

## KSZTAŁTOWANIE PROFILU I GRUBOŚCI WARSTWY STOPOWEJ W BIMETALOWYCH WALCACH HUTNICZYCH

F. BINCZYK<sup>1</sup>, J. SITKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów,  
Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

<sup>2</sup>Katedra Zarządzania Jakością Procesów i Produktów, Politechnika Śląska, Zabrze,  
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń profilu i grubości zewnętrznej warstwy żeliwa stopowego w bimetalowych walcach hutniczych. Proces ten składa się z etapu krystalizacji warstwy żeliwa stopowego na ściankach metalowej wlewnicy oraz etapu jej nadtapiania podczas przelewania formy żelwem szarym. Efektem obu tych procesów jest warstwa zewnętrzna, której profil i grubość na długości beczki walca zależy od wielu czynników. Najważniejsze to temperatura odlewania obu rodzajów żeliwa, czasy i szybkość poszczególnych etapów procesu przelewania formy żelwem szarym, warunki odprowadzania ciepła z odlewu do formy oraz sposób przepływu ciekłego żeliwa.

*Key words: sleeved roll, temperature, solidification, mould, layer*

### 1.WSTĘP

Walce hutnicze należą do elementów pracujących w wyjątkowo trudnych warunkach. Podczas pracy walec jest poddawany zmiennym naprężeniom ściskającym, rozciągającym oraz naprężeniom skręcającym powstającym w wyniku przenoszenia momentu obrotowego. Dodatkowo powierzchnia robocza beczki walca poddawana jest silnemu działaniu ścierającemu. Powierzchniowa część robocza walca winna zatem cechować się znaczną odpornością na zmęczenie cieplne i zużycie ścierane w warunkach zmiennych obciążeń i podwyższonej temperatury. Tworzywo części

---

<sup>1</sup> *dr hab. inż. – prof. Pol. Śl.*

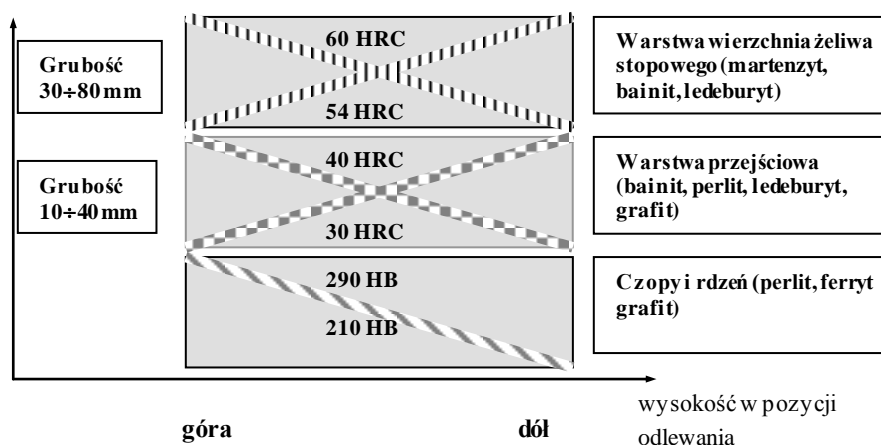
<sup>2</sup> *dr inż.*

środkowej walca oraz czopów winno cechować się dużą udarnością, dobrymi właściwościami ślizgowymi oraz dobrą skrawalnością [1]. Możliwość taka istnieje w walcach bimetalowych[1,2]. Beczka walca wykonana jest z tworzywa o wysokiej twardości i odporności na ścieranie natomiast rdzeń i czopy z tworzywa o dobrej udarności i obrabialności. Walce są odlewane w formach metalowych. Najpierw odlewa się płaszcz walca przez wypełnienie formy wysokostopowym żelazem do wysokości 100 mm ponad górną krawędź beczki walca. Wówczas przerywa się zalewanie formy i w wyniku dużej intensywności odprowadzania ciepła przez wlewnicę, krzepnie warstwa powierzchniowa z żelaza stopowego. Następnie wlewa się do formy żelazo na rdzeń walca. Żelazo stopowe wypełniające rdzeń walca zostaje wypchnięte i wypływa rynienką do podstawionej wlewnicy.

## 2. PROBLEM BADAWCZY

Przedmiotem badań były żelazne bimetalowe walce hutnicze typu „poler” stosowane w klatkach wykańczających walcowni ciągłych blach walcowanych na gorąco oraz klatkach wyładających walcowni blach metali nieżelaznych[2].

W walcach bimetalowych, pomiędzy warstwą wierzchnią a rdzeniem walca powinna występować warstwa przejściowa tworząca gradientową makrostrukturę, łagodzącą naprężenia, co jest wynikiem stopniowego obniżania twardości. Zbyt szeroka warstwa przejściowa obniża grubość warstwy powierzchniowej, co spowodowane jest to zbyt intensywnym nadtopieniem warstwy żelaza stopowego przez wypełniającą przestrzeń wewnętrzną żelazo szare. Mała grubość tej warstwy wpływa na gwałtowne obniżenie twardości, co jest przyczyną silnego gradientu naprężeń, powodującego pękanie i odwarstwienia warstwy wierzchniej podczas eksploatacji walców. Warstwa żelaza stopowego powinna mieć grubość około 70mm i twardość od 56 do 60 HRC Twardość rdzenia walca powinna wynosić około 260 HB. Co do grubości i twardości warstwy przejściowej nie ustalono określonych wymagań. W praktyce właściwości te są bardzo zróżnicowane co potwierdziły wyniki badań na obiektach rzeczywistych oraz analiza danych zapisywanych w kartach wytopów. Szczególnie istotne są różnice w twardości beczki walca w górnych i dolnych obszarach (pozycja przy odlewaniu) oraz różna grubość warstwy żelaza stopowego na wysokości tej beczki. Schematycznie przedstawia to rys.1.



Rys. 1. Rzeczywisty rozkład właściwości warstwy wierzchniej i przejściowej bimetaliowych walców typu „poler”

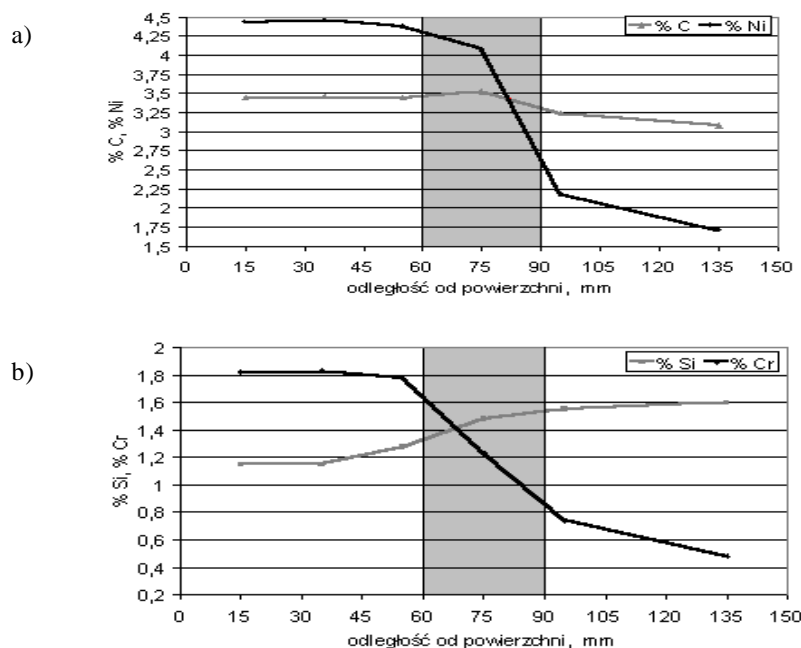
Fig. 1. Real schedule of propriety of layer and temporary bimetal sleeved roll of type „poler”

### 3. BADANIA WŁASNE

W celu określenia prawdopodobnego mechanizmu kształtowania się profilu i grubości zewnętrznej warstwy żeliwa stopowego przeprowadzono następujące pomiary i obliczenia:

- analiza składu chemicznego na przekroju poprzecznym warstwy zewnętrznej w próbkach (pierścieniach) pobranych w górnej, w połowie i dolnej części walców,
- obliczenie temperatury likwidus  $T_L$  i solidus  $T_S$  w obszarach pomiaru składu chemicznego w oparciu o wyprowadzone zależności empiryczne,
- obliczenie kinetyki krystalizacji warstwy zewnętrznej na podstawie wyprowadzonej zależności z bilansu ciepła w układzie ciecz – warstwa – forma,
- obliczenie kinetyki nadtapiania zewnętrznej warstwy żeliwa stopowego podczas „przelewania” objętości formy żeliwem szarym.

Wyniki analizy składu chemicznego w obszarach warstwy zewnętrznej jednego z walców w jego górnej części (pozycja zalewania) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład pierwiastków na przekroju poprzecznym próbki: a)- C i Ni, b)- Si i Cr  
 Fig. 2. Results of measurements chemical composition on sleeved roll: a)-C and Ni,  
 b)-Si and Cr

Wartości temperatury  $T_L$  i  $T_S$  w wybranych obszarach warstwy zewnętrznej obliczono z zależności empirycznych [3]:

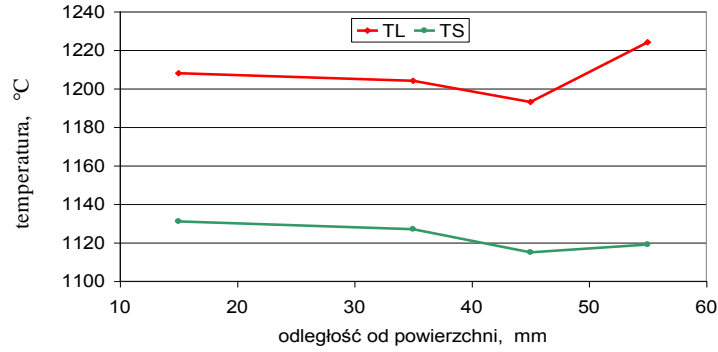
$$T_L = 1576,23 - 92,49 \cdot C - 20,52 \cdot Si - 7,5 \cdot Ni (\pm 4,1), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$T_S = 1213,7 - 26,31 \cdot C - 37,06 \cdot Mn + 19,23 \cdot Cr - 3,57 \cdot Ni + 41,36 \cdot Mo (\pm 1,8), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rys. 3.

Jak wynika z rys. 2, w warstwie przejściowej obserwuje się segregację C i Si, co wpływa na zauważalne obniżenie w tym obszarze temperatury  $T_L$  i  $T_S$ . Stąd też obszary te mogą ulec topieniu w pierwszej kolejności podczas przelewania objętości formy żeliwem szarym.

Kinetykę krystalizacji (narastania) warstwy zewnętrznej żeliwa stopowego obliczono w oparciu o dokonany bilans ciepła, przepływającego z ciekłego żeliwa, poprzez skryształizowaną warstewkę żeliwa stopowego oraz ciepła akumulowanego przez formę metalową [4, 5, 6].



Rys. 3. Rozkład temperatury  $T_L$  i  $T_S$  na przekroju poprzecznym próbki  
Fig. 3. Results of measurements temperature  $T_L$  and  $T_S$  on sleeved roll

Po przyjęciu określonych założeń oraz po dokonaniu przekształceń, uzyskano zależność na czas krzepnięcia  $\tau$ , w funkcji grubości warstwy  $\xi$

$$\tau = \frac{\left(K_{Lp} + \frac{1}{2}\right) \cdot \xi^2}{2 \cdot a_1} - \frac{\left(K_{Lp} + \frac{1}{3}\right) \cdot \xi^3}{3 a_1 \cdot x_1} \quad (3)$$

$\tau$ , czas krzepnięcia warstwy zewnętrznej, s,

$\xi$ , grubość warstwy zewnętrznej, m

$a_1 = \frac{\lambda_1}{c_1 \cdot \rho_1}$  - współczynnik przewodzenia temperatury,  $m^2/s$ ,

$K_{Lp} = \frac{L_1 + c_1 \cdot \Delta T_p}{c_1 \cdot \mathcal{G}_{kr}}$ , współczynnik bezwymiarowy

$\Delta T_p = (T_{odl} - T_L)$ , °C

$\mathcal{G}_{kr} = (T_S - T_{ot})$ , °C

$\lambda_1$  - współczynnik przewodnictwa ciepła żeliwa stopowego równy  $45 W/(m \cdot ^\circ C)$

$c_1'$  - ciepło właściwe żeliwa a stanie ciekłym,  $730, J/(kg \cdot ^\circ C)$

$C_1$  - ciepło właściwe żeliwa w stanie stałym,  $850, J/(kg \cdot ^\circ C)$

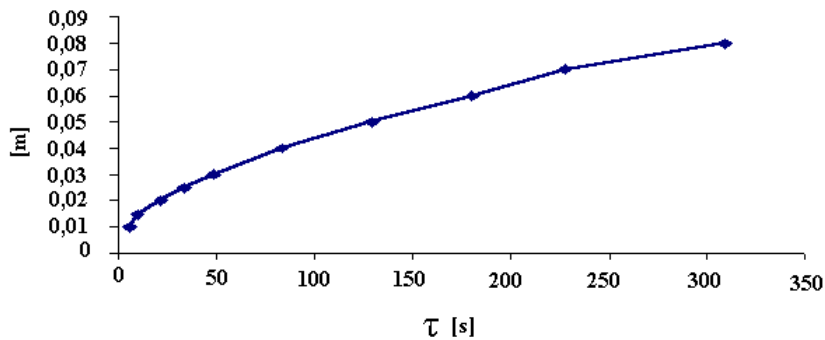
$\zeta_1$  - gęstość żeliwa stopowego,  $7000, kg/m^3$

$L_1$  - ciepło krzepnięcia żeliwa stopowego,  $240,5, kJ/kg$

$x_1$  - wymiar charakterystyczny odlewu równy  $d/2 \approx 0,325$  m

$T_S$  – obliczona temperatura solidus żeliwa na granicy warstwy – żeliwo, = 1130°C  
 $T_{odl}$  – temperatura odlewania żeliwa (pomiar)  $\approx 1300^\circ\text{C}$   
 $T_L$  – obliczona temperatura początku krzepnięcia  $\approx 1200^\circ\text{C}$   
 $T_{ot}$  – temperatura otoczenia,  $\approx 80^\circ\text{C}$

Wyniki obliczeń grubości warstwy zakrzepłej żeliwa stopowego w funkcji czasu, przedstawiono na rys. 4



Rys. 4. Kinetyka narastania warstwy żeliwa stopowego w funkcji czasu  
 Fig. 4. Kinetics of crystallization of outer layer of alloy cast iron

Aby nie doszło do zakrzepnięcia żeliwa szarego w układzie wlewowym podczas przelewania jego temperatura musi być znacznie wyższa od temperatury żeliwa stopowego ( $T_L$ ). Wg zaleceń technologicznych temperatura odlewania żeliwa szarego powinna wynosić od 1320 do 1330°C. Często jednak żeliwo szare jest odlewane ze znacznie wyższej temperatury, nawet 1375°C. W takim przypadku dochodzi do intensywnego topienia wcześniej skrzystalizowanej warstwy żeliwa stopowego. Potwierdzają wyniki pomiarów tej warstwy oraz dane zawarte w kartach technologicznych wytopu.

Zjawisku nadtopienia sprzyja zaobserwowana również segregacja pierwiastków (C i Si) na granicy warstwy – żeliwo szare, obniżająca temperatury topnienia w tych obszarach. Na podstawie założenia, że nadtopienie zachodzić będzie w przypadku gdy ciepło przegrzania żeliwa szarego ( $T_{odl} - T_L$ ), będzie większe od sumy ciepła zakumulowanego w wewnętrznej zakrzepłej warstwie żeliwa stopowego oraz ciepła topnienia warstewki o masie  $m_1$  i grubości  $\zeta_0$ . Po odpowiednich przekształceniach uzyskano równanie na grubość topionej warstwy  $\zeta_0$ :

$$\zeta_0 < 5,51 \cdot 10^{-4} (\bar{T}_{odl} - T_L) \quad (4)$$

gdzie:

$\zeta_0$  - grubości topionej warstwy żeliwa stopowego,

$\bar{T}_{odl}$  - średnia temperatura we wnętrzu formy po wymieszaniu żeliwa szarego i stopowego (pomiar temperatur na początku i końcu przelewania),

$T_L$  - temperatura likwidus żeliwa stopowego (obliczana na podstawie analizy składu chemicznego obszarów warstwy przejściowej).

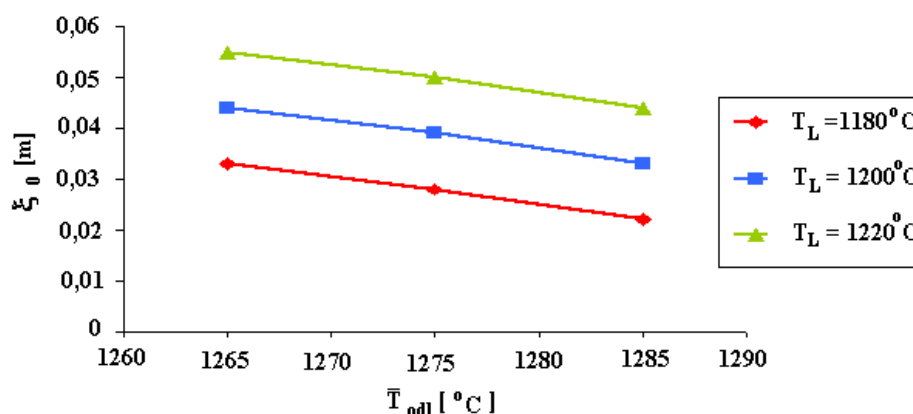
W zależności od temperatury odlewania żeliwa szarego, średnie wartości  $\bar{T}_{odl}$  wynoszą:

dla  $T_{odl} \sim 1320^{\circ}\text{C}$  ,  $\bar{T}_{odl} = 1265^{\circ}\text{C}$

dla  $T_{odl} \sim 1340^{\circ}\text{C}$  ,  $\bar{T}_{odl} = 1275^{\circ}\text{C}$

dla  $T_{odl} \sim 1360^{\circ}\text{C}$  ,  $\bar{T}_{odl} = 1285^{\circ}\text{C}$

Wyniki przeprowadzonych obliczeń w odniesieniu od czasu  $\tau \sim 300\text{s}$ , dla którego grubość  $\zeta_6$  wynosi 0,08m, przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zależność grubości warstwy zewnętrznej żeliwa stopowego  $\xi_5 = \zeta_6 - \zeta_0$  od średniej temperatury odlewania żeliwa

Fig. 5. Dependence of thickness layer of alloy cast iron from temperature of grey cast iron

#### 4. PODSUMOWANIE

Proces przelewania żeliwa szarego (do momentu wypłynięcia żeliwa z formy) trwa około 300s. Obliczono, że w tym czasie skryształizowana warstwa żeliwa stopowego może uzyskać grubość 80mm. Od tego momentu (po wymieszaniu żeliwa) założono, że zachodzić będzie nadtapianie zewnętrznej warstwy żeliwa stopowego przez żeliwo

szare. Uzyskane wyniki obliczeń dość dobrze pokrywają się z pomiarami rzeczywistej grubości warstwy stopowej. Okazuje się, że oceniana i mierzona wizualnie grubość warstwy żeliwa stopowego, jest mniejsza o grubość warstwy przejściowej, tj. o około 20 do 30 mm.

Przy zachowaniu parametrów technologicznych, tj. temperatury odlewania na poziomie ~1320°C, czasu przelewania i przerw pomiędzy nimi oraz unikania gwałtownego zalewania, uzyskana grubość warstwy stopowej wynosi najczęściej od 60 do 80mm.

Znaczne przekroczenia temperatury odlewania często prowadzą do całkowitego stopienia zewnętrznej warstwy żeliwa stopowego. Takie przypadki są potwierdzone w kartach wytopów.

W pracy tej nie przedstawiono wpływu na kształtowanie się warstwy stopowej, szczeliny powstałej (w przypadku skurczu odlewniczego) oraz ruchów ciekłego żeliwa wewnątrz formy. Pełne wyniki tych badań zostały zawarte w pracy [3].

## LITERATURA

- [1] Raczyński B., Wachelko T.: *Walce żeliwne*, Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
- [2] Zakładowa Norma Huty Buczek S.A. – ZN-HB-0031; „*Walce żeliwne hutnicze*” 1999.
- [3] Sitko J.: Praca doktorska „*Czynniki technologiczne kształtujące profil i właściwości warstwy zewnętrznej bimetalowych żeliwnych walców hutniczych*”, Katowice 2002.
- [4] Wiejnik A. J.: *Raszot otlivki*, Izd. Maszynostrojenie, Moskwa 1968 r.
- [5] Longa W., Urbanik E., Kapturkiewicz W.: *Stygnięcie i krzepnięcie odlewów*. Laboratorium, skrypt AGH, nr 623, Kraków 1978 r.
- [6] Longa W., Urbanik E., Kapturkiewicz W.: *Stygnięcie i krzepnięcie odlewów*. Laboratorium, skrypt AGH, nr 623, Kraków 1978 r.
- [7] Longa W., Urbanik E., Kapturkiewicz W.: *Teoria procesów odlewniczych*. Laboratorium, cz. 1, wyd. 2, AGH, skrypt nr 388, Kraków 1974 r.

## MECHANISM OF SHAPING PROFILE OF ALLOY LAYER ON SLEEVED ROLL

### SUMMARY

In this work the results of measurements and calculation, basis on the mechanism of shaping profile of outer layer with alloy cast iron in sleeved roll. The process consists of two stapes: layer crystallization offer pouring of alloy cast iron into mould and remelting of that layer during filling of mould by liquid lost iron.

Profile of outer layer depends an many factors, especially pouring temperature both of cast iron, segregation of elements in the front of crystallization, heat flow from liquid method trough solidification layer to the mould and kind of liquid cost iron.

Recenzował Prof. Adam Gierek