

Wpływ obróbki cieplnej na właściwości mechaniczne staliwa L20HNM

Analysis of heat treatment influence on mechanical properties of L20HNM cast steel

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania właściwości mechanicznych dwóch wytopów staliwa L20HNM o różnym składzie chemicznym i poddanych różnym procesom obróbki cieplnej. Dodatkowo przeprowadzono badania fraktograficzne przelomów udarnościowych i po próbie statycznego rozciągania. Badania wykazały znaczną różnicę we właściwościach mechanicznych w zależności od zastosowanej obróbki cieplnej. Pozwoli to na optymalizację wytwarzania staliw klasy L20 oraz prawidłowy dobór technologii i parametrów spawania odlewów.

Słowa kluczowe: staliwo; obróbka cieplna; właściwości mechaniczne

Abstract

The paper presents diversity of mechanical properties of L20HNM cast steel contingent on applied heat treatment. Research also includes surface analysis of fractured tensile strength and impact test specimens. Results of investigation of influence of chemical composition paired with proper heat treatment. This will optimize the preparation of L20 type cast steels and the correct choice of technology and welding parameters castings.

Keywords: cast steel; heat treatment; mechanical properties

Wstęp

Staliwa klasy L20 są stosowane w energetyce na elementy armatury (pompy, zawory), wielkogabarytowe korpusy, oraz instalacje hydroenergetyczne (wirniki pomp, korpusy turbin, wirniki turbin) [1,2]. W wielu przypadkach

istnieje konieczność spawania odlewów. Wysokie parametry pracy urządzeń energetycznych wymagają wykonania złączy spawanych o wysokiej jakości i wytrzymałości. Wynika stąd konieczność właściwego doboru techniki

Tablica I. Skład chemiczny wytopu, %

Table I. Chemical composition of melt, %

Wytop	C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	Al	Ti	Zr	S	P
Wytop 1	0,070	1,17	0,245	0,139	1,09	0,596	0,184	0,002	0,017	0,024	0,024
Wytop 2	0,169	1,03	0,276	0,471	1,08	0,619	0,003	0,005	0,014	0,023	0,027

Tablica II. Parametry zastosowanej obróbki cieplnej

Table II. Heat treatment parameters

Proces technologiczny	Medium chłodzące	Temp.	Czas nagrzewania	Czas wygrzewania
Normalizacja/Studzenie	Powietrze spokojne/ wymuszone	920	1.5 h	20 min
Hartowanie	Olej	920	1,5 h	20 min
	Woda	920	1,5 h	20 min
Odpuszczanie	Powietrze spokojne	600	1 h	30 min

Dr hab. inż. Jacek Słania, prof. IS – Instytut Spawalnictwa; dr hab. inż. Grzegorz Golański, prof. PCz – Politechnika Częstochowska; mgr inż. Maciej Woszek – Doosan Babcock Energy Polska Sp. z o.o.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: maciejwoszek@gmail.com

i parametrów spawania, a także materiałów dodatkowych oraz temperatury ewentualnej obróbki cieplnej. Niewątpliwie wpływa na to proces metalurgiczny, proces odlewania i obróbka cieplna odlewów. Prawidłowy dobór parametrów zabiegów technologicznych pozwala uzyskać staliwo o własnościach nie gorszych od własności nowoczesnych stali ulepszanych cieplnie czy obrabianych termomechanicznie.

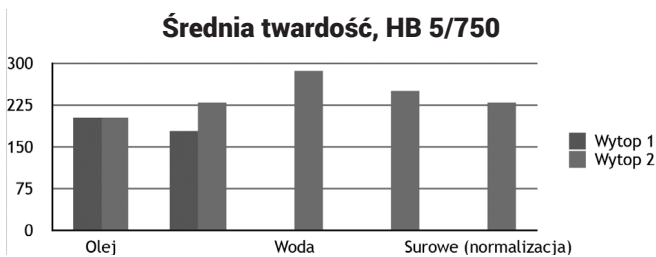
Badania własne

Badaniom poddano dwa wytopy staliwa L20HNM wykonane w tyglowym piecu próżniowym z wyłożeniem obojętnym. Przy prowadzeniu drugiego wytopu przeprowadzono modyfikację składu chemicznego, dodając FeMn, FeSi oraz mikrodotatki: FeTi i FeZr [3]. Skład chemiczny wytopów przedstawiono w tabelicy I.

Staliwo z obu wytopów po odlaniu poddano wyżarzaniu normalizującemu, a następnie odlane w pierwszym wytopie zostało poddane ulepszaniu cieplnemu, a z drugiego hartowaniu. Zabiegi hartowania zostały przeprowadzone w różnych ośrodkach chłodzących; próbki z pierwszego wytopu hartowano w oleju, a z drugiego w oleju i wodzie. Badane odlewy poddano również studzeniu na powietrzu (tabl.II).

Badania właściwości mechanicznych

Badania właściwości mechanicznych obejmowały: pomiar twardości metodą Brinell'a, statyczną próbę rozciągania i próbę udarności. Pomiar twardości przeprowadzono metodą Brinell'a przy obciążeniu 750 kG kulką z węglików spiekanych o średnicy 5 mm. Statyczną próbę rozciągania wykonano na standardowych próbkach (PN-EN ISO 6869-1:2010) na maszynie wytrzymałościowej VEB Lipsk a próbę udarności na młocie Charpy'ego o zakresie pomiarowym do 150 J, używając standardowych próbek z naciętym na głębokość 2 mm karbem Messnagera. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 1÷4.

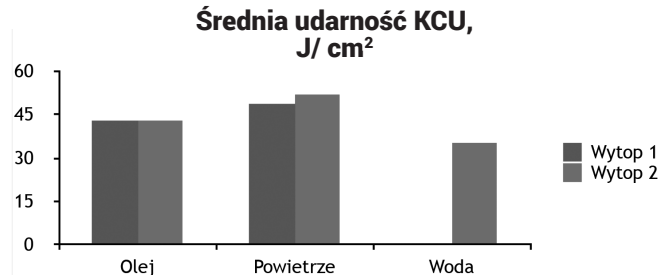


Rys. 1. Porównanie średnich twardości wytopu 1 i 2
Fig. 1. Comparison of median hardness of melt 1 and 2

Pomiary twardości

Twardość materiału pochodzącego z wytopu pierwszego po hartowaniu w oleju, w porównaniu do materiału po studzeniu na powietrzu wraz z późniejszym odpuszczeniem była wyższa o około 24 HB, co było spowodowane powstaniem struktury nierównowagowej. W wytopie drugim, gdzie zostało przeprowadzone tylko hartowanie, twardość w przypadku zastosowania oleju jako medium chłodzącego jest taka sama jak dla wytopu pierwszego. Różnicę twardości można zaobserwować przy studzeniu na powietrzu. Wytop drugi wykazywał twardość wyższą o 49 HB. Wynikać to może z wyższej zawartości węgla, co skutkuje większym udziałem perlitu w strukturze. Najwyższą twardość, wynoszącą 286 HB, miało staliwo hartowane w wodzie. Hartowanie w wodzie przyczynia się do powstania struktur „iglastych” – martenzytycznych. Warto zauważyć, że surowe

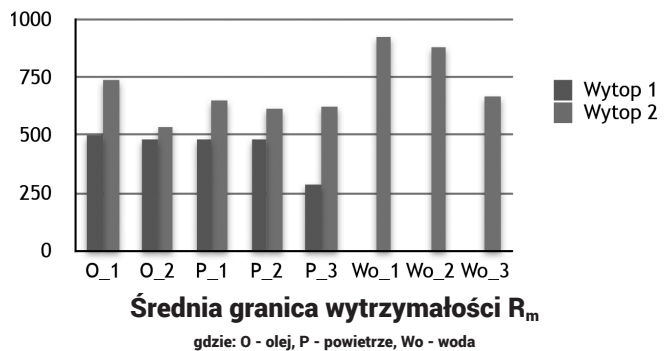
staliwo (nie poddane obróbce cieplnej) z wytopu drugiego wykazało twardość na poziomie 250 HB, a poddane normalizacji 229 HB.



Rys. 2. Porównanie średnich twardości wytopu 1 i 2
Fig. 2. Comparison of median hardness of melt 1 and 2

Próba udarności

Najwyższą udarnością cechują się próbki studzone na powietrzu; dla próbek z wytopu pierwszego wynosi ona 49 J/cm², a dla drugiego 52 J/cm². Próbkę hartowaną w oleju nie wykazały zmiany udarności i pozostała na stałym poziomie 43 J/cm² w badanych wytopach. Najmniejszą udarnością 35 J/cm² charakteryzowało się staliwo po hartowaniu w wodzie. Udarność podobnie jak twardość jest ściśle związana z strukturą badanego materiału, co z kolei zależy od parametrów procesu obróbki cieplnej. Hartowanie w wodzie pozwoliło na powstanie struktur hartowniczych charakteryzujących się wysoką wytrzymałością kosztem obniżonej plastyczności i ciągliwości. Studzenie na powietrzu sprzyjało uzyskaniu struktury o wyższej plastyczności i ciągliwości, kosztem niższych właściwości wytrzymałościowych. Hartowanie w oleju pozwala na powstanie struktury pośredniej - bainitycznej cechującej się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi przy zadowalającej plastyczności.



Rys. 3. Porównanie wyników wytrzymałości na rozciąganie R_m
Fig. 3. Comparison of median ultimate yield strength of melt

Statyczna próba rozciągania

Rysunek 3 przedstawia wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie R_m badanych wytopów. Próbkę hartowaną w oleju dla wytopu drugiego osiągają wartość R_m około 742 MPa, a dla pierwszego około 480 MPa. Próbkę studzoną na wolnym powietrzu również wykazują wzrost wartości R_m w wytopie drugim o średnio 175 MPa. Próbkę hartowaną w wodzie, cechują się najwyższą wartością R_m, wynoszącą 928 MPa w przypadku próbki z wytopu drugiego. Znaczna różnica w uzyskanych wynikach jest spowodowana skorygowanym składem chemicznym, szczególnie zawartością węgla oraz obróbką cieplną.

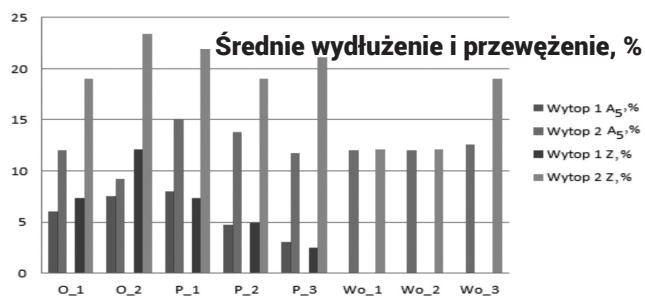
W próbie rozciągania określono również właściwości plastyczne, tj. wydłużenie A i przewężenie Z (rys.4). Średnia różnica wartości wydłużenia pomiędzy wytopami w przypadku hartowania w oleju i studzeniu na powietrzu wynosi

5 %, a przewężenia 10 % na korzyść wytopu drugiego. Wartość A i Z próbek hartowanych w wodzie wynosi 12 %. Najwyższe wartości właściwości plastycznych uzyskano dla wytopów studzonych w spokojnym powietrzu, natomiast najgorsze wyniki uzyskano dla materiału poddanego hartowaniu w wodzie.

Badania fraktograficzne

Makroskopowe obrazy przełamów próbek przedstawiono w tablicy III i IV. Główną różnicą pomiędzy dwoma wytopami jest wielkość ziarna widoczna na przełamach. Wytop drugi wykazuje strukturę o mniejszym ziarnie niż wytop pierwszy, niezależnie od zastosowanego medium chłodzącego. Różnice w uzyskanych wynikach wartości wytrzymałości na rozciąganie, właściwości plastycznych czy uduchności

pomiędzy dwoma wytopami, znajduje również uzasadnienie w wpływie wielkości ziarna na właściwości mechaniczne zgodnie z zależnością Halla-Petcha [4].



Rys. 4. Porównanie wyników wydłużenia i przewężenia wytopów 1 i 2
Fig. 4. Comparison of elongation and contraction of melt 1 and 2

Tablica III. Zdjęcia przełamów próbek uduchnościowych z wytopów 1 i 2
Table III. Images of fractured impact test specimens from melt 1 and 2

Przełomy po badaniu uduchności				
Wytop 1	Wytop 2	Wytop 1	Wytop 2	Wytop 2
Olej		Powietrze		Woda

Tablica IV. Zdjęcia przełamów po próbie statycznego rozciągania wytopów 1 i 2
Table IV. Images of fractured tensile strength test specimens from melt 1 and 2

Przełomy po badaniu uduchności				
Wytop 1	Wytop 2	Wytop 1	Wytop 2	Wytop 2
Olej		Powietrze		Woda

Wnioski

W przypadku staliwa L20HNM hartowanie z zastosowaniem wody jako medium chłodzącego pozwala osiągnąć wysokie właściwości wytrzymałościowe przy zadowalających własnościach plastycznych.

Ulepszanie cieplnie, takie jakie zostało zastosowane w wytopie 1 może prowadzić do zbyt dużego obniżenia twardości i doraźnej wytrzymałości na rozciąganie. Zalecane jest stosowanie jedynie hartowania lub utwardzania cieplnego w celu uzyskania jak najlepszych właściwości mechanicznych.

Czystość metalurgiczna stopu ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne i spawalność stopu.

Zastosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej jest bardzo ważne ze względu na skłonność staliwa do rozrostu ziarna. Główną różnicą pomiędzy badanymi wytopami, oprócz zawartości węgla jest wielkość ziarna, co wpłynęło na uzyskane wyniki.

Dalsze prace badawcze nad tym typem staliwa powinny się skupiać na dodatku większej ilości C i Mn, przeprowadzeniu utwardzania cieplnego (z wcześniejszą normalizacją) lub tylko normalizowaniem i późniejszym hartowaniem staliwa. Pozwoli to uzyskać znacznie wyższe właściwości wytrzymałościowe kosztem niewielkiego spadku udarność i spawalności badanego staliwa.

Literatura

- [1] J.Głownia, B.Kalandyk, R.Zapała, S.Sobuła, G.Tęcza, P.Malatyńska, I. Telejko, M. Brzeziński Charakterystyka stali na odlewy, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
 - [2] Praca zbiorowa pod red. E.Turyka Technologia spawania i napawania stali, staliwa i żeliwa, Instytut Spawalnictwa, Gliwice 1996.
 - [3] D.Bartocha, Cz.Baron, J.Suchoń, J.Kilarski, J.Szajnar. Wpływ dodatków modyfikujących na własności staliwa niskostopowego; Archives of Foundry Engineering Volume 12 Special Issue 2/2012.
 - [4] Hanamura T., Qiu H. Analysis of Fracture Toughness Mechanism in Ultra-fine-grained Steels, 2014.
-