

## STRUKTURA ORAZ UDARNOŚĆ ŻELIWA AUSTENITYCZNEGO PRZEZNACZONEGO DO PRACY W NISKICH TEMPERATURACH

E. GUZIK<sup>1</sup>, D. KOPYCIŃSKI<sup>2</sup>

Wydział Odlewnictwa AGH, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań strukturalnych oraz badań udarności żeliwa sferoidalnego austenitycznego z różnymi dodatkami niklu (15% do 30%) oraz manganu ok. 1.6%. W miarę zwiększania zawartości Ni pojawiają się obok grafitu kulkowego, zdegenerowane wydzielania grafitu (grafit „chunky”). Wprowadzenie manganu do żeliwa wysokoniklowego powoduje zanik wydzielen martensytu w osnowie oraz wyraźne zwiększenie udarności w niskich temperaturach. W pracy przedstawiono omówienie wyników i wnioski.

*Key words: nodular cast iron, austenitic matrix, impact strength*

### 1. WPROWADZENIE

Prawidłowy dobór żeliwa na odlewy, pracujące w niskiej temperaturze nabiera coraz większego znaczenia w związku z rozwojem techniki związanej z n.p.: kriotechniką, nadprzewodnictwem w niskiej temperaturze czy rozwojem przemysłu w klimacie polarnym. 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

---

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż., [guz@uci.agh.edu.pl](mailto:guz@uci.agh.edu.pl)

<sup>2</sup> Dr inż., [djk@uci.agh.edu.pl](mailto:djk@uci.agh.edu.pl)

na celu otrzymanie w osnowie austenitu. Tego rodzaju żeliwo można stosować w zakresie do temperatury – minus 200°C. Utrzymanie osnowy austenitycznej w takich temperaturach wymaga zwiększenia zawartości niklu do 30-35%. Przy mniejszej zawartości niklu w żeliwie w strukturze obserwuje się niekorzystne wydzielenia martenzytu. Osnowę austenityczną (bez wydzielen martenzytu) można uzyskać również przy mniejszej zawartości niklu, ale wymaga to wprowadzenia manganu i (lub) miedzi w ilości, zależnej od wymaganej temperatury pracy odlewu.

Jak wynika z analizy literatury [1,2,3] nikiel i mangan są kluczowymi pierwiastkami w projektowaniu żeliwa gatunków Ni-Resist. Nikiel rozpuszcza się zarówno w ciekłym żeliwie, jak i w jego roztworach stałych bez ograniczeń. Z wykresu Fe-C-Ni wynika, że w obszarze naroża Fe występują pola, odpowiadające obecności w strukturze stopu takich składników struktury, jak roztwory stałe C i Ni w  $Fe\alpha$  lub  $Fe\gamma$  oraz cementyt  $Fe_3C$ , zawierający nieznaczne ilości Ni.

Nikiel obniża temperaturę przemiany eutektoidalnej oraz zwiększa trwałość austenitu w zakresie przemian perlitycznej i bainitycznej, ograniczając zarazem temperaturowy zakres przemiany perlitycznej. Między zakresami obydwu przemian rozpościera się szeroki obszar stabilnego austenitu. Przesuwanie przemiany eutektoidalnej ku niższej temperaturze powoduje, iż nikiel - przy małej zawartości - wyklucza ferrytyzację bezpośrednią w stygnących odlewach. Wskutek tego, iż przemiana eutektoidalna zachodzi w niższej temperaturze, w produkcji tej przemiany - perlicie - mniejsza jest odległość międzyplątkowa.

Celem pracy jest określenie wpływu niklu i manganu na mikrostrukturę oraz udarność austenitycznego żeliwa sferoidalnego.

## 2. METODYKA BADAŃ

W trakcie badań wykorzystano: surówkę specjalną (TUŁA) – 4.06%C, 0.54%Si, 0.04%Mn, 0.01%Cr, 0.042%P, 0.013%S, złom stalowy – 0.28%C, 0.02%Si, 0.1%Mn, krzem technicznie czysty – 99.98%Si, nikiel elektrolityczny – 98.9%Ni, modyfikator SB5 (SKW TROSBERG), zaprawę  $FeNiMg16Ce$  (53.3%Ni, 16.4%Mg, 0.92%Ce).

Wsad metalowy układano w tyglu wg następującej kolejności: złom stalowy, krzem technicznie czysty, surówka oraz nikiel. Po roztopieniu wsadu, metal przegrzewano do 1490°C i wytrzymywano go przez około 90 sekund. Następnie odlewano krążek  $\phi 45 \times 4$  mm – wyjściowy – do analizy chemicznej oraz wykonywano zabieg jednoczesnej sferoidyzacji i modyfikacji metodą dzwonową. Po zabiegu sferoidyzacji i modyfikacji odlewano wlewki typu „U” oraz krążek do analizy chemicznej.

Z wlewki typu „U” pobierano próbki badań metalograficznych i udarności KCV w niskich temperaturach. Analizę chemiczną wykonanych wytopów przeprowadzono metodą klasyczną (mokrą) w Hucie im. T. Sendzimira S.A. w Laboratorium Badań Chemicznych T-22 oraz metodą spektrometryczną w Laboratorium WSK Rzeszów.

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W wyniku otrzymanych wytopów żeliwa, których skład chemiczny zamieszczono w tabeli 1, uzyskano odpowiednie próbki do badań metalograficznych. Przy zawartościach niklu rzędu 20% otrzymano w osnowie wydzielenia martenzytu. Mikrostrukturę o osnowie austenityczną otrzymano dopiero przy zawartości 25% niklu. Pewne dodatki manganu do żeliwa zawierającego 20%Ni prowadzą do zaniku wydzielen martenzytu w osnowie.

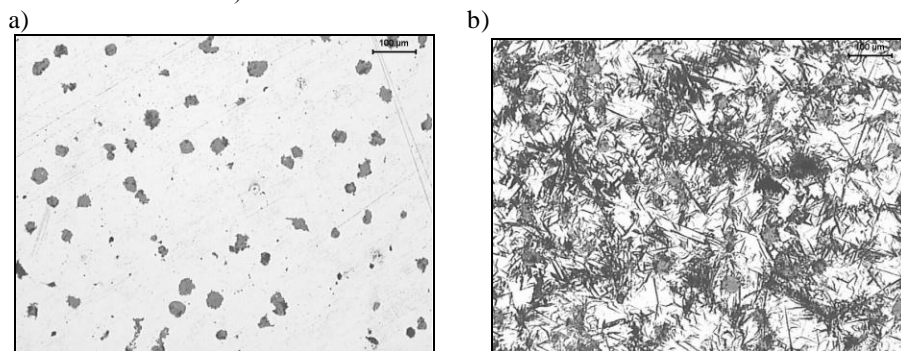
Tabela 1. Skład chemiczny badanego żeliwa

Table 1. Chemical composition of the examined ductile iron.

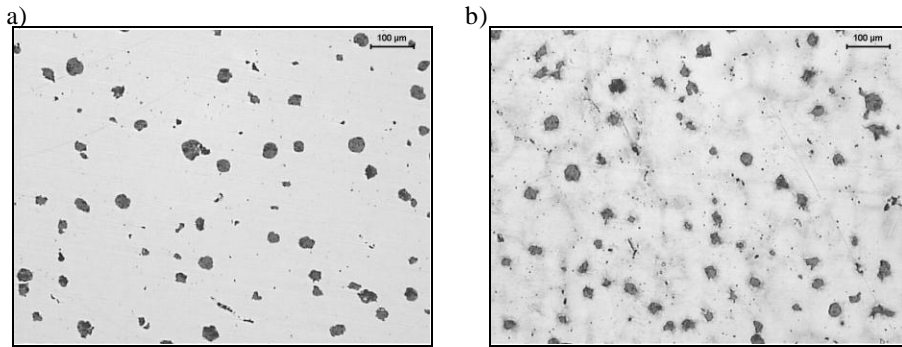
<i>Nr</i>	Ni ±1%	C ±0.1%	Si ±0.1%	Mg	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	Sc*
1	15	2.5	2.0	0.05	0.1	0.04	0.70
2	20	2.5	2.0	0.05	0.1	0.04	0.97
3	25	2.5	2.0	0.07	0.1	0.04	1.08
4	20	2.5	2.0	0.06	1.6	0.04	0.96
5	30	2.5	2.0	0.07	0.1	0.04	1,22

$$Sc^* = C/[4.30 \cdot (\%Si) - 0.047 \cdot (\%Ni) + 0.0055 \cdot (\%Ni) \cdot (\%Si)] \quad [4]$$

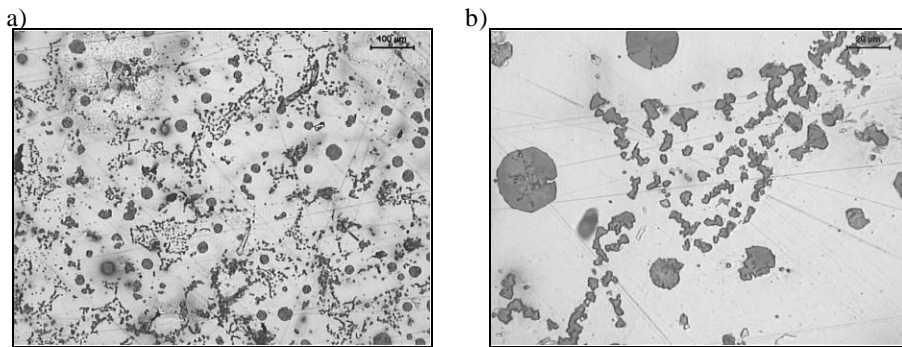
Na rysunku 1 pokazano mikrostrukturę żeliwa z wydzieleniami w osnowie martenzytu z wytopu nr 2 pomimo, iż przy wytapianiu żeliwa sferoidalnego standardowego, nie obserwuje się tego zjawiska. Natomiast rysunek 2 przedstawia mikrostrukturę żeliwa z wytopu nr 3, gdzie osnową jest austenit. Jednak w miarę zwiększania zawartości Ni pojawiają się zdegenerowane wydzielenia grafitu (grafit „chunky”) obok grafitu kulkowego, co pokazano na rys 3. Wydaje się że jest to wynikiem zastosowania zaprawy magnezowej z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich (zawartość 0.92% ceru).



Rys. 1. Mikrostruktura odlewu z wytopu nr 2; a)- zgląd nietrawiony, b)- zgląd trawiony  
Fig 1. Microstructure of austenitic ductile iron from melt No 2.



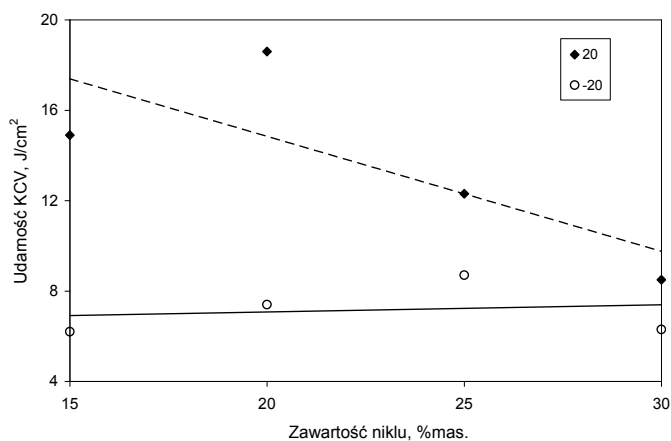
Rys. 2. Mikrostruktura odlewu z wytopu nr 4; a)- zgląd nietrawiony, b)- zgląd trawiony  
 Fig 2. Microstructure of austenitic ductile iron from melt No 4.



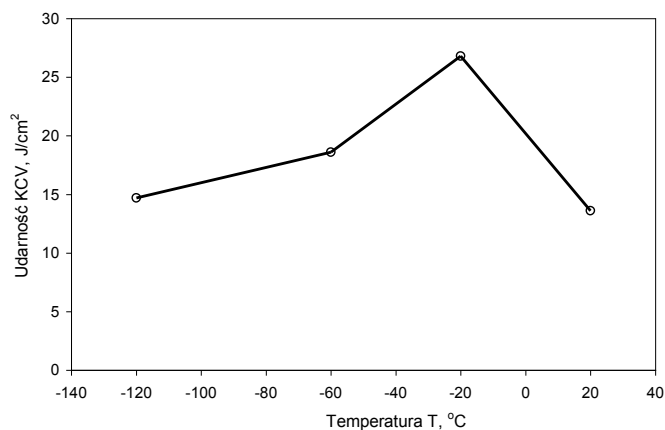
Rys. 3. Mikrostruktura odlewu z wytopu nr 3; a, b)- zglądy trawione  
 Fig 3. Microstructure of austenitic ductile iron from melt No 3.

Na rysunkach nr 4 i 5 przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wysokoniklowego żeliwa austenicznego w odniesieniu do udarności - najbardziej istotnego (z uwagi na kierunek jego zmian) wskaźnika właściwości mechanicznych żeliwa do pracy w niskiej temperaturze.

Z badań zestawionych na rysunku 4 wynika, iż w temperaturze otoczenia wraz ze wzrostem zawartości niklu udarność maleje. Natomiast w temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  udarność odlewów wraz ze zwiększeniem zawartości niklu posiada niewielką tendencję wzrostową. Na rys. 5 pokazano wpływ temperatury na udarność żeliwa z wytopu nr 4.



Rys. 4. Wpływ zawartości niklu na udamność żeliwa sferoidalnego austenitycznego  
 Fig. 4. Influence of nickel additions on the impact strength of austenitic ductile iron.



Rys. 4. Wpływ temperatury na udamność żeliwa austenitycznego z wytopu nr 6  
 Fig. 4. Influence of temperature on the impact strength of austenitic ductile iron.

### PODSUMOWANIE

W miarę zwiększania zawartości Ni pojawia się tendencja do tworzenia osnowy martenzytycznej. Poczynając od ok. 20% Ni uzyskuje się osnowę austenityczną; graniczna wartość stężenia Ni dla uzyskania trwałej osnowy austenitycznej zależy od grubości ścianki a także od zawartości innych pierwiastków stopowych (Cu, Cr, Mn, Si). Z uwagi na zwiększanie aktywności węgla w ciekłym żelwie oraz na rozszerzanie

zakresu temperatur eutektycznych nikiel sprzyja grafityzacji podczas krzepnięcia (zmniejsza skłonność do zabielen). Korzystny wpływ na eliminowanie zabielen odlewów żeliwnych słabnie w miarę zwiększania się zawartości Ni w żeliwie; wskutek tego wysokoniklowe żeliwo austenityczne musi zawierać pewną ilość Si, w przeciwnym razie trudno byłoby zapewnić odlewom strukturę wolną od zabielen.

Wprowadzenie manganu do żeliwa wysokoniklowego powoduje zanik wydzielen martensytu w osnowie oraz wyraźne zwiększenie udarności w niskich temperaturach.

Następnym etapem badań będzie opracowanie składu chemicznego żeliwa austenitycznego z grafitem kulkowym, który zapewni wysoką udarność w połączeniu z dobrymi własnościami plastycznymi i możliwie jak największą wytrzymałością na rozciąganie.

## LITERATURA

- [1] C. Podrzucki. *Żeliwo. Struktura, właściwości, zastosowanie*. Wyd. ZG STOP 1991.
- [2] *Source Book on Ductile Iron*. Ed. A.H. Rauch, Wyd. American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1977.
- [3] Norma EN 13835 “*Founding – Austenitic Cast Iron*” – 2002.
- [4] K. Rohrig, H. Gerlach, *O. Nickel. Legiertes Gusseisen*. Dusseldorf 1974

*Pracę zrealizowano w ramach Działalności Statutowej Ministerstwa N. i Informatyzacji*

## STRUCTURE AND IMPACT STRENGTH OF AUSTENITIC DUCTILE IRON

### SUMMARY

The study shows the results of impact strength tests carried out on austenitic ductile iron with various additions of nickel (15%÷30%Ni) and 1.6% manganese.

By increasing the Ni content it was obtained ductile iron with degeneration of graphite nodules and so called “chunky” graphite. Introducing into liquid cast iron the amount of Mn approximate adequately 1,6% cause the austenitic matrix is observed in nodular cast iron and increasing impact strength.

The final part of the study includes discussion of results and conclusions.

Recenzował: prof. zw. dr hab. inż. Stanisław Pietrowski