46/2

Archives of Foundry, Year 2001, Volume 1, № 1 (2/2) Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2) PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

WPŁYW SZYBKOŚCI KRZEPNIĘCIA NA UDZIAŁ GRAFITU I CEMENTYTU ORAZ TWARDOŚĆ NA PRZEKROJU WALCA ŻELIWNEGO.

J. SUCHOŃ¹, S. JURA² Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

Czynnikiem decydującym o własnościach użytkowych walców jest twardość powierzchni roboczej beczki. Twardość ta jest ściśle uzależniona od struktury odlewu. Powstająca struktura zależy od składu chemicznego oraz szybkości krzepnięcia odlewu walca. W artykule przedstawiono badania mające na celu wyznaczenie jak szybkość krzepnięcia odlewu wpływa na oraz udział objętościowy grafitu i cementytu na przekroju walca żeliwnego oraz na jego twardość.

Key words: solidification rate, cast iron rolls, hardness, graphite volume fractions, cementite volume fractions

1. WPROWADZENIE

Przedmiotem prowadzonych badań są żeliwne walce hutnicze, odlewane w formie metalowej. Podstawowym wskaźnikiem ich jakości jest twardość. Powszechnie wiadomo, że właściwości mechaniczne (w tym twardość) zależne są od składu chemicznego i warunków krystalizacji a w konsekwencji od struktury odlewu. W przypadku grubościennych odlewów żeliwnych obserwuje się właśnie istotne zmiany struktury na przekroju, wynikające ze zmiennych warunków krzepnięcia metalu. Celem niniejszej pracy jest próba określenia funkcyjnego opisu rozkładu składników struktury (grafitu i cementytu) oraz twardości na przekroju odlewu walca w funkcji szybkości krzepnięcia.

¹ mgr inż., jsuchon@zeus.polsl.gliwice.pl

² prof. dr hab. inż., sekrmt3@zeus.polsî.gliwic.pl

2. PRZEPROWADZONE BADANIA

Badania prowadzona na walcach o średnicy 325 mm wykonanych z żeliwa o następującym składzie chemicznym: $3,22 \div 3,5$ C, $0,58 \div$ Mn, $1,2 \div 1,29$ Si, $0,02 \div 0,11$ P, $0,020 \div 0,042$ S, $1,22 \div 1,33$ Cr, $1,21 \div 1,44$ Ni, $0,22 \div 0,5$ Mo.

Wykonano 18 wytopów walców. Z każdego walca pobrano próbkę do pomiary twardości i udziału objętościowego grafitu i cementytu. Pomiary realizowano w warstwach co 5 mm licząc od obrobionej powierzchni beczki do odległości 30 mm oraz na powierzchni czopa walca. Średnie wartości uzyskanych wyników zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Średnie wartości twardości oraz udziału objętościowego grafity i cementytu

Odległość od powierzchni baczki [mm]	Twardość HB	Udział ۲wardość objętościowy HB grafitu	
0	410	1,37	31,62
5	398	1,67	29,25
10	387	1,89	27,26
15	376	2,21	25,57
20	370	2,48	24,23
25	363	2,84	22,47
30	357	3,14	20,74
Czop	279	5,70	12,79

Table 1 Means values	of hardness	and of v	volume	fraction	graphite
and cement	ite				

W baniach wykonano rejestrację ATD dla wszystkich walców oraz dodatkowo pomiary temperatury podczas stygnięcia w czterech walcach.

Na rys. 1. przedstawiono usytuowanie punktów pomiarowych w walcu:

punkt 0 – oś walca,

punkt 1 - 126,5 mm od osi walca,

punkt 2 - 151,5 mm od osi walca,

punkt 3 - 176,5 mm od osi walca,

punkt 4 – 240,5 mm od osi walca, (połowa grubości kokili).

Ponieważ jednocześnie mogły być realizowane pomiary tylko w czterech punktach pomiar realizowano w następujący sposób:

Próba 15 i 16: punkty 1; 2; 3; 4,

Próba 17 i 18: punkty 0; 1; 3; 4.



Rys. 1. Przekrój formy w oznaczonymi punktami pomiarowymi. Fig. 1 Section of mould with mark measuring points

Pomiar temperatury wykonano za pomocą termoelementów PtRh10-Pt o średnicy 0,5 [mm] Pomiarów dokonano przy automatycznej kompensacji temperatury otoczenia w systemie aparatury CRYSTALDIGRAPH. Rejestrację rozpoczęto na kilkanaście sekund przed zalaniem wlewnicy. Trwała ona do momentu gdy temperatura w wszystkich punktach pomiarowych osiągnęła poziom ok. 900 °C. Na rys. 2 przedstawiono przykładową rejestrację stygnięcia walca.



Rys. 2. Rejestracja stygnięcia walca nr 17 Fig. 2 Registration of cooling rolls No 17

Pomiary przeprowadzone na rzeczywistym odlewie przedstawiają przebieg krzepnięcia walca w wybranych punktach odlewu (punktach pomiaru temperatury). Jednak znajomość przebiegu stygnięcia w kilku punktach przekroju walca nie świadczy jednoznacznie o przebiegu krzepnięcia w dowolnym punkcie przekroju. Aby analizować przebieg krzepnięcia w dowolnym punkcie przekroju konieczna jest symulacja komputerowa, dla której wyniki pomiarów stanowić będą punkty odniesienia.

Dla przeprowadzenia symulacji komputerowej konieczna jest znajomość parametrów termofizycznych krzepnącego metalu. Dla ich wyznaczenia skorzystano z zarejestrowanych wyników próby ATD, która pozwala na określenie spektralnego ciepła krystalizacji oraz parametrów termofizycznych żeliwa. Uzyskane tą drogą wyniki są podstawą symulacji komputerowej stygnięcia.

Do wyznaczenia ciepła spektralnego zastosowano metodę zaproponowaną przez Z. Jurę [1, 2]. Zaproponowana metoda polega na przeprowadzeniu symulacji standardowego próbnika ATD. Do programu symulacyjnego wprowadza się model krzepnięcia metalu w postaci funkcji ciepła spektralnego i parametry termofizyczne metalu w celu odtworzenia krzepnięcia próbnika ATD.

Dane termofizyczne otrzymane w wyniku symulacji próbników ATD zestawiono w tabeli 2.

	Walec 15	Walec 16	Walec 17	Walec 18
$\lambda_c [W/mK]$	38,0	35,0	39,0	38,0
λ_{st} [W/mK]	45,0	40,0	46,0	45,0
cp _c [J/kgK]	730,0	730,0	730,0	730,0
cpst [J/kgK]	850,0	850,0	850,0	850,0
$\rho_c [kg/m^3]$	7000	7000	7000	7000
$\rho_{st}[kg/m^3]$	7000	7000	7000	7000
TL [°C]	1235	1198	1217	1216
TS [°C]	1135	1135	1125	1132
Q _k [J/kg]	215454	239515	249235	243547

Tabela 2 Dane termofizyczne obliczone na podstawie symulacji próbnika ATD Table 2. Thermo physical dates calculation on base simulation probe DTA.

Po wyznaczeniu danych termofizycznych dokonano ich powtórnej weryfikacji poprzez symulację walca, podczas której starano się odtworzyć przebieg rzeczywistego przebiegu temperatury w punktach pomiarowych. Przykładowy wykres przedstawiający wyniki symulacji przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3 Porównanie wyników symulacji komputerowej z pomiarami walca nr 17 Fig. 3 Comparison results of computer simulation with measurements of roller No 17

Analiza otrzymanych wykresów wykazała dobre odwzorowanie pomiarów przez symulację. Co potwierdza poprawność przyjętych parametrów termofizycznych. Aby w pełni zobrazować przebieg krzepnięcia walców należało przeprowadzić ponowną serię symulacji mających na celu wyznaczenie przebiegów temperatury w wielu punktach przekroju ze szczególnym uwzględnieniem punktów, w których były dokonywane pomiary twardości oraz udziału objętościowego grafitu i cementytu. Analiza tych krzywych stygnięcia pozwoli na określenie zależności pomiędzy szybkością krzepnięcia w danym punkcie a powstająca strukturą i twardością walca. Na rys. 4 przedstawiono wykres zmiany temperatury walca 17 w punktach 0,5, ... ,35, 75 i 162,5 mm od powierzchni beczki.

Na wykresach naniesiono temperatury likwidus (TL), solidus (TS) oraz temperaturę końca krzepnięcia (TH). Temperaturę tę określono na podstawie pomiarów ATD.

Temperaturę tę przyjęto na poziomie 1072 [°C] tj. średnią wartość temperatury w punkcie H (rys.3.5) dla wszystkich 18 wytopów. Uzyskane wykresy posłużyły do wyznaczenia czasów potrzebnych do osiągnięcia temperatury TH oraz szybkości spadku temperatury pomiędzy temperaturą zalewania a temperaturą końca krystalizacji. Wartości te zestawiono w tabeli 3.





Fig. 4 Graph changes of temperature during solidification of roller 17 in select points answering to measurements of hardness and metallographic researches

Table 3 Statement of times and solidification rates Walec $1\overline{5}$ Odległość od Walec 17 Walec 18 Walec 16 powierzchni $S_{\text{śred.}}$ Tz = 1291Tz = 1299Tz = 1310Tz = 1318beczki S S S S t_k t_k t_k t_k 0 485 0,45 531 0,43 0,42 528 0,47 0,44 566 648 5 588 0,37 659 0,34 661 0,36 0,38 0,36 10 692 0,32 754 0,30 796 0,30 759 0,32 0,31 0,27 897 0,25 902 15 811 924 0,26 0,27 0,26 0,24 0,22 0,22 20 930 1017 1059 1054 0,23 0,23 25 0,21 1058 1144 0,20 1218 0,20 1197 0,21 0,20 30 1185 0.18 1295 0.18 1354 0.18 1356 0,18 0,18 0,17 35 1320 1415 0,16 1513 0,16 1507 0,16 0,16 75 2260 0,10 2442 0,09 2611 0,09 2582 0,10 0,09 162,5 2976 0,07 3246 0,07 3535 0,07 3283 0,07 0,07

Tabela 3. Zestawienie czasów i szybkości krzepnięcia Table 3. Statement of times and solidification rates

Oznaczenia:

Tz-temperatura zalewania,

 $t_{\rm k}$ – czas osiągnięcia temperatury końca krzepnięcia przez poszczególne walce w określonych punktach,

Walec 17

 $S = \frac{(Tz - TH)}{t_k}$ - szybkość spadku temperatury od temperatury zalewania do

temperatury TH,

TH – temperatura końca krystalizacji – 1072 °C $S_{\text{sred.}}$ – średnia szybkość krzepnięcia walców 15 do 18

3. WPŁYW SZYBKOŚCI KRZEPNIĘCIA NA ROZKŁAD ILOŚCI SKŁADNIKÓW STRUKTURY I TWARDOŚĆ ŻELIWA

Czynnikiem, który w sposób istotny wpływa na strukturę a tym samym na właściwości odlewu jest szybkość krzepnięcia. Szybkości krzepnięcia jest podstawowym, obok składu chemicznego, czynnikiem wpływającym na powstawanie struktury w krzepnącym odlewie żeliwnym. Dlatego zasadnym jest określenie zależności pomiędzy szybkością krzepnięcia a udziałem składników struktury oraz twardością. Szybkość krzepnięcia została określona jako szybkość spadku temperatury w zakresie od temperatury zalewania do temperatury końca krystalizacji.

W wyniku analizy statystycznej otrzymano następujące równania:

$$Vvg = 1,27 + \frac{37,98}{1 + \exp[8,81 \cdot (S+0,16)]}$$
(1)

o parametrach statystycznych:

 $\delta V vg = 0.041; R = 0.999, F = 7021$

ilość cementytu w funkcji szybkości krzepnięcia

$$Vvc = 31,80 - \frac{24,29}{1 + \exp[11,9 \cdot (S - 0,168)]}$$
(2)

o parametrach statystycznych: $\delta Vvc = 0,486$; R = 0,997, F = 2717

twardość w funkcji szybkości krzepnięcia

$$HB = 413 - \frac{9,37}{1 + \exp[9,47 \cdot (S + 8,28 \cdot 10^{-4})]}$$
(3)

o parametrach statystycznych: $\delta HB = 5,47; R = 0,991, F = 5202$

Otrzymane zależności przedstawiono na wykresach rys. 4.4 do 4.6.



Rys.5 Rozkład ilości grafitu w funkcji szybkości krzepnięcia Fig. 5 Distribution quantity of graphite in function of solidification rate



Rys.6 Rozkład ilości cementytu w funkcji szybkości krzepnięcia. Fig. 6 Distribution quantity of cementite in function of solidification rate



Rys.7 Rozkład twardości w funkcji szybkości krzepnięcia. Fig. 7 Distribution of hardness in function of solidification rate

Uzyskane równania oraz sporządzone na ich podstawie wykresy pozwalają na wyznaczenie udziałów objętościowych grafitu, cementytu i twardości w dowolnym punkcie na przekroju walca na podstawie szybkości krzepnięcia. Przedstawione wykresy wskazują wyraźnie, że w celu osiągnięcia wysokich twardości w warstwie roboczej, czyli ok. 400 HB potrzebna jest prędkość krzepnięcia minimum 0,35 [K/s]. Twardość to spowodowana jest wysoką zawartością cementytu ok. 30 % oraz niską grafitu ok.1,7 % Wraz ze spadkiem szybkości krzepnięcia obserwujemy wyraźny spadek twardości spowodowany wzrostem ilości grafitu w osnowie a zmniejszeniem się ilości cementytu.

4. PODSUMOWANIE

Określono wpływ szybkości krzepnięcia odlewu na udział objętościowy grafitu, cementytu oraz na twardość. Uzyskane zależności (1)÷(3) pozwalają na wyznaczenie rozkładu udziału objętościowym grafitu i cementytu oraz twardości na przekroju krzepnącego walca. Związki te mogą być wykorzystane podczas symulacji komputerowej krzepnięcia w celu prognozowania powstającej struktury oraz przewidywania twardości odlewu walca. Otrzymane zależności pozwalają na wyznaczenie rozkładu udziału składników struktury i twardości walców dowolnej średnicy wykonanych z żeliwa o tym samym składzie chemicznym.

LITERATURA

- [1] Jura Z.: *Ciepło spektralne krystalizacji żeliwa szarego*. Krzepnięcie metali i stopów Nr 40, PAN Katowice 1999 s.153-158.
- [2] Jura Z. *Metoda określenia ciepła spektralnego krystalizacji na podstawie próby ATD*. Praca doktorska. Częstochowa 1997.

INFLUENCE OF SOLIDIFICATION RATE ON GRAPHITE AND CEMENTITE FRACTION AND ON HARDNESS IN CAST IRON ROLL SECTION

Utilitarian properties-determining factor of rolls is the hardness of face roll surface. It is closely connected with structure of casting. Structure formatting depends on chemical composition and solidification rate of roll casting. The researches, which aims were determine influences of solidification rate on graphite and cementite volume fractions on section of cast iron roll and on its hardness.

Recenzował Prof. Józef Gawroński