

Edward Fraś
Czesław Podrzucki

WPLYW DOMIESZEK ZAWARTYCH W MODYFIKATORACH
GRAFITYZUJĄCYCH NA EFEKT ZABIEGU MODYFIKACJI
ŻELIWA

Streszczenie

Przeprowadzono badania wpływu obecności w modyfikatorach grafityzujących takich pierwiastków jak: Ca, Ba, Sr i Al na efekt modyfikacji wyrażony zmianą liczby komórek eutektycznych i struktury. Wytopy prowadzono w piecu próżniowym i w zwykłym piecu indukcyjnym. Stwierdzono silny wpływ modyfikujący Ca i Al oraz słaby wpływ Ba i Sr. Przedstawiono tezę dotyczącą mechanizmu modyfikacji.

Wprowadzenie

Pod pojęciem żeliwa modyfikowanego rozumiemy żeliwo otrzymywane w wyniku procesu modyfikacji, polegającego na zmianie fizyko-chemicznego stanu ciekłego metalu, wywołanej wprowadzeniem do żeliwa o małej skłonności do zarodkowania grafitu - na krótko przed odlaniem - niewielkich ilości substancji, zwanych modyfikatorami grafityzującymi; podnoszą one w odpowiednim stopniu potencjał nukleacji grafitu /zdolność do zarodkowania/ zwiększając ilość aktywnych zarodków krystalizacji grafitu i określają dzięki temu strukturę oraz właściwości odlewów.

Tak zdefiniowany proces modyfikacji charakteryzują następujące zjawiska:

a/ uzyskany przez wprowadzenie odpowiednich modyfikatorów efekt w znacznym stopniu przewyższa wpływ tych substancji, wywierany przez nie

jako pierwiastki stopowe żeliwa; innymi słowy, dzięki modyfikacji osiąga się efekt niewspółmiernie wysoki w porównaniu z nieznaczną zmianą składu chemicznego, wywołaną wprowadzeniem pierwiastków modyfikujących;

b/ działanie modyfikatorów jest funkcją czasu; największy efekt obserwuje się w przypadku, gdy krzepnięcie odlewu rozpoczyna się 1-5 minut po modyfikowaniu; z upływem czasu efekt modyfikacji ulega osłabieniu, zapikają całkowicie po 10 + 30 minutach; działanie to zależy od ilości i rodzaju modyfikatora oraz od warunków modyfikacji;

c/ działanie modyfikatorów przejawia się tym silniej, im większa jest zdolność do przechłodzenia żeliwa wyjściowego, im mniej zawiera ono aktywnych zarodków grafityzacji; efekty modyfikacji wzrastają więc w miarę zmniejszania się stopnia nasycenia eutektycznego S_0 .

Zagadnienie efektu procesu modyfikacji żeliwa

Jednym z ważniejszych pojęć związanych z procesem modyfikacji jest zagadnienie efektu modyfikacji, przez który rozumie się rozdrobnienie struktury pierwotnej metali czystych, stali, jak i stopów metali nieżelaznych. Jako przykład oryginalnych prac z tego zakresu można wymienić badania S. Jury [1,2,3]. W przypadku żeliwa jednak zagadnienie efektu modyfikacji jest znacznie szersze. W literaturze nie ma na ten temat całkowitej zgodności wśród bardziej znanych badaczy i rozpowszechnione są w tej sprawie różne stanowiska [4-22].

Przeprowadzona ostatnio analiza tego zagadnienia [23] pozwoliła stwierdzić, że w zależności od warunków modyfikacji /skład chemiczny żeliwa wyjściowego, prędkość stygnięcia, temperatura przegrzania, czas wytrzymywania, temperatura modyfikacji, rodzaj i ilość modyfikatora itp./ możemy uzyskać różne efekty. W każdym jednak przypadku zabieg modyfikacji prowadzi do zmiany stanu fizyko-chemicznego ciekłego żeliwa, powodującej wzrost potencjału nukleacji grafitu, którego miarą może być rozdrobnienie komórek eutektycznych. Pozostałe efekty modyfikacji są zjawiskami wtórnymi wzrostu potencjału nukleacji grafitu, który wpływa na: skłonność żeliwa do grafityzacji podczas krystalizacji pierwotnej, właściwości mechaniczne odlewów, wady odlewnicze oraz stępień przechłodzenia.

W praktyce jednak, ze względu na brak ścisłych danych ilościowych odnośnie do wpływu zdolności do zarodkowania grafitu na pozostałe efekty

modyfikacji, należy dodatkowo uwzględnić następujące konsekwencje tego zabiegu:

- zmniejszenie się skłonności żeliwa do zabielenia,
- zmianę charakterystyki wydzielenia grafitu /kształt, wymiary i rozłożenie/,
- zmiany charakterystyki osnowy metalicznej żeliwa /udział i dyspersja perlitu/,
- zmniejszenie się stopnia przechłodzenia przy krzepnięciu eutektyki,
- zmiany właściwości mechanicznych.

Modyfikatory grafityzujące

Od momentu pierwszej wzmianki w literaturze o wprowadzeniu do ciekłego żeliwa modyfikatorów /rok 1890/ można znaleźć ogromną ilość pozycji, poświęconych badaniom nad wpływem różnych modyfikatorów na jakość żeliwa i opracowywaniu nowych rodzajów modyfikatorów. W szeregu przypadków nie podaje się składu chemicznego modyfikatorów, lecz posługuje się jedynie ich symbolami lub nazwami; wiadomo jednak, że są one oparte z reguły na bazie żelazokrzemu lub wapniokrzemu.

Analityczny przegląd modyfikatorów [23], podanych w obszernej literaturze poświęconej temu zagadnieniu, wykazał, że w każdym z modyfikatorów występuje przynajmniej jeden z trzech pierwiastków, a mianowicie: krzem, wapń i aluminium. W związku z tym można założyć, że otrzymanie skutecznego modyfikatora grafityzującego nie zawierającego tych pierwiastków jest niemożliwe, a zatem tylko im można przypisać rolę skutecznych modyfikatorów. Pozostałe pierwiastki spełniają rolę dodatków stopowych lub ułatwiają zabieg modyfikacji, przez co są pożądane w praktyce odlewniczej. W związku z tym celowa jest analiza modyfikującego wpływu krzemu, wapnia i aluminium o wysokim stopniu czystości. Wyniki niektórych badań [7,8,10,33] pozwalają stwierdzić ponad wszelką wątpliwość, że czysty krzem i żelazokrzem nie mają zdolności modyfikujących, a obserwowane zmiany potencjału nukleacji grafitu są wynikiem wpływu krzemu jako dodatku stopowego. Natomiast rola aluminium jako modyfikatora jest kontrowersyjna, gdyż zgodnie z wynikami badań [10,24,34] dodatki aluminium do ciekłego metalu, zwiększają ilość aktywnych zarodków grafitu, zaś wyniki innych badań [7,8]

przeczą temu. Wpływ aluminium jako dodatku stopowego i jako pierwiastka modyfikującego jest wg niektórych autorów równoważny [21], natomiast inni [11] uważają, że modyfikujący wpływ aluminium znacznie przeważa wpływ aluminium jako dodatku stopowego. Zgodnie z wynikami badań [7,9, 10,11] aluminium nie zmienia rozłożenia grafitu w żeliwie, wyniki innych badań [25] wskazują jednak na to, że wpływ ten należałoby uwzględnić. Ogólnie natomiast uznaje się wpływ aluminium na zmniejszenie się skłonności żeliwa do zabielenia [7,9,10,24] i zmniejszenie stopnia przechłodzenia przy krzepnięciu eutektyki [10,11,26]. W świetle powyższych faktów nasuwa się wniosek o celowości dalszych badań nad modyfikującym wpływem aluminium.

Analiza modyfikatorów wykazuje również, że istnieją skuteczne modyfikatory nie zawierające domieszek wapnia i aluminium. Dotyczy to żelazo-krzemu zawierającego dodatki strontu i baru. Wpływ modyfikującego działania czystego strontu i czystego baru na żeliwo był przedmiotem badań [11,26], z których wynika, że zarówno czysty bar jak i czysty stront są modyfikatorami. Nie budzi zastrzeżeń także modyfikujące działanie grafitu [11,27,28,29,30].

Reasumując można stwierdzić, iż spośród wszystkich modyfikatorów rolę podstawowych i skutecznych spełniają: wapń, stront, bar i grafit a prawdopodobnie również i aluminium.

Metodyka i zakres badań własnych

W celu określenia roli domieszek w procesie modyfikacji przeprowadzono 2 serie wytopów: I - w piecu próżniowym VSG-02 o poj. tygla ok.1 kg; II - w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości /8000 Hz/ o poj.tygla 60÷ 80 kg. Ponieważ rola domieszek jest związana z rolą tlenu zawartego w żeliwie, wytopy prowadzono w warunkach umożliwiających zmianę zawartości tlenu w żeliwie wyjściowym i modyfikowanym.

W I serii wytopów wsad do pieca stanowiły wlewki, wytopione w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości na bazie żelaza armco i technicznie czystego krzemu. Wsad do II serii wytopów stanowiły wlewki odlane z żeliwa wytopionego w żeliwiaku. Skład chemiczny wlewków dla obydwu serii zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny wlewków, stanowiących wsad do pieców
w I i II seriach wytopów

Seria wytopów	S k ł a d c h e m i c z n y				
	C	Si	Mn	P	S
I	3,00	1,38	0,04	0,030	0,015
II	3,19	1,48	0,33	0,187	0,111

Po załadowaniu wsadu do tygla pieca próżniowego /I seria/ oraz umieszczeniu na odpowiednich dźwigniach pakietów z modyfikatorem lub dodatkowo z utleniaczem stałym wytwarzano w komorze roboczej pieca próżnię rzędu 10^{-4} Tr, a następnie topiono i przegrzewano wsad do temperatury 1350°C i odgazowywano metal przez okres 15 minut. Po upływie tego czasu wprowadzano do pieca argon, tlen i argon lub tlen i tlenek węgla; w tych atmosferach wytrzymywano metal izotermicznie przez dalsze 8 minut. Temperaturę metalu kontrolowano przez cały okres wytrzymywania izotermicznego przy pomocy termopary zanurzeniowej. Wytrzymywanie metalu w próżni lub atmosferze argonu zapewnia czyste zwierciadło kąpieli metalu, natomiast wprowadzenie do pieca tlenu wywołuje natychmiast powstanie na powierzchni metalu grubej warstwy żużła.

W przypadku żeliwa utlenianego dodatkowo utleniaczem stałym, wprowadzano ten ostatni tuż po sprowadzeniu odpowiednich atmosfer gazowych do pieca. W przypadku żeliwa modyfikowanego, wprowadzenie modyfikatora do kąpieli odbywało się na jedną minutę przed odianiem metalu do formy. Po upływie jednej minuty od przeprowadzenia zabiegu modyfikacji wyłączało dopływ prądu do cewki i odlewano metal do form, wykonanych z mullitu wiązanego krzemianem etylu i prażonych w temp. $1100 \pm 1200^{\circ}\text{C}$. Otrzymywane odlewy obejmowały komplety prętów próbnych $\varnothing 10, 20$ i 30 mm, pręci $\varnothing 8$ mm do analizy gazów i próbkę klinową, krzepnącą na ochładzalniku /do określania skłonności żeliwa do zabielenia/.

W II serii badań, po roztopieniu wsadu i przegrzaniu ciekłego metalu do temp. 1500°C wytrzymywano go w tej temperaturze w ciągu 30 minut

Po upływie tego czasu rozpoczynano odlewanie metalu do kadzi ręcznej o pojemności 10 kg. W chwili gdy metal w kadzi osiągał temperaturę 1350°C, wprowadzano do niego, zależnie od potrzeb, utleniacze stałe lub modyfikatory, bądź jedne i drugie. Po Osiągnięciu przez metal temperatury 1300 + 1280°C odlewano go do form. W przypadku żeliwa odtlenianego i niemodyfikowanego, ochładzano metal w kadzi do temperatury 1300+1280°C a następnie odlewano do form, wykonanych z masy formierskiej i suszonych. W sumie z jednego wytopu odlewano sześć form. Zużycie modyfikatora wynosiło każdorazowo 0,4 ‰. W I serii badań stosowano następujące modyfikatory: Si75T /73,2‰ Si; 1,42 ‰ Al; 0,80‰ Ca/ oraz chemicznie czyste pierwiastki: wapń, bar, stront i aluminium, w serii II - Si75T, wapń i aluminium.

Skład chemiczny żeliwa modyfikowanego /poza zawartością tlenu/podaje tablica 2.

Tablica 2

Skład chemiczny żeliwa modyfikowanego

Seria badań	Zawartość w ‰		
	C	Si	S
I	2,91+ 3,03	1,32+ 1,62	0,005+0,008
II	2,75+ 2,91	1,54+ 1,89	0,085+0,095

Do pomiaru temperatury metalu stosowano we wszystkich przypadkach termoelement PtRh-Pt w osłonie kwarcowej. Zawartość tlenu określano za pomocą Exhalografu EA-1 firmy Balzers^{1/} /metodą absorpcji gazów w podczerwieni/.

Na próbkach wyciętych z otrzymanych odlewów wykonywano zglądy metalograficzne w celu określenia:

- a/ wymiarów komórek eutektycznych,
- b/ ułamek powierzchni zglądu, zajmowanej przez poszczególne składniki strukturalne żeliwa,

1/

analizy przeprowadzano w laboratorium Instytutu Metalurgii AGH

c/ rodzaju i wielkości wydzielen grafitu.

W celu określenia wymiarów komórek eutektycznych wytrawiano zglądy metalograficzne odczynnikami Steada. Spośród znanych metod pomiaru wymiarów komórek eutektycznych wybrano metodę Jessriesa-Sałytkowa, gdyż pomimo dużej pracochłonności jej zaletą jest dokładność uzyskiwanych wyników. Aby uniknąć wpływu szybkości stygnięcia na wymiary komórek eutektycznych, zliczanie komórek wykonywano w pobliżu osi próbek. Po obliczeniu liczby komórek przypadających na powierzchnię kwadratu przeliczano ją na 1 cm^2 . Jako wynik przyjmowano średnią z trzech oznaczeń i tę wielkość traktowano jako wskaźnik przeciętnego wymiaru komórek eutektycznych w danym zglądzie.

Ułamek powierzchni zglądu zajmowanej przez grafit, ferryt, perlit i wolny cementyt określano za pomocą mikroskopu telewizyjnego "Quantimet"²/.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań wpływu zabiegu modyfikacji na potencjał nukleacji grafitu w żeliwie, wyrażony ilością komórek eutektycznych w prętach $\varnothing 20$, 30 i 60 mm, zestawiono w tablicy 3.

Wynika stąd, że wszystkie zastosowane modyfikatory podwyższają potencjał nukleacji grafitu, przy tym wpływ Ba i Sr jest znacznie słabszy od Si75T, Ca i Al. Równocześnie stwierdzono spadek właściwości modyfikujących zastosowanych modyfikatorów ze wzrostem stopnia utleniania żeliwa. Wyjątek stanowi Al, wykazujący tendencję przeciwną.

Badania wykazały też, że modyfikacja żeliwa za pomocą Si75T zwiększa ilość grafitu i eliminuje całkowicie zabielenia dla całego zakresu stężeń tlenu w żeliwie, stosowanych w badaniach; ilość ferrytu nie wykazuje wyraźnej zmiany. W przypadku stosowania czystego wapnia w charakterze modyfikatora ilość grafitu również wzrasta, zwłaszcza przy mniejszych prędkościach stygnięcia /pręty $\varnothing 30 \text{ mm}$ /, maleje jednak wyraźnie udział ferrytu w osnowie, przy czym na podkreślenie zasługuje nieznaczne tylko

²/ oznaczenia przeprowadzano w Instytucie Metalurgii Żelaza w Gliwicach

Wpływ zabiegu modyfikacji na ilość komórek eutektycznych
w żeliwie

Seria badań	Rodzaj modyfikatora	Zawartość tlenu ppm	Ilość komórek eutektycznych na 1 cm ² w prętach o średnicy		
			20 mm	30 mm	60 mm
I	-	52+23	14+ 104	8+ 60	-
	Si75T	95+19	217+ 405	172+ 300	-
	Ca	99+23	190+ 352	112+ 230	-
	Ba	40+20	18+124	40+ 70	-
	Sr	39+26	70+ 120	52+ 68	-
	Al	42+32	201+ 300	89+ 180	-
II	-	116+31	64 + 219	74+ 172	34+ 94
	Si75T	91+35	577 + 660	362+ 595	177+295
	Ca	94+29	500 + 764	303+ 511	130+257
	Al	43+130	377 + 540	309+ 445	109+130

zmniejszenie skłonności żeliwa do zabielen. Wzrost stopnia utlenienia żeliwa powoduje we wszystkich przypadkach zmniejszenie udziału grafitu w żeliwie po modyfikacji; stopień zabielenia struktury próbek modyfikowanych za pomocą Ca rośnie ze wzrostem stężenia tlenu w żeliwie; jeśli idzie o wpływ stężenia tlenu na udział ferrytu w osnowie, to jest on silnie ujemny w przypadku modyfikacji za pomocą Si75T, nieznaczny natomiast w przypadku modyfikacji za pomocą Ca. Grafit zachowuje po modyfikacji w obydwu przypadkach postać punktową o rozłożeniu międzydendrytycznym, właściwą żeliwu wyjściowemu. Obserwuje się jedynie wzrost wymiarów wydzielen grafitu w wyniku modyfikacji i tendencję do orientacji uporządkowanej.

Zabieg modyfikacji żeliwa wytapianego w serii II wpływa na strukturę żeliwa tylko przy prędkościach stygnięcia odpowiadających prętowi \varnothing 30mm

i większych. Wpływ Si75T jest niemal równoważny wpływowi Al, jeśli idzie o likwidację skłonności żeliwa do zabielen i wzrost udziału grafitu w strukturze z tą różnicą, że wzrost stopnia utlenienia żeliwa powoduje zmniejszenie zdolności do grafityzacji i zwiększenie skłonności do zabielen żeliwa modyfikowanego za pomocą Si75T, natomiast przy zastosowaniu Al obserwuje się tendencję odwrotną. Wpływ Ca jest pod omawianym względem słabszy, co obserwuje się szczególnie przy mniejszych prędkościach stygnięcia.

Postać grafitu nie ulega istotnej zmianie po modyfikacji, rosną tylko wymiary grafitu o rozłożeniu międzydendrytycznym i orientacji uporządkowanej.

Z powyższych wyników badań wysnuć można dwa zasadnicze stwierdzenia:

- spośród wszystkich modyfikatorów podstawową i skuteczną rolę spełniają wapń, bar, stront i aluminium,
- wzrost zawartości tlenu w żeliwie modyfikowanym za pomocą wapnia, baru i strontu, zmniejsza zdolność do zarodkowania grafitu, wyrażoną ilością komórek eutektycznych, zwiększa natomiast ten efekt w przypadku żeliwa, modyfikowanego za pomocą aluminium.

Wynika stąd, że tlenkom, będącym wynikiem wprowadzenia do żeliwa modyfikatorów zawierających istotne ilości wapnia, baru i strontu nie można przypisywać roli aktywnych zarodków krystalizacji grafitu, a w związku z tym nie można przyjąć za słuszne hipotez, wyjaśniających mechanizm modyfikacji żeliwa za pomocą tych modyfikatorów - powstawaniem zarodków tlenowych. Jeżeli dodatkowo weźmiemy pod uwagę niedostateczne uzasadnienie hipotez, wyjaśniających mechanizm modyfikacji rozpadem węgla krzemu bądź aluminium oraz zmniejszaniem się rozpuszczalności węgla wskutek przesycaenia żeliwa krzemem, to okaże się, iż obecnie najbardziej uzasadnioną dla przypadku modyfikowania żeliwa za pomocą modyfikatorów zawierających istotne ilości wapnia, baru i strontu jest hipoteza opracowana przez B. Luxa [26]. Przyjmując tę hipotezę można również łatwo wyjaśnić rolę tlenu w procesie tworzenia aktywnych zarodków krystalizacji grafitu.

Zmniejszanie się ilości zarodków grafitu ze wzrostem zawartości tlenu w żeliwie, modyfikowanym za pomocą modyfikatorów zawierających

Istotne ilości wapnia, baru i strontu należy mianowicie uznać jako wynik tworzenia warunków sprzyjających coraz mniej powstawaniu węglików wapnia, baru i strontu w miarę wzrostu stopnia utlenienia. Zwiększenie zawartości tlenu w żeliwie modyfikowanym powoduje tworzenie się tlenków wapnia, baru i strontu w miejsce węglików. Wynikiem tych procesów jest zmniejszanie się ilości węglików wapnia, baru i strontu a zatem i dodatkowych zarodków grafitu, co jest równoznaczne ze zmniejszaniem się ilości komórek eutektycznych w jednostce objętości stopu.

Różnice w uzyskanych efektach modyfikacji za pomocą wapnia, baru i strontu wyjaśnić można różnicami w budowie poszczególnych węglików

W przypadku żeliwa, modyfikowanego za pomocą aluminium uzyskane wyniki nie potwierdzają hipotezy B. Luxa, gdyż ze wzrostem zawartości tlenu w żeliwie efekt modyfikacji nie zwiększa do tego stopnia, że przekracza efekt uzyskany przy modyfikacji żeliwa za pomocą pozostałych modyfikatorów. Podwyższenie zawartości tlenu w żeliwie, modyfikowanym za pomocą aluminium, wskutek dużego powinowactwa chemicznego tlenu do aluminium, prowadzi do zwiększenia się ilości tlenku aluminium. Przyjmując w ślad za [31, 32] dużą zgodność sieci krystalicznych Al_2O_3 i grafitu można traktować część powstałego tlenku jako heterogeniczne zarodki krystalizacji grafitu i wytłumaczyć tym wzrost potencjału nukleacji grafitu wyrażony ilością komórek eutektycznych żeliwa, modyfikowanego za pomocą aluminium.

Wzrost zawartości tlenu w żeliwie, modyfikowanym za pomocą żelazokrzemu Si75T powoduje zmniejszenie się zdolności do zarodkowania grafitu wyrażonego ilością komórek eutektycznych. Kierunek oddziaływania tlenu w tym przypadku jest zgodny z kierunkiem oddziaływania tlenu w żeliwie modyfikowanym za pomocą wapnia, baru i strontu. Ponieważ stosowany w badaniach żelazokrzem zawierał, obok wapnia, aluminium, można wnioskować iż w żelazokrzemie decydującą rolę spełnia wapń.

Porównując kąty nachylenia prostych widzimy, iż osiągają one mniejsze wartości dla żeliwa modyfikowanego za pomocą żelazokrzemu Si75T niż dla żeliwa modyfikowanego za pomocą wapnia. Wyjaśnić to można oddziaływaniem aluminium zawartym w modyfikatorze.

Reasumując uznać należy, że modyfikujące oddziaływanie żelazokrzemu Si75T jest wypadkową oddziaływania wapnia i aluminium, przy czym decydujący jest tu wpływ wapnia.

Wnioski

1. Podstawowymi modyfikatorami żeliwa są wapń i aluminium a w mniejszym także stopniu bar i stront. Podwyższenie zawartości tlenu w żelazie, modyfikowanym za pomocą żelazokrzemu Si75T, wapnia, baru i strontu, zmniejsza, natomiast w żelazie, modyfikowanym za pomocą aluminium, powiększa zdolność do zarodkowania grafitu, wyrażoną ilością komórek eutektycznych w jednostce objętości stopu. Wyraża się przez to bezpośredni wpływ tlenu na efekt procesu modyfikacji żeliwa.

2. Modyfikacja czystych stopów Fe-C-Si /seria I/ za pomocą żelazokrzemu Si75T nie powoduje w zasadzie zmiany osnowy, natomiast wzrost zawartości tlenu w tych stopach zmniejsza udział ferrytu w osnowie.

3. Zabieg modyfikacji przeprowadzony w stopach technicznych prowadzi w zasadzie do wyeliminowania ferrytu z osnowy.

4. Wzrost zawartości tlenu w żelazie modyfikowanym za pomocą żelazokrzemu Si75T, wapnia, baru i strontu zmniejsza, natomiast w przypadku modyfikacji za pomocą aluminium powiększa udział grafitu w strukturze. Odwrotne działanie wywiera tlen na udział cementytu w żelazie modyfikowanym.

5. Zabieg modyfikacji przeprowadzony w czystych stopach Fe-C-Si powiększając wymiary wydzieleni grafitu nie zmienia przy tym w większym stopniu ich postaci i rozłożenia. Wzrost zawartości tlenu w tych stopach prowadzi do pojawiania się grafitu typu BR i BT /tj. typu B wg ASTM/ w miejsce grafitu typu BS.

6. Zasadniczym efektem modyfikacji jest zwiększenie potencjału nukleacji grafitu; pozostałe efekty są w znacznym stopniu zjawiskiem wtórnym zwiększonego potencjału nukleacji grafitu lub zależą od warunków w których prowadzi się zabieg modyfikacji żeliwa. Struktura pierwotna zależy od wypadkowego oddziaływania stopnia przechłodzenia, temperatur równowagi obu eutektyk, prędkości wzrostu tych eutektyk oraz czynników wpływających na prędkość wzrostu i odległość faz eutektyki.

7. Najbardziej uzasadnionymi hipotezami wyjaśniającymi mechanizm modyfikacji żeliwa są hipotezy, przypisujące właściwości zarodków grafitu węglikom metali ziem alkalicznych i tlenkowi aluminium.

L i t e r a t u r a

1. Jura S.: Praca doktorska. Wydział Mechaniczny Politechniki Śląskiej, Gliwice 1962.
2. Jura S.: Materiały na VII Konferencję Odlewniczą PAN-STOP, Katowice 1968.
3. Jura S.: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 1968, Gliwice 1968.
4. Bash J.T.: Transactions of AFA, 1947, t.49, s.887-910.
5. Merchant H.D., Toriello L.J., Wallace J.F.: Modern Castings 1961, t.39, nr 5, s.109-116.
6. Filkins W.C., Stuhrke W.F., Matter D., Wallace J.F.: Transactions of AFS, 1963, t.70, s.882-895.
7. McClure H.C., Ehan A.U., McGrady D.D.; Womochel H.L.: Transactions AFS, 1957, t.65, s.340-349.
8. Defrancq Ch., Van Feghem J., De Sy A.: Ref. nr 9 na 34 M.K.O. Paryż 1967.
9. Defrancq Ch., Van Feghem J., De Sy A.: Ref. nr 3-1 na 36 M.K.O., Belgrad 1969.
10. McGrady B.D., Langenberg C.L., Haryey D.J., Womochel H.L.: Modern Castings, 1960, t.38, nr 4, s.115+122; Transactions of AFS, 1960, t.68, s.569-578 i 826.
11. Lux B., Tannenberger H.: Modern Castings, 1962, nr 3, t.41, s.129-151
12. Lux B.: Ref. nr 19 na 32 M.K.O., Warszawa 1965.
13. Lux B.: Giesserei, Techn.-Wiss. Beih, 1965, nr 1, s.47-56
14. Lux B.: Giessereiforschung, 1967, nr 4, s.197-202.
15. Lux B., Kurz W.: Giessereiforschung, 1967, nr 1, s.49-58.
16. Blanc G., Podrzućki C.: Zeszyty Naukowe AGH; seria: Metalurgia i Odlewnictwo, z.36, s.7-25, Kraków 1970.
17. Dawson J.V., Maitra S.: British Foundryman, 1967, nr 4, s.117+127.
18. Zuthoff A.J., Kortmulder R.: Ref. nr 13 na 28 M.K.O., Wiedeń 1961.

19. Comstock G.F., Starkweather E.R.: Transactions of AFA, 1938, t. XLVI, nr 2, s. 359-373.
20. Kalata C, Piszak J.: Żeliwo modyfikowane. P.W.T. Warszawa 1955.
21. Girszowicz N.G.: Maszynostrojenije, Moskwa-Lenigrad 1966.
22. Wasilenko A.A., Grigoriew J.S.: Modificirowanyj czugun. T.L.U., Kijów, 1950.
23. Fraś E.: Rozprawa doktorska. Wyd. Odlewnictwa AGH, Kraków 1970.
24. Dawson J.V.: BCIRA Journal, 1961, nr 2, s. 199-236.
25. Murray W.G., Lofthouse I.H., Howard J.: British Foundryman, 1963, nr 10, s. 447-459.
26. Lux B.: Giesserei, Techn-Wiss Beihefte, 1962, nr 4., s. 207-212.
27. Filkins W., Wallace J., Matter D.: Foundry 1961, nr 12, s. 62-66.
28. Durker A.H.: American Foundryman 1940, t. 2, s. 2.
29. Nelsen C.D., Heine R.W.: Modern Castings, 1964, t. 46, nr 1, s. 711-732.
30. Dahlberg H.R.: American Foundryman, 1943, t. 65, s. 66-74.
31. Podrzucki C., Kalata C.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Wydawnictwo "Śląsk".
32. Narita K.: Metażkurgija, Moskwa 1969 (tłumaczenie z języka japońskiego).
33. Henke F.: Giesserei-Praxis 1966, nr 8, s. 147-152.
34. Dawson J.V.: BCIRA Journal, 1957, nr 5, s. 2.

Влияние примесей, содержащихся в графитизирующих модификаторах на эффект процесса модификации чугуна

Р е з ю м е

Проведены исследования влияния в графитизирующих модификаторах таких химических элементов, как Са, Ва, Sr и Al на эффект модификации, выраженный изменением числа эвтектичных ячеек и структуры. Плавку проводили в вакуумной печи и в обычной индукционной. Обнаружено сильное

модифицирующие воздействие Ca и Al, а также слабое влияние Ba и Sr
Представлен тезис, касающийся механизма возникновения модификации.

The influence of admixtures contained
in graphitizing modifiers upon the effect
of the process of cast iron modification

S u m m a r y

There has been investigated the influence of the presence of such elements in graphitizing modifiers as Ca, Ba, Sr and Al upon the effect of the modification, which is expressed by the variation of the number of eutectic cells as well as by structural changes. The melts were carried out in a vacuum furnace and in an ordinary induction furnace. It has been found that Ca and Al exert a considerable modifying influence, whereas the effect of Ba and Si is rather slight. A proposition concerning the modification mechanism has been set up.