

ŻELIWO STOPOWE Z GRAFITEM WERMIKULARNYM

PIETROWSKI Stanisław,
PISAREK Bogusław, WŁADYSIAK Ryszard
Instytut Inżynierii Materiałowej i Technik Bezwiórowych,
Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań żeliwa wermikularnego z podwyższoną ilością Si oraz dodatkami Cu, Mo i Ni. Wykazano, że żeliwo to krystalizuje w niższej temperaturze i przy większym przechłodzeniu od żeliwa z grafitem płatkowym. Stwierdzono obecność złożonego węgla zawierającego Mo, Si oraz Mn. Dodatki Mo i Ni powodują utworzenie struktury bainitu górnego i martenzytu. Żeliwo wermikularne charakteryzuje się wysoką HB i Rm.

1. WSTĘP

W pracy [1] przedstawiono ocenę procesu krystalizacji żeliwa wermikularnego metodą ATD. Celem niniejszej pracy było zbadanie krystalizacji pierwotnej i wtórnej żeliwa z grafitem wermikularnym o podwyższonej ilości krzemu z dodatkami miedzi, niklu i molibdenu. Żeliwo to powinno charakteryzować się dużą żaroodpornością i odpornością na wstrząsy cieplne [2-5].

2. METODYKA BADAŃ

Żeliwo wytapiano w laboratoryjnym piecu indukcyjnym. Wermikularyzację grafitu przeprowadzono miszmetalem o składzie: 54% Ce, 32% La i 12% Ne. Modyfikację żeliwa przeprowadzono Si90.

Skład chemiczny badanego żeliwa pondeutektycznego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny badanego żeliwa

Chemical composition of cast iron

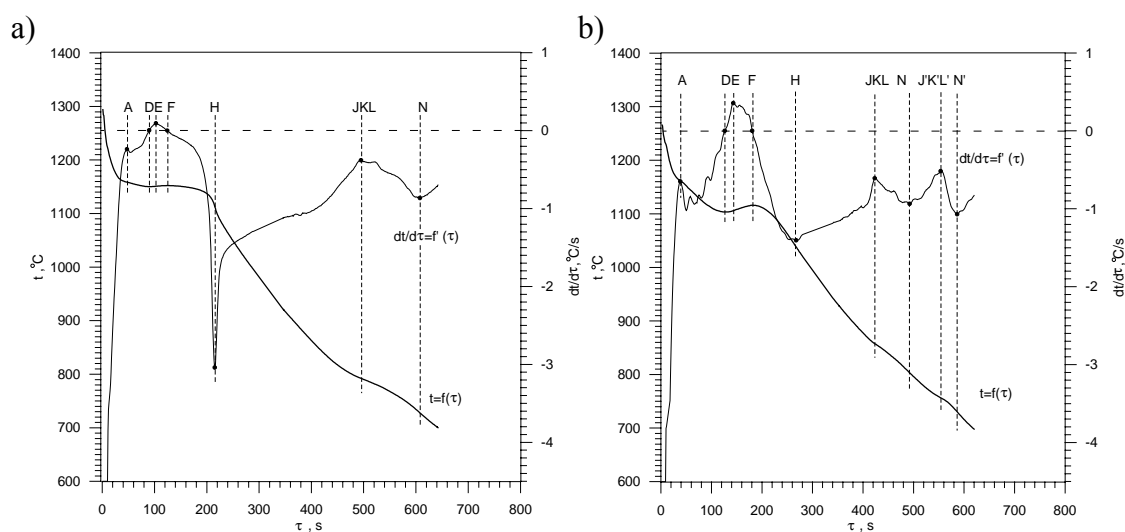
Nr Żeliwa	Skład chemiczny, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo
1	2,45	4,64	0,30	0,05	0,02	1,72	0,91	0,01
2	2,41	4,80	0,23	0,05	0,03	1,81	4,40	0,01
3	2,20	4,96	0,21	0,06	0,03	1,69	1,48	0,65
4	2,52	4,64	0,23	0,06	0,04	1,75	3,88	0,66
5	2,33	4,85	0,25	0,05	0,02	1,81	5,45	0,65

Krzywe ATD badanego żeliwa rejestrowano za pomocą aparatury CRYSTALDIGRAPH z próbnikiem ATD-10. Liniowy i punktowy rozkład C, Si, Mn, Mo, Cu i Ni wykonano na mikroanalizatorze SX50 firmy CAMECA średnicą wiązki 1µm.

3. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 1 (a, b) przedstawiono przykładowo odpowiednio krzywe ATD żeliwa (nr 1) wyjściowego do wermikularyzacji (z grafitem płatkowym) i wermikularnego. Strukturę obydwu gatunków żeliwa pokazano na rysunku 2 (a, b). Z analizy charakterystycznych temperatur krystalizacji eutektycznej obydwu rodzajów żeliwa wynika, że w żeliwie z grafitem płatkowym minimalna i maksymalna temperatura solidus wynoszą odpowiednio $t_{Smin}=t_D=1150$ °C, a $t_{Smax}=t_F=1152$ °C (rys. 1a). Przechłodzenie $\Delta t=2$ °C. W żeliwie wermikularnym (rys. 1b) $t_{Smin}=t_D=1103$ °C, $t_{Smax}=t_F=1116$ °C, przechłodzenie $\Delta t=13$ °C. Z porównania danych wynika, że żeliwo z grafitem wermikularnym krystalizuje w niższej o 47 °C temperaturze t_D i o 36 °C temperaturze t_F oraz przy większym o 11 °C przechłodzeniu. Charakterystyczna dla tego żeliwa jest również większa intensywność krystalizacji eutektyki. Żeliwo z grafitem płatkowym posiada strukturę ferrytyczną (rys. 2a), a z grafitem wermikularnym (rys. 2b) ferrytyczno-perlityczną. W związku z tym na krzywej krystalizacji żeliwa z grafitem płatkowym (rys. 1a) występuje jeden efekt cieplny (J-K-L) przemiany austenit–ferryt, a żeliwa z grafitem wermikularnym dwa efekty cieplne (J-K-L i J'-K'-L' rys. 1b) od przemiany austenit–ferryt oraz austenit–perlit.

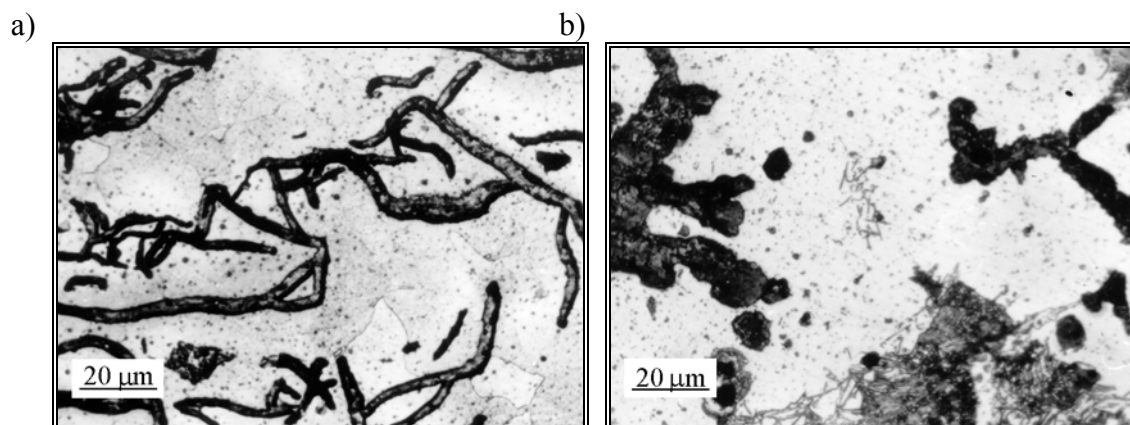
Wzrost dodatku niklu oraz obecność molibdenu zmniejszają przechłodzenie żeliwa z grafitem wermikularnym oraz różnice między temperaturami solidus, jak to przedstawiono w tabeli 2.



Nr rys.	A	D	E	F	H	J,K,L	N	J',K',L'	N'
	$t, ^\circ\text{C}$								
1a	1159	1150	1151	1152	1112	792	730	-	-
1b	1162	1103	1106	1116	1039	857	805	756	729

Rys. 1. Krzywe ATD żeliwa wyjściowego do wermikularyzacji (a) i wermikularnego (b)

Fig. 1. The DTA curves of the grey cast iron initial to vermiculryzation (a) and vermicular (b)



Rys. 2. Struktura żeliwa wyjściowego (a) i wermikularnego (b), a) ferryt, grafit płatkowy, b) ferryt, perlit, grafit wermikularny. Trawiono Nitałem

Fig. 2. Structure of the grey cast iron initial (a) and vermicular (b), a) ferrite, pearlite, flake graphite, b) ferrite, pearlite, vermicular graphite. Etched 4% $\text{HNO}_3 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

W żelwie nr 2 (4,40% Ni) otrzymano w stanie surowym strukturę perlityczno-ferrytyczną przedstawioną na rysunku 3. W żelwie nr 3 (1,48% Ni, 0,56% Mo)

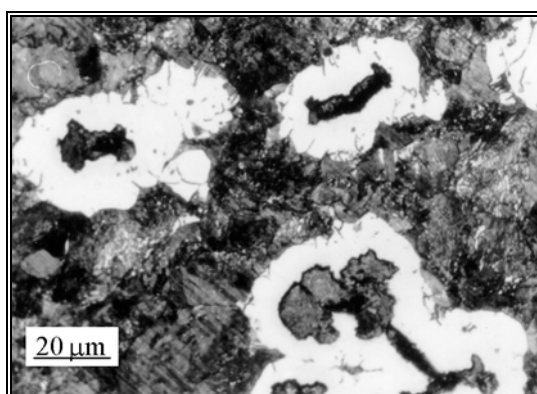
uzyskano w stanie surowym strukturę bainitu górnego z ferrytem wokół grafitu wermikularnego co pokazano na rysunku 4.

Tabela 2

Temperatura charakterystycznych punktów krystalizacji eutektycznej badanego żeliwa - porównanie

Temperature of characteristic points eutectical crystalization researched grey cast iron - compare

Nr		t_D	t_F	Δt_D	Δt_F	Δt
Żeliwa	Grafit	°C				
1	płatkowy	1150	1152	47	36	2
	wermikularny	1103	1116			13
2	płatkowy	1095	1097	27	22	5
	wermikularny	1068	1075			8
3	płatkowy	1111	1115	31	29	4
	wermikularny	1080	1086			6
4	płatkowy	1122	1127	30	28	5
	wermikularny	1092	1099			7
5	płatkowy	1118	1120	28	24	2
	wermikularny	1090	1096			6



Rys. 3. Struktura żeliwa nr 2: perlit, ferryt, wermikularny.

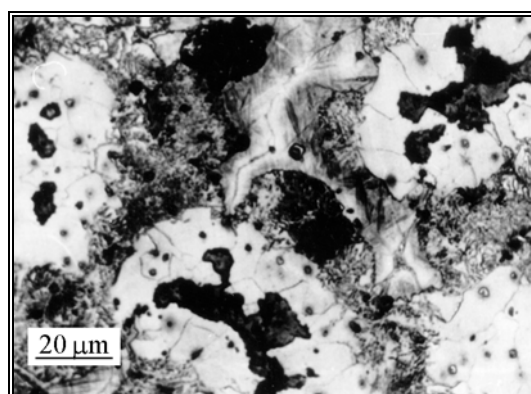
wermikuTrawiono Nitalem

Fig. 3. Structure of the grey cast iron No 2:

-pearlite, ferrite, vermicular graphite.

Etched 4% HNO₃ + C₂H₅OH

a)



Rys. 4. Struktura żeliwa nr 3: ferryt, per-ryt, grafit

lit, bainit górny, grafit

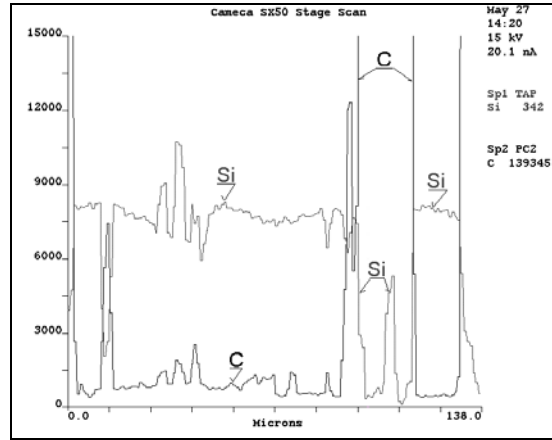
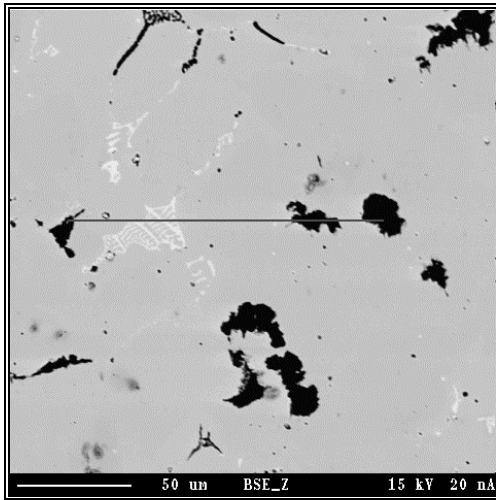
larny. Trawiono Nitalem

Fig. 4. Structure of the grey cast iron No 3:

ferrite, pearlite, upper bainite, vermicular graphite.

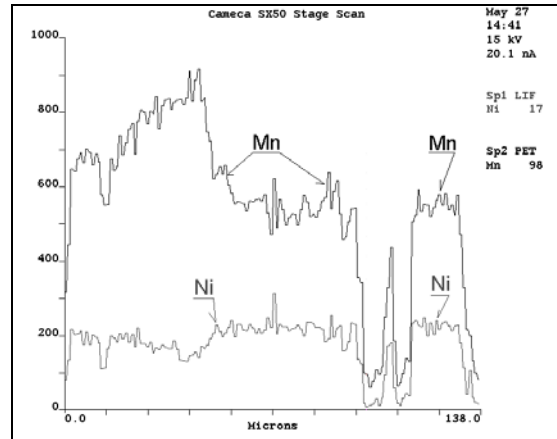
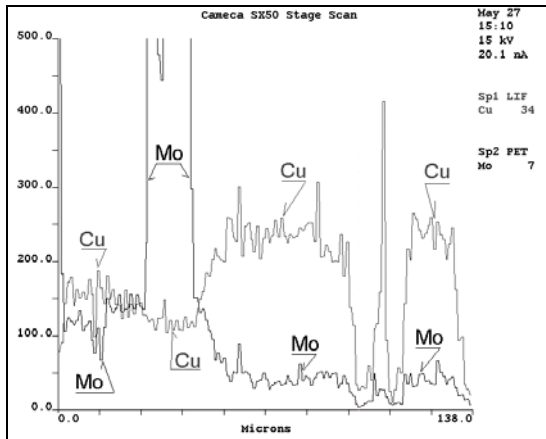
Etched 4% HNO₃ + C₂H₅OH

b)



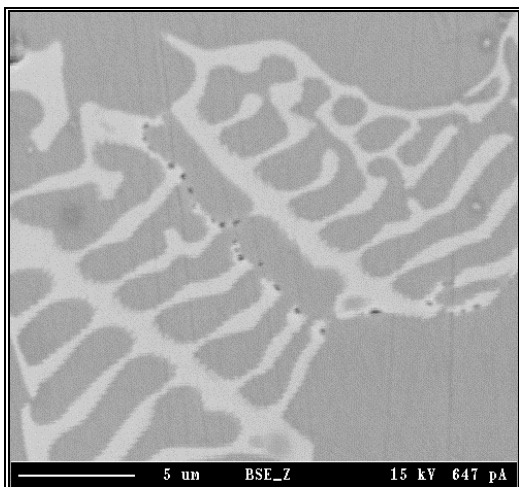
c)

d)



Rys. 5. Struktura z odcinkiem pomiarowym (a) oraz liniowy rozkład C i Si (b), Cu i Mo (c), Mn i Ni (d)

Fig. 5. Structure with measuring length (a) and linear distribution of C and Si (b), Cu and Mo (c), Mn and Ni (d)



Rys. 6. Budowa węglika
Fig. 6. Construction of the carbide

Tabela 3

Stężenie Si, Mn, Ni, Cu, Mo i Fe w gałęziach węgla i pomiędzy nimi (w osnowie)

Concentration Si, Mn, Ni, Cu, Mo and Fe in the branch of carbon and between their (in the matrix)

Rodzaj	Stężenie, %					
	Si	Mn	Ni	Cu	Mo	Fe
Węglik	6,0	1,0	2,0	1,0	42,0	48,0
Osnowa	3,0	0,6	0,7	0,7	1,0	94,0

Dodatek około 0,65% Mo począwszy od około 4,00% Ni powoduje utworzenie struktury martenzytycznej z ferrytem wokół grafitu.

W żeliwie zawierającym Mo stwierdzono obecność węglików o budowie dendrytycznej jak to przedstawiono na rysunku 5a. Liniowy rozkład C, Si, Cu, Mo i Ni pokazano odpowiednio na rysunku 5 (b÷d). Wynika z nich, że w węglkach występuje zwiększone stężenie C, Si, Mo i Mn. Stężenie Si, Mn, Ni, Cu, Mo i Fe w gałęziach węgla i pomiędzy nimi pokazanego na rysunku 6 podano w tabelicy 3. Wynika z niej, że węglik zawiera przede wszystkim Fe i Mo oraz mniejsze stężenie Si, natomiast Ni, Mn i Cu występują w małych ilościach. Pomiedzy gałęziami węgla występuje zwiększone stężenie Si oraz podobne, niewielkie stężenie pozostałych pierwiastków.

W tabelicy 4 podano Rm i HB badanego żeliwa wermikularnego.

Tabela 4

Rm i HB badanego żeliwa

Rm and HB of the researched cast iron

Nr żeliwa	Rm, MPa	HB
1	432	343
2	498	399
3	530	437
4	464	517
5	443	538

Wynika z niej, że żeliwo z grafitem wermikularnym o zwiększonej zawartości Si, z dodatkami Mo i Ni charakteryzuje się stosunkowo wysoką Rm i znaczną twardością HB. Najwyższą Rm uzyskano dla żeliwa o strukturze bainityczno-ferrytycznej.

4. WNIOSKI

Z przedstawionych w pracy badań wynikają następujące wnioski:

- żeliwo wermikularne krystalizuje w niższej temperaturze i przy większym przechłodzeniu od żeliwa z grafitem płatkowym,
- dodatki niklu i molibdenu powodują utworzenie struktury bainitu górnego i martenzytu z ferrytem wokół grafitu wermikularnego,
- w żeliwie występują złożone węgliki zawierające przede wszystkim molibden, krzem i mangan,
- żeliwo wermikularne charakteryzuje się wysoką twardością i znaczną doraźną wytrzymałością na rozciąganie.

LITERATURA

- [1] Pietrowski S.: Ocena Metodą ATD krystalizacji żeliwa z grafitem wermikularnym. Krzepnięcie Metali i Stopów. PAN - Komisja Odlewnictwa, 1995, z. 22, s. 62
- [2] Zych J., Jędrzejczyk D.: Badanie odporności na zmęczenie cieplne żeliwa z grafitem wermikularnym. Przegląd Odlewnictwa, 1991, nr 6, s. 215
- [3] Sosnovskij E.D., Gorelov N.A.: Pouring gate pots for high-quality iron production. Liteinoe Proizvodstvo, 1996, nr 5, s 15-16
- [4] Keming F., Dongzhi W., Yan X.: Ausbildung und Mikrostruktur des Graphits in Gusseisen mit Vermiculargraphit. Giesserei, 1997, nr 14, s. 22
- [5] Soiński M.S., Schierbaum K.D., Nadler E., Goepel W.: Rasterelektronenmikroskopische und roentgen-analytische Gefuegeuntersuchungen von Al- und Si-legiertem Gusseisen mit Kugel- und Vermiculargraphit. Zeitschrift fuer Metallkunde, Jan 1998 , v 89, n 1, p 32-36

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 7T08B 006 13

ALLOY CAST IRON WITH VERMICULITE GRAPHITE

Abstract

The paper presents the results of the examination the vermicular grey cast iron with heighten amount of Si and Cu, Mo, Ni additives. It has been stated that the vermicular grey cast iron crystallize in lower temperature and larger surfusion then grey cast iron with flake graphite. It has been found presence compound carbide which contain Mo, Si and Mn. Mo and Ni additives bring about set up upper bainite and martensite structure. The vermicular grey cast iron characterizes high HB and Rm.