

Wpływ temperatury odpuszczania na własności niskostopowego staliwa

D. Bartocha*, J. Kilarski, J. Suchoń, C. Baron, J. Szajnar

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: dariusz.bartocha@polsl.pl

Otrzymano 29.07.2011; zaakceptowano do druku 31.08.2011

Streszczenie

Własności mechaniczne staliwa są funkcją przede wszystkim składu chemicznego i warunków krzepnięcia, czyli struktury pierwotnej, można jednak je zmieniać, w ograniczonym zakresie, poprzez obróbkę cieplną. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów ulepszenia cieplnego na własności mechaniczne niskostopowego staliwa konstrukcyjnego wzorowanego, pod względem składu chemicznego, na staliwie L20HGSNM. Podjęto próbę ilościowego określenia tej zależności.

Słowa kluczowe: Staliwo konstrukcyjne, Obróbka cieplna, Własności mechaniczne

1. Wstęp

Spośród krajowych stali konstrukcyjnych stopowych (PN-90/H-83161) i odpornych na ścieranie (PN-88/H-83160) najwyższe właściwości mechaniczne tj. R_m i Re posiada staliwo L20HGSNM (Tabela 1). Wysokie, według normy, $R_m > 1300$ MPa i $Re > 1100$ MPa tego staliwa predysponuje je wręcz do zastosowania na silnie obciążone elementy maszyn. Niestety niskie wydłużenie i wysoka twardość oraz niska udarność, mimo że norma nie podaje wartości wymaganej udarności należy domniemywać na podstawie twardości i wydłużenia że jest ona stosunkowo niska, co w przypadku konstrukcji obciążonych dynamicznie jest dużym mankamentem.

W przeciwieństwie do stali jedyną metodą polepszenia właściwości i struktury w staliwie jest obróbka cieplna o odpowiednich parametrach, co czyni ten zabieg niezmiernie ważnym w przypadku odlewów konstrukcyjnych. Niezmiernie ważne jest optymalne dobranie parametrów obróbki cieplnej odlewów stalowych przede wszystkim: temperatury, czasu wygrzewania i szybkości studzenia, pod kątem uzyskania wymaganych własności obrabianego staliwa. Nie bez znaczenia

jest tutaj skład chemiczny, zawartość zanieczyszczeń metalicznych i niemetalicznych i struktura pierwotna odlewu.

W przypadku staliwa wzorowanego, pod względem składu chemicznego na staliwie L20HGSNM [1], możliwe jest podwyższenie przede wszystkim jego udarności poprzez odpowiednią obróbkę cieplną, niestety kosztem wytrzymałości [2]. W poniższej pracy zaprezentowano wyniki cyklu badań których celem było określenie wpływu temperatury odpuszczania na własności mechaniczne niskostopowego staliwa konstrukcyjnego wzorowanego na staliwie L20HGSNM.

2. Materiał i przebieg badań

Staliwem badanym było staliwo wzorowane, pod względem składu chemicznego, na staliwie L20HGSNM. Skład chemiczny oraz własności mechaniczne określone w polskiej normie przedstawiono w tabeli 1

Wytopy staliwa przeprowadzono w piecu tyglowym indukcyjnym o wyłożeniu kwaśnym o pojemności 50 kg, masa wytopionego staliwa wynosiła 40 kg. Staliwo w trakcie czterech dwu etapowych wytopów poddano różnym wariantom zabiegów

metalurgicznych i modyfikacji [1], w ramach wytopów wykonano 8 odlewów próbných (rys. 1). Masa odlewu wynosiła 15 kg, a jego geometrię odlewu i nadlewu wzorowano na stosowanych w przemyśle odlewach próbných do określania własności

mechanicznych. Została ona tak dobrana, aby uzyskać odlew maksymalnie niepodatny na powstanie w nim wad odlewniczych pochodzenia skurczowego. Skład chemiczny uzyskanego staliwa, został przedstawiony w tabeli 2.

Tabela 1.
Skład chemiczny i własności mechaniczne staliwa L20HGSNM [%] [3]

Table 1.
Chemical composition and mechanical properties of L20HGSNM cast steel [%] [3]

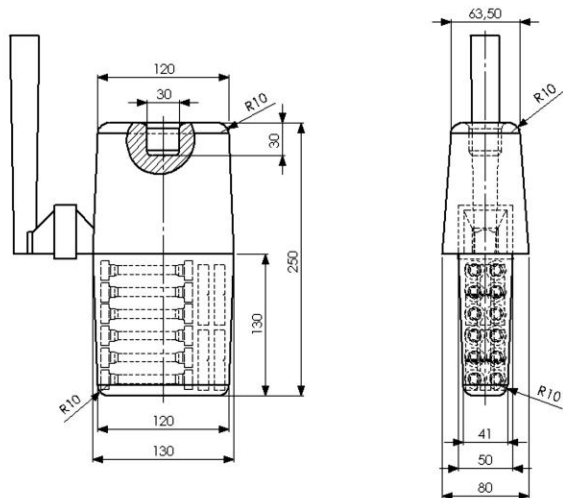
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	R _m [MPa]	R _{eH} [MPa]	A [%]	Z [%]	HB
0,18-0,25	0,7-1,0	0,8-1,1	<0,035	<0,03	0,6-0,9	0,1-0,2	0,9-1,2	1300	1100	6	22	388 - 477

Tabela 2.
Skład chemiczny staliwa z poszczególnych wytopów

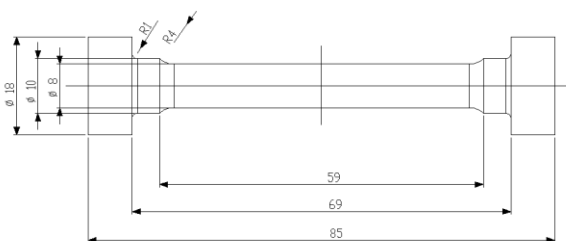
Table 2.
Chemical compositions of melted cast steel

Nr wyt.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
1_1	0,27	0,35	0,80	0,029	0,029	1,02	0,67	1,31	0,06	0,16
1_2	0,25	0,46	0,74	0,029	0,026	1,02	0,66	1,30	0,10	0,16
2_1	0,22	0,47	0,86	0,027	0,022	1,08	0,64	1,33	0,19	0,17
2_2	0,22	0,49	0,80	0,028	0,026	1,08	0,65	1,33	0,15	0,16
3_1	0,22	0,44	0,96	0,028	0,022	1,05	0,63	1,30	0,20	0,16
3_2	0,24	0,46	0,93	0,029	0,025	1,11	0,64	1,30	0,04	0,16
4_1	0,23	0,47	0,92	0,030	0,023	1,11	0,65	1,35	0,02	0,17
4_2	0,25	0,67	0,88	0,029	0,022	1,16	0,66	1,36	0,05	0,17

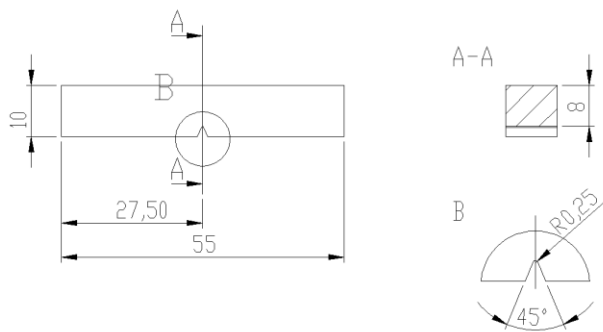
Z odlewów próbných wycięto próbki do dalszych badań, umiejscowienie pobrania próbek przedstawiono na rysunku 1. Z każdego odlewu po wstępnej selekcji uzyskano dziewięć standartowych próbek do badań wytrzymałości na rozciąganie (rys. 2) oraz dziewięć standartowych próbek z karbem w kształcie litery V do badań uderności (rys. 3).



Rys. 1. Geometrii odlewu próbnego
Fig. 1. Experimental casting geometry



Rys. 2. Geometria próbki do statycznej próby rozciągania
Fig. 2. Geometry of the tensile strength specimen



Rys. 3. Geometria próbki udernościowej z karbem typu „V”
Fig. 3. Geometry of the impact strength V-notched specimen

Uzyskane w ten sposób próbki, w sumie 72 próbki udarnościowe i 72 do badania wytrzymałości na rozciąganie, podzielono na trzy zestawy po trzy próbki każdego rodzaju z każdego wytopu. Tak przygotowane zestawy próbek poddano ulepszeniu cieplnemu według określonego planu:

I etap. Hartowanie

- nagrzewanie wszystkich próbek do temperatury 920°C
- austenitizowanie w tej temperaturze w czasie 20 min,
- chłodzenie w wodzie.

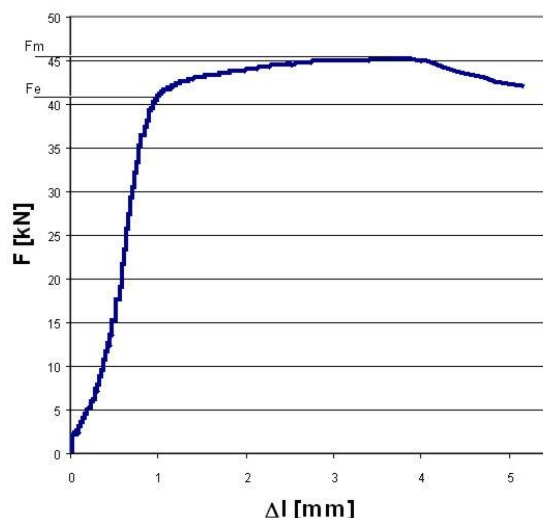
II etap. Odpuszczanie

- nagrzewanie pierwszego zestawu próbek (3 próbki udarnościowe i 3 do badań wytrzymałości na rozciąganie) do temperatury 600°C
- wygrzewanie w tej temperaturze w czasie 20 min,
- chłodzenie na powietrzu,
- nagrzewanie drugiego zestawu próbek do temperatury 650°C
- wygrzewanie w tej temperaturze w czasie 20 min,
- chłodzenie na powietrzu,
- nagrzewanie trzeciego zestawu próbek do temperatury 700°C
- wygrzewanie w tej temperaturze w czasie 20 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 trzykrotnie na każdej próbce udarnościowej na standartowym aparacie Brinnell'a używając kulki z węglików spiekanych o średnicy 5mm pod obciążeniem 750 [J].

3. Wyniki

W wyniku przeprowadzonych prób stycznego rozciągania określono wartości podstawowych właściwości mechanicznych tj. Rm, Re, Z i A₅ (tabela 3). Przykładowy (wytop nr 1, odlew próbny nr 2, temperatura odpuszczania 600°C, próbka nr 1) wynikowy wykres próby rozciągania wraz ze sposobem odczytania wartości sił F_m i F_e wykorzystanych do obliczenia granicy wytrzymałości i plastyczności przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przykładowy wykres statycznej próby rozciągania, próbka nr 1_2_600_1

Fig. 4. Sample graph of tensile strength test, specimen no. 1_2_600_1

Tabela 3.

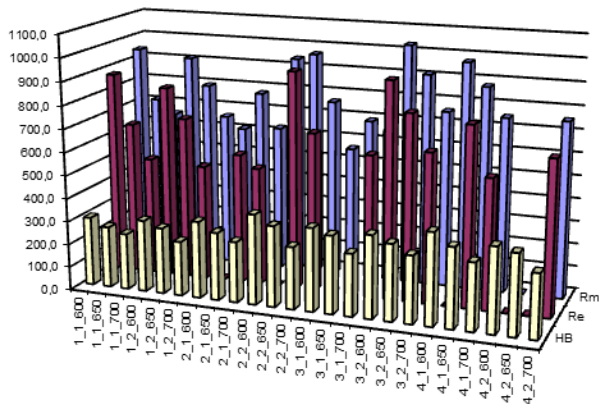
Własności mechaniczne badanego staliwa

Table 3.

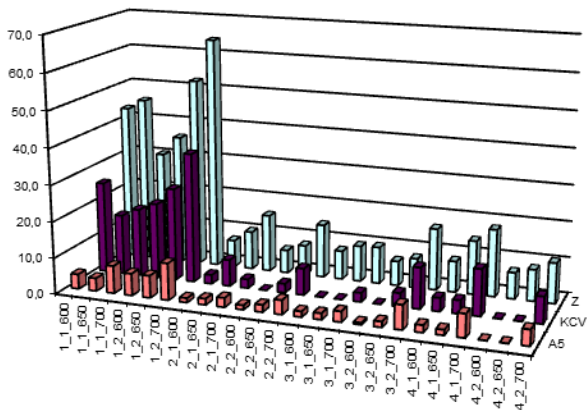
Mechanical properties of investigated cast steel

Nr	Rm [MPa]	Re [MPa]	HB	Z [%]	KCV [J/cm ²]	A ₅ [%]
1_1_600	941,7	872,1	298,3	43,3	25,4	4,1
1_1_650	719,5	657,2	264,0	46,0	16,7	3,6
1_1_700	659,8	508,6	242,3	30,8	18,9	7,6
1_2_600	917,1	830,6	310,3	36,1	21,0	6,1
1_2_650	799,0	701,2	285,3	52,6	25,7	6,2
1_2_700	665,6	497,1	235,7	64,4	36,0	10,2
2_1_600	616,7	0,0	331,7	7,6	2,5	1,2
2_1_650	780,9	564,0	292,3	10,7	7,4	1,7
2_1_700	631,6	511,3	261,7	16,0	2,5	2,6
2_2_600	945,0	0,0	388,3	6,4	0,0	1,2
2_2_650	969,9	941,0	348,3	8,3	2,5	2,0
2_2_700	767,9	685,7	267,7	14,8	7,3	3,9
3_1_600	567,0	0,0	358,0	8,0	0,0	1,5
3_1_650	696,3	0,0	335,0	9,9	0,0	1,7
3_1_700	662,5	613,5	267,7	10,2	2,5	2,9
3_2_600	1034,5	933,0	355,0	6,8	0,0	0,5
3_2_650	915,1	803,7	327,7	8,2	3,7	1,5
3_2_700	762,6	647,2	288,7	17,1	11,3	6,6
4_1_600	977,8	0,0	394,3	8,6	3,7	2,0
4_1_650	880,3	775,9	342,7	14,9	3,7	1,5
4_1_700	756,0	563,7	289,0	18,6	12,8	6,3
4_2_600	0,0	0,0	363,3	7,3	0,0	0,0
4_2_650	0,0	0,0	346,0	8,7	0,0	0,0
4_2_700	761,0	666,5	274,3	11,2	7,3	4,3

Zestawienie średnich, z trzech, a w przypadku twardości dziewięciu pomiarów, wartości własności mechanicznych przedstawiono w Tabeli 3. Graficznie wyniki te przedstawiono na wykresach, rysunek 5 i 6.



Rys. 5. Graficzne zestawienie wartości: wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności i twardości
Fig. 5. Graphical statement of values: tensile strength, yield strength and hardness



Rys. 6. Graficzne zestawienie wartości: wydłużenia, przewężenia i udatności
Fig. 6. Graphical statement of values: elongation, necking down and impact strength

4. Podsumowanie i wnioski

Analizując otrzymane wyniki potwierdzić można wiadomości literaturowe na temat zależności własności mechanicznych i parametrów obróbki cieplnej.

Tabela. 4.

Zestawienie zależności ilościowej własności mechanicznych od temperatury odpuszczania

Table 4.

Statement of mechanical properties on temperature of tempering quantitative dependence

Nr	Przedział temperature	Rm [MPa]	Re [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	KCV [J/cm ²]	HB
1.1	600-650	-222,15	-214,93	-0,51	-8,75	2,68	-34,33
	650-700	jwm ¹ -59,68	-148,54	4,06	2,20	-15,19	-21,67
	600-700	-281,84	-363,47	3,55	-6,55	-12,51	-56,00
	600-650	-23,59	-24,64	-12,49	-34,43	6,19	-11,51
	650-700	% -8,29	-22,60	113,48	13,22	-33,02	-8,21
	600-700	-29,93	-41,68	86,82	-25,76	-28,87	-18,77
1.2	600-650	-118,08	-129,38	0,06	4,75	16,49	-25,00
	650-700	jwm -133,43	-204,14	4,05	10,27	11,77	-49,67
	600-700	-251,51	-333,52	4,11	15,03	28,27	-74,67
	600-650	-12,88	-15,58	1,00	22,66	45,67	-8,06
	650-700	% -16,70	-29,11	65,72	39,91	22,38	-17,41
	600-700	-27,42	-40,15	67,38	71,61	78,28	-24,06
2.1	600-650	164,13	564,01	0,52	4,87	3,11	-39,33
	650-700	jwm -149,21	-52,72	0,86	-4,87	5,30	-30,67
	600-700	14,92	511,29	1,37	0,00	8,41	-70,00
	600-650	26,61	-	43,25	196,23	41,11	-11,86
	650-700	% -19,11	-9,35	50,10	-66,24	49,66	-10,49
	600-700	2,42	-	115,02	0,00	111,18	-21,11
2.2	600-650	24,87	941,00	0,77	2,48	1,89	-40,00
	650-700	jwm -201,93	-255,31	1,96	4,86	6,50	-80,67
	600-700	-177,06	685,69	2,73	7,35	8,39	-120,67
	600-650	2,63	-	64,54	-	29,29	-10,30
	650-700	% -20,82	-27,13	99,62	195,81	77,96	-23,16
	600-700	-18,74	-	228,46	-	130,09	-31,07
3.1	600-650	129,31	0,00	0,16	0,00	1,98	-23,00
	650-700	jwm -33,82	613,54	1,19	2,48	0,27	-67,33
	600-700	95,49	613,54	1,35	2,48	2,25	-90,33
	600-650	22,81	-	10,54	-	24,84	-6,42
	650-700	% -4,86	-	70,00	-	2,76	-20,10
	600-700	16,84	-	87,93	-	28,28	-25,23
3.2	600-650	-119,37	-129,31	1,02	3,71	1,35	-27,33
	650-700	jwm -152,52	-156,50	5,11	7,60	8,93	-39,00
	600-700	-271,89	-285,82	6,13	11,31	10,28	-66,33
	600-650	-11,54	-13,86	200,74	-	19,85	-7,70
	650-700	% -16,67	-19,47	334,37	204,84	109,39	-11,90
	600-700	-26,28	-30,63	1206,3	-	150,96	-18,69
4.1	600-650	-97,48	775,88	-0,51	0,00	6,25	-51,67
	650-700	jwm -124,34	-212,21	4,88	9,07	3,71	-53,67
	600-700	-221,82	563,67	4,38	9,07	9,96	-105,33
	600-650	-9,97	-	-25,76	0,00	72,67	-13,10
	650-700	% -14,12	-27,35	334,78	244,42	24,96	-15,66
	600-700	-22,69	-	222,76	244,42	115,77	-26,71
4.2	600-650	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	-17,33
	650-700	jwm 760,96	666,46	4,33	7,34	2,46	-71,67
	600-700	760,96	666,46	4,33	7,34	3,89	-89,00
	600-650	-	-	-	-	19,74	-4,77
	650-700	% -	-	-	-	28,20	-20,71
	600-700	-	-	-	-	53,51	-24,50

¹⁾jwm – jednostka wielkości mierzonej

Fundamentalna ogólna zasada mówiąca że im wyższa temperatura odpuszczania tym wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności i twardość niższa a, udarność, wydłużenie i przewężenie czyli własności plastyczne wyższe, została potwierdzona.

Jednakże ilościowa zależność własności mechanicznych od temperatury i czasu odpuszczania dla nowego tworzywa musi być każdorazowo wyznaczana. Dla badanego staliwa zestawienie takich zależności przedstawiono w tablicy 39. Wartość ujemna oznacza, że wraz ze wzrostem temperatury odpuszczania dana właściwość maleje, wartość dodatnia oznacza zależność odwrotną.

Całościowe i jednoznaczne określenie tej zależności jest niemożliwe ze względu na występowanie w znaczącej ilości próbek wad pochodzenia technologicznego oraz zróżnicowanej technologii wytapiania staliwa. Wpływ tych czynników może w znaczący sposób zaburzać zależność parametrów obróbki i właściwości mechanicznych.

Na podstawie otrzymanych wyników można sformułować następujące główne wnioski:

- Zasada mówiąca że im wyższa temperatura odpuszczania tym wytrzymałość na rozciąganie i twardość niższa, a granica plastyczności, udarność, wydłużenie i przewężenie czyli własności plastyczne wyższe została potwierdzona.
- Wytrzymałość R_m badanego staliwa maleje o blisko 30% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C.
- Granica plastyczności badanego staliwa maleje o ponad 40% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C.
- Wydłużenie A_5 badanego staliwa wzrasta nawet o ponad 200% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C (wynik ponad 1200% należy odrzucić).

- Przewężenie Z badanego staliwa wzrasta o ponad 70% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C.
- Udarność KCV badanego staliwa wzrasta o ponad 150% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C.
- Twardość HB badanego staliwa maleje o ponad 30% przy wzroście temperatury odpuszczania z 600 do 700°C.
- Niestety na ilościową zależność parametrów obróbki i właściwości mechanicznych istotny wpływ ma zróżnicowana technologia prowadzenia poszczególnych wytopów, co może w znaczący sposób zaburzać tę zależność.

Podziękowania

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

Literatura

- [1] D. Bartocha, J. Kilarski, J. Suchoń, C. Baron, J. Szajnar, K. Janerka: Niskostopowe staliwo konstrukcyjne, Archives of Foundry Engineering SI 3/2001, Gliwice 2011.
- [2] K. Wesolowski: Metaloznastwo i Obróbka cieplna. WNT, Warszawa 1981.
- [3] Polska Norma PN-88/H-83160.

Effect of tempering temperature on the properties of low-alloy cast steel

Abstract

The mechanical properties of cast steel are primarily a function of chemical composition and solidification conditions i.e. primary structure, however, they can be changed to a limited extent, by heat treatment. In the article the influence parameters of quenching on mechanical properties of low-alloy structural cast steel, modeled in terms of chemical composition, on the cast steel L20HGSNM, are presented. An attempt to quantify this relationship was made.