne	89,5	9	1,5	-	-	-	-	NiMg20 1,0	0,9
Perlityczne	90	8,5	1,0	-	-	-	0,5	CuMg13 1,7	1,4
Austenityczne	65	9,5	1,4	19,5	0,5	2,4	1,7	NiMg20 0,9	1,35

W celu przeprowadzenia badań i porównania struktury żeliwa sferoidalnego "czystego" i "skażonego" dodatkiem pierwiastków śladowych z każdego wytopu serii pierwszej po sferoidyzacji zaprawą oraz modyfikacji żelazokrzemem odlewano próbkę w postaci wałka $\varnothing 30 \times 88$ mm oraz próbkę $\varnothing 45 \times 5$ mm przeznaczoną do analizy chemicznej odlewana do kokili miedzianej. Po odlaniu próbki żeliwa sferoidalnego "czystego" do pozostałej kąpieli w tyglu wprowadzono zapakowaną w papier porcję pierwiastka śladowego, kąpiel mieszano mieszadłem kwarcowym, a następnie zalewano takie same próbki jak przed "skażeniem". Czas między zalaniem pierwszej i ostatniej próbki wynosił od 1,5 do 2,5 min. Szybkość stygnięcia próbki określona przy pomocy krzywej stygnięcia wynosiła ok. $120^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Sposób wykonania wytopów wstępnej serii oraz pobierania próbek przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat pobierania próbek z wytopów pierwszej serii

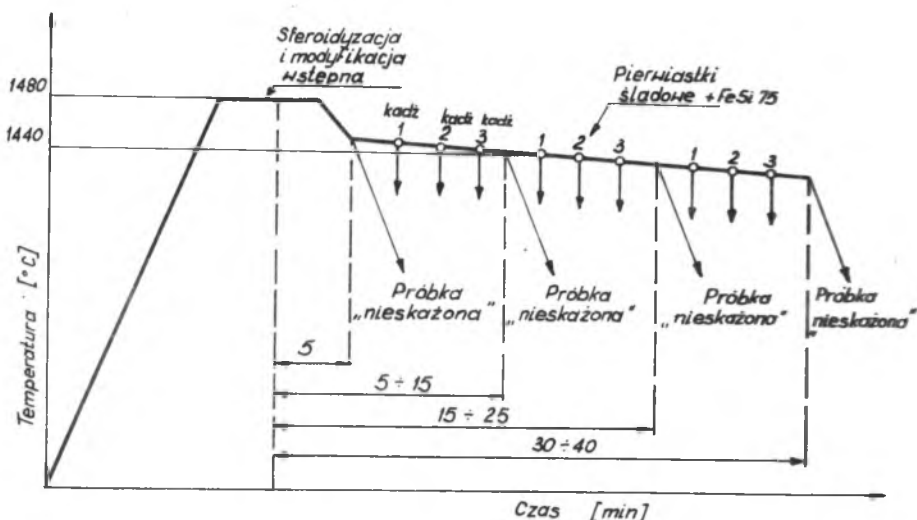
Materiały wsadowe wytopów drugiej serii

Oznaczenia wytopu	Skład chemiczny wsadu %							Temperatura sferoidyzacji °C	Rodzaj ilości zaprawczy %	Ilość modyfikatora FeSi75	Dodatki do kadzi 25 kg%				Temperatura wytrzymania żeliwa w piecu °C
	eurówka	aruno	FeSi75	FeMn75	Nikiel	Miedź	FeCr61				Pierwiastki śladowe			Modyfikator FeSi75	
											1	2	3		
A	90	8,5	1,0	0,5	-	-	-	1510	NiMg20 1,8	0,7	Bi 0,038	Sb 0,054	Pb 0,048	0,6	1450
B	90	8,5	1,0	0,5	-	-	-	1500	NiMg20 1,8	0,9	Fe ₂ O ₃ 0,09	Te 0,05	FeTi30 1,0	0,6	1450 1410
C	85	13,5	1,1	0,40	-	-	-	1420	CuMg13 2,4	0,7	As 0,18	Te 0,05	Sb 0,05	0,7	1440 1430
D	85	13,5	1,1	0,40	-	-	-	1420	CuMg13 2,4	0,7	Bi 0,035	FeS 0,06	Pb 0,045	0,7	1450 1430
E	69	26,5	4,0	0,5	-	-	-	1350	FeSiMg6 6,5	-	Bi 0,038	Sb 0,054	Pb 0,048	0,4	1440 1430
K	90	10	-	-	-	-	-	1340	FeSiMg6 5,5	0,2	Bi 0,038	Sb 0,055	Te 0,055	0,4	1460 1430
L	90	10	-	-	-	-	-	1330	FeSiMg6 5,0	0,2	FeTi30 0,85	FeS 0,06	Pb 0,055	0,4	1440 1420
J	65	10,6	1,0	1,40	19,5	0,45	2,1	1500	NiMg20 1,8	1,0	Bi 0,042	Te 0,055	Pb 0,055	0,7	1480 1450

Seria druga (próby podstawowe)

Drugą serię prób wykonano w odlewni doświadczalnej w warunkach półtechnicznych, wytapiając żeliwo w piecu indukcyjnym ACEC-Charleroi, średniej częstotliwości o pojemności tygla 250 kg i obojętnej wykładzinie ogniotrwałej z Al_2O_3 . Wykonano 8 wytopów wg danych przedstawionych w tablicy 3. Sferoidyzację zaprawami przeprowadzono bezpośrednio w piecu. Ilość zaprawy wyliczano każdorazowo tak, aby początkowa zawartość magnezu w żelwie wynosiła ca 0,11%.

W celu zbadania wpływu dodatku określonego pierwiastka śladowego przy różnych zawartościach magnezu, kapiel po sferoidyzacji wytrzymano w piecu w temperaturze 1420 - 1450°C, doprowadzając w ten sposób do zmniejszenia stężenia Mg. Dla zabezpieczenia przed równoczesnym zanikiem efektu modyfikacji i pojawieniem się w strukturze cementytu, w czasie każdego spustu żeliwa przeprowadzono dodatkową modyfikację w kadzi. Po sferoidyzacji i wstępnej modyfikacji z każdego wytopu w trzech zakresach czasu (licząc czas upływający od zakończenia sferoidyzacji i modyfikacji - 5-15 min, 15-25 min. i 30-40 min. odlewano klin do badań wytrzymałościowych o grubości 12 mm z żeliwa "nieskażonego" z dodatkiem FeSi75 jako modyfikatora, a następnie kliny o grubości 5, 12 i 50 mm z żeliwa sferoidalnego "skażonego" pierwiastkiem śladowym wprowadzonym łącznie z żelazokrzemem na dno kadzi w czasie spustu. W klinach o grubości 12 mm i 50 mm umieszczono termopary PtRh-Pt w celu rejestracji przebiegu krzywych stygnięcia. Schemat sposobu wykonania wytopów i pobierania próbek drugiej serii, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat pobierania próbek z wytopów drugiej serii

Metody badań

W celu określenia stopnia degeneracji oraz postaci grafitu zdegenerowanego, próbki poddano badaniom metalograficznym. Część próbek poddano także badaniom na mikroskopie telewizyjnym QTM, w celu określenia stopnia sferoidalności (wg japońskiej normy IFS) wskaźnika kształtu grafitu, jak również ilości perlitu i ferrytu. Stopień sferoidalności grafitu wg IFS określono jako stosunek powierzchni wydzieleni grafitu do powierzchni kół opisanych na tych wydzieleniach. Jako kryterium oceny postaci grafitu przyjęto wskaźnik K [37] wyliczony ze wzoru:

$$K = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{n_1^0}{\sqrt{n_2 + \frac{1}{2}}}$$

gdzie:

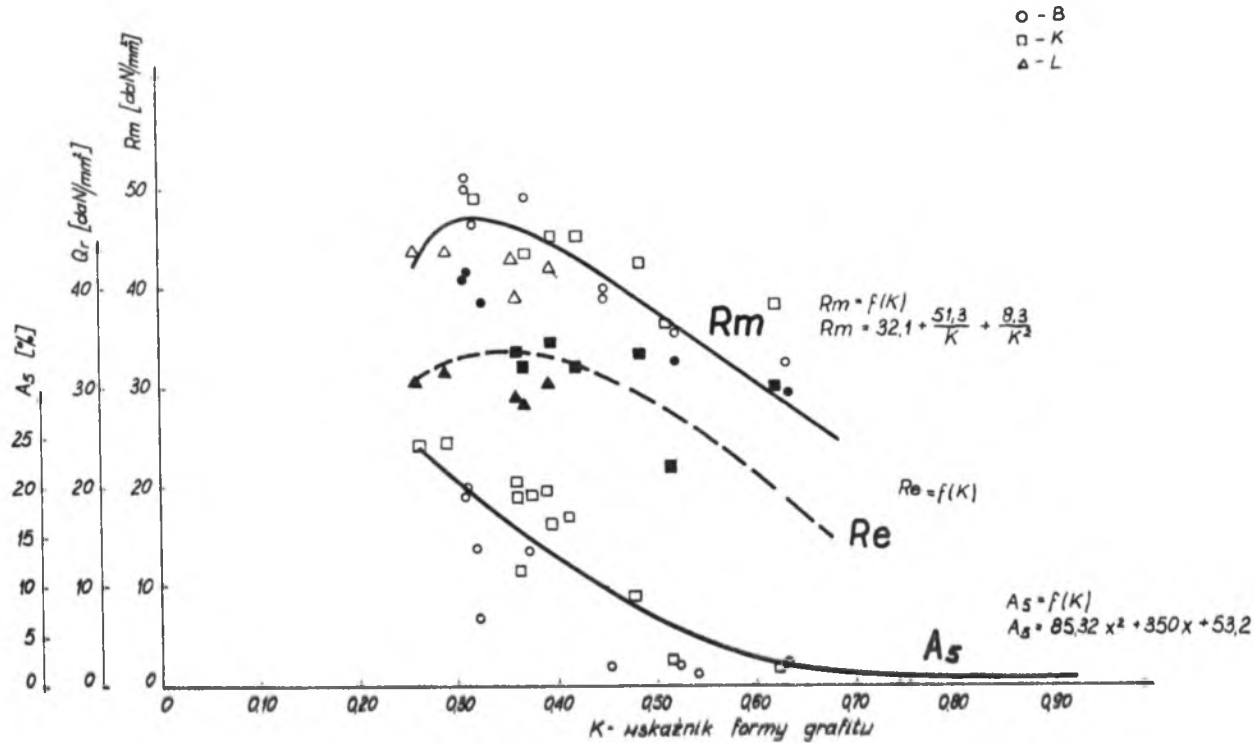
- n_1^0 - ilość odgałęzień (cząstek) grafitu, które przecinają okrąg o przyjętym promieniu,
- n_1 - ilość całkowitych wydzieleni grafitu przecinających dany okrąg,
- n_2 - ilość całkowitych wydzieleni grafitu znajdujących się wewnątrz okręgu.

W celu określenia wpływu postaci grafitu na własności wytrzymałościowe żeliwa w warunkach porównalnych, tzn. przy jednakowej strukturze osnowy metalowej, serię próbek z wyrobów B, K, i L poddano wyżarzeniu ferrytującemu. Uzyskane wyniki R_m , R_e i A_5 przedstawiono na rys. 3 i 4.

W celu porównania budowy grafitu zdegenerowanego z budową prawidłowych wydzieleni sferoidalnych wybrane próbki poddano obserwacjom metalograficznym w świetle spolaryzowanym. Z obserwacji tych wynika, że zdegenerowane formy grafitu posiadają budowę strukturalną podobną do grafitu kulkowego, co świadczy o jednakowym mechanizmie ich wzrostu, przynajmniej w początkowej fazie krystalizacji.

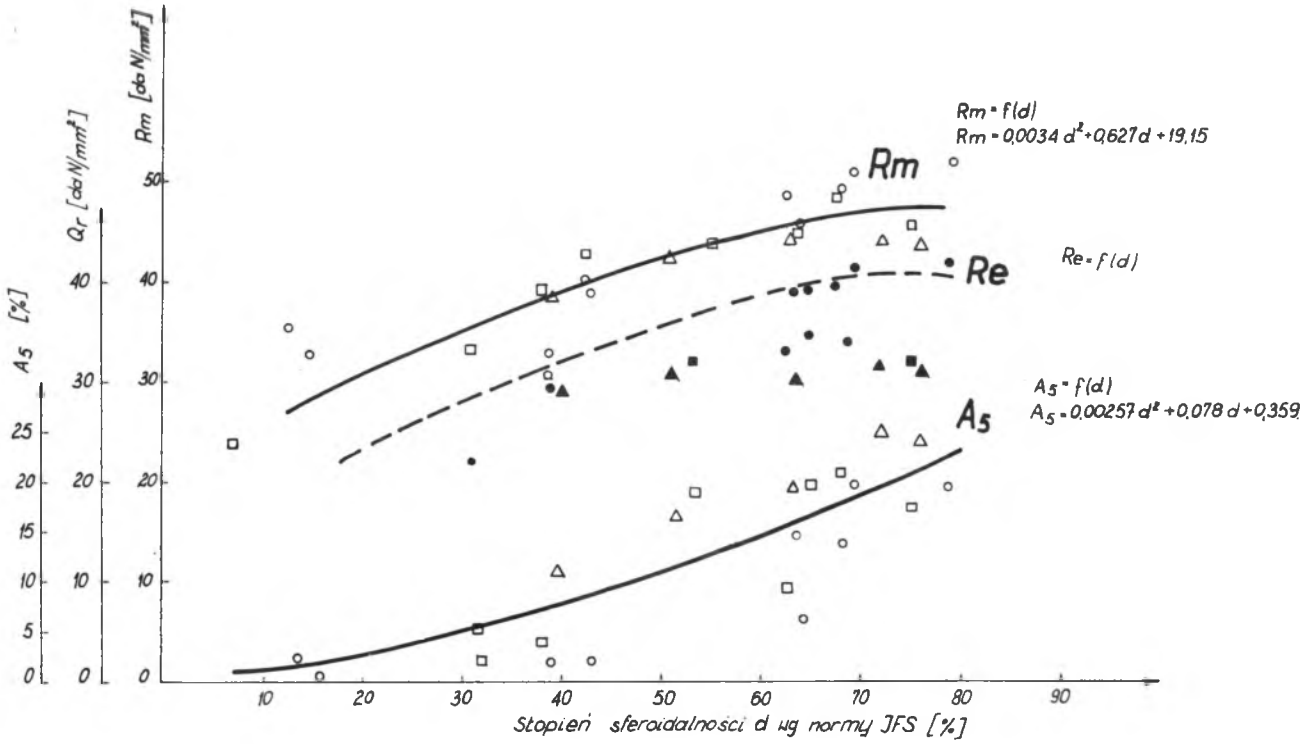
Badania nad związkiem między degeneracją grafitu i sposobem rozmieszczenia pierwiastków śladowych oraz magnezu w próbkach przeprowadzono przy pomocy mikroskopy elektronowej typu Cameca. Poza badaniami wymienionymi wykorzystując wyniki analizy chemicznej porównano w poszczególnych wytopach zawartość magnezu przed i po wprowadzeniu określonego pierwiastka śladowego, (przy stałym jego dodatku), wprowadzonego przy różnym poziomie zawartości magnezu w żeliwie. Wykorzystując uzyskane wyniki przeprowadzono analizę matematyczną liniowych zależności ilości określonego pierwiastka śladowego w żeliwie - Y jako funkcji dwóch zmiennych, tj.:

- ilości pierwiastka wprowadzonego do żeliwa - X , oraz
- zawartości magnezu Z w żeliwie, w chwili dodania pierwiastka śladowego X .



Rys. 3. Wpływ formy grafitu na własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego

- - B
- - K
- △ - L



Rys. 4. Wpływ stopnia sferoidalności grafitu na własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego

Tablica 4

Wyniki badań działania poszczególnych pierwiastków śladowych na kierunek degeneracji grafitu sferoidalnego

Pierwiastek śladowy	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Te	Te
Oznaczenie próbki	A51C	D151C	I151C	K51C	E151C	A203B	D153C	I303B	L53C	E53C	B152C	C302C
Zawartość Mg wyjściowa %	0,11	0,095	0,13	0,080	0,065	0,11	0,095	0,13	0,092	0,065	0,106	0,11
Czas wytrzymania żeliwa min	1	13	12	1,5	12	32	18	28	7	6,5	21	26
Zawartość Mg w próbce %	0,09	0,04	0,058	0,055	0,025	0,030	0,014	0,020	0,058	0,038	0,050	0,030
Zawartość pierwiastka śladowego w próbce	Bi 0,0019	Bi 0,0036	Bi 0,009	Bi 0,0027	Bi 0,0016	Pb 0,0075	Pb 0,015	Pb 0,018	Pb 0,0025	Pb 0,0040	Te 0,0094	Te 0,0185
Typ żeliwa rodzaj sferoidyzatora	perli- tyczne NiMg	perli- tyczne CuMg	nire- sist NiMg	ferry- tyczne FeSiMg	ferry- tyczne FeSiMg	perli- tyczne NiMg	perli- tyczne CuMg	nier- sist NiMg	ferry- tyczne FeSiMg	ferry- tyczne FeSiMg	perli- tyczne NiMg	perli- tyczne CuMg
Skłonność do skręcania wydziałów grafitu	mała	średnia	duża	mała	mała	mała	sieć	średnia	mała	mała	średnia	sieć
Skłonność do rozgałęzień	duża	duża	duża	mała	mała	mała	sieć	średnia	mała	mała	mała	sieć
Pierwiastek śladowy	Te	Te	As	Sb	Sb	Sb	Sb	Ti	Ti	(O)	(S)	(S)
Oznaczenie próbki	I52C	K153C	C301C	A102C	K52C	C303C	E152C	B53C	L51C	B51C	D52C	L302C
Zawartość Mg wyjściowa %	0,13	0,080	0,11	0,11	0,080	0,11	0,065	0,106	0,092	0,106	0,095	0,092
Czas wytrzymania żeliwa min	4	16	23	18	4	28	14,5	10	2	3,5	5	24
Zawartość Mg w próbce %	0,076	0,017	0,048	0,057	0,057	0,055	0,052	0,12	0,075	Fe ₂ O ₃	0,021	0,020
Zawartość pierwiastka śladowego w próbce	0,0218	0,0152	0,11	0,059	0,057	0,055	0,052	0,12	0,075	Fe ₂ O ₃ dod. 0,09	0,021	0,020
Typ żeliwa rodzaj sferoidyzatora	nire- sist NiMg	ferry- tyczne FeSiMg	perli- tyczne CuMg	perli- tyczne NiMg	ferry- tyczne FeSiMg	perli- tyczne CuMg	ferry- tyczne sial FeSiMg	perli- tyczne NiMg	ferry- tyczne FeSiMg	perli- tyczne NiMg	perli- tyczne CuMg	ferry- tyczne FeSiMg
Skłonność do skręcania wydziałów grafitu	średnia	sieć	średnia	średnia	mała	mała	mała	mała	mała	mała	bardzo mała	mała
Skłonność do rozgałęzień	mała	sieć	liczne drobne odgałęzienie w postaci wąsów					mała	mała	średnia	bardzo mała	mała

Równocześnie analizie poddano zależność między ilością magnezu w żeliwie po wprowadzeniu określonego pierwiastka śladowego V od:

- ilości magnezu w żeliwie Z przed wprowadzeniem określonego pierwiastka;
- ilość pierwiastka X wprowadzonego do żeliwa.

Ze względu na małą liczbę wyników dla pozostałych pierwiastków obliczenia wykonano dla bizmutu i ołowiu, uzyskując następujące równania regresji:

dla ołowiu:

$$Y_{Pb} = 0,0235 Z_{Pb} + 0,0459 X_{Pb} + 0,0085,$$

$$V_{Pb} = 0,91 Z_{Pb} - 1,77 X_{Pb} + 0,085,$$

dla bizmutu:

$$Y_{Pb} = 0,0266 Z_{Bi} + 0,0069 X_{Bi} + 0,0042,$$

$$V_{Bi} = 0,835 Z_{Bi} - 0,216 X_{Bi} + 0,0097.$$

Współczynniki równania regresji między zmiennymi Y i Z oraz V i Z dla ołowiu istotne są na poziomie ufności 0,01. Dla bizmutu odpowiednie współczynniki istotne są na poziomie ufności 0,02.

Na podstawie analizy obrazów metalograficznych w tablicy 4 zestawiono dane o kierunku działania poszczególnych pierwiastków śladowych na postać wydzielającego się grafitu sferoidalnego zdegenerowanego, zaś na rys. 5 niektóre jego typowe formy, kopiowane z obrazów metalograficznych przy powiększeniu 330 razy.

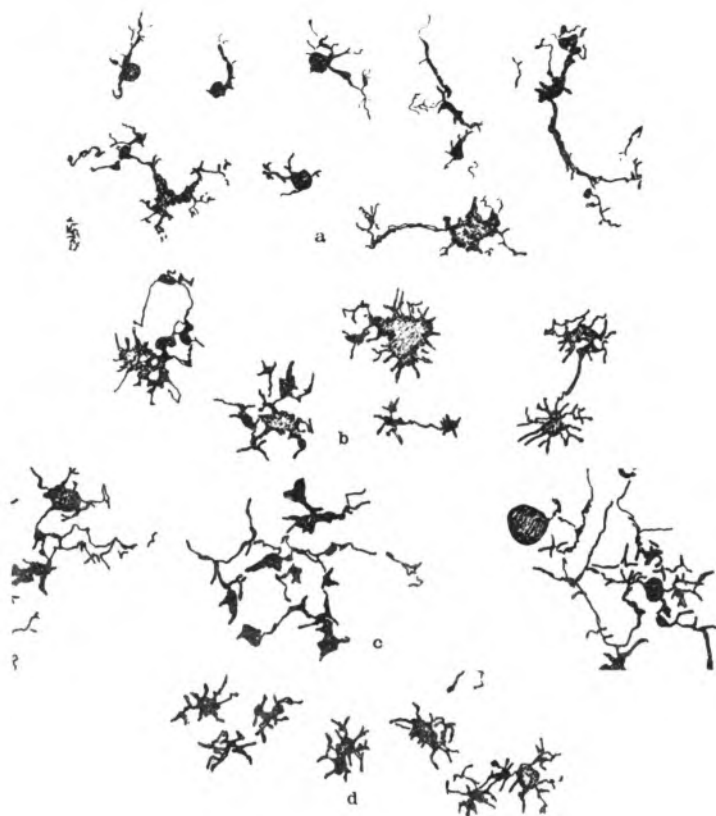
Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie następujących wniosków:

Pierwiastki śladowe takie jak: bizmut, ołów, tellur, tytan, antymon i arsen wprowadzone oddzielnie w ilościach krytycznych do żeliwa sferoidalnego nie zawierającego ceru powodują degenerację grafitu sferoidalnego, polegającą na zmniejszeniu stopnia sferoidalności oraz wystąpieniu wydzieleń grafitu w postaci zbliżonej do płatkowej o silnie rozwiniętych odgałęzieniach bocznych (tabl. 4).

Ze względu na sposób działania pierwiastki śladowe można scharakteryzować następująco:

- bizmut i ołów - wywołują degenerację grafitu w żeliwie sferoidalnym, gdy występują w ilościach: $Bi > 0,003\%$; $Pb > 0,004\%$ przy poziomie zawartości magnezu w żeliwie $Mg > 0,05\%$. Zarówno ołów jak i bizmut działają silnie degenerująco na grafit sferoidalny w żeliwie z dodatkiem ca $1,8\%Cu$. Działanie szkodliwe tych pierwiastków silniejsze jest w żeliwie sferoi-



Rys. 5. Charakterystyczne formy zdegenerowanego grafitu spowodowane obecnością antymonu w żeliwie sferoidalnym; pow. 330x

a) próbka W10b - ϕ 30 mm o składzie: C 3,60%; Si 2,70%; Mn 0,06%; P 0,03% S 0,015%; Mg 0,053%; Sb 0,072%, b) próbka A52C - 50 mm o składzie: C 3,82% Si 2,18%; Mn 0,46%; P 0,038; S 0,000; Mg 0,087%; Sb 0,052%, c) próbka C153C - 50 mm o składzie: C 3,44%; Si 2,53%; Mn 0,43%; P 0,035%; S 0,006%; Cu 1,78%; Mg 0,058%; Sb 0,055%, d) próbka K152C - 50 mm o składzie: C 3,40%; Si 3,14%; Mn 0,07%; P 0,02%; S 0,008%; Mg 0,028%; Sb 0,0564%

dalnym o strukturze perlitycznej, natomiast w żeliwie sferoidalnym ferrytycznym w pewnych przypadkach poprawiają kulistość wydzielań grafitu. W żeliwie sferoidalnym austenitycznym degeneracja grafitu występuje przy większych zawartościach ołowiu i bizmutu niż w pozostałych typach żeliwa sferoidalnego. Zarówno ołów jak i bizmut wprowadzone do żeliwa sferoidalnego reagują z magnezem zawartym w żeliwie powodując spadek jego zawartości o około 30%. Pierwiastki te występują w zakrzepłym żeliwie w postaci kompleksowych związków z magnezem i siarką.

- Antymon i arsen - wywołują degenerację grafitu sferoidalnego, gdy występują w ilościach: $Sb > 0,005\%$, $As > 0,11\%$, Silniejszy wpływ tych pierwiastków na degenerację grafitu sferoidalnego widoczny jest w żeliwie zawierającym około $1,8\%$ Cu. W odlewach cienkościennych o oznaczonej zawartości magnezu zarówno antymon jak i arsen powodują wzrost ilości cementytu. Stopień degeneracji grafitu sferoidalnego, wywołany obecnością tych pierwiastków, jest większy przy większym stężeniu Mg (zakres $0,08 \div 0,10\%$ Mg). Poza tym oba pierwiastki wywołują silniejszą degenerację grafitu w żeliwie sferoidalnym ferrytycznym niż perlitycznym. W pewnych przypadkach zarówno Sb jak i As wpływają korzystniej na kulistość grafitu sferoidalnego w żeliwie perlitycznym. Wprowadzone do ciekłego żeliwa nie wywołują spadku zawartości magnezu. Po zakrzepnięciu żeliwa występują w postaci związków z magnezem.
- Tellur - wywołuje degenerację grafitu sferoidalnego przy stężeniu powyżej $0,012\%$ Te tym intensywniej, im mniejsza jest zawartość magnezu w żeliwie. W cienkich przekrojach powoduje występowanie cementytu. W zakrzepłym żeliwie sferoidalnym występuje w postaci związków z magnezem typu MgTe.
- Tytan - wywołuje degenerację grafitu sferoidalnego w żeliwie, gdy jego ilość przekracza $0,1\%$. Stopień degeneracji grafitu wywołanej wprowadzeniem Ti wzrasta ze spadkiem zawartości magnezu. Pierwiastek ten wprowadzony do ciekłego metalu powoduje spadek zawartości magnezu o około 15% . W zakrzepłym żeliwie występuje w postaci kompleksowych związków z magnezem i siarką. Szkodliwe działanie tego pierwiastka jest silniejsze w żeliwie sferoidalnym perlitycznym niż ferrytycznym.

Zdegenerowany grafit sferoidalny wywołany dodatkami pierwiastków śladowych występuje w strefach segregacji na granicach komórek eutektycznych, w obszarach międzydentrycznych oraz w wydzieleniach perlitu w żeliwie o strukturze perlityczno-ferrytycznej.

Stopień degeneracji grafitu sferoidalnego wywołanej wprowadzeniem do żeliwa oddzielnie pierwiastków śladowych zależy od szybkości stygnięcia odlewu i w różnym stopniu dla różnych pierwiastków. Najbardziej wyraźny wzrost degeneracji wraz z obniżeniem szybkości stygnięcia wywołuje tytan i tellur. Stopień degeneracji grafitu wywołanej wprowadzeniem do ciekłego żeliwa bizmutu i ołowiu, zmienia się nieznacznie ze zmianą szybkości stygnięcia. Najmniejszy wpływ szybkości stygnięcia na stopień degeneracji grafitu wykazuje antymon i arsen.

Degeneracja grafitu sferoidalnego, określona wielkością wskaźnika formy grafitu K oraz stopnia sferoidalności d, powoduje obniżenie własności mechanicznych żeliwa sferoidalnego.

LITERATURA

1. Barton R.: BDIRA Journal 11, 6, 1963.
2. Bates C., Wallace J.F.: AFS Research Progress Report, 1967.
3. Brevet N^o 694 2644 10, 12, 1969.
4. Buhr R.K.: Prywatna informacja 1971.
5. A.Chida A. Tottori T.: 35^o Congress Internationale de Fonderie, Kioto oct., 1968.
6. Church N.L., Schelleng R.D.: Prywatna informacja, 1969.
7. Decrop M.: Fonderie 229, 1965.
8. Donoho C.K.: Modern Casting, oct., 1964.
9. Grossman H.: Gierssereitechnik 12, 1960.
10. Ishida H.: The Science Reports of the Research Institutu Tôhoku University 17, 1, 1965.
11. Htun K.M., Heine R.W.: AFS Cast Metal Research 5 i 7. 1969: 3 i 7, 1970.
12. Hummer R.: Giesserei Rundschau 16, 3, 1969.
13. Communication Technigue N^o7. Hommes et Fonderie 38, 1973.
14. Jelley G., Holdsworth R.: Britisch Foundryman, 54, 6, 1971.
15. Karsay S.J., Schelleng R.D.: Ductile Iron Production. Quebec Iron and Titanium Corporation, 1961.
16. Millis K.D.: Journal of Metals 7. 1960.
17. Komarow O.S., Chudokormow D.N.: Lit. Prowiz., 1, 1966.
18. Koteshev N.: Lit Proizv 2, 1971.
19. Krishnan M.A., Tutienski E.G.: Lit Proizv, 3, 1970.
20. Ljubcenco A.L., Mozavov M.V.: Lit.Proizv., 3, 1972.
21. Lux B.: Giesserei Forschungs, 2, 4, 1970.
22. Masutern I., Marujama M.: 30^o Congress Internationale de Fonderie, Praha, 1963.
23. Matsujiro Y., Hamasumi S.: Fonderie, 242, 1966.
24. Mayer M.: Hommes et Fonderie, 38, 1973.
25. Miller J. i inni: The ductile iron process, Compendium IV, 1972.
26. Minkoff F.: Modern Casting 41, 1, 1962.
27. Motz I., Orths K.: Giesserei Forschungs, 19, 3, 1967.
28. Plumbaum K.: Gieserei 6, 1969.
29. Pohl D., Roos E., Scheil E.: Giessereitechnik Wiss. Bh, 27, 1960.
30. Poyet C., Ponchon M.: Fonderie 277, 1969.
31. Sakwa W.: Wybrane Zagadnienia z Odlewnictwa Cz. I KO-STOP, Gliwice, 1967.
32. Sawyer J.: AFS Transaction 76, 1968.
33. Sidorenko J.W.: Lit. Prowiv., 2, 1964.
34. Thielmann T.: Giessereitechnik 16, 1, 1970.
35. Zbiór referatów: Międzynarodowy Kongres Odlewniczy Praha 1971.
36. Nakano Y.: Sprawozdanie ze stażu stypendialnego Rządu Francuskiego CTF, Paryż, 1973.

ВЛИЕНИЕ НИЧТОЖНОГО КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ
НА ДЕГЕНЕРАЦИЮ ГРАФИТА В СФЕРОИДИЗОВАННОМ ЧУГУНЕ

Р е з ю м е

Работа содержит описание вопроса воздействия ничтожного количества элементов в сфероидизованном чугуна в зависимости от содержания магния, скорости отвода тепла с отливки и химического состава чугуна. Описываются также источники происхождения следов элементов в чугуна и способ их воздействия с точки зрения проведенных до сих пор исследований.

THE EFFECT OF MICROELEMENTS ON THE DEGENERATION
OF GRAPHITE IN SPHEROIDAL CAST IRON

S u m m a r y

The elaboration comprises the problems of microelements activity in spheroidal cast iron depending on the level of magnesium content, the rate of heat abstraction from the casting and the chemical composition of cast iron. Furthermoze the origin of microelements has been discussed as well as the method of operation in the ligt of the previous investigations.