Rok 2004, Rocznik 4, Nr 12 Archives of Foundry Year 2004, Volume 4, Book 12 PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

PROFIL MAKRO- I MIKRO-TWARDOŚCI NA PRZEKROJU MODELOWEGO ODLEWU Z ŻELIWA CHROMOWEGO

A.STUDNICKI¹, J.KILARSKI², M.PRZYBYŁ³

Zakład Odlewnictwa Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rozkład twardości i mikrotwardości na przekroju modelowego odlewu z żeliwa chromowego, który odwzorowuje odlew grubościenny. Zaprezentowane wyniki badań dotyczą 9 wytopów żeliwa chromowego o zmiennej zawartości węgla i chromu. Opisano zależność składu chemicznego i szybkości stygnięcia na omawiane parametry (własności) analizowanego tworzywa.

Key words: hardness, microhardness, cooling rate, chromium cast iron

1. WPROWADZENIE

Twardość jest parametrem często charakteryzującym własności użytkowe tworzywa. Wśród parametrów określających przydatność tworzywa do pracy w warunkach ściernych, twardość nadal zajmuje dominujące miejsce. Istotną zaletą tego parametru jest duża prostota przy jego wyznaczaniu.

Żeliwo chromowe należy do grupy materiałów odlewniczych szeroko stosowanych na elementy narażone na intensywne zużycie ścierne. Ważną grupę odlewów stanowią tzw. odlewy grubościenne. Cechą charakterystyczną tych odlewów jest stosunkowo duży ubytek objętościowy materiału podczas pracy. Ubytek ten nie jest mierzony w

21/12

¹ dr inż. e-mail: ajstud@zeus.polsl.gliwice.pl

² dr inż. e-mail: sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

³ dr inż. e-mail: sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

mikronach a raczej w milimetrach lub centymetrach na grubości odlewu. W tych odlewach istotną cechą użytkową jest profil twardości na przekroju roboczym elementu.

Przy produkcji odlewów znaczny wpływ na szeroko rozumianą strukturę ma szybkość stygnięcia odlewu, która jest ściśle związana z procesem technologicznym i gabarytami odlewu. Zawsze na przekroju odlewu grubościennego struktura znacznie się zmienia, co ma w konsekwencji wpływ na własności użytkowe tj. twardość, odporność na ścieranie, ciagliwość itd. W odlewach grubościennych przeznaczonych do pracy w warunkach ściernych dąży się do otrzymywania w miarę jednorodnych i pożądanych własności, co najmniej na grubości roboczej odlewu, tzn. na grubości ulegającej ścieraniu. Odlew na tej grubości powinien się charakteryzować między innymi korzystnym profilem twardości oraz korzystnym ukierunkowaniem struktury (np. orientacja fazy węglikowej [1].

Wiarygodność transformacji wyników badań naukowych przeważnie realizowanych na małych próbkach stanowi duży problem. W Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach opracowano metodę badania tworzywa przeznaczonego na odlewy grubościenne. Metoda ta w skrócie polega na badaniu tzw. odlewu modelowego o średnicy 30 mm otrzymanego w specjalnie skonstruowanym próbniku z izolacją cieplną [2].

2. MATERIAŁ DO BADAŃ I METODYKA BADAŃ

Żeliwo chromowe wytypowane do badań należy do grupy żeliwa o strukturze dwufazowej, tj. faza węglikowa w osnowie metalowej. Najwyższą odpornością na ścieranie charakteryzują się żeliwa o fazie węglikowej składającej się głównie z węglików typu M₇C₃. W ramach badań wykonano 9 wytopów żeliwa chromowego o zmiennej zawartości węgla i chromu (każdy na trzech poziomach). W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny badanego żeliwa chromowego.

Nr wytopu	С	Cr	Si	Mn	Мо	Ni	Cu	Р	S
	% wag.								
1	2,43	17,27	0,42	0,24	0,14	0,07	0,04	0,083	0,017
2	2,44	21,43	0,37	0,14	0,12	0,08	0,08	0,093	0,024
3	3,56	17,23	0,18	0,42	0,24	0,26	0,05	0,075	0,026
4	1,93	12,12	0,42	0,34	0,14	0,06	0,06	0,063	0,019
5	2,50	12,69	0,18	0,35	0,20	0,19	0,06	0,075	0,030
6	1,86	18,94	0,28	0,19	0,12	0,05	0,06	0,053	0,023
7	1,82	23,38	0,29	0,09	0,11	0,07	0,07	0,052	0,028
8	3,55	13,28	1,47	0,40	0,07	0,03	0,08	0,079	0,022
9	3,15	25,11	1,03	0,36	0,06	0,08	0,07	0,051	0,033

Tabela 1 Wyniki analizy chemicznej żeliwa chromowego Table 1 Chemical composition of chromium cast iron

Odlew modelowy ¢30 wykonano zgodnie z zasadami opracowanymi dla próbnika z izolacją cieplną. Szerzej te metodę opisano w publikacji [2]. Zastosowana w próbniku izolacja cieplna (wykorzystanie ciepła stygnięcia materiału badanego) i termiczna (materiał izolacyjny Sibral 300) umożliwia otrzymanie odlewu modelowego ¢30 reprezentującego odlew grubościenny o średnicy ponad 100 mm. Umieszczone w odlewie modelowym termoelementy umożliwiają rejestrację procesu stygnięcia odlewu na jego przekroju. Zarejestrowane krzywe stygnięcia można w dalszych badaniach powiązać ze strukturą i innymi własnościami. W niniejszej pracy krzywe stygnięcia powiązano z parametrami twardości i mikrotwardości osnowy. Przygotowanie próbek do badań twardości, a szczególnie mikrotwardości z odlewu modelowego ¢30 nie stwarza już specjalnych trudności. Cięcie wykonano na ściernej przecinarce laboratoryjnej przy intensywnym chłodzeniu. Sposób pobierania próbek z odlewu modelowego przedstawiono na rys.1. Cięcia wykonano w miejscach w których były umieszczone termoelementy.



Rys.1 Sposób pobierania próbek z odlewu modelowego ϕ 30 Fig.1 Drawing of samples with casting ϕ 30

Pomiary twardości i mikrotwardości osnowy wykonano na powierzchniach prostopadłych do kierunku przepływu ciepła w stygnącym odlewie. Twardość mierzono metodą Rocwella w skali C zgodnie z normą. Próbki do pomiaru mikrotwardości osnowy przygotowano tradycyjną metodą szlifowania i polerowania zgładów metalograficznych. Zgłady następnie trawiono lekko odczynnikiem Mi 19. Pomiary mikrotwardości wykonano na twardościomierzu Hanemanna zgodnie z normą.

Badania mikrotwardości poszerzono o analizę wpływu siły obciążającej penetrator twardościomierza na wielkość odcisku zgodnie z prawem Meyera:

$$\mathbf{F}=\mathbf{c}\cdot\mathbf{d}^{\mathbf{n}}$$

(1)

gdzie F-siła obciążająca, d-wymiar odcisku, c,n -współczynniki Meyera

Na rys.2a i 2b przedstawiono opracowane wykresy prostej Meyera oraz zmiennej mikrotwardości dla niektórych wytopów. Rysunki te przedstawiają różne typy wykresów, które różnią się wartościami współczynników Meyera, szczególnie współczynnika n (rys.2a n<2, rys.2b n>2).



Rys.2 Wykresy funkcji Meyera i zmiennej mikrotwardości Fig.2 Curves of Meyer and microhardness

Ma to swoje odzwierciedlenie w przebiegu zmian mikrotwardości, wzrost pomiarowego obciążenia powoduje wzrost mikrotwardości. Jakie ma to uzasadnienie fizyczne, czy można traktować je jako parametry materiałowe? Rozważane są dwie hipotezy. Pierwsza może dotyczyć przypadku, gdy w osnowie żeliwa występują bardzo drobne (dyspersyjne) wydzielenia węglików, które utrudniają odkształcanie mikroobjętości osnowy na skutek wgłębiania penetratora. Druga dotyczy skłonności osnowy austenitycznej do utwardzania się pod wpływem różnego zgniotu wywołanego zmieniającym się obciążeniem. Te dwie hipotezy nie zostały jeszcze potwierdzone szerszymi badaniami, a w niniejszym artykule są zamieszczone w celu wywołania

dyskusji na temat fizycznego sensu współczynników Meyera w badaniach własności materiałów.

3. ROZKŁAD TWARDOŚCI I MIKROTWARDOŚCI OSNOWY NA PRZEKROJU MODELOWEGO ODLEWU

W poszczególnych wytopach badanego żeliwa chromowego profil twardości i mikrotwardości osnowy jest bardzo zróżnicowany. Obserwuje się wyraźny wpływ składu chemicznego i szybkości stygnięcia na badane parametry. Na rys.3 przedstawiono profile twardości i mikrotwardości osnowy na przekroju modelowego odlewu ϕ 30 mm dla wybranych wytopów w funkcji odległości od czoła próbki (*a*). Zmiana tego parametru odpowiada zmianie szybkości stygnięcia (im wyższa wartość parametru *a* tym mniejsza szybkość stygnięcia. Generalnie w niniejszych badaniach zmniejszenie szybkości stygnięcia odlewu powoduje powstanie struktury o mniejszej twardości odlewu.



Rys.3. Profil twardości i mikrotwardości osnowy żeliwa chromowego a) wytop 1 C24Cr18, b) wytop 7 C18Cr25

Fig.3 Hardness and microhardness of matrix of chromium cast iron a) melt 1 C24Cr18, b) melt 7 C18Cr25 Wyraźnie zauważa się spadek twardości w kierunku centrum cieplnego odlewu modelowego. Najbardziej intensywny spadek twardości (Δ HRC=10) obserwuje się w żeliwach o najniższej zawartości węgla. Występuje też pewna prawidłowość – kierunek zmian twardości jest zgodny z kierunkiem zmian mikrotwardości osnowy tzn. gdy następuje spadek mikrotwardości osnowy to twardość również spada. Wynika z tego, że podczas stygnięcia odlewu mikrotwardość osnowy decyduje o makrotwardości żeliwa chromowego w konkretnym miejscu na przekroju

4. ANALIZA STATYSTYCZNA WPŁYWU SKŁADU CHEMICZNEGO I SZYBKOŚCI STYGNIĘCIA NA MAKRO- I MIKROTWARDOŚĆ

Ogólnie wiadomo, że szybkość stygnięcia odlewu grubościennego jest diametralnie różna na przekroju odlewu. W pracy szybkość stygnięcia w określonych punktach odlewu wyznaczono na podstawie krzywych stygnięcia zarejestrowanych podczas eksperymentu. Termoelementy były umieszczone w odległościach 10, 25, 45, 75 i 100 mm od czoła odlewu modelowego. Do analizy statystycznej wyznaczono średnie szybkości stygnięcia badanego żeliwa w stanie ciekłym, tj. w zakresie od temperatury zalewania TZ do temperatury solidus TS oraz w stanie stałym od temperatury solidus TS do temperatury 500 °C tj. do temperatury zarejestrowanej. Średnie szybkości stygnięcia wyznaczono z zależności.

$$V_{TZ-TS} = \frac{TZ - TS}{tZ - tS} \qquad [K/s] \qquad V_{TS-500} = \frac{TS - 500^{\circ}}{tS - t500} \qquad [K/s] \qquad (2)$$

gdzie TZ, TS – temperatura zalewania i temperatura solidus, tZ, tS, t500 - czas po którym zaobserwowano na krzywej stygnięcia temperaturę TZ, TS i 500° .

Temperaturę solidus stopu wyznaczono na podstawie krzywej stygnięcia zarejestrowanej w centrum cieplnym odlewu modelowego zgodnie z zasadami znanej metody ATD. Średnie szybkości stygnięcia obliczone wg powyższych wzorów zawierają się w granicach 9-0.1 K/s dla V_{TZ-TS} oraz 0.35-0.1 K/s dla V_{TS-500}.

W oparciu o wyniki badań przeprowadzono analizę statystyczną. Metodą regresji krokowej wyznaczono zależności matematyczne opisujące wpływ zawartości węgla i chromu oraz szybkości stygnięcia na makro i mikrotwardość osnowy żeliwa chromowego (wzory 3÷6).

I. Stygnięcie odlewu w zakresie temperatur TZ-TS

HRC=48.7+3.33C-0.53Cr

(3)

(4)

Parametry statystyczne: wartość średnia =48; odchylenie standardowe = 2.14; współczynnik korelacji R=0.76; test Fishera F=18.86; test wiarygodności W=2.19

µHV30=605+57.7C-16.9Cr+7.6V_{TZ-TS}

Parametry statystyczne: wartość średnia =460; odchylenie standardowe = 46; współczynnik korelacji R=0.84; test Fishera F=24.94; test wiarygodności W=3.11

II. Stygnięcie odlewu w zakresie temperatur TS-500°

HRC=40.3+4.82C-0.59Cr+45.24V _{TS-500}	(5)
Parametry statystyczne: wartość średnia =48; odchylenie standardowe = 1.63;	współczynnik
korelacji R=0.88; test Fishera F=28.97; test wiarygodności W=4.00	
μHV30=572+54.4C-15.5Cr+220V _{TS-500}	(6)
Parametry statystyczne: wartość średnia =468; odchylenie standardowe = 45;	współczynnik
korelacji R=0.83; test Fishera F=20.75; test wiarygodności W=2.85	

Na rys.4 i 5 przedstawiono graficznie równania 4 i 5. Wykresy sporządzono dla żeliwa chromowego o zawartości chromu 18%. Jak widać sterowanie szybkością chłodzenia umożliwia zmianę analizowanych parametrów twardości, jednak w praktyce często szybkość chłodzenia jest zależna od konstrukcji odlewu a dokładniej od grubości ścianki odlewu. Przy produkcji odlewów grubościennych możliwości sterowania szybkością stygnięcia są dosyć ograniczone, a w wielu odlewniach wręcz niewykonalne.



Rys.4 Wpływ węgla i szybkości stygnięcia w stanie ciekłym na mikrotwardość osnowy żeliwa Fig.4 Influence of carbon and cooling rate in liquit state on microhardness of matrix of cast iron



Rys.5 Wpływ węgla i szybkości stygnięcia w stanie stałym na twardość żeliwa Fig.5 Influence of carbon and cooling rate in solid state on hardness of cast iron

5. PODSUMOWANIE

Analiza statystyczna wyników badań w pełni potwierdziła wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące wpływu stężenia węgla i chromu na twardość omawianych żeliw. Węgiel jest pierwiastkiem silnie zwiększającym twardość żeliwa chromowego. Natomiast chrom, przy stałej zawartości węgla w stopie, obniża twardość i mikrotwardość osnowy, z powodu jego silnie węglikotwórczego oddziaływania. Bardziej złożony jest wpływ szybkości chłodzenia odlewu na omawiane własności. Należy rozróżnić oddziaływanie średniej szybkości stygnięcia żeliwa w stanie ciekłym (w zakresie TZ-TS) oraz stałym (w zakresie TS-500°). Zróżnicowana szybkość stygniecia żeliwa w stanie ciekłym nieznacznie lub pomijalnie wpływa odpowiednio na mikro i makrotwardość. Z wcześniej prowadzonych badań [3,4] wynika jednak duży wpływ szybkości krystalizacji na morfologię fazy węglikowej w żeliwie chromowym. Oddziaływanie zróżnicowanej szybkości chłodzenia odlewu modelowego w stanie stałym na mikro i makrotwardość jest intensywne i przejawia się wzrostem tych własności w miarę zwiększania szybkości. Zjawisko to prawdopodobnie związane jest z różną transformacją osnowy w zależności od szybkości stygnięcia oraz ze zjawiskiem wydzielania się w osnowie dyspersyjnych węglików.

Autorzy sugerują prowadzenie rejestracji stygnięcia odlewu modelowego do jeszcze niższych temperatur (około 150-200°C) co może mieć korzystny wpływ na dokładność badań.

LITERATURA

- [1] Dogan O.N., Laird II G., Hawk J.A.: Abrasion resistance of the columnar zone in high Cr white cast irons. Elsevier, Wear 1995,
- [2] Studnicki A.: Badanie procesu krystalizacji odlewniczych materiałów odpornych na ścieranie. Archiwum Odlewnictwa, PAN-Katowice, rocznik 2, nr 4, 2002,
- [3] Przybył M., Studnicki A., Kilarski J.: Rozkład parametrów stereologicznych węglików w żeliwie chromowym na przekroju modelowego odlewu. Archiwum Odlewnictwa. PAN-Katowice, rocznik 3, nr 10, 2003,
- [4] Badania własne Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej (niepublikowane).

MACRO AND MICROHARDNESS PROFILE ON SECTION OF CASTING OF CHROMIUM CAST IRON

SUMMARY

The paper presents research of hardness and microhardness of matrix on section of casting-model (representation heavy-section casting) of chromium cast iron. The influence of chemical composition and cooling rate on hardness and microhardness of matrix have been described.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Franciszek Binczyk