MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
3-M/2009
ZESZYT 12
ROK 106
ISSUE 12
YEAR 106

ADAM TABOR*, PIOTR PUTYRA**, KRZYSZTOF ZARĘBSKI***,
TADEUSZ MAGUDA****

AUSTENITYCZNE ŻELIWO SFEROIDALNE DO PRACY W OBNIŻONYCH TEMPERATURACH

AUSTENITIC DUCTILE IRON FOR LOW TEMPERATURE APPLICATIONS

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych austenitycznego żeliwa sferoidalnego z różną zawartością niklu oraz z dodatkiem chromu i wanadu. Badania prowadzone były w szerokim zakresie temperatur (od –196°C do +20°C) i obejmowały wyznaczenie granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie, przewężenia oraz wydłużenia. Dodatkowo przeprowadzono analizy mikrostruktury poszczególnych materiałów oraz badania faktograficzne próbek po rozciąganiu. W artykule zamieszczono również omówienie uzyskanych wyników oraz wnioski.

Słowa kluczowe: *właściwości mechaniczne*, *żeliwo sferoidalne*, *austenit*

Abstract

The study presents the results of mechanical tests carried out on austenitic ductile iron with varied nickel content and additions of chromium and vanadium. The tests and investigations were carried out over a wide range of temperatures, i.e. from –196°C to +20°C, and included determination of the yield strength, tensile strength, reduction of area and elongation. Additionally, the microstructure of different cast iron types was examined, along with the fractographic examinations of specimens subjected to the tensile test. In final part of the study, the obtained results were discussed and relevant conclusions were drawn.

Keywords: *mechanical properties*, *ductile iron*, *austenite*

* Dr inż. Adam Tabor, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości, Politechnika Krakowska.
** Dr inż. Piotr Putyra, Zakład Inżynierii Materiałowej, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania.
*** Dr inż. Krzysztof Zarębski, Zakład Materiałoznawstwa, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.
**** Dr inż. Tadeusz Maguda, Zakład Metalurgiczny „WSK RZESZÓW" Sp. z o.o.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Prawidłowy dobór żeliwa na odlewy pracujące w niskiej temperaturze nabiera coraz większego znaczenia w związku z rozwojem techniki związanej z kriotechniką. Wysokie wymagania w odniesieniu do właściwości mechanicznych w niskiej temperaturze spełnia przede wszystkim żeliwo wysokoniklowe o osnowie austenitycznej z grafitem kulkowym, należące do grupy żeliwa Ni-Resist. Ze względu na dobrą lejność żeliwo to stosuje się m.in. na zawory, złączki rurowe, pompy, sprężarki i rozprężarki, szczególnie obciążone, pracujące w kontakcie z ciekłym tlenem lub azotem, oraz na odlewy o skomplikowanym kształcie. Wprowadzenie niklu do żeliwa przeznaczonego do pracy w niskiej temperaturze ma na celu otrzymanie w osnowie austenitu. Utrzymanie osnowy austenitycznej w niskich temperaturach wymaga zwiększenia zawartości niklu do 30–35%. Przy mniejszej zawartości niklu w żeliwie w strukturze obserwuje się niekorzystne wydzielenia martenzytu [1–4].

Zastosowanie austenitycznego żeliwa sferoidalnego w konstrukcjach eksploatowanych w niskiej temperaturze jest nieodzowne w wypadkach wykonywania odlewów o skomplikowanych kształtach, wymagających trudnej i kosztownej obróbki mechanicznej. W technice niskich temperatur żeliwo może być pełnowartościowym tworzywem konstrukcyjnym, a w wielu sytuacjach materiałem trudnym do zastąpienia przez stal [5].

Wszechstronne zastosowanie austenitycznego żeliwa wysokoniklowego wynika z jego specyficznych właściwości chemicznych i fizycznych. Żeliwo to charakteryzuje się również dobrą odpornością na korozję chemiczną oraz gazową, przy równoczesnej wysokiej odporności na działanie zarówno wysokiej, jak i niskiej temperatury. Sferoidyzacja grafitu podnosi odporność żeliwa austenitycznego w środowiskach korozyjnych przy jednoczesnym zachowaniu wysokich właściwości wytrzymałościowych w szerokim zakresie temperatury [6–8]. Dużą odporność korozyjną żeliwa austenitycznego sferoidalnego uzyskuje się nie tylko dzięki korzystnej postaci grafitu, lecz również w wyniku zmniejszenia zawartości wtrąceń niemetalicznych podczas sferoidyzowania, a więc dzięki zmniejszeniu możliwości tworzenia się mikroogniw intensyfikujących niszczenie odlewów [6]. Wysokoniklowe, kwasoodporne żeliwo austenityczne znajduje również szerokie zastosowanie ze względu na dobrą żaroodporność. Żeliwo niezawierające chromu wykazuje wystarczającą odporność na korozję w utleniających ośrodkach gazowych (do 700°C) i jest stosowane na części aparatury chemicznej [1].

Celem prezentowanych w artykule badań było określenie wpływu zawartości niklu w austenitycznym żeliwie sferoidalnym na właściwości wytrzymałościowe i plastyczne w szerokim zakresie temperatur. Zakres badań obejmował wyznaczenie wytrzymałości na rozciąganie (R_m), granicy plastyczności ($R_{p0,2}$), wydłużenia (A_5), przewężenia (Z) w zakresie temperatury od –196°C do +20°C.

2. Metodyka badań

Badaniom poddano austenityczne żeliwo sferoidalne z zawartością niklu od 17% do 25%. Zawartość węgla dla poszczególnych wytopów mieściła się w zakresie od 2,40% do 3,00%, krzemu od 2,30% do 2,90%, a manganu od 3,70% do 4,15%. Zawartość siarki dla wszystkich wytopów nie przekraczała 0,020%, podczas gdy zawartość magnezu mieściła się w zakresie od 0,05% do 0,13%. Wytopy o najwyższej zawartości niklu miały ponadto w swoim składzie

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

pierwiastki węglikotwórcze, takie jak chrom lub wanad. Zestawienie składów chemicznych poszczególnych materiałów przedstawiono w tab. 1.

Proces sferoidyzacji żeliwa wykonano, wykorzystując zaprawę FeNiMg1, natomiast modyfikację żeliwa przeprowadzono żelazokrzemem Si75A w ilości 0,5–0,7% w stosunku do masy ciekłego żeliwa. Odlewy wlewków typu YII wykonano zgodnie z normą PN-EN 1563:2000 w formach piaskowych z masy bentonitowej. Żeliwo wytapiano z zastosowaniem pieca indukcyjnego średniej częstotliwości (pojemność tygla – 60 kg wsadu). Temperatura kąpieli metalowej wynosiła 1490°C, a sferoidyzację żeliwa w kadzi odlewniczej przeprowadzono w temperaturze 1430°C. Formy wlewków zalewano po osiągnięciu temperatury kąpieli wynoszącej 1390°C.

Tabela 1

Skład chemiczny badanych materiałów

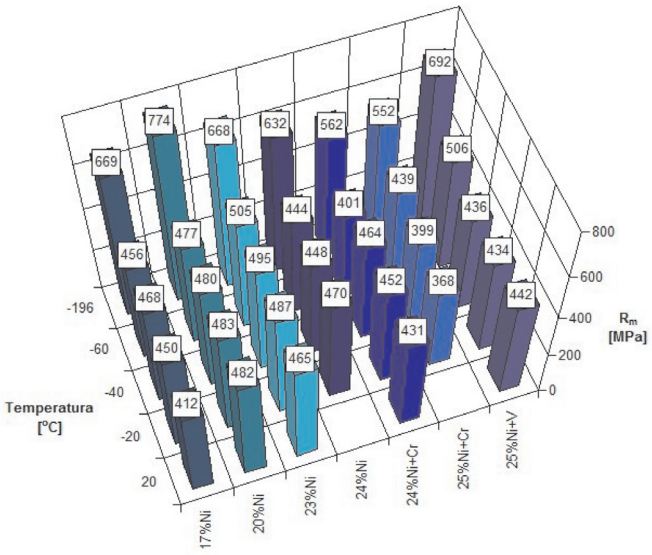
Wytop	Zawartość w % masowych								
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Cr	V
1	2,80	2,30	3,70	0,035	0,02	0,13	17	–	–
2	2,80	2,90	4,10	0,035	0,02	0,13	20	–	–
3	2,40	2,25	3,75	0,035	0,02	0,12	23	–	–
4	2,90	2,60	4,10	0,04	0,015	0,06	24	–	–
5	3,00	2,30	4,10	0,04	0,010	0,05	24	1,2	–
6	2,90	2,70	4,15	0,03	0,016	0,06	25	1,15	–
7	2,50	2,70	4,00	0,04	0,018	0,08	25	–	0,60

Właściwości wytrzymałościowe określono na podstawie wyników statycznej próby rozciągania. Próbę przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1273 o maksymalnym obciążeniu 100kN, wykorzystując próbki pięciokrotne o średnicy d_o = 5 mm z gwintowaną częścią chwytową. Próbki wykonano zgodnie z normą EN-1563:2000. Próby przeprowadzono w temperaturach +20°C, –20°C, –40°C, –60°C i –196°C, zrywając po trzy próbki dla każdego poziomu temperatury, zakres pomiarowy maszyny wytrzymałościowej wynosił 10, 20 i 25 kN. Próby rozciągania w temperaturach +20°C, –20°C i –40°C przeprowadzono z zastosowaniem komory klimatycznej INSTRON 3110 oraz suchego lodu. Temperaturę próby –196°C uzyskano z użyciem ciekłego azotu. Statyczną próbę rozciągania wykonano zgodnie z normami: EN-10002-5:1991, EN-10002-1:2001.

3. Wyniki badań i ich analiza

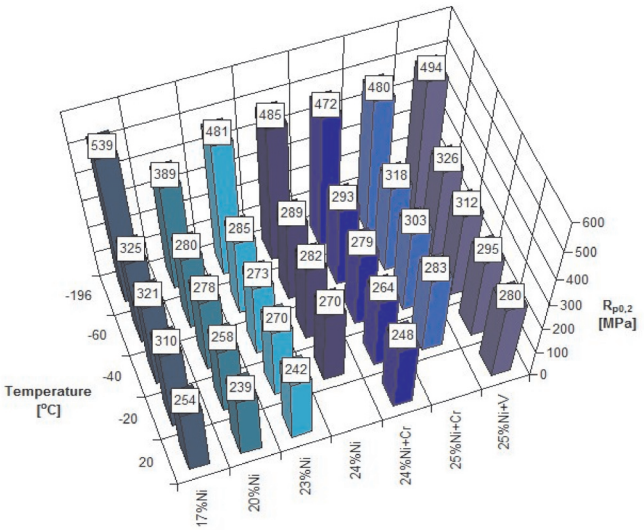
Wyniki ze statycznej próby rozciągania zaprezentowano w sposób graficzny. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ temperatury na wytrzymałość na rozciąganie (R_m) badanych materiałów. Wartości umownej granicy plastyczności dla badanych żeliw w zależności od warunków temperaturowych prób zamieszczono na rys. 2. Właściwości plastyczne: wydłużenie (A_5) oraz przewężenie (Z) przedstawiono – odpowiednio – na rys. 3 i 4.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 1. Wpływ temperatury na wytrzymałość na rozciąganie R_m badanego żeliwa

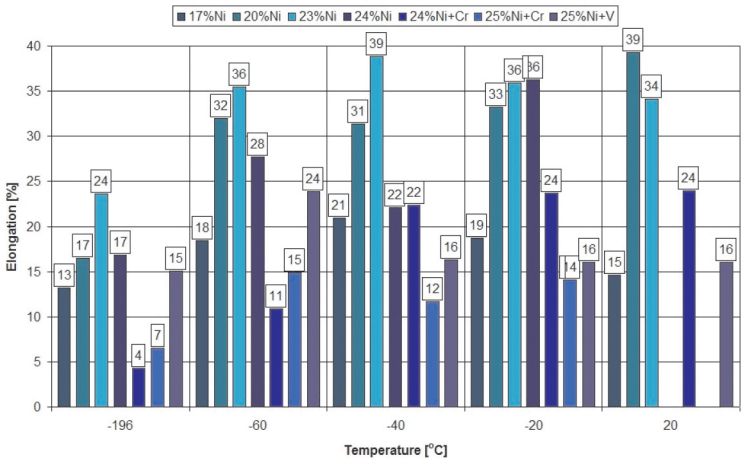
Fig. 1. The effect of temperature on the tensile strength R_m of the examined cast iron



Rys. 2. Wpływ temperatury na umowną granicę plastyczności $R_{p0,2}$ badanego żeliwa

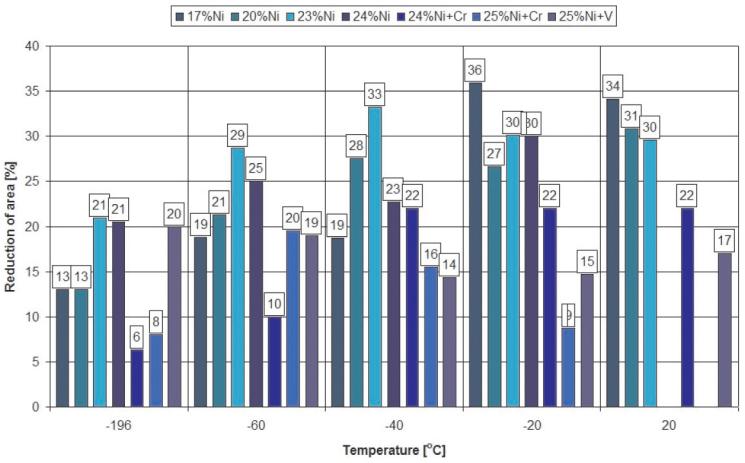
Fig. 2. The effect of temperature on the yield strength $R_{p0,2}$ of the examined cast iron

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 3. Wpływ temperatury na wydłużenie A_5 badanego żeliwa

Fig. 3. The effect of temperature on the elongation A_5 of the examined cast iron

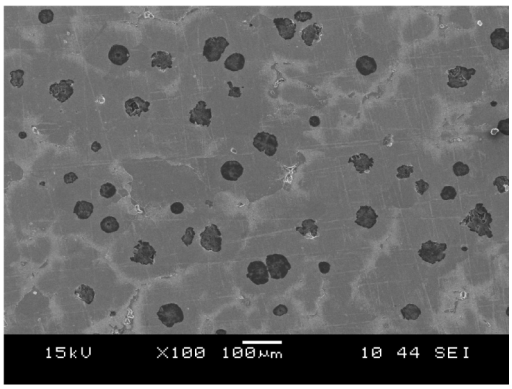


Rys. 4. Wpływ temperatury na przewężenie Z badanego żeliwa

Fig. 4. The effect of temperature on the reduction of area Z of the examined cast iron

Do obserwacji mikrostruktury oraz przełomów wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy JSM 6460LV firmy JEOL, wyposażony w spektrometr EDS. Analizowane materiały odznaczały się dość niejednorodnym rozmieszczeniem grafitu w osnowie, przy czym przeważały wydzielenia o sferoidalnym kształcie. Osnowę poszczególnych materiałów stanowił austenit, nie stwierdzono wydzieleń martenzytu nawet w materiale o najniższej zawartości niklu (17%). Typową strukturę charakterystyczną dla austenitycznego żeliwa sferoidalnego przedstawiono na rys. 5 (wytop 2).

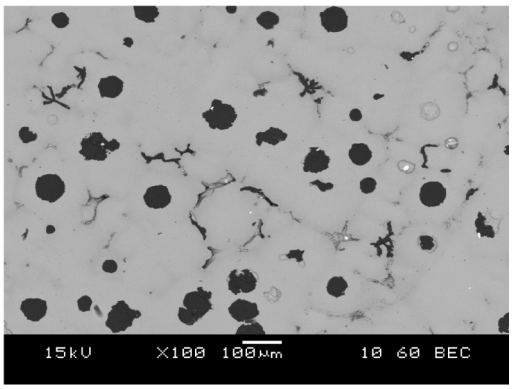
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 5. Mikrostruktura żeliwa o zawartości 20% niklu (wytop 2)

Fig. 5. The microstructure of 20% Ni cast iron (melt 2)

Analiza mikrostruktur poszczególnych materiałów ujawniła występowania zdegenerowanych wydzieleń grafitu, określanych jako *spiky graphite* (rys. 6). Jak podano w pracy [9], nazwa ta odnosi się do jednej z form wydzieleń zdegenerowanego grafitu, a stopień tej degeneracji klasyfikuje się wg wzorców (*vermicular*, *spiky*, *coral*, *exploded*).



Rys. 6. Mikrostruktura żeliwa o zawartości 25% niklu ze zdegenerowanymi wydzieleniami grafitu

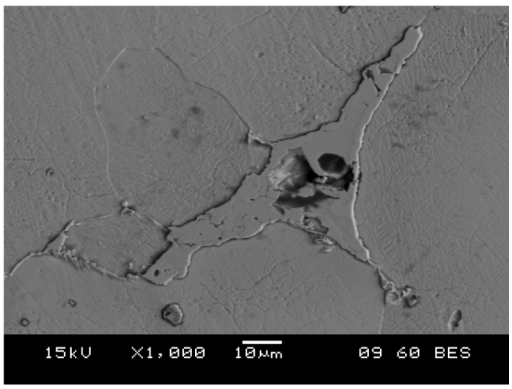
Fig. 6. The microstructure of 25% Ni cast iron with precipitates of the degenerated graphite

Ogólnie silnie zdegenerowaną postać wydzieleń grafitu, znacznie odbiegającą od oczekiwanej postaci kulkowej, określa się mianem *chunky*. Wydzielenia grafitu chunky pierwotnie wzrastały jako regularne sferoidy, a następnie ulegały deformacji, tworząc najbardziej rozproszoną formę wydzieleń. Taka forma występowania grafitu wpływa niekorzystnie na właściwości wytrzymałościowe oraz plastyczne żeliwa, co zostało podane w pracach [10–12]. Struktura żeliwa z wydzieleniami grafitu zdegenerowanego może wystąpić w odlewach

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

o grubych ściankach, jak również w wyniku zastosowania modyfikatorów zawierających Ce, Ca lub Al [4, 11, 13]. Użycie modyfikatora zwierającego Al prowadzi, z jednej strony, do rozdrobnienia oraz zwiększenia ilości sferoidów, z drugiej zaś, co przedstawiono w pracy [9], umożliwia wydzielanie się grafitu w postaci zdegenerowanej (*chunky graphite*). Ponadto analiza mikrostruktury żeliwa ujawniła występowanie złożonych faz międzymetalicznych. Wydzielone fazy, o dość nieregularnym kształcie, rozmieszczone były głównie po granicach ziarna austenitu. Charakterystyczne dla analizowanych materiałów było występowanie wydzieleń faz międzymetalicznych w postaci pierścieni i siatki, jak również zlokalizowanych wewnątrz wydzieleń grafitu. Wyniki przedstawione w pracy [14] dowodzą, że przy zawartości siarki na poziomie 0,02% możliwe jest występowanie wydzieleń siarczków magnezu, zlokalizowanych wewnątrz wydzieleń grafitu. Skład chemiczny oraz kształt tych faz zależą nie tylko od zastosowanego modyfikatora, lecz także od zawartości siarki w żeliwie. Analiza mikrostruktury wykonana z użyciem elektronów wstecznie rozproszonych ujawniła występowanie faz wewnątrz wydzieleń grafitu, jednak ze względu na jej niewielkie rozmiary analiza składu chemicznego za pomocą spektrometru EDS obarczona była zbyt dużym błędem.

Obserwacje wydzieleń faz międzymetalicznych przy powiększeniach 1000x i wyższych ujawniła ich dużą niejednorodność. W środkowej części wydzieleń określanych jako „złożone fazy międzymetaliczne" dominowały mikroobszary bogate w nikiel, mangan i magnez oraz obszary, w których przeważającym ilościowo pierwiastkiem było aluminium. Pomiędzy częścią środkową a ziarnami austenitu były obszary o mniejszej zawartości magnezu oraz większej, w porównaniu z częścią środkową, zawartością żelaza (rys. 7). Fazy międzymetaliczne występowały również w postaci otoczek wokół wydzieleń grafitu, a zaobserwowane wydzielenia bogate w aluminium usytuowane były na granicy międzyfazowej grafit–austenit.



Rys. 7. Mikrostruktura żeliwa o zawartości 20% niklu (wytop 2)

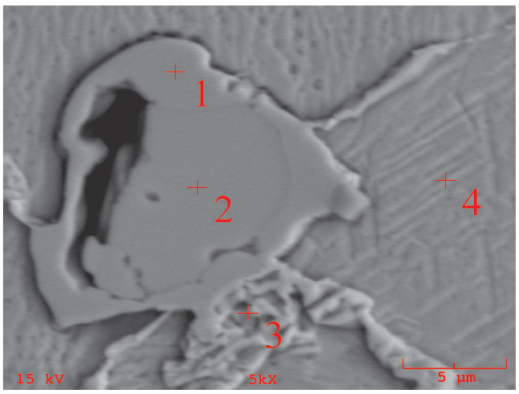
Fig. 7. The microstructure of 20% Ni cast iron (melt 2)

Złożoność zaobserwowanych faz potwierdzono analizami rozkładu pierwiastków, jak również analizami składu chemicznego w mikroobszarach (rys. 8, tab. 2). Metoda ta jednak nie pozwala jednoznacznie określić typu zaobserwowanych faz międzymetalicznych. Wydzielenia faz bogatych w pierwiastki stopowe odznaczały się dość dużą kruchością, sprzyjając tym samym rozprzestrzenianiu się pęknięć kruchych. Pęknięcia przebiegające przez całą długość

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

wydzielonej fazy były charakterystyczne dla badanych materiałów. Analiza mikrostruktury materiałów wykonana przy mniejszych powiększeniach wykazała, że obszary w najbliższym sąsiedztwie sferoidalnego grafitu były wolne od wydzieleń faz międzymetalicznych.

W związku ze stwierdzonym spadkiem właściwości plastycznych badanych materiałów w temperaturze granicznej (tj. –196°C) oraz biorąc pod uwagę przeznaczenie badanych materiałów, uznano za celowe przeprowadzenie na mikroskopie skaningowym obserwacji przełomów próbek rozciąganych. Uzyskane przełomy miały charakter transkrystaliczny, przy czym największe odkształcenie austenitycznej osnowy następowało w okolicach wydzieleń sferoidalnego grafitu. W materiale zaobserwowano prócz pęknięć o charakterze ciągliwym również pęknięcia kruche, biegnące wzdłuż granic ziaren. Liczne pęknięcia kruche są wynikiem występowania w żeliwie kruchej fazy międzymetalicznej, ujawnionej podczas obserwacji mikrostruktury. Pęknięcia kruche obserwowano przeważnie przy większych powiększeniach, dodatkowo badanie przełomów z użyciem systemu BES ujawniło, że w najbliższym sąsiedztwie pęknięć kruchych występują liczne wydzielenia fazy bogatej w aluminium. Obserwacja przełomów przy mniejszych powiększeniach ujawniła, że w obszarach w najbliższym sąsiedztwie grafitu sferoidalnego występowały wyłącznie pęknięcia o charakterze ciągliwym. Przypuszcza się, że kruche pęknięcia międzykrystaliczne poprzedzone zostały transkrystalicznymi pęknięciami fazy międzymetalicznej wydzielonej w sposób dość nieregularny po granicach ziaren austenitu oraz w postaci siatki.



Rys. 8. Mikrostruktura żeliwa o zawartości 17% niklu (wytop 1)

Fig. 8. The microstructure of 17% Ni cast iron (melt 1)

Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższe właściwości wytrzymałościowe wykazywały próbki z wytopów 2 i 3 oraz w zakresie temperatury od –60°C do –196°C z wytopu 7 (zawartość niklu w poszczególnych wytopach, odpowiednio: 20%, 23% i 25%). Najwyższą wartość umownej granicy plastyczności w temperaturze –196°C odnotowano dla wytopu 1 o zawartości niklu na poziomie 17%. W pozostałych temperaturach równie wysoką granicą plastyczności co wytop 1 odznaczało się żeliwo z wytopu 7, zawierające 25% niklu. W wypadku właściwości plastycznych w zakresie temperatury od –60°C do –196°C najwyższe wartości wydłużenia trwałego oraz przewężenia wykazywało żeliwo z wytopu 3, o zawartości niklu równej 23%.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Materiały o najwyższej zawartości niklu (24% i 25%), jak również z dodatkiem chromu odznaczają się w temperaturze –196°C najniższym wydłużeniem i przewężeniem, przy czym wartość tych parametrów nie przekracza w obu wypadkach 10%. W tych samych warunkach temperaturowych żeliwo o zbliżonej zawartości niklu, jednak bez dodatku chromu, odznaczało się przewężeniem oraz wydłużeniem równomiernym dwukrotnie wyższym.

Przedstawione wyniki potwierdzają możliwość stosowania żeliwa sferoidalnego austenitycznego na odlewy do pracy w obniżonej temperaturze.

Tabela 2

Analiza składu chemicznego w mikroobszarach oznaczonych jak na rys. 8 (żeliwo o zawartości 17%Ni – wytop 1)

	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Punkt 4	
Elt.	Conc wt.%	Error 2-sig	Conc wt.%	Error 2-sig	Conc wt.%	Error 2-sig	Conc wt.%	Error 2-sig
C	15,84	0,76	11,30	0,75	17,80	0,77	6,54	0,49
O	0,80	0,10	0,13	0,04	2,55	0,19	5,86	0,26
Mg	8,67	0,23	16,50	0,29	0,24	0,03	0,11	0,02
Al	0,03	0,01	0,01	0,007	0,06	0,01	0,09	0,02
Si	0,12	0,02	6,81	0,16	1,05	0,06	2,98	0,11
P	0,08	0,01	4,28	0,13	0,18	0,02	0,22	0,03
S	0,09	0,01	0,02	0,008	0,08	0,01	0,03	0,01
Cr	0,15	0,03	0,11	0,02	0,23	0,03	0,12	0,02
Mn	10,27	0,30	4,70	0,19	8,94	0,29	6,66	0,24
Fe	43,55	0,69	5,62	0,22	62,63	0,85	61,57	0,82
Ni	19,98	0,60	49,85	0,91	5,79	0,33	15,21	0,52
Cu	0,40	0,09	0,66	0,12	0,40	0,10	0,60	0,12

4. Podsumowanie

W miarę zwiększania zawartości Ni pojawia się tendencja do tworzenia osnowy austenitycznej, a graniczna wartość stężenia Ni niezbędna do uzyskania trwałej osnowy austenitycznej zależy od grubości ścianki, a także od zawartości innych pierwiastków stopowych (Cu, Cr, Mn, Si). Ze względu na zwiększanie aktywności węgla w ciekłym żeliwie oraz na rozszerzanie zakresu temperatury eutektycznej nikiel sprzyja grafityzacji podczas krzepnięcia. Korzystny wpływ na eliminowanie zabieleń odlewów żeliwnych słabnie jednak w miarę zwiększania zawartości niklu w żeliwie, dlatego wysokoniklowe żeliwo austenityczne musi zawierać określoną zawartość krzemu. Pozwala to uzyskać w odlewach strukturę wolną od zabieleń (wydzielenia eutektyki cementytowej). Dodatkowo wprowadzenie manganu do żeliwa wysokoniklowego powoduje zanik wydzieleń martenzytu w osnowie oraz wyraźne zwiększenie udarności w niskich temperaturach.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, do zapewnienia wysokiej jakości żeliwa sferoidalnego o osnowie austenitycznej skład chemiczny żeliwa przed sferoidyzowaniem powinien mieścić się w granicach: 3,0–3,5% C; 1,8–2,0% Si; 3,5–4,0% Mn; 0,04% P; 0,02% S; 20–24% Ni. W celu uzyskania żeliwa o ww. składzie chemicznym i minimalnej zawarto-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

ści innych pierwiastków najkorzystniejszy wsad metalowy powinien składać się z surówki LS, miękkiego złomu stalowego, złomu obiegowego austenitycznego żeliwa sferoidalnego, z czystych żelazostopów FeSi, FeMn, elektrokostek itp. Przed sferoidyzowaniem żeliwo powinno zostać przegrzane do temperatury ok. 1480°C. Ze względu na korzystny wpływ niklu na kształtowanie struktury, do sferoidyzowania najlepiej zastosować zaprawę magnezowo-niklową (17% Mg) w ilości 1,8–2,0% w stosunku do masy metalu, zapewniającą uzyskanie zawartości magnezu w żeliwie w zakresie 0,03–0,05%. Najkorzystniejszym modyfikatorem wpływającym na utworzenie właściwego kształtu i ilości grafitu kulkowego oraz struktury osnowy metalowej jest czysty technicznie żelazokrzem FeSi75T. Istotny wpływ na ukształtowanie właściwej struktury żeliwa ma temperatura odlewania żeliwa, która powinna być utrzymana w granicach 1380–1400°C. Dotrzymanie przedstawionych warunków procesu wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego o osnowie austenitycznej zapewnia uzyskanie tworzywa o optymalnych właściwościach mechanicznych.

Literatura

[1] Podrzucki C., *Żeliwo – struktura, właściwości, zastosowanie*, ZG STOP, Kraków 1991.

[2] Sakwa W., *Żeliwo*, Wyd. „Śląsk", Katowice 1974.

[3] Tabor A., *Odlewnictwo*, Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości, Politechnika Krakowska, Kraków 2007.

[4] Guzik E., Kopyciński D., *Struktura oraz udarność żeliwa austenitycznego przeznaczonego do pracy w niskich temperaturach*, Archiwum Odlewnictwa – Archives of Foundry 4, PAN Oddział Katowice 2004, 12, 115-120.

[5] Rączka J.S., Tabor A., *Optymalizacja składu chemicznego i technologii wytwarzania austenitycznego żeliwa sferoidalnego, Odlewnictwo – Nauka i Praktyka*, Instytut Odlewnictwa, zeszyt specjalny 2/2004.

[6] Dziadur W., Lisak J., Tabor A., *Badania korozyjne żeliwa sferoidalnego wysokoniklowego, Odlewnictwo – Nauka i Praktyka*, Instytut Odlewnictwa, zeszyt specjalny 2/2004.

[7] Tabor A., Dziadur W., Zarębski K., *Badania właściwości mechanicznych austenitycznego żeliwa sferoidalnego*, II Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. „Problemy Jakości Stymulatorem Rozwoju Technologii Bezodpadowych", Kraków 1999.

[8] Tabor A., *Mechanizm procesu krystalizacji i kształtowania struktury oraz własności austenitycznego żeliwa sferoidalnego*, sprawozdanie z projektu badawczego 7T08B 030 13.

[9] Ignaszak Z., Ciesiołka J., *Znaczenie synergii wiedzy w identyfikacji i interpretacji wybranych wad odlewniczych na przykładzie odlewów z żeliwa sferoidalnego*, Materiały Konferencyjne XII Seminarium nt. „Nieniszczące Badania Materiałów", Zakopane 14–14 marca 2007.

[10] Harvey J.N., *G.A. Noble: Inoculation of Cast Irons, An Overview*, 55th Indian Foundry Congress, 2007.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[11] Oluwole O.O., Olorunniwo O.E., Ogundare O.O., Atanda P.O., Oridota O.O., *Effect of Magnesium and Calcium as Spheroidizers on the Graphite Morphology in Ductile Cast Iron*, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 6, No. 1, 2007, 25-37.

[12] Ecob C.M., *A Review of Common Metallurgical Defects in Ductile Cast Iron*, AFC-9 9th Asian Foundry Congress, Hanoi, Vietnam, 15–18 October, 2005.

[13] Shoji K., Masayuki S., Haruyoshi S., Kokichi N., *Formation Mechanism of Chunky Graphite in Heavy Section Spheroidal Graphite Cast Iron*, Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol. 72, No. 5, 2000, 311-316.

[14] Nakae H., Ygarashi Y., *Influence of Sulfur on Heterogenous Nucleus Spheroidal Graphite*, Materials Transactions, Vol. 43, No. 11, 2002, 2826-2831.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ