

EFFECT OF BORON ADDITIVE ON HARDENABILITY CHANGES OF DUCTILE IRON WITH ISOTHERMAL TRANSFORMATION FOR THE THICK-WALLED CASTINGS

Summary

Impact of boron microadditive on steel structure and properties and the research results of the influence of this element on the hardenability of ductile iron with isothermal transformation have been discussed in the paper. Experimental results are presented and analyzed.

Key words: boron; carbon iron alloys; isothermal hardening; hardenability

WPLYW MIKRODODATKU BORU NA ZMIANY HARTOWNOŚCI W ŻELIWIIE SFEROIDALNYM Z PRZEMIANĄ IZOTERMICZNĄ W ODNIESIENIU DO ODLEWÓW GRUBOŚCIENNYCH

Streszczenie

W artykule omówiono wpływ mikrodotadku boru na strukturę i właściwości stali oraz przedstawiono wyniki badań wpływu tego pierwiastka na hartowność żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną.

Słowa kluczowe: bor; stopy żelaza z węglem; hartowanie izotermiczne; hartowność

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach bor stał się pierwiastkiem bardzo atrakcyjnym z punktu widzenia technologicznego między innymi jako dodatek do stopów żelaza z węglem. Wprowadzony do stali w małych ilościach, w zakresie od 0,002 do 0,005%, powoduje znaczne zmiany struktury, zwiększenie hartowności i rozdrobnienie ziaren. Ponadto zwiększa aktywność węgla w austenicie i znacznie hamuje procesy dyfuzyjne na granicy ziarna. Większa zawartość tego pierwiastka powodują efekty odwrotne, tj. znaczny rozrost ziarna austenitu i zmniejszenie się hartowności.

Korzystny wpływ stosowania mikrodotadków boru zaobserwowano także w coraz bardziej popularnych, ze względu na dobre właściwości tribologiczne, stalach borowych, np. 1021B. Dzięki obecności boru w składzie chemicznym tych stali obniżeniu ulega temperatura początku przemiany bainitycznej, co bardzo korzystnie wpływa na ich właściwości mechaniczne [1].

Dobre właściwości strukturalne i mechaniczne stali z dodatkiem boru decydują o coraz większej skali ich zastosowania na elementy robocze maszyn i urządzeń, pracujących w trudnych warunkach tribologicznych, między innymi w maszynach i urządzeniach rolniczych [6-8].

Dzięki możliwości łatwego łączenia boru z żelazem w procesach obróbki powierzchniowej stali (borowanie), wytworzone zostają, w warstwie wierzchniej, twarde borki żelaza typu Fe₂B i FeB, co zwiększa znacznie ich odporność na ścieranie i trwałość eksploatacyjną.

Jednak nie zawsze mikrodotadki stosowane w stalach np. Ni, Cu, Mo, B, V itp., polepszające hartowność stali, mogą skutecznie oddziaływać w innego rodzaju stopach żelaza z węglem, tj. w coraz bardziej popularnych w Polsce i na świecie żeliwach sferoidalnych z przemianą izotermiczną (ADI) [2-5]. W artykule przedstawiono wpływ mi-

crodotadku boru na hartowność żeliwa ADI w procesie kształtowania się struktury grubościennych odlewów.

2. Materiały do badań

W celu określenia wpływu mikrodotadku boru na hartowność żeliwa ADI wykonano grubościennie odlewy wałków o średnicy 120 [mm]. Łącznie wykonano dwie serie wytopów różniące się zawartością niklu i miedzi – typowych dodatków stopowych żeliwa ADI. Seria A zawierała: około 1% Ni i 0,7% Cu, seria B została wykonana: bez miedzi, a zawartość niklu wynosiła około 0,5% Ni (skutek zastosowania zaprawy FeNiMg).

W ramach każdej serii wałków wykonano po dwa wytopy: 1 – bez wprowadzania boru oraz 2 – z dodatkiem boru około 0,01 %. Analizę chemiczną składu przeprowadzono metodą spektrometryczną. Otrzymane zawartości procentowe głównych pierwiastków stopowych w poszczególnych wytopach zestawiono w tab.

Tab. Skład chemiczny poszczególnych wytopów
Table. Chemical composition of selected alloys

Wytop	Skład chemiczny; %					
	C	Si	Mg	Ni	Cu	B
A-1	3,35	2,82	0,06	0,93	-	-
A-2	3,30	2,78	0,07	1,05	0,75	0,012
B-1	3,40	2,76	0,05	0,55	-	-
B-2	3,35	2,75	0,05	0,45	-	0,012

Obróbkę cieplną odlewów wykonano stosując następujące parametry technologiczne: austenitowanie - 950°C /4 h, wychładzanie izotermiczne - 260°C /4 h.

3. Ocena hartowności

Ocena hartowności odlanych stopów została przeprowadzona na podstawie pomiarów twardości na przekroju obrabianych ciepłnie wlewków w sposób pokazany na rys. 1.

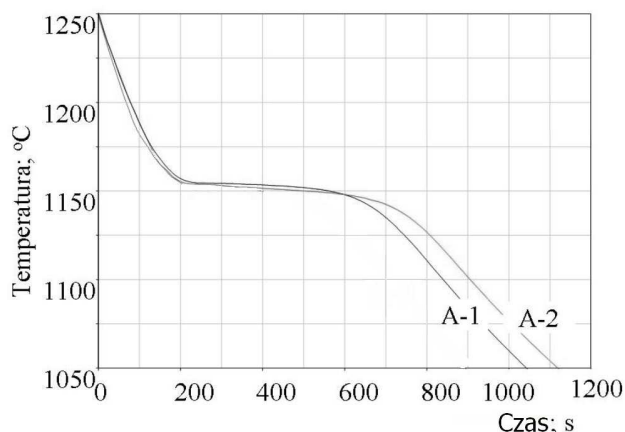


Rys. 1. Badanie skuteczności zabiegów obróbki cieplnej przez pomiar twardości w głąb hartowanego wlewka
Fig. 1. Testing the effectiveness of heat treatment (austempering) by measurement of through-hardness in an austempered keel block

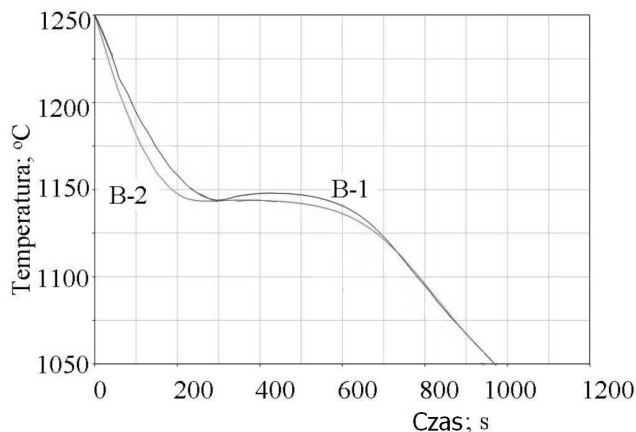
Na powierzchni szlifowanej dokonywano następnie pomiarów twardości w odstępach co 10 mm od bazowego punktu „0” (powierzchnia odlewu). Do tego celu stosowano przenośny twardościomierz Dynatest S.C. [13] umożliwiający również odczyt wartości R_m badanego tworzywa w miejscu pomiarowym. Taki sposób dokonywania pomiarów umożliwił ocenę zmiany twardości i wytrzymałości na rozciąganie w zależności od odległości od powierzchni hartowanego odlewu.

4. Analiza wyników i wnioski

Zarejestrowane krzywe stygnięcia wskazują, że odlane stopy mają skład chemiczny zbliżony do eutektycznego. Porównując krzywe dla stopów serii A i serii B (rys. 2, 3) stwierdzono, że wprowadzenie niklu i miedzi do żeliwa sferoidalnego spowodowało zwiększenie temperatury przemiany eutektycznej o około 10 K, zwłaszcza w przypadku zastosowania dodatku boru.

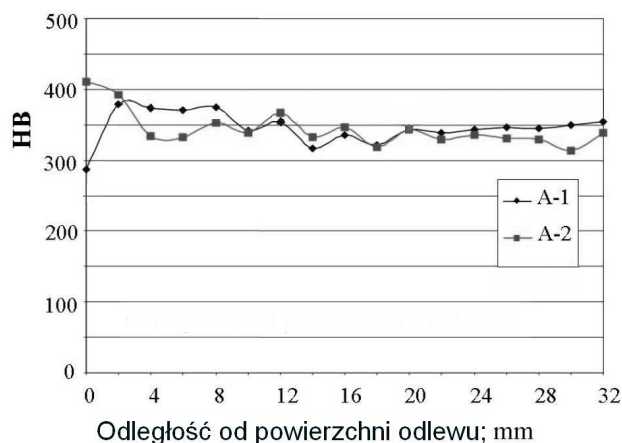


Rys. 2. Krzywe $dT/dt = f(t)$ dla stopów serii A
Fig. 2. Curves $T = f(t)$ for alloys from series A

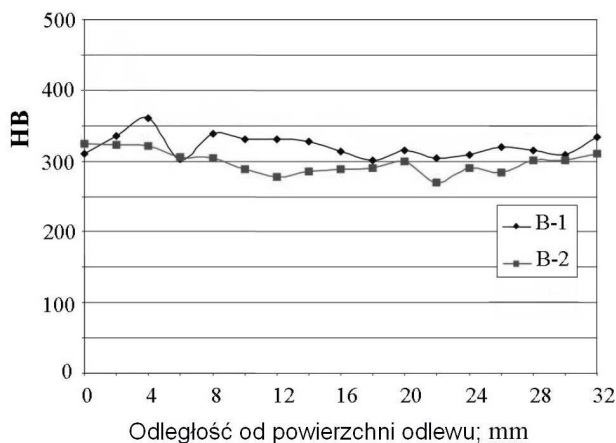


Rys. 3. Krzywe $dT/dt = f(t)$ dla stopów serii B
Fig. 3. Curves $T = f(t)$ for alloys from series B

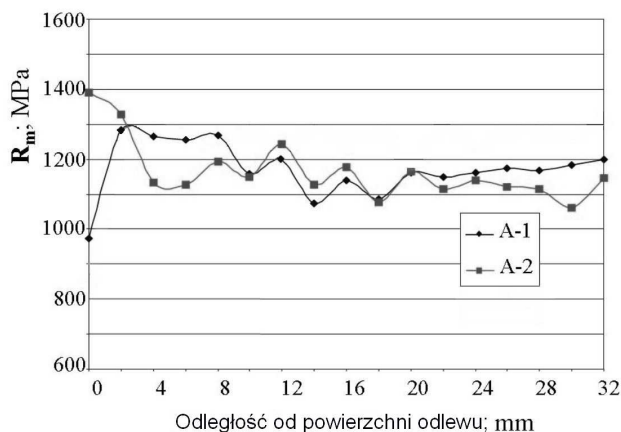
Analizując przedstawione graficznie wyniki przeprowadzonych pomiarów twardości (rys. 4 i 5) oraz ich przeliczeń na wartości wytrzymałości na rozciąganie (rys. 6 i 7), stwierdzono, że wprowadzony dodatek boru do żeliwa sferoidalnego zawierającego zwiększoną zawartość niklu i miedzi nie wpływa w istotny sposób na hartowność tego stopu. Można zaobserwować, że w niewielkim stopniu pogorszeniu ulegają właściwości mechaniczne w przypadku, gdy do żeliwa nie są wprowadzane dodatki Ni i Cu.



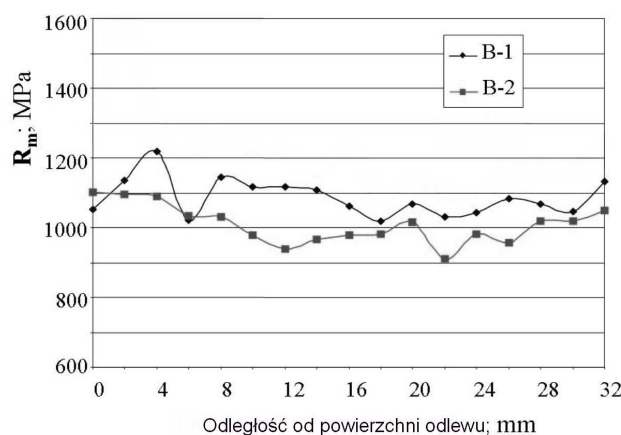
Rys. 4. Twardość wlewków serii A w zależności od odległości od powierzchni odlewu
Fig. 4. Hardness of keel blocks from series A in function of distance from the casting surface



Rys. 5. Twardość wlewków serii B w zależności od odległości od powierzchni odlewu
Fig. 5. Hardness of keel blocks from series B in function of distance from the casting surface



Rys. 6. Wytrzymałość na rozciąganie w zależności od odległości od powierzchni odlewu dla wlewków serii A
 Fig. 6. Tensile strength in function of distance from the casting surface for keel blocks from series A



Rys. 7. Wytrzymałość na rozciąganie w zależności od odległości od powierzchni odlewu dla wlewków serii B
 Fig. 7. Tensile strength in function of distance from the casting surface for keel blocks from series B

Zauważono także, że twardość stopu "2", zawierającego bor, jest mniejsza na całym przekroju wlewka o około 50 jednostek HB, a wytrzymałość na rozciąganie o ponad 100 MPa.

Jednocześnie należy zwrócić uwagę na fakt, iż przeprowadzona analiza uzyskanych wyników pomiarów twardości nie dotyczy warstwy powierzchniowej odlewów. Tutaj obserwuje się wyraźny spadek twardości o ponad 50 jednostek HB dla stopów bez niklu i miedzi i o ponad 100 jednostek HB dla stopów z tymi dodatkami. Wynika to z odwęglenia warstwy powierzchniowej, mimo zastosowania przepływu azotu w komorze pieca grzewczego. Tego rodzaju powierzchniowego pogorszenia właściwości żeliwa nie zaobserwowano dla stopów z dodatkiem boru. Stwierdzono, że gdy żeliwo zawiera nikiel i miedź, to twardość warstwy powierzchniowej stopu z borem zwiększyła się o prawie 100 jednostek i przekroczyła 400 HB, a wytrzymałość na rozciąganie zwiększyła się do 1400 MPa. Grubość warstwy umocnionej nie przekroczyła 2 mm.

Efekt tego umocnienia wynika prawdopodobnie z faktu, że bor w wysokiej temperaturze (około 1000°C) spalając się na powietrzu, obok tlenku B_2O_3 , tworzy azotek BN.

W żeliwie, w obecności węgla i przy temperaturze austenitowania około 950°C, w atmosferze azotu, w warstwie powierzchniowej mogą powstawać złożone związki typu M (C,N) umacniające stop. Taki węgliko-azotek boru (C,N) może powstawać w opisanych warunkach ze względu na dużą szybkość dyfuzji tego pierwiastka. Jego współczynnik dyfuzji, jako pierwiastka międzywęzłowego, jest porównywalny ze współczynnikami dyfuzji węgla i azotu.

Podsumowując uzyskane wyniki badań wpływu mikrodotaku boru na intensywność przemiany bainitycznej żeliwa hartowanego z przemianą izotermiczną (ADI) stwierdzono, że bor nie poprawia skuteczności zabiegów cieplnych. Korzystnie wpływa jednak na umocnienie warstwy powierzchniowej odlewów żeliwnych. Określenie optymalnej jego ilości dla konkretnego gatunku żeliwa wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych strukturalnych, w tym identyfikacji faz, m.in. za pomocą specjalistycznej dyfrakcji elektronowej, mikroskopii sił atomowych, Scanning Electron Microscopy (SEM) itp.

5. Bibliografia

- [1] Kupczyk J., Lis A.K.: Wpływ boru na kinetykę. Materiały Konferencyjne XII Międzynarodowej Konferencji Naukowej AMME Achievements in Mechanical & Materials Engineering. Zakopane, Polska, 2003.
- [2] Malkiewicz T.: Metaloznawstwo stopów żelaza. Warszawa-Kraków: PWN, 1976 (in Polish).
- [3] Tybulczuk J., Kowalski A.: Żeliwo ADI własności i zastosowanie w przemyśle. Atlas odlewów. Instytut Odlewnictwa, Kraków, 2003 (in Polish).
- [4] Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo teoretyczne. AGH, Kraków, 1974 (in Polish).
- [5] Biuletyn Metal Minerals; ADI, Austempered Ductile Iron, 2003, No. 2 (in Polish).
- [6] Pirowski Z., Olszyński J., Tybulczuk J., Gościański M.: Innovative cast materials for parts of agricultural machines improving the competitiveness of final products. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2006, No. 227, Mechanika, vol.66, s. 205-216 (in Polish).
- [7] Pirowski Z., Olszyński J., Turzyński J., Gościański M.: Tribology properties of heat-treated ductile iron. MOTROL Motorization and power industry in agriculture, 2006, vol. 8, s. 169-174 (in Polish).
- [8] Kowalski A., Pytel A.: Modern variations of cast iron with ausferritic matrix. Archives of Foundry, 2006, vol. 6, No. 18, s. 83-88 (in Polish).
- [9] Guzik E., Kopyciński D.: Properties of the austenitic ductile iron, Archives of Foundry, 2006, vol. 6, No. 18, s. 103-110 (in Polish).
- [10] Dymski S., Giętka T., Stawicka Z.: Analysis statistical of the influence of chemical composition on mechanical properties in austempered ductile iron. Part I Non-alloy cast iron, Archives of Foundry, 2006, vol. 6, No. 18, s. 111-116 (in Polish).
- [11] Dymski S., Giętka T., Stawicka Z., Analysis statistical of the influence of chemical composition on mechanical properties in austempered ductile iron. Part II Alloy cast iron, Archives of Foundry, 2006, vol. 6, No. 18, s. 117-122 (in Polish).
- [12] Myszka D., Kaczorowski M.: Microstructure from the surface of investment ADI castings after direct austempering, Archives of Foundry, 2006, vol. 6, No. 18, s. 350-
- [13] Instrukcja obsługi – twardościomierz Dynatest SC.
- [14] Bielański A., Haber J.: Chemia fizyczna. PWN, 1970.