ARCHIVES
of
FOUNDRY ENGINEERING

Published quarterly as the organ of the Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences

ISSN (1897-3310)
Volume 12
Special Issue
2/2012

112 – 116

22/2

Wpływ dodatków modyfikujących na własności wytrzymałościowe staliwa niskostopowego

D. Bartocha*, C. Baron, J. Suchoń, J. Kilarski, J. Szajnar
Department of Foundry, Silesian University of Technology , Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Poland
*Corresponding author. E-mail address: e-mail: dariusz.bartocha@polsl.pl

Received 01.09.2012; accepted in revised form 05.09.2012

Streszczenie

Własności mechaniczne staliwa są funkcją przede wszystkim składu chemicznego i procesu krzepnięcia na który można wpływać poprzez zastosowanie zabiegu modyfikacji. Wpływ ten uzależniony jest od zastosowanego modyfikatora. W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena efektów modyfikacji niskostopowego staliwa konstrukcyjnego wybranymi dodatkami modyfikującymi. Kluczowym elementem jest także obróbka cieplna o odpowiednich parametrach. W ramach badań wykonano dziewięć odlewów modelowych z zastosowaniem różnych modyfikatorów, ocenę skutków zabiegu oszacowano na podstawie otrzymanych wyników badań własności mechanicznych.

Keywords: Constructional cast steel, Modifying additives, Mechanical properties

1. Wstęp

Dodatki modyfikujące stosowane do modyfikacji stopów żelaza dzieli się na modyfikatory I rodzaju i II rodzaju. Podział ten wynika z charakteru oddziaływania danego modyfikatora na kinetykę procesu krystalizacji. Modyfikatory I rodzaju zwiększają szybkość zarodkowania, a modyfikatory II rodzaju zmniejszają liniową szybkość wzrostu zarodków. W efekcie tych oddziaływań dochodzi do rozdrobnienia struktury.

W literaturze można napotkać twierdzenie o oddziaływaniu niektórych modyfikatorów łączącym oba te wpływy, które równolegle będą decydowały o prędkości krystalizacji.

Zwiększenie szybkości zarodkowania uzyskuje się przez wprowadzenie do ciekłego metalu drobin wysokotopliwych metali i ich związków lub mikrododatków reagujących ze składnikami roztworu ciekłego w wyniku czego powstają fazy umożliwiające zarodkowanie heterogeniczne (I) [1]. Hamowanie wzrostu kryształów i w efekcie zmniejszenie rozmiarów krystalizującej fazy, tłumaczy się powstawaniem na froncie krystalizacji warstwy roztworu ciekłego stopu o podwyższonej zawartości mikrododatku (bariera stężeniowa), która utrudnia wzrost krystalizującej fazy (II).

Przy doborze modyfikatorów należy wziąć pod uwagę niejednorodność budowy ciekłych roztworów metalicznych.

W ich budowie można wymienić:
- strefę klasterów, geometrycznie związaną ze strukturą ciekłego metalu,
- strefę aktywowanych atomów, jednocześnie wchodzących w skład klasterów i posiadających podwyższoną energię i ruchliwość,
- strefy swobodnej objętości (zawierające obszar zerwania międzyklasterowych połączeń stale powstających i zanikających w procesie wahań cieplnych i fluktuacji).

Oprócz odpowiedniego rozdrobnienia struktury ([2]) na własności mechaniczne staliwa ma odpowiednia obróbka cieplna dla staliwa konstrukcyjnego najczęściej przeprowadza się

ulepszanie cieplne. Niezmiernie istotnym parametrem jest temperatura odpuszczania gdyż od jej wartości najsilniej zależy wartość najistotniejszej własności staliwa konstrukcyjnego jaką jest udarność. Na podstawie badań własnych ([5]) w prezentowanych badaniach zdecydowano się na zastosowanie temperatury 650°C z dodatkowym zróżnicowaniem czasu wytrzymania w tej temperaturze.

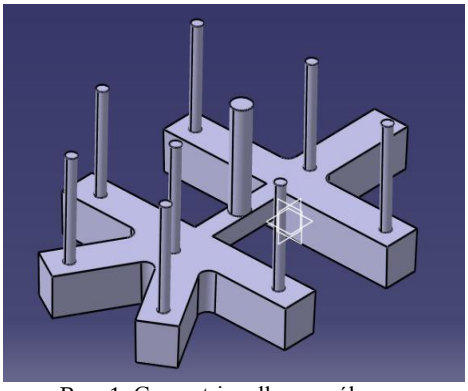
Na udarność ogromny wpływ ma również szybkość stygnięcia odlewu z temperatury odpuszczania. Chłodzenie powietrzem lub wodą przesuwa próg kruchości do ujemnej temperatury o wiele bardziej niż chłodzenie odlewu wraz z piecem. Wzrost temperatury odpuszczania po hartowaniu prowadzi przeważnie do zwiększenia udarności. Tym samym można poprawić udarność staliwa uzyskaną po normalizowaniu, ale przeprowadzenie w późniejszym czasie ulepszania cieplnego zwiększy koszty jego produkcji. Jeszcze innym sposobem poprawienia udarności przez zastosowanie obróbki cieplnej jest zwiększenie szybkości stygnięcia odlewów po wyjęciu ich z pieca. Jest to tym samym sposób zmiany udarności bardziej ekonomiczny niż ulepszanie cieplne [6].

Podstawowe składniki mikrostruktury stali mają również wpływ na przesunięcie temperatury progu kruchości. I tak perlit lub ferryt mają wpływ na wyższe temperatury przejścia T_k niż martenzyt czy niski bainit. Natomiast końcowe mikrostruktury charakteryzowane są dzięki szybkości stygnięcia, składowi chemicznemu (stężenie: C, Ni, Mn, Cr), temperaturze austenityzacji i rodzajowi ośrodka chłodzącego [6].

2. Materiał i przebieg badań

Wytopy prowadzono w tyglowym piecu indukcyjnym z wyłożeniem obojętnym pojemności 50kg. Masa wytopionego staliwa każdorazowo wynosiła 40kg. Poszczególne wytopy prowadzono zgodnie z założonym planem wytopu, który obejmował następujące czynności:

- Stopienie głównych materiałów wsadowych wraz z materiałami żużlotwórczymi,
- Przegrzanie kąpieli metalowej powyżej 1600°C,
- Pobranie próbki przy użyciu próbnika zanurzeniowego,
- Korekta składu chemicznego dodanie FeMn, FeSi nawęglacza,
- Ściągnięcie pierwszego żużla i nałożenie drugiego silnie zasadowego,
- Odsiarczenie kąpieli (wytopy 1_x i 2_x CaC_2, wytopy 3_x MgCe),
- Pobranie próbki przy użyciu próbnika zanurzeniowego,
- Odtlenienie kąpieli poprzez wprowadzenie do pieca 0,08kg Al,
- Przegrzanie kąpieli metalowej powyżej 1600°C,
- Spust metalu i wprowadzenie do kadzi dodatków modyfikujących,
  a) Wytop 1_1 bez modyfikacji;
  b) Wytop 1_2 dodatek 0,02 kg FeV;
  c) Wytop 1_3 dodatek 0,02 kg FeNb;
  d) Wytop 2_1 dodatek 0,05 kg FeTi;
  e) Wytop 2_2 dodatek 0,05 kg FeZr;
  f) Wytop 2_3 dodatek 0,04 kg FeCaSi;
  g) Wytop 3_1 dodatek 0,022 kg FeTi + 0,05 kg FeZr;
  h) Wytop 3_2 dodatek 0,025 kg FeNb + 0,02 kg FeV;
  i) Wytop 3_3 dodatek 50g Na metalicznego. ·
- Zalanie formy, wykonanie odlewu próbnego kształt odlewu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Geometria odlewu próbnego

Uzyskane w ten sposób próbki, w sumie 16 próbek udarnościowych i 16 próbek do badania wytrzymałości na rozciąganie, podzielono na dwa zestawy po dwie próbki każdego rodzaju z każdego wytopu. Tak przygotowane zestawy próbek poddano ulepszaniu cieplnemu według określonego planu:

Etap I. Hartowanie

- nagrzewanie wszystkich próbek do temperatury 920°C, ·
- austenityzowanie w tej temperaturze w czasie 30 min, ·
- chłodzenie w wodzie.

Etap II. Odpuszczanie

- nagrzewanie pierwszego zestawu próbek (8 próbek udarnościowych i 8 próbek do badań wytrzymałości na rozciąganie) w temperaturze 650°C,
- wygrzewanie w tej temperaturze w czasie 30 min,
- chłodzenie na powietrzu,
- nagrzewanie drugiego zestawu próbek (8 próbek udarnościowych i 8 próbek do badań wytrzymałości na rozciąganie) w temperaturze 650°C,
- wygrzewanie w tej temperaturze w czasie 60 min,
- chłodzenie na powietrzu.

Ulepszone cieplnie próbki poddano standardowym testom w celu określenia własności mechanicznych badanego staliwa. Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie VEB Lipsk o nominalnym zakresie pomiarowym do 100 [kN]. Do określenia udarności użyto młota Charpy'ego o zakresie pomiarowym do 50 [J]. Pomiaru twardości dokonywano dwukrotnie na każdej próbce udarnościowej na standardowym aparacie Brinnell'a używając kulki z węglików spiekanych o średnicy 5mm pod obciążeniem 750kg przez 10 sekund.

3. Wyniki

Skład chemiczny każdego z wykonanych odlewów został przedstawiony w tabeli 1. Staliwo oznaczone 1_1 nie było modyfikowane, a własności mechaniczne i struktura odlewu

modelowego stanowiły pewnego rodzaju poziom odniesienia. Zróżnicowanie składu chemicznego jest niewielkie i nie powinno znacząco wpływać na różnice w własnościach wytrzymałościowych. Można zatem zróżnicowanie mechanicznych własności odnieść tylko do zastosowanego modyfikatora i parametrów obróbki ciepnej.

Tabela 1.
Skład chemiczny staliwa z poszczególnych wytopów

Melt No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	Zr	V	Nb
1_1	0,32	0,84	1,03	0,022	0,017	0,83	0,79	1,24	0,030	0,17	0,008	0,008	0,050	0,038
1_2	0,27	0,81	1,10	0,020	0,019	0,83	0,77	1,22	0,009	0,17	0,006	0,007	0,247	0,043
1_3	0,24	0,77	1,02	0,018	0,016	0,81	0,75	1,20	0,004	0,18	0,009	0,010	0,093	0,191
2_1	0,32	0,78	0,97	0,016	0,024	0,95	0,78	1,23	0,063	0,16	0,007	0,035	0,088	0,073
2_2	0,30	0,60	0,96	0,014	0,026	0,94	0,78	1,33	0,037	0,16	0,222	0,008	0,088	0,070
2_3	0,30	0,69	0,97	0,014	0,022	0,94	0,76	1,22	0,019	0,16	0,022	0,009	0,087	0,060
3_1	0,24	0,96	1,01	0,015	0,027	1,12	0,78	1,11	0,056	0,15	0,064	0,029	0,025	0,002
3_2	0,23	0,88	0,99	0,017	0,028	1,17	0,78	1,11	0,019	0,15	0,016	0,011	0,122	0,104
3_3	0,22	0,87	0,94	0,016	0,026	1,14	0,77	1,12	0,02	0,15	0,010	0,011	0,038	0,016
śred.	*0,27*	*0,80*	*0,99*	*0,017*	*0,023*	*0,97*	*0,77*	*1,19*	*0,029*	*0,16*	*0,040*	*0,014*	*0,093*	*0,066*
od. std.	*0,04*	*0,11*	*0,05*	*0,003*	*0,004*	*0,14*	*0,01*	*0,07*	*0,020*	*0,01*	*0,070*	*0,010*	*0,065*	*0,056*

Uzyskane wyniki pomiarów własności wytrzymałościowych badanych staliw przedstawiono w tabelach 2 i 3, odpowiednio dla próbek odpuszczanych w czasie 30 minut i odpuszczanych w czasie 60 minut.

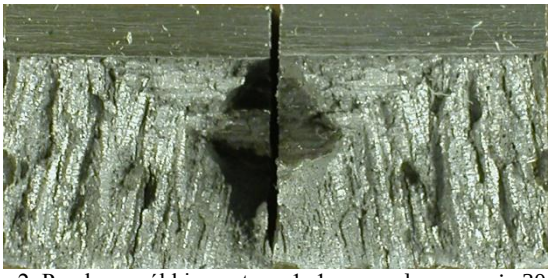
Na rysunkach 3-6 przedstawiono fotografie przełomów próbek udarnościowych staliwa dla którego uzyskano najwyższą i najniższą udarność, dla porównania na rysunku 2 przedstawiono przełom próbki staliwa niemodyfikowanego z wytopu 1_1. Natomiast na rysunkach 7-9 przedstawiono fotografie mikrostruktury próbek staliwa, w stanie surowym, z wytopów 1_1, 2_2 i 3_1,.

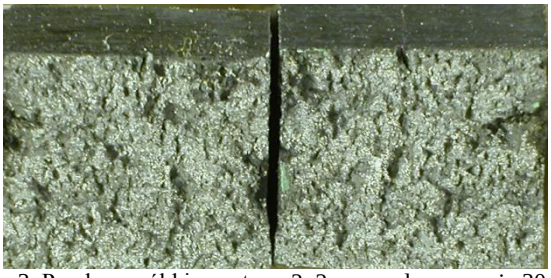
Tabela 2.
Własności mechaniczne badanego staliwa, czas odpuszczania 30 min [13]

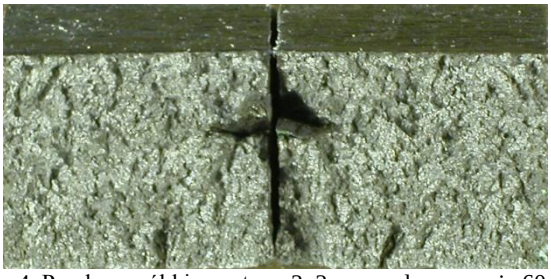
Nr wytopu	Rm [MPa]	Re [MPa]	Z [%]	A_5 [%]	KCV [J/cm^2]	HB
1_1	896,43	748,22	16,74	-	16,98	341
1_2	941,97	776,26	1,75	-	10,44	285
2_1	827,16	694,18	6,15	6,04	13,91	363
2_2	474,52	413,51	-	-	8,96	321
2_3	540,11	446,30	0,50	-	10,32	321
3_1	905,71	681,80	8,80	6,02	19,29	321
3_2	703,46	529,04	-	-	8,21	341
3_3	633,31	488,95	1,00	6,00	13,18	285

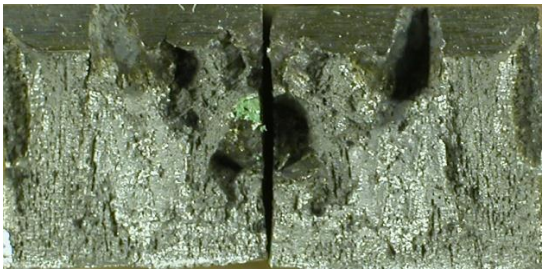
Tabela 3.
Własności mechaniczne badanego staliwa, czas odpuszczania 60 min [13]

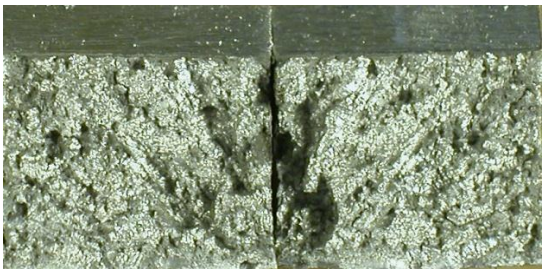
Nr wytopu	Rm [MPa]	Re [MPa]	Z [%]	A_5 [%]	KCV [J/cm^2]	HB
1_1	565,61	482,10	3,22	6,00	11,00	269
1_2	748,11	651,49	6,87	-	10,22	321
2_1	483,43	395,55	7,36	-	12,69	285
2_2	678,73	555,12	3,22	-	8,49	321
2_3	693,99	569,69	2,49	6,00	12,73	321
3_1	928,52	691,18	12,10	6,02	18,84	269
3_2	785,85	647,25	2,49	6,04	11,28	302
3_3	771,28	653,22	3,22	6,02	9,57	321

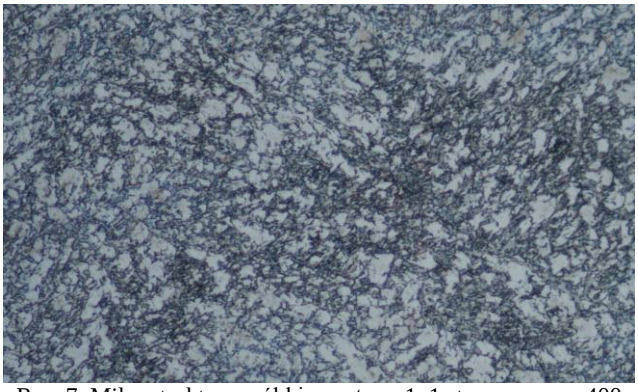

Rys. 2. Przełom próbki z wytopu 1_1, czas odpuszczania 30min

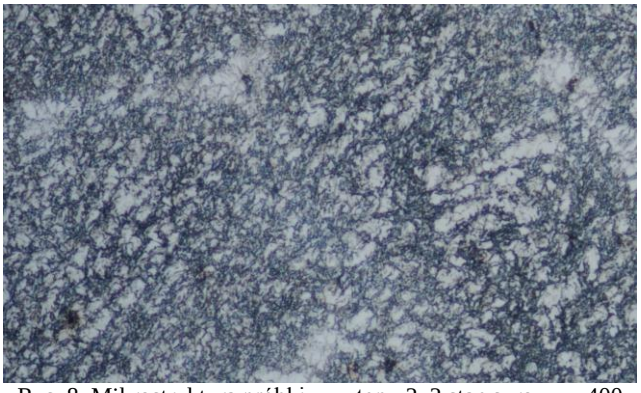

Rys. 3. Przełom próbki z wytopu 2_2, czas odpuszczania 30min

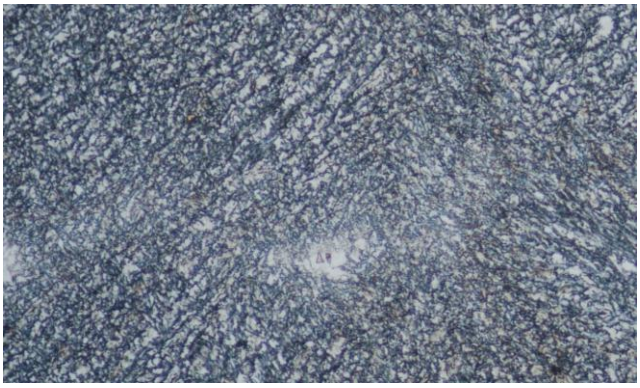

Rys. 4. Przełom próbki z wytopu 2_2, czas odpuszczania 60min


Rys. 5. Przełom próbki z wytopu 3_1, czas odpuszczania 30min


Rys. 6. Przełom próbki z wytopu 3_1, czas odpuszczania 60min


Rys. 7. Mikrostruktura próbki z wytopu 1_1 stan surowy, x400


Rys. 8. Mikrostruktura próbki z wytopu 2_2 stan surowy, x400


Rys. 9. Mikrostruktura próbki z wytopu 3_1 stan surowy, x400

4. Podsumowanie

W przedstawionych badaniach użyto dodatków modyfikujących, które można zakwalifikować do modyfikatorów II rodzajów zarówno demodyfikatorów (V, Nb, Si) i modyfikatorów (Ti, Zr, Ca, Na). Oceniając ich oddziałanie w aspekcie przyjętego kryterium najkorzystniejszy wpływ na własności mechaniczne miał połączony dodatek Ti i Zr. Zaskakujący wynik wartości udarności otrzymano dla staliwa modyfikowanego tytanem staliwo to charakteryzowało się najniższą udarnością. Pomimo znacznego rozdrobnienia struktury obserwowanego na przełomie próbek udarnościowych (rys. 3 i 4) w porównaniu do staliwa nie modyfikowanego (rys. 2).

Zmiana czasu wygrzewania próbek podczas odpuszczania z 30 min na 60 min spowodowała nieznaczny wzrost wytrzymałości na rozciąganie i granicy plastyczności wraz ze nieznacznym spadkiem udarności.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy N N508 585139.

Literatura

[1] Szymszal J., Krzemień E., Zając T. (1984). *Modification of metal and alloys.* Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.

[2] Bartocha D., Baron C., Suchoń J., Kilarski J., Szajnar J. & Sebzda W (2012) Assessment of the Low Alloy Cast Steel Inoculation Effects with Chosen Additives. *Archives of Foundry Engineering.* 12 (Issue 2/2012). 211-214

[3] Bartocha D., Kilarski j., Suchoń J., Baron C., Szajnar J. & Janerka K. (2011) Low-alloy constructional cast steel. *Archives of Foundry Engineering.* 11(SI 3), 265-271.

[4] Wachelko T., Soiński M.S. & Nowak A. (1980). Low-alloy cast steel properties Increasing by introduction

microadditives of vanadium and niobium. *Solidification of Metals and Alloys*. (3). 245-252
[5] 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.* 11(SI 3/2011). 272-276.
[6] Głownia J., Kalandyk B., Zapała R., Sobula S., Tęcza G., Malatyńska P., Telejko I., & Brzeziński M. (2010) Charakterystyka stali na odlewy. *Wyd. AGH,* Kraków.
[7] Bartocha D. & Suchoń J. (2011). Structure of low-alloy constructional cast steel - a quantitative analysis of impurities. *Archives of Foundry Engineering*. 11(SI 3/2011). 5-14.

Influence of modifying additives on the mechanical properties of low-alloy steel

Abstract

Mechanical properties of steel are primarily a function of chemical composition and the solidification process which can be influenced by the application of the inoculation treatment. This effect depends on the modifier used. The article presents the results of studies designed to assess the effects of structural low alloy steel inoculation by selected modifying additives. A key element is the heat treatment with the appropriate parameters.The study was performed on nine casts modeled with different inoculants, assessment of the procedure impact was based on the mechanical properties of made castings.