ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995

Seria: MECHANIKA z. 123 Nr kol. 1283

Jerzy CYBO, Stanisław JURA, Marian PRZYBYŁ, Jerzy CHMIELA, Grzegorz SŁUŻAŁEK
Instystut Odlewnictwa, Politechnika Śląska
Instytut Problemów, Techniki Uniwersytet Śląski

ODDZIAŁYWANIE SKŁADU CHEMICZNEGO NA ZMIANY TWARDOŚCI JEDNOLITYCH WALCÓW ŻELIWNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono ilościowe ujęcie w postaci równań regresji oddziaływania pierwiastków na twardość i parametry profilu twardości (zmiany HB). Na tej podstawie określono, jak zmienia się wpływ składu chemicznego w różnych warstwach przekroju poprzecznego walca. Omówiono także możliwość oceny składu chemicznego żeliwa i prognozowania profilu twardości walców przed spustem za pomocą analizy termicznej i derywacyjnej procesu krystalizacji żeliwa.

THE INFLUENCE OF CHEMICAL CONSTITUTION OF CAST IRON ON HARDNESS CHANGES OF UNIFORM ROLLS

Summary. In this work we would like to present the quantification (by using the regression equations) of elements's influence on the hardness and parameters of hardness section (HB changes). It is the basis to define how the chemical composition can change in various layers of roll's cross-section. We also described the possibility of estimation of cast iron's chemical composition and the forecasting of roll's hardness section before using the thermal and derivation analysis of cast iron crystallization process.

BEEINFLUSSUNG DER HARTE DER HOMOGENEN EISENGUßWÄLZEN VON DER CHEMISCHEZUSAMMENSETZUNG

Zusammenfassung. In vorliegender Arbeit wurden quantitativen (in Form der Regression-gleichungen) Beeinflussungen von Elementen auf die Härte und die Härteprofilparameter (Brinell-Härte-Verlauf) dargestellt. Auf dieser Grundlage wurde ermittelt, wie sich der Einfluß der Zusammensetzung in verschiedenen Querschnittschichten

der Wälze verwandelt. Zusätzlich wurde auch besprochen die Moglichkeit der Chemischezusam-mensetzungsbeschätzung von Guß und Voraussage des Härteprofils, die von dem Abstechen der Walze mit der Hilfe von Termische- und Derivationanalyse der Gußkristallisation durchgeführt worden.

1. CEL PRACY

Właściwości mechaniczne odlewów żeliwnych, a wśród nich twardość, są zdeterminowane zarówno przez technologię wytapiania, jak i - przede wszystkim - przez strukturę odlewu, która jest funkcją składu chemicznego i warunków krzepnięcia. W przypadku walców - jako odlewów masywnych o dużym przekroju poprzecznym - te ostatnie wykazują z reguły znaczenie dominujące, zwłaszcza w zakresie zmian HB wzdłuż promienia beczki. Interpretację tego zagadnienia - z równoczesnym jego powiązaniem ze stereologią składników struktury i twardością - zdecydowano jednak poprzedzić analizą wpływu składu chemicznego żeliwa na HB i jej zmiany na przekroju walca. Dyskusja tego ostatniego problemu stanowi cel niniejszej pracy. Ilościowe określenie zmiennej intensywności oddziaływania pierwiastków składu chemicznego żeliwa na profil twardości oparte jest w tym przypadku na tezie, iż wyznaczają ją współczynniki regresji równań, które opisują wpływ składu chemicznego na HB kolejnych warstw przekroju beczki walca. Badanie i ustalenie oddziaływania pierwiastków składu chemicznego odnosi się do walców z żeliwa niskostopowego, dla których określony został profil twardości beczki w pracy pt. "Profil twardości przekroju poprzecznego jednolitych walców żeliwnych".

2. ILOŚCIOWE UJĘCIE WPŁYWU SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA NA TWARDOŚĆ WALCÓW

Analizę merytoryczną dokonano dla walców z 30 wytopów żeliwa[1)] na podstawie opracowania statystycznego, obejmującego 9 liniowych równań regresji, tabl.1. Określają one stochastyczny związek między parametrami funkcji profilu HB i pomiarami twardości, a pierwiastkami składu chemicznego żeliwa na walce. Podkreślić należy, że zależności (1)-(9) wykazują dużą siłę wzajemnych powiązań między zmiennymi zależnymi (parametrami HB) i objaśniającymi (pierwiastkami składu), czego wyrazem są wartości współczynników korelacji $R \geq 0,8$, tabl.1. Weryfikacja poziomu istotności tych współczynników wskazuje, że można je uznać z ufnością $\geq$ 99%. Natomiast adekwatność równań w stosunku do pomiarów, wynikająca z analizy wskaźników istotności, można przyjąć z ufnością $\geq$ 95%. Jednocześnie, w zależnościach tych zawarto tylko te pierwiastki składu chemicznego, które oddziaływały istotnie na badane parametry twardości (poziom ufności $\geq$ 95%). Konsekwencją tych

---

1) Zagadnienia dotyczące technologii wytapiania, metodyki pomiarowej zmian HB na przekroju walca, ich opisu funkcyjnego oraz wyniki i stosowane oznaczenia podano w pracy pod tytułem pt. "Profil twardości przekroju poprzecznego jednolitych walców żeliwnych".

warunków i założeń do opracowania statystycznego jest duża zgodność opisu z badanym zbiorem danych (odchylenie standardowe S < 6 HB), tabl.1.

Analizując opracowane[2)] równania (1)-(9) stwierdza się, że wzrost twardości żeliwa na walce wywołują: Cr, Ni, Mo, Mn, Cu, P. Korzystny wpływ tych pierwiastków jest związany między innymi z: przeciwdziałaniem grafityzacji a ułatwieniem procesu wydzielania i stabilizacją węglików (Cr, Mo, Mn), oddziaływaniem perlityzującym (Mn) czy z rozdrobnieniem i ujednorodnieniem struktury (Mo, Ni). Efekt przeciwny - tzn. obniżenie twardości - powoduje natomiast rosnąca zawartość węgla i krzemu oraz w niewielkim stopniu - siarki, co można utożsamiać z grafityzującym działaniem tych podstawowych pierwiastków składu chemicznego żeliwa. Wpływ krzemu, ujmujący łączne działanie czynników Si, Si^2 w równaniach (5)-(9), na zmiany twardości kolejnych warstw przekroju walca przedstawia rysunek 1.

3. OCENA ODDZIAŁYWANIA SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA NA TWARDOŚĆ I JEJ ZMIANY NA PRZEKROJU BECZKI WALCA

Oceniając na podstawie zależności (1)-(9) intensywność oddziaływania poszczególnych pierwiastków, określoną przez poprzedzające je współczynniki regresji[3)], należy stwierdzić, że jest ona zmienna w kolejnych równaniach. Wynika to z faktu, iż omawiane wskaźniki twardości (U, W, Z, HB_w, HB_c, HB_b, HBB_b) dotyczą różnych warstw przekroju walca, a zatem o zmiennej twardości. W przypadkach tych zmienia się także budowa samych równań; różne są ich składniki. Potwierdzeniem tego spostrzeżenia są relacje (5), (6) dotyczące w przybliżeniu tej samej warstwy beczki. Poszczególne składniki tych równań i wartość współczynników regresji, a więc i intensywność oddziaływania składu chemicznego zmienia się tutaj w stosunkowo niewielkim zakresie.

W celu dokładniejszego określenia zmienności oddziaływania kolejnych pierwiastków w różnych warstwach przekroju walca należy przeanalizować tablicę 2. Określa ona, o ile procent zmienia się w tych warunkach twardość na skutek oddziaływania średniej zawartości pierwiastków występujących w żeliwie. Na tej podstawie stwierdza się, że najintensywniej działającym pierwiastkiem w warstwie powierzchniowej beczki jest krzem (zmniejsza HB). Jego ujemny wpływ jest tutaj kilkakrotnie silniejszy niż węgla (obniżenie HB) i niklu (wzrost HB). Intensywność oddziaływania krzemu na całym przekroju beczki ulega jednak znikomym zmianom, podczas gdy węgla, niklu, chromu wzrasta - w sensie bezwzględnej wartości - w kierunku środka walca. Przeciwne zmiany wykazuje natomiast siarka, ale jej działanie jest niewielkie i porównywalne co do wartości bezwzględnej z dodatnim wpływem P, Cu. Określenie zmian oddziaływania ostatnich dwu pierwiastków (oraz Mo) na całym przekroju walca jest jednak niemożliwe tą metodą, gdyż analizowane równania nie ujmują tych czynników ze względu na mały poziom istotności ich oddziaływania w pozostałych

---

2) Przy ocenie równań (1)-(3) należy pamiętać, że wzrostowi twardości odpowiada rosnąca wielkość parametrów (U, W, Z) funkcji profilu HB.

3) Zestawienie intensywności oddziaływania zawartości 0,1% (lub 0,01%) poszczególnych pierwiastków można dokonać na podstawie równań (1-9) uwzględniając, że wartości współczynników regresji, w tych równaniach wolno interpretować jako oddziaływania jednostkowe.

warstwach przekroju. Należy więc stwierdzić, że na powierzchni czopa i w rdzeniu walca[4] w największym procencie twardość kształtuje: węgiel, potem krzem, a następnie chrom i nikiel. Ogólnie można natomiast potwierdzić, iż w miarę oddalania się od powierzchni beczki najintensywniej działające pierwiastki składu chemicznego żeliwa wykazują następujący wpływ na zmiany twardości przekroju walca:

C (obniża HB) - rosnąca intensywność oddziaływania,
Si (obniża HB) - stała intensywność oddziaływania,
Cr,Ni (podwyższa HB) -rosnąca intensywność oddziaływania.

Tablica 1

Procentowa zmiana twardości na przekroju walca wywołana przez średnią zawartość poszczególnych pierwiastków w żeliwie

Nr równ.	Parametry	Odległość od powierzchni beczki	C	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
7	HBB_b	0	-7,2	-26,2	+1	-1,4	-	+6,5	-	+0,9
8	HB_b	0	-	-31,7	+1	-1,5	+3	+7,4	-	-
4	HB_w	W	-56	-	-	-	+13,7	+27,5	+2,8	-
9	HB_c	W+3L	-37,9	-25,3	-	-0,6	+20,7	+15,3	-	-

* Znaki ± oznaczają, że dany pierwiastek wywołuje wzrost lub obniżenie wartości.
** Poszczególne wartości w tabl. 2 są iloczynami średniej zawartości pierwiastków i ich współczynników regresji, odniesionymi do sumy bezwzględnej wartości tych iloczynów w każdym równaniu.
*** Wartości podane w kol. 5 określają sumaryczne oddziaływanie krzemu, reprezentowane w analizowanych równaniach przez czynnik Si oraz Si^2.

4. ZASTOSOWANIE ANALIZY TERMICZNEJ I DERYWACYJNEJ PROCESU KRYSTALIZACJI ŻELIWA DO OKREŚLENIA SKŁADU CHEMICZNEGO I PROFILU TWARDOŚCI WALCÓW PRZED SPUSTEM METALU Z PIECA

Znajomość oddziaływania pierwiastków składu chemicznego żeliwa na twardość walców powinna umożliwić przeprowadzenie korekty składu ciekłego metalu przed spustem w celu zapewnienia wymaganych właściwości analizowanym odlewom. Działania takie oparte tylko na analizie śródwytopowej składu chemicznego mogą być niewystarczająco dokładne między innymi ze względu na brak jednoczesnej prognozy w zakresie twardości i profilu HB walca odlanego z tego stopu. Z tego względu celem niniejszego rozdziału jest wskazanie na możliwość zastosowania analizy termicznej i derywacyjnej procesu krystalizacji żeliwa do diagnozowania składu chemicznego i prognozowania profilu twardości walców.

Ocenę tę prowadzi się przed spustem metalu z pieca za pomocą aparatury Crystaldigraph-PC. W czasie próby rejestrowana jest krzywa stygnięcia $T = f(t)$ i jej

[4] Uwagę odnośnie rdzenia walca należy uznać za słuszną, gdyż badania HB na jego przekroju nie wykazały istotnych różnic twardości w stosunku do powierzchni czopa.

pochodna dT/dt = f'(t) (krzywa krystalizacji), rys.2. Pierwsza z nich daje ogólną informację o przebiegu procesu krzepnięcia, a jej przystanki i ewentualne załamania są wynikiem oddziaływania wewnętrznych źródeł ciepła występujących podczas krystalizacji. Te efekty cieplne są wywołane przez przemiany fazowe krystalizującego stopu, zachodzące w temperaturach adekwatnych dla składu chemicznego i warunków krzepnięcia. Wielkość i rozległość tych efektów cieplnych, ich umiejscowienie w czasie oraz kinetykę procesu krystalizacji oddaje natomiast krzywa dT/dt. Charakterystyczne punkty rejestrowane dla żeliwa na krzywych ATD (rys.2), to: A i B - maksymalna i minimalna prędkość krystalizacji dendrytycznej austenitu, C - zmiana intensywności krystalizacji eutektyki, D i F-przystanek w zakresie temperatury solidus przemiany metastabilnej i stabilnej, E - maksymalna prędkość krystalizacji eutektycznej, G - koniec swobodnego narastania kryształów eutektycznych, H - koniec krystalizacji, J - prędkość stygnięcia w temperaturze 1050^0C. Przy opisie występujących efektów oznaczenia punktów A-J (ogólnie - X) są podawane na drugim miejscu. Poprzedza je symbol określający temperaturę (T), czas (S) i wartość pochodnej temperatury (K), określane w danym punkcie X: TX i SX - temperatura i czas występowania przemian, KX - intensywność zmian temperatury, ZX - przybliżona wartość d^2T/dt^2.

Parametry procesu krystalizacji żeliwa na walce - zarejestrowane dla 30 wytopów - pozwoliły opracować w wyniku ustaleń statystycznych[5] związki określające przed spustem aktualną zawartość pierwiastków[6] składu chemicznego (tabl.3) oraz prognozujące profil twardości na przekroju beczki walca (tabl.4). Uzyskanie informacji na temat bieżącej jakości ciekłego metalu pozwala - przy uwzględnieniu podanego w rozdz.3 oddziaływania pierwiastków składu chemicznego - podjąć działania korygujące skład żeliwa. Tego rodzaju wytyczne mogą być także podane w postaci dyspozycji komputerowej, uwzględniającej stan diagnozowany i konieczne zalecenia. Z tych też względów należy podkreślić dużą przydatność metody ATD w zakresie możliwości jej wykorzystania do sterowania procesem technologicznym dla uzyskania wymaganej jakości metalu na walce.

5. PODSUMOWANIE

Analiza ilościowego ujęcia wpływu składu chemicznego żeliwa na twardość i parametry funkcji profilu HB, oparta na interpretacji wartości współczynników regresji, pozwala określić kierunek i intensywność oddziaływania poszczególnych pierwiastków. Intensywność ta jest zmienna na przekroju beczki walców. Jedne pierwiastki (np. S) wykazują maksymalny wpływ w warstwie wierzchniej, który maleje w miarę oddalania się od powierzchni beczki, inne (np. C, Cr, Ni) - przeciwnie, tzn. maksymalne oddziaływanie jest w warstwie powierzchniowej czopa i w środku walca. Pozostałe pierwiastki reprezentują stały (Si) lub mało istotny (P,Cu) wpływ na zmiany HB w całym przekroju.

Kierując się ustaleniami rozdz.3 można wpływać na ogólny wzrost twardości walca poprzez:
- zwiększenie zawartości Cr, Ni, Mo, Mn, Cu w żeliwie,
- zmniejszenie zawartości C, Si, S.

---

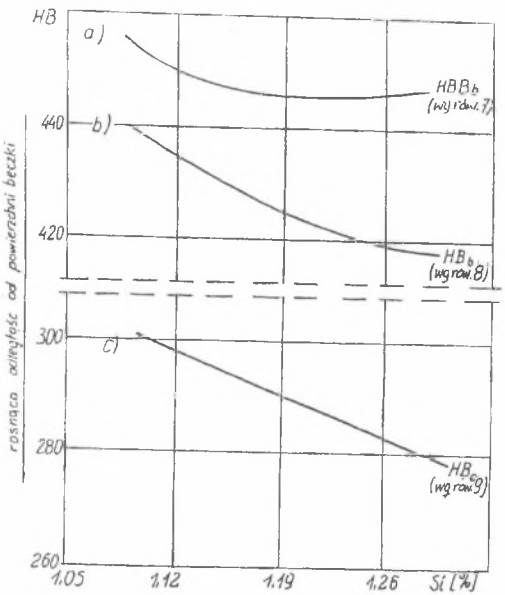
[5] Warunki opracowania i wskaźniki statystyczne jak w rozdz.2.

[6] Przykładową współzależność między analizą spektralną a zawartością Mn i Mo określoną metodą ATD ujęto graficznie na rys.3.

Biorąc pod uwagę kierunek i wartość zmiennej intensywności oddziaływania pierwiastków można kształtować grubość warstwy utwardzenia, jej twardość oraz intensywność zmian (obniżenia) twardości w tej warstwie. Większą intensywność zmian HB, przy jednoczesnym zwężeniu pasma o najintensywniejszych zmianach twardości, ale zarazem wzrost HB w obszarze od powierzchni beczki do punktu W pozwala uzyskać zwiększona zawartość Mn, Cr, Cu, a zmniejszona ilość Si, S, Mo. Wzrost grubości warstwy utwardzenia oraz twardości na powierzchni beczki i w punkcie W o największej intensywności zmian HB zapewnia malejąca zawartość C, Si, S w żeliwie, a rosnąca ilość Cr, Ni, Mo, Mn, Cu.

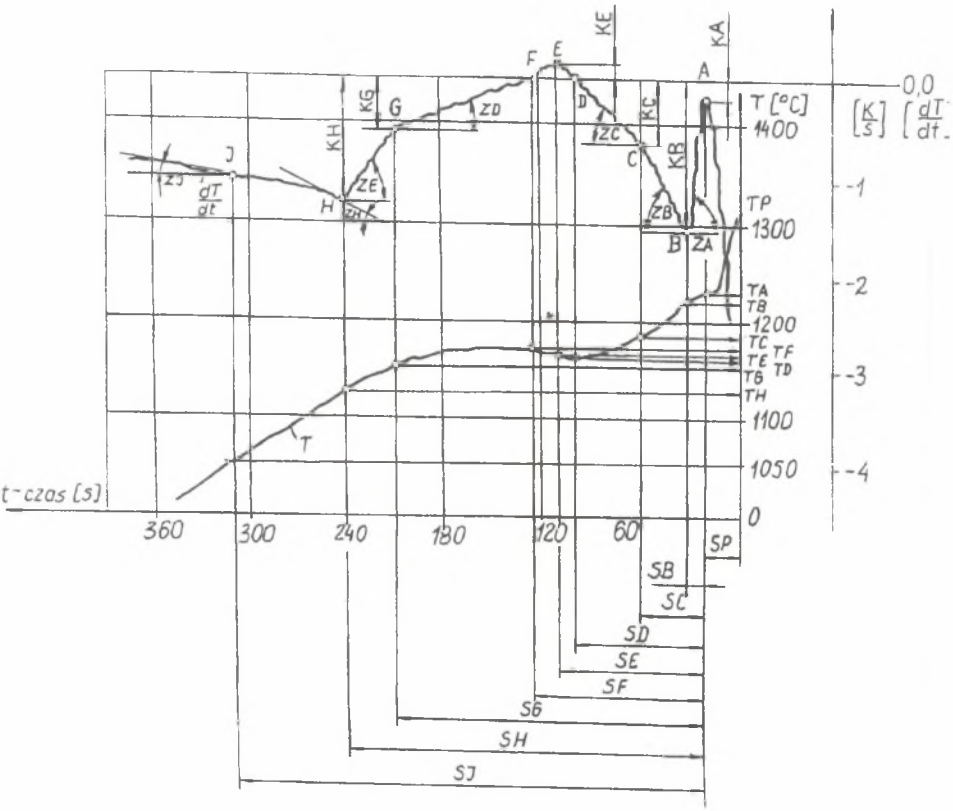
Uwzględnienie podanych ustaleń, zwłaszcza przy równoczesnym zastosowaniu metody ATD w zakresie diagnostyczno-prognostycznym, pozwala na efektywną poprawę jakości wytapianego żeliwa.

Przedstawione zagadnienie oddziaływania pierwiastków składu chemicznego żeliwa na twardość, a przede wszystkim na jej zmiany wzdłuż promienia beczki, powinno być rozszerzone w kolejnym etapie badań o problematykę związku warunków krzepnięcia ze zmianami struktury i HB na przekroju walca.



Rys.1. Oddziaływanie krzemu na twardość kolejnych warstw przekroju, przy równoczesnej analizie członów Si^2 oraz Si:
a) - surowa powierzchnia beczki,
b) - obrobiona powierzchnia beczki,
c) - obrobiona powierzchnia czopa i rdzeń walca; (w analizowanych graficznie równaniach (5)-(9) przyjęto średnią zawartość pozostałych pierwiastków)

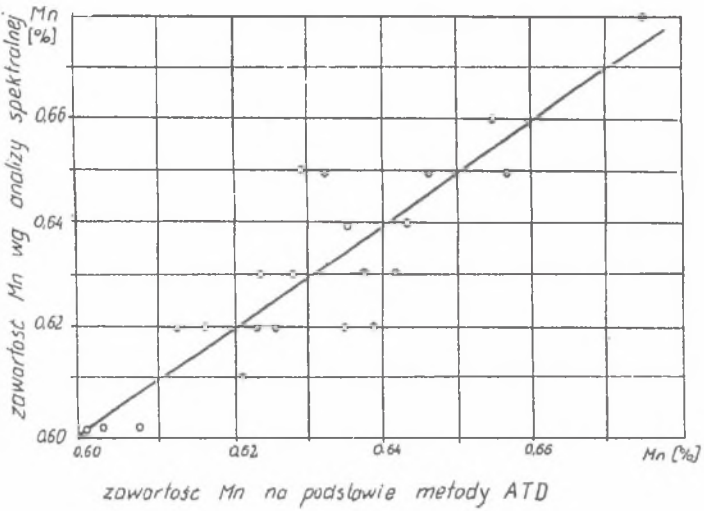
Fig. 1. The effect of silicon on the hardness of consecutive section cases along with analysis of agents Si^2 and Si:
a) - rough barrel surface,
b) - machined barrel surface,
c) - machined surface of neck and a roll core; (an average content of remaining elements was accepted in graphically analysed equations (5-9))



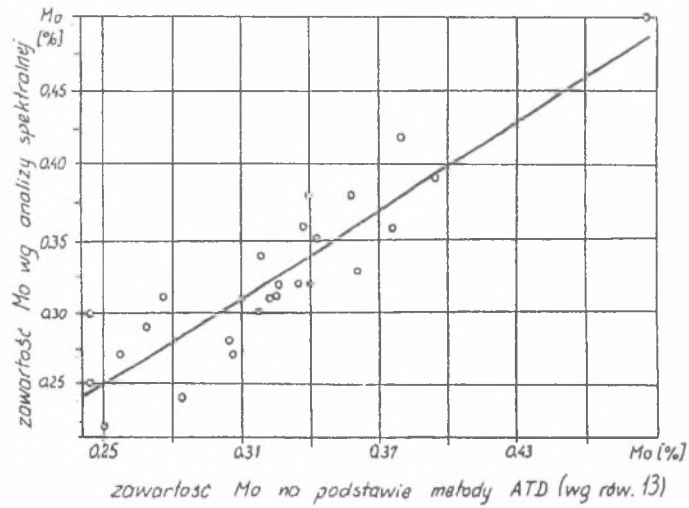
Rys.2. Wykres analizy termicznej i derywacyjnej procesu krystalizacji żeliwa na walce oraz oznaczenie parametrów ATD

Fig. 2. Plot of differential and thermal analyses for the crystallization proces of cast iron for rolls and the denotation of ATD parameters

a)



b)



Rys.3. Współzależność między analizą spektralną i diagnozą zawartości pierwiastków wg metody ATD dla manganu - a) i molibdenu - b)

Fig. 3. Correlation between spectrum analysis, and the diagnosis of element content according to the ATD method for manganese -a) and molybdenum -b)

Tablica 2

Wpływ składu chemicznego żeliwa na twardość i parametry funkcji określającej profil twardości na przekroju beczki walców

Nr równ.	Treść równań regresji	R	S	α
1	- przyrost twardości od rdzenia walca do surowej powierzchni beczki, /jed. HB/ $U=1136,3 + 632,2\ Si^2 + 94,9\ /Si+Mn+P/ - 1427,5\ /Si+S/ - 97,2\ /C+S/$	0,86	6	0,025
2	- odległość od obrobionej powierzchni beczki do warstwy najintensywniejszych zmian twardości, /mm/ $W=388,8 + 89,8\ /Si^2 + P/ - 411,4/Si+S/ + 57,3\ Cu$	0,84	3,2	0,01
3	- intensywność zmian twardości, /mm^{-1}/ $Z=0,23 - 0,258\ /Si+S/ + 0,077\ Mn + 0,07\ Cr - 0,063\ Mo + 0,128\ Cu$	0,84	0,005	0,025
4	- twardość warstwy, w której zachodzą najintensywniejsze zmiany twardości, /jed.HB/ $HB_w = 415,9 - 75\ C + 46,6\ Cr + 93,6\ Ni + 37,6\ Mo$	0,85	4	0,01
5	- twardość na surowej powierzchni beczki, /jed.HB/ $U + HB_c = 1395,2 + 459,1\ /Si^2 + P/ - 1080,8\ /Si+S/ - 125,5\ /C+S/ - 1133,3\ S + 105,7\ Ni$	0,86	5	0,01
6	- twardość maksymalna /jed.HB/ $HB_{max} = 1357,4 + 446,7\ /Si^2 + P/ - 1054\ /Si+S/ - 122\ /C+S/ - 1063\ S + 103,2\ Ni$	0,86	5	0,025
7	- twardość na obrobionej powierzchni beczki - met. Baumana, /jed.HBB/ $HBB_b = 1107,6 + 447,9\ /Si^2 + P/ - 1089,1\ /Si+S/ - 55,3\ /C+S/ + 126,2\ Ni + 70\ Cu$	0,84	6	0,05
8	- twardość na obrobionej powierzchni beczki - met. Brinella, /jed.HB/ $HB_b = 848,1 + 350,7\ /Si^2 + P/ - 946,8\ /Si+S/ + 47,1\ Cr + 113,7\ Ni$	0,81	6	0,05
9	- twardość na powierzchni czopa i w rdzeniu walca, /jed.HB/ $HB_c = 494 - 86,8\ C - 152,3\ /Si+S/ + 120,3\ Ni + 88,6\ Cr$	0,84	5	0,05

Tablica 3

Ocena składu chemicznego żeliwa przed spustem przy pomocy aparatury Crystaldigraph-PC /zawartość pierwiastków w funkcjiparametrów procesu krystalizacji żeliwa wg metody ATD/ - przykładowe równania dla niektórych pierwiastków

Nr równ.	Treść równań regresji	R	S	α
10	- diagnoza zawartości węgla, /%/ C = 6,36 - 0,003 TA + 0,097 KA + 0,011 ZA - 0,0026 ZB - 0,0055 ZD	0,84	0,026	0,025
11	- diagnoza zawartości krzemu, /%/ Si = 4,73 - 0,0028 TA + 0,0018 TB - 0,002 TH - 0,0026 KH	0,86	0,012	0,01
12	- diagnoza zawartości niklu, /%/ Ni = - 1,66 + 0,0026 TD + 0,35 KE + 0,00089 ZD	0,89	0,011	0,001
13	- diagnoza zawartości molibdenu, /%/ Mo = - 3,29 + 0,0031 TH + 1,07 KL + 0,0034 ZB - 0,011 ZD + 0,0017 /SF-SP/	0,90	0,029	0,001

Tablica 4

Prognoza niektórych parametrów profilu twardości na przekroju beczki walców, uzyskana metodą ATD przed spustem żeliwa (wskaźniki twardości walców w funkcji parametrów procesu krystalizacji żeliwa)

Nr równ.	Treść równań regresji	R	S	α
14	- przyrost twardości od rdzenia walca do surowej powierzchni beczki, /jed. HB/ U = 22,4 +46,4 KD - 321,4 KC - 26,9 KH + 1,8 ZA + 0,59 ZE	0,83	9	0,025
15	- odległość od powierzchni beczki do warstwy najintensywniejszych zmian twardości, /mm/ W = 45,6 + 0,29 TA + 0,28 TB - 0,61 TD + 34,9 KE + 0,36 ZC - 1,02 ZD	0,94	2,2	0,005
16	- twardość warstwy, w której zachodzą najintensywniejsze zmiany twardości /jed. HB/ HB_w = 353,5 - 0,19 ZC + 0,76 ZD	0,80	3	0,025
17	- twardość na obrobionej powierzchni beczki, /jed. HB/ HB_b = -20 + 0,38 TA - 45,8 KH - 1,08 ZC - 0,31 /SF-SP/	0,80	7	0,05
18	- twardość na powierzchni czopa i w rdzeniu walca, /jed. HB/ HB_c = 1714 - 1,3 TH + 0,38 ZC + 0,53 ZD	0,82	5	0,025

Abstract

The properties of iron castings, inclusive of hardness, are defined by their structure being a function of chemical constitution and solidification conditions. In case of solid castings - which are uniform rolls - this last agent is predominant. However, there is little potentiality for the control of crystallization conditions at the present moment, and thereby the structure and the hardness in successive barrel section cases. For that reason, the problems of interconnexions between solidification conditions and streology of structure components and HB changes have been proceded in this investigation by an analysis of the effect of cast iron chemical constitution on hardness and its changes at the roll section. This should offer facilities to form required cast iron properites for rolls. In this case, quantitative definition of variable intensity of influence of elements on the hardness section was based on the analysis of the coefficients of equation regresion with which the effect of chemical constitution on HB in successive barrel cases is described. The whole study refers to rolls made from low-alloy chromic-nickel cast iron, for which steelmaking practice, measuring-research methodology and functional description of HB changes are presented in the paper titled: "The Hardness Section of Uniform Cast Iron Rolls' cross-section". As a result of present investigations it has been found that overall increase in hardness of cast iron designed for rolls is caused by: Cr, Ni, Mo, Mn, Cu, P, but the HB decrease is ascribed to C, Si and s. If, however, as moving away from the barrel surface, chromium and nickel increase hardness, then the HB intersity drop caused by carbon increases in the same direction, whereas silicon brings about nearly constantly /but very large/ hardness reduction over the all section. In this study also is given a possibility of forming individual parameters for roll hardness section, and the influence of manganese, molybdenum, sulfur and copper is briefly described.

At the same time, having in view the efficient utilization of knowledge about influencing the elements of cast iron chemical construction, the use of thermal and differential analyses of alloy crystallization process was also presented for composition diagnosis and hardness section forecasting to suggest usefulness of this method for computer control of chemical construction and cast iron quality for rolls during smelting process.

Recenzent: Prof. dr hab. inż A. Maciejny

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1994 r.