

Modyfikacja staliwa niskostopowego Cr-Mn-Si-Ni-Mo borem, tytanem i MZR

S. Sobula^{a*}, G. Tęcza^b, O. Krasa^c, W. Wajda^d

^{a, b} Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

^c HSW Odlewnia Sp. z o.o., ul. Kwiatkowskiego 1, Stalowa Wola

^d Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: sobula@agh.edu.pl

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

Staliwo niskostopowe jest materiałem o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, chętnie stosowanym na elementy maszyn pracujących w warunkach dużych obciążeń, a także w warunkach zużycia ściernego. Świetne właściwości wytrzymałościowe otrzymywane podczas produkcji odlewów z tego staliwa ($R_m > 1300$ MPa), są uzyskiwane kosztem obniżenia plastyczności, która nie przekracza 10%. Dlatego celem badań była taka modyfikacja mikrostruktury, która pozwoliłaby otrzymać rozdrobnienie ziarna w stanie lanym, gwarantujące dobrą plastyczność po obróbce cieplnej odlewów. W artykule omówiono wyniki modyfikacji mikrostruktury staliwa L20HGSNM o zawartości 0,19±0,23 %C; 0,75±0,86 %Si; 0,93±1,02 %Mn; 0,60±0,65 %Cr; 1,02±1,10 %Ni i 0,13±0,16 %Mo. Modyfikację przeprowadzono przy pomocy żelazoboru, żelazotytanu i miszmetal. Modyfikatory wprowadzono podczas spustu stali do kadzi. Stal odlewano do form piaskowych. Próbki do badań wycinano z wlewków typu Y przyłączonych do odlewów. Badano wpływ modyfikatorów na strukturę w stanie lanym, a także właściwości mechaniczne po ulepszeniu cieplnym. Uzyskano wydłużenie staliwa powyżej 12% przy wytrzymałości na rozciąganie przekraczającej 1000 MPa.

Słowa kluczowe: modyfikacja staliwa, staliwo niskostopowe, właściwości mechaniczne staliwa.

1. Wprowadzenie

Staliwo niskostopowe jest cennym materiałem ze względu na połączenie wysokich właściwości wytrzymałościowych z dobrą plastycznością a także optymalny ze względów konstrukcyjnych stosunek R_e/R_m . Parametr ten wynosi w praktyce powyżej 0,7 a z badań własnych autora wynika, że może on wynosić nawet powyżej 0,9 [1]. Zastosowanie dodatkowych zabiegów metalurgicznych takich jak obróbka pozapiecowa, lub modyfikacja daje możliwość zwiększenia wytrzymałości i plastyczności. Metody

zwiększenia właściwości mechanicznych staliwa a szczególnie plastyczności, poprzez ograniczenie zawartości szkodliwych pierwiastków takich jak: siarka, fosfor, tlen, azot i wodór, a także wprowadzenie mikrodotyków są szeroko opisane w literaturze [2-7]. Popularnymi i często stosowanymi mikrodotykami mającymi właściwości modyfikujące, są takie pierwiastki jak: Ti, V, Nb. Tak na przykład, dla staliwa 340-550 po wprowadzeniu wanadu otrzymano właściwości mechaniczne porównywalne ze staliwem niskostopowym ($R_e \sim 600$ MPa, $R_m \sim 800$ MPa) [7]. Aby efekt modyfikacji wymienionymi wyżej pierwiastkami, był widoczny ich zawartość powinna wynosić poniżej 0,1%.

Tabela 1.
Skład chemiczny otrzymanych wytopów

Ozn.	% masowy								
	C	Sir	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Inne
W-0	0,19	0,80	0,93	0,014	0,013	0,60	1,04	0,13	0,024Al
W-1-Ti	0,22	0,86	1,00	0,018	0,008	0,66	1,02	0,15	0,047Ti
W-2-B	0,23	0,79	1,02	0,017	0,006	0,66	1,03	0,16	0,002B
W-3-MM	0,21	0,75	1,00	0,018	0,007	0,65	1,10	0,15	0,05Ti, MZR

Na tym tle interesująco rysuje się wpływ boru, którego ilość potrzebna do modyfikacji stali wynosi wielokrotnie mniej (0,002-0,005%). Należy tu także podkreślić, że mniejsze zużycie żelazostopu wpływa korzystnie na efektywność ekonomiczną odlewni. Dostępne dane literaturowe wskazują, że wprowadzenie do stali boru wywiera następujące efekty [8-10]:

- zwiększa hartowność,
- bor nie wywiera wpływu na temperaturę początku przemiany martenzytycznej,
- nie wpływa na procesy przebiegające podczas odpuszczania.

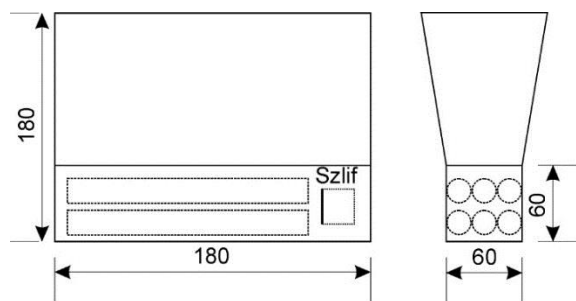
Zwiększenie hartowności staliwa po dodaniu niewielkiej ilości boru wpływa korzystnie na twardość i zużycie ściernie staliwa. Według A. K. Bhakata i in. [9], wprowadzenie 0,0023 %B do stali o zawartości 0,3 %C powoduje istotną poprawę odporności na ścieranie w porównaniu do takiej samej stali bez dodatku boru. Innymi cechami stali z borem jest ich wyższa plastyczność w wysokiej temperaturze. Według E. Lópeza-Chipreza i in. dodatek boru w ilości 0,002-0,0100% do stali o zawartości 0,04 %C i 1,5 %Mn zwiększa plastyczność (hot ductility) w zakresie temperatury 700-1000 °C [11].

Metale ziem rzadkich (MZR) są wprowadzane do ciekłej stali w postaci miszmetalów zawierającego głównie: 50-55 %Ce, 20-25 %La i 15-24 %Nd. Chętnie dodaje się je do stali stopowych, ale wpływają korzystnie także na właściwości stali węglowych i niskostopowych [12]. Niezaprzeczalnym efektem modyfikacji staliwa miszmetalem jest zwiększenie właściwości plastycznych a szczególnie udarności [13]. Efekt ten tłumaczy się silnym powinowactwem tych metali do tlenu, azotu, wodoru, siarki a także węgla, dzięki czemu zwiększa się czystość metalurgiczna stali. Dodatek MZR prowadzi także do sferoidyzacji wtrąceń niemetalicznych i rozdrobnienia struktury pierwotnej oraz usunięcia siatki ferrytu i struktury Widmannstaetena w staliwach średniowęglowych, dzięki czemu zwiększa się wytrzymałość i plastyczność tego staliwa [14].

2. Badania

W celu porównania skuteczności modyfikacji staliwa L20HGSNM wykonano 4 wytopy w warunkach HSW Odlewnia Sp. z o.o. Wytopy prowadzono w elektrycznym piecu łukowym o pojemności 4 Mg i wyłożeniu zasadowym. W czasie spustu odtleniano stal glinem a następnie wprowadzano dodatek modyfikujący w postaci żelazostopów (FeB15, FeTi70, miszmetal). Skład chemiczny wytopionej stali zestawiono w tabeli 1. Próbkę do badań

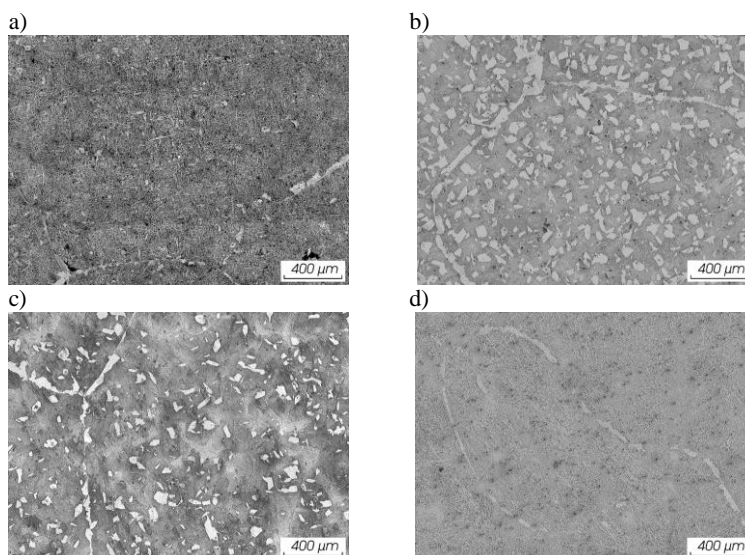
metalograficznych wycinano z wlewków próbnych typu Y przylanych do odlewów. Po wybiciu odlewów próby odcięto i poddano zgrubnej obróbce skrawaniem, a następnie przystąpiono do obróbki cieplnej. Wymiary wlewków i sposób wycięcia próbek przedstawiono na rys. 1. Obróbkę cieplną prowadzono na wałkach o średnicy 12 mm, które hartowano z temperatury 920 °C w 8% roztworze wodnym Polihartenolu HI a następnie odpuszczano w zakresie temperatury 500-640 °C. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono, przy pomocy maszyny wytrzymałościowej Instron 6025 firmy Zwick-Roell zgodnie z normą EN ISO 6892-1/2009.



Rys. 1. Schemat wycięcia próbek do badań wytrzymałościowych z próby przylanej typu V

3. Wyniki badań i ich analiza

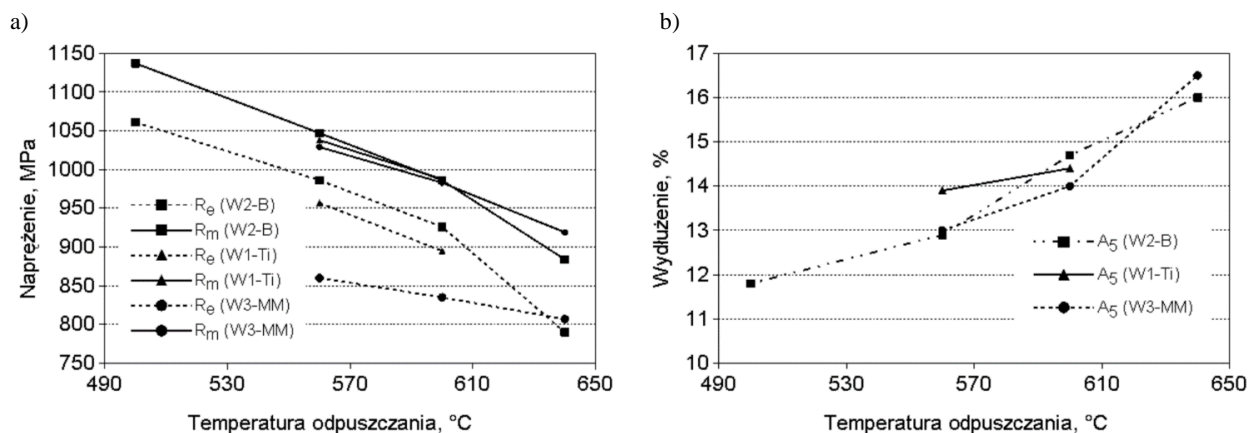
Na rys. 2 przedstawiono mikrostrukturę badanego staliwa przed modyfikacją (rys. 2a) a także po modyfikacji przy pomocy żelazotytanu, (rys. 2b), żelazoboru, (rys. 2c) i miszmetal, (rys. 2d). W mikrostrukturze obserwuje się znaczny udział perlitu a także nieliczne wydzielenia ferrytu w formie siatki na granicach ziaren, zarówno w strukturze stopu niemodyfikowanego W-0 (rys. 2a) jak i modyfikowanego miszmetalem W-3-MM (rys. 2d). Z kolei w strukturze stopu modyfikowanego żelazotytanem (W-1-Ti) i żelazoborem (W-2-B), obserwuje się wydzielenia ferrytu w formie siatki oraz wewnątrz ziaren perlitu, (rys. 2b i 2c). Największą ilość ferrytu, ze wszystkich badanych próbek, obserwuje się w staliwie modyfikowanym żelazotytanem, (rys 2b).



Rys. 2. Mikrostruktura badanego staliwa w stanie lanym, a) W-0, b) W-1-Ti, c) W-2-B, d) W-3-MM, traw. Nitałem, pow. 100x

Na rysunkach 3 i 4 zestawiono wyniki badań właściwości mechanicznych staliwa z wytopów W1-W3 w funkcji temperatury odpuszczania. Nie badano właściwości wytrzymałościowych staliwa niemodyfikowanego W-0, ponieważ jest to staliwo

znormalizowane (PN 90/H-83161) o wytrzymałości na rozciąganie powyżej 1300 MPa i granicy plastyczności powyżej 1100 MPa, charakteryzujące się wydłużeniem 6%.



Rys. 3. Wyniki pomiarów właściwości mechanicznych staliwa L20HGSNM po modyfikacji

Należy zauważyć, że tak dobre właściwości wytrzymałościowe staliwo L20HGSNM posiada po hartowaniu i niskim odpuszczaniu (200 °C). Podniesienie temperatury odpuszczania do 600÷650 °C wywołuje zmniejszenie wytrzymałości kosztem poprawy plastyczności. Według D. Bartocha i innych, [3] staliwo to po wysokim odpuszczaniu charakteryzuje się wytrzymałością na rozciąganie 941,7÷719,5 MPa, granicą plastyczności 872,1÷657,2 MPa i wydłużeniem 4,1÷3,6%.

Porównując te dane z wynikami otrzymanymi w niniejszej pracy, stwierdzono wysoką skuteczność zabiegu modyfikacji. Największą wytrzymałość na rozciąganie i granicę plastyczności uzyskano dla staliwa modyfikowanego żelazoborem, (rys. 3a). Jednak ze wzrostem temperatury odpuszczania (powyżej 600 °C)

obserwuje się skokowe obniżenie wytrzymałości. Z kolei w staliwo modyfikowanym miszmetalem (W-3-MM) po przekroczeniu tej temperatury nie obserwuje się takiego zjawiska i wytrzymałość obniża się liniowo. Należy zauważyć, że lepszy stosunek R_e/R_m ma staliwo modyfikowane borem i tytanem (0,89÷0,94), a w przypadku staliwa modyfikowanego miszmetalem ten parametr jest mniejszy i wynosi 0,84÷0,88. Właściwości plastyczne badanego staliwa zwiększają się z temperaturą odpuszczania (rys. 3b). Dla próbek z wytopu modyfikowanego żelazoborem wydłużenie wynosi od 11,8÷16,0%, a żelazotytanem od 13,9÷14,4. Po przekroczeniu temperatury odpuszczania powyżej 600 °C, staliwo modyfikowane miszmetalem wykazuje najlepszą wartość wydłużenia (16,5%).

Rozdrobienie ziaren i wzrost plastyczności w wyniku wprowadzenia zabiegu modyfikacji przekłada się na właściwości technologiczne staliwa, a w szczególności skłonność do pęknięć. Dotyczy to szczególnie odlewów o skomplikowanej budowie i zróżnicowanej grubości ścianek, w których występują duże naprężenia cieplne wywołane różnicą temperatury w grubych i cienkich ściankach w czasie stygnięcia.

4. Wnioski

- Wprowadzenie do staliwa L20HGSNM żelazotytanu i żelazoboru zwiększa ilość ferrytu w mikrostrukturze w stanie lanym.
- Podwyższenie temperatury odpuszczania powyżej 600 °C powoduje skokowe zmniejszenie wytrzymałości staliwa modyfikowanego żelazoborem.
- Modyfikacja badanego staliwa miszmetalem wpływa korzystniej na właściwości mechaniczne uzyskiwane po wysokim odpuszczaniu niż modyfikacja żelazoborem.

Podziękowania

Pracę wykonano w ramach badań statutowych 11.11.170.318, zad. nr 5 (2013).

Literatura

- [1] Sobula, S., Rapała, M., Tęcza, G., Głownia, J. Staliwo z granicą plastyczności powyżej 1300 MPa porównywalne z odkuwkami. Przegląd Odlewnictwa, 3/2009, s. 102-106.
- [2] Głownia, J. Odlewy ze stali stopowej zastosowanie. Wyd. Fotobit. Kraków, 2002.
- [3] Kalandyk, B., Matysiak, H., Głownia, J. (2004). Microstructure strength relationship in microalloyed cast steels, Review of Advanced Materials Science, vol. 8 s. 44-48.
- [4] Głownia, J., Kalandyk, B. (2008). Effect of precipitation strengthening in low alloyed Mn-Ni cast steels, Journal of Materials Processing Technology, vol. 207, pp. 147-153.
- [5] Kalandyk, B., Głownia J. (2003). Influence of {V} and {Mo} and heat treatment of constructional Mn-Ni cast steels acquirement of yield strength above 850 MPa, Archives of Foundry, vol. 3 nr 8, pp. 69-74.
- [6] Bartocha, D., Kilarski, J., Suchoń, J., Baron, C., Szajnar J. (2011). Effect of tempering temperature on the properties of low-alloy cast steel. Archives of Foundry Engineering, Vol. 11, Issue 3, pp. 272-276 (in Polish).
- [7] Kalandyk, B., Sierant, Z., Sobula, S. (2009). Optymalizacja mikrostruktury, granicy plastyczności i udarności staliwa węglowego dodatkiem wanadu. Przegląd Odlewnictwa 3, s. 108-113.
- [8] Blicharski, M. Inżynieria materiałowa - stal. WNT, Warszawa, 2004.
- [9] Bhakat, A.K. et al (2004). Metallurgical life cycle assessment through prediction of wear for agricultural grade steel. Wear 257, pp. 338-346.
- [10] Titova, T.I. et al (2007). Effect of boron microalloying on the structure and hardenability of building steel. Material Science and Heat Treatment, Vol. 49, No 1-2, pp. 39-44.
- [11] López-Chipres, E. et al (2007). Hot ductility behavior of boron microalloyed steels. Materials Science and Engineering A 460-461, pp. 464-470.
- [12] Kniagin, G. Staliwo metalurgia i odlewnictwo, Wyd. Śląsk, Katowice 1977.
- [13] Gajewski, M., Kasińska, J. (2009). Rare earth metals influence on mechanical properties and crack resistance of GP240GH and G17CrMo5-5 cast steels. Archives of Foundry Engineering, Vol. 9, Issue 4, pp. 37-44.
- [14] Jingpei, X. et al (2006). Effect of Rare Earths on Toughness of 31Mn2SiRE Wear-Resistance Cast Steel. Journal Of Rare Earths, Vol 24, Spec. Issue, Dec. 2006, pp. 401-404.

Grain Refinement of Low Alloy Cr-Mn-Si-Ni-Mo Cast Steel with Boron, Titanium and Rare Elements Additions

Abstract

The low alloy cast steels have the good mechanical properties, and it finds wide area of applications in the manufacture of this parts, which work with high dynamic loads and in wear conditions. High strength obtained during manufacturing process results in a decrease of the elongation which hardly ever is over 10%. The aim of investigation was grain refinements which leads to small grain size in as-cast condition, resulting in a fine martensite, and an increase of the ductility. In this paper effects of grain refinement is observed in L20HGNM cast steel containing: 0,19÷0,23 %C; 0,75÷0,86 %Si; 0,93÷1,02 %Mn; 0,60÷0,65 %Cr; 1,02÷1,10 %Ni i 0,13÷0,16 %Mo. The grain refinement was treated by ferroboration, ferrotitanium, and rare earth elements (REM). The refinement elements were introduced to the ladle during tapping. The steel was casted to the sand molds. Specimens were machined from keel-block coupons. The influence of modifying elements on the as-cast microstructure and mechanical properties after heat treatment were examined. It was obtained elongation over 12% and ultimate tensile strength over 1000 MPa.