

Przykład obróbki cieplnej odlewów z żeliwa wysokochromowego

D. Siekaniec^{a*}, A. Szczęsny^a, D. Kopyciński^a

^a AGH University of Science and Technology, Department of Foundry Engineering,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland

*Corresponding author. E-mail address: dsiek@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2015; zaakceptowano do druku 29.12.2015

Streszczenie

Żeliwo wysokochromowe jest powszechnie stosowanym materiałem w przemyśle górnictwym i mineralnym, gdzie wymagana jest duża odporność na zużycie ścierne. Swoje dobre właściwości zawdzięcza obecności w mikrostrukturze twardych węglików. Żeliwo chromowe poddawane hartowaniu ma w praktyce osnowę austenityczną, austenityczno-perlityczną lub perlityczną. Istotnym procesem w czasie obróbki cieplnej jest tzw. destabilizacja austenitu, jest on ważny ponieważ dopiero po jego zejściu może nastąpić przemiana martenzytyczna.

W zależności od szybkości chłodzenia, które następuje po procesie destabilizacji austenitu, może powstać perlit, bainit i martenzyt. Przeprowadzone badania dotyczyły określenia wpływu szybkości chłodzenia odlewów z żeliwa wysokochromowego po obróbce cieplnej, na mikrostrukturę i twardość. Badaniu zostało poddane żeliwo wysokochromowe o zawartości 27%Cr i 2,7%C. Przeprowadzono zabieg hartowania z temperatury 950 °C w czasie 4h, następnie odlewy poddano trzem wariantom chłodzenia – w wodzie, w kąpeli solnej i na powietrzu. Zbadano i porównano mikrostrukturę oraz twardość odlewów dla różnych wariantów chłodzenia.

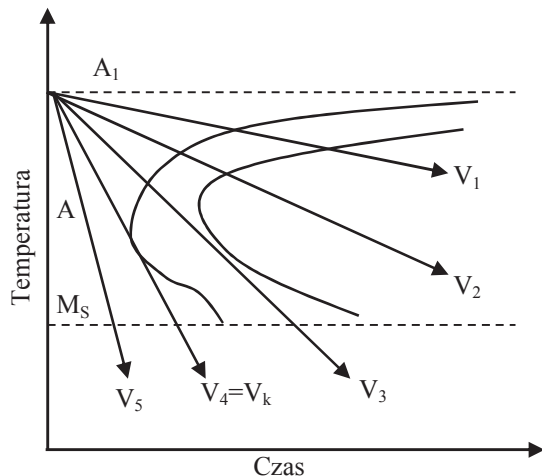
Słowa kluczowe: Obróbka cieplna, Żeliwo wysokochromowe, Mikrostruktura, Twardość

1. Wprowadzenie

Żeliwo chromowe poddaje się zabiegowi obróbki cieplnej, w celu polepszenia jego właściwości. Liczni autorzy opisywali wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę i wybrane właściwości [1-9]. Jednak, ze względu na szerokie zastosowanie tego materiału, oraz wpływ wielu czynników na przebieg obróbki cieplnej, wciąż trwają badania nad lepszym zrozumieniem tego procesu.

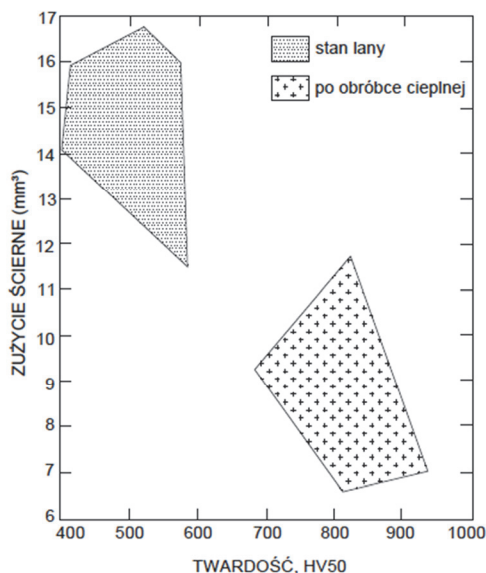
Żeliwo chromowe charakteryzuje się dużą hartownością, jest to związane ze znaczną zawartością chromu. Tego rodzaju żeliwo poddawane hartowaniu posiada osnowę austenityczną, austenityczno-perlityczną lub perlityczną. Istotnym procesem w czasie obróbki cieplnej jest tzw. destabilizacja austenitu, jest on ważny ponieważ dopiero po jego zejściu może nastąpić przemiana

martenzytyczna. W czasie chłodzenia odlewu proces wydzielania węglików M_7C_3 zachodzi z małą szybkością, dlatego też w temperaturze otoczenia austenit jest przesycony pierwiastkami stopowymi, które go stabilizują. Natomiast dłuższe wygrzewanie w temperaturze powyżej 800 °C prowadzi do kształtowania wydzielania się węgla wtórnego M_7C_3 ; czyli do tzw. destabilizacji austenitu. W zależności od szybkości chłodzenia, które następuje po procesie destabilizacji austenitu, może powstać perlit, bainit i martenzyt, co schematycznie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wpływ szybkości chłodzenia na strukturę odlewu [1]

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ twardości na zużycie ściernie żeliwa wysokochromowego, wyznaczone z zastosowaniem tarczy ścierniej.



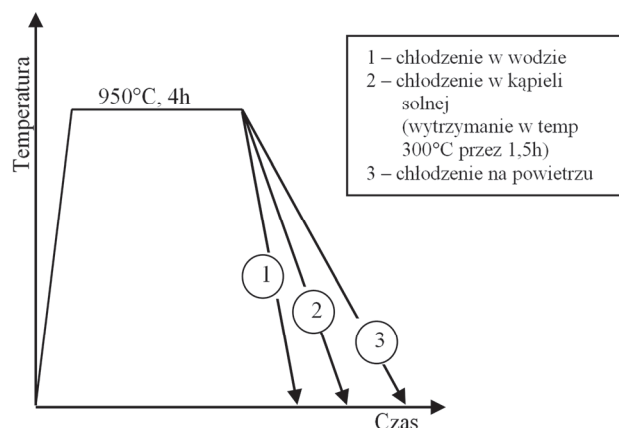
Rys. 2. Wpływ twardości przy różnym rodzaju osnowy żeliwa wysokochromowego na zużycie ściernie, na podstawie [2]

Z rysunku 2 wynika, że pod względem zużycia ściernego oraz twardości korzystniejsze jest uzyskanie osnowy martenzytycznej, niż austenitycznej. Uzyskuje się ją stosując zabieg obróbki cieplnej. Jednak, nie tylko osnowa żeliwa ma wpływ na odporność na zużycie. Istotnym jest też zawartość fazy węglikowej, której zawartość 30% daje maksymalną odporność w żelwie wysokochromowym [2].

2. Metodyka badań

Celem badań przedstawionych w pracy było określenie wpływu szybkości chłodzenia odlewów po obróbce cieplnej na mikrostrukturę i twardość żeliwa wysokochromowego. Badania przeprowadzono na odlewach z żeliwa wysokochromowego o zawartości 27%Cr i 2,7%C.

Wytopy przeprowadzono w warunkach przemysłowych w Odlewniach Polskich w Starachowicach, natomiast obróbkę cieplną wykonano w Katedrze Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewanych na Wydziale Odlewnictwa AGH. Z odlewów wycięto trzy próbki o wymiarach $\varnothing 30$ mm x 10 mm, które poddano obróbce cieplnej. Na podstawie poprzednich badań [3], określono optymalną temperaturę hartowania 950 °C. Wszystkie próbki zostały wygrzane do temperatury 950 °C, przetrzymano je w tej temperaturze przez okres 4 h, a następnie poddano trzem wariantom chłodzenia – na powietrzu, w kąpeli solnej (wytzymanie w temperaturze 300 °C przez 1,5 h) oraz w wodzie, co zobrazowano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat przeprowadzonej obróbki cieplnej

Po obróbce cieplnej próbki poddano badaniu twardości oraz przeprowadzono analizę mikrostruktury. Badanie twardości zostało przeprowadzone metodą Rockwella. Próbkę do badania mikrostruktury przygotowano w tradycyjny sposób. Zgłady metalograficzne trawiono w odczynniku Vilella. Analizę metalograficzną przeprowadzono przy użyciu mikroskopu optycznego MEF-4M firmy LEICA, ze wspomaganie automatycznego analizatora obrazu LEICA-Qwin.

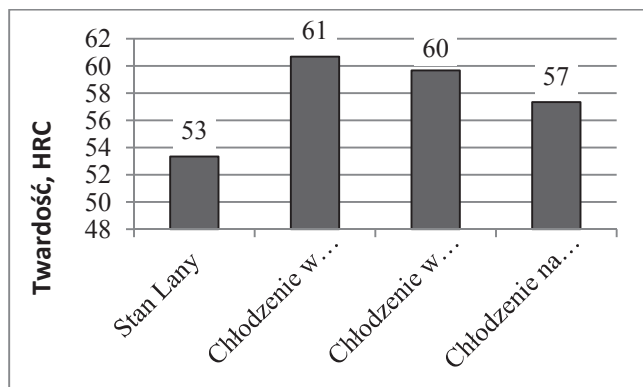
3. Opis uzyskanych wyników

3.1. Twardość

Badanie twardości przeprowadzono metodą Rockwella. Pomiarów dokonano w trzech punktach – dwa w środku próbki, oraz jeden na jej krawędzi. Wyniki przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 4.

Tabela 1. Wyniki badania twardości dla próbki w stanie lany i po obróbce cieplnej

	Twardość HRC	
		średnia
Stan Lany	53	53
	53	
	54	
Chłodzenie w wodzie (1)	60	61
	61	
	61	
Chłodzenie w kąpeli solnej (2)	59	60
	61	
	59	
Chłodzenie na powietrzu (3)	58	57
	57	
	57	



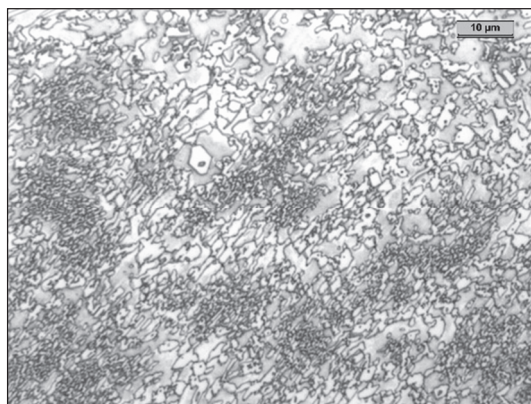
Rys. 4. Wykres twardości dla próbki w stanie lany i po obróbce cieplnej

Z przedstawionych powyżej wyników może zauważyć, że obróbka cieplna podwyższa twardość odlewów z żeliwa wysokochromowego. Najwyższą twardość - 61 HRC, osiągnięto dla harowania w wodzie. Zatem zależność między szybkością chłodzenia a wartością twardości - największą twardość otrzymano w przypadku chłodzenia w wodzie, natomiast dla chłodzenia w kąpeli solnej otrzymano 60 HRC, a najmniejszą wartość twardości osiągnięto podczas chłodzenia na powietrzu.

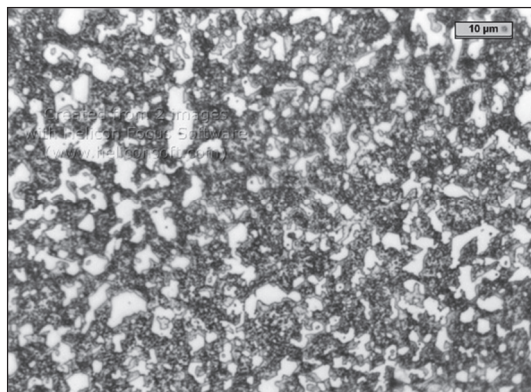
3.2. Mikrostruktura

Próbki do badania mikrostruktury inkludowano w żywicy akrylowej, następnie szlifowano na tarczach diamentowych o gradacji 120, 220, 600, 1200 w wymuszonym strumieniu wody, przy prędkości obrotowej tarczy - 300 rpm i nacisku 30N, oraz polerowano zglądy na tarczy z suknem polerskim przy użyciu zawiesiny cząstek diamentowych wielkości 9 i 3 μm oraz lubrykanta firmy STRUERS. Próbki płukano w bezwodnym alkoholu etylowym (ETANOL 99,8%) i suszono je w strumieniu ciepłego dmuchu w suszarce laboratoryjnej. Zglądy metalograficzne trawiono w odczynniku Vilella. Analizę metalograficzną

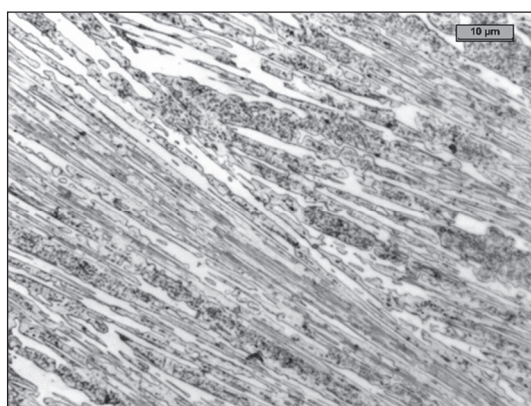
przeprowadzono przy użyciu mikroskopu optycznego MEF-4M firmy LEICA, ze wspomaganiami automatycznego analizatora obrazu LEICA-Qwin. Mikrostrukturę próbki w stanie lany oraz po obróbce cieplnej przedstawiono na rysunkach 5-8.



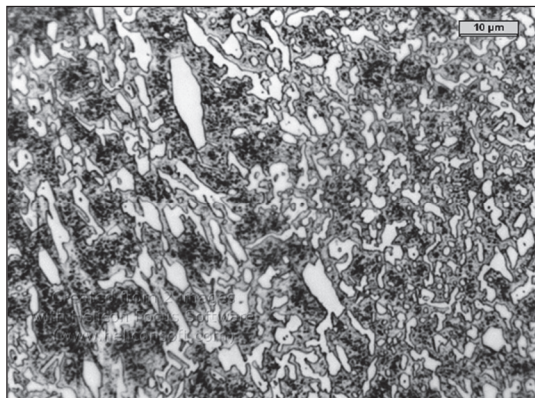
Rys. 5. Mikrostruktura próbki w stanie lany, trawiona odczynnikiem Vilella, pow. 1000x



Rys. 6. Mikrostruktura próbki studzonej w wodzie, trawiona odczynnikiem Vilella, pow. 1000x



Rys. 7. Mikrostruktura próbki studzonej w kąpeli solnej, trawiona odczynnikiem Vilella, pow. 1000x



Rys. 8. Mikrostruktura próbki studzonej na powietrzu, trawiona odczynnikiem Villea, pow. 1000x

Mikrostruktura żeliwa wysokochromowego o zawartości 27%Cr i 2,7%C charakteryzuje się wydzieleniami węglików typu M_7C_3 rozmieszczonych w osnowie metalowej (rysunek 5). Po obróbce cieplnej nastąpiła zmiana w mikrostrukturze. W osnowie metalowej wydzieliły się drobne węglików wtórne, które umocniły strukturę.

4. Wnioski

Zastosowanie zabiegu obróbki cieplnej wpływa na zmianę w mikrostrukturze, a co za tym idzie na poprawę właściwości wytrzymałościowych.

Analizowana mikrostruktura próbki w stanie lanym składa się z austenitu i węglików pierwotnych, natomiast twardość wyniosła 53HRC. Po obróbce cieplnej, nastąpiła zmiana w mikrostrukturze, oraz wzrost twardości nawet do 61HRC (o 15%). Mikrostruktura po obróbce cieplnej składa się z drobnych wydzieleni węglików wtórnego, które wydzieliły się w dendrytach austenitu. Interesującym jest, że ta obróbka cieplna wpłynęła tylko na zmianę osnowy – z austenitu wydzieliły się drobne węglików wtórne, natomiast węglików pierwotne typu M_7C_3 pozostały bez zmian.

Podziękowania

Prace badawcze prezentowane w publikacji były finansowane w ramach projektu NCBiR zgodnie z umową PBS3/B5/44/2015.

Literatura

- [1] Podrzucki Cz. (1991). *Cast Iron (I)*. Krakow: ZG STOP Publication (in Polish).
- [2] Zum Gahr K. H., Rhrig K. (1980) Abrasive resistance of white chromium-molybdenum cast iron to crack propagation. *Gießerei-Forschung*. 32 (2), 35 – 42. (in German).
- [3] Kopyciński D., Guzik E., Siekaniec D., Szczęsny A.(2014). Analysis of the high chromium cast iron microstructure after heat treatment. *Archive of Foundry Engenering*. vol. 12, 57-60.
- [4] Hinckley B., Dolman KE., Wuhrer R., Yeung W., Ray A. (2007). Sem investigation of heat treated high-chromium cast irons. *Materials Forum*. 32, 55-71.
- [5] Carpenter S.D., Carpenter D., Pearce J.T.H. (2007). XRD and electron microscope study of a heat treated 26.6% chromium white iron microstructure. *Materials Chemistry and Physics*. 101(1), 49-55.
- [6] Powell G.L.F.(1980) Morphology of eutectic M_3C and M_7C_3 in white iron castings. *Metals Forum*. 3(1), 37-46.
- [7] Fernandez-Pariente I., Belzunce-Varela F.J. (2006) Influence of different heat treatments on the microstructure of a high chromium white cast iron. *Revista De Metalurgia*. 42(4), 279-286.
- [8] Xiang Chen, Yanxiang Li. (2010). Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron. *Materials Science and Engineering*. A 528, 770–775. DOI:10.1016/j.msea.2010.09.092.
- [9] Reinaldo Javier Chung (2014). *Comprehensive study of the abrasive wear and slurry erosion behavior of an expanded system of high chromium cast iron and microstructural modification for enhanced wear resistance*. Doctoral dissertation. University of Alberta, Edmonton, Canada.

Example of Heat Treatment of High Chromium Cast Iron

Abstract

High Chromium Cast Iron (HCCI) is widely use in mining and mineral industry, where abrasive resistance is a principal requirement. Its good properties thanks to the hard eutectic carbides occurring in the microstructure. The effect of heat treatment on HCCI was a subject of many research. High Chromium Cast Iron have an austenitic, austenitic-pearlitic or pearlitic matrix. An important process during the heat treatment is austenite destabilization, thus until after it conduct the martensitic transformation can occur. Depending on the cooling rate that follows the process of destabilization of austenite, perlite, bainite and martensite may form. The present work, aimed at studying the influence of cooling rate after heat treatment, on the microstructure and hardness. The study were carry out on samples of High Chromium Cast Iron containing 27%Cr i 2,7%C. Samples were subjected to the tempering treatment at the temperature of 950°C for 4 hours and three variants of cooling – in water, in a salt bath and on air. Examined and compared the microstructure and hardness of castings for different variants of cooling.