

## PARAMETRY STEREOLOGICZNE WĘGLIKÓW W ŻELIWIE CHROMOWYM W STANIE SUROWYM I AUSTENITYZOWANYM

M. PRZYBYŁ<sup>1</sup>, A. STUDNICKI<sup>2</sup>

Zakład Odlewnictwa

Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej  
44-100 Gliwice ul. Towarowa 7

### STRESZCZENIE

W pracy przebadano wytopy żeliwa chromowego zawierające około 7; 12 i 22 %Cr oraz 1.8 i 2.6 %C. Określono powierzchnie, obwody wydzieleni węglików oraz ich udział objętościowy w stanie surowym i po austenitzowaniu w 900 i 1000 °C. Przedstawiono w sposób graficzny empiryczny oraz funkcyjny rozkład ilości węglików i udziału objętościowego w klasach ich powierzchni.

*Key words: chromium cast iron, carbides, stereological parameters*

### 1. WPROWADZENIE

Wymogom dużej odporności na zużycie ścieme odpowiadają najczęściej odlewy z żeliwa (staliwa) chromowego, które w swej strukturze posiadają twarde wydzielenia węglikowe[1,2]. Głównym czynnikiem decydującym o tej własności jest skład chemiczny, nie mniej proces krystalizacji oraz obróbka cieplna tworzywa kształtująca mikrostrukturę odgrywają ważną rolę. W praktyce przemysłowej, odlewy żeliwne o dużej odporności na zużycie ścieme zawierają znaczne ilości chromu, tj. od około 12% do prawie 30%. W celu obniżenia kosztów wytwarzania odlewów z tego tworzywa, celem może być zbadanie możliwości opracowania stopu o mniejszym stężeniu tego pierwiastka.

---

<sup>1</sup> dr inż. [sekrm13@polsl.gliwice.pl](mailto:sekrm13@polsl.gliwice.pl)

<sup>2</sup> dr inż. [ajstud@polsl.gliwice.pl](mailto:ajstud@polsl.gliwice.pl)

## 2. CEL BADAŃ, MATERIAŁ I PRZEBIEG BADAŃ

Celem pracy było określenie wpływu stężenia chromu i węgla oraz warunków austenitowania na parametry stereologiczne węglików w żeliwie chromowym.

Badania przeprowadzono na sześciu wytopach żeliwa chromowego o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1. Wytopy wykonano w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w piecu indukcyjnym o pojemności 30 kg. Próbki (7x15x130 mm) do badań odlewano w formach skorupowych.

Tabela 1. Skład chemiczny badanego staliwa chromowego

Table 1. Chemical composition of chromium cast steel

Numer wytopu	Zawartość pierwiastków w % wag.					
	C	Cr	P	S	Mn	Si
1	1.80	10.5	0,035	0.020	0,23	0,18
2	2.05	22.4	0.031	0.025	0.23	0.36
3	1.70	6.6	0.031	0.025	0.16	0.14
4	2.55	12.11	0.035	0.030	0.16	0.47
5	2.80	22.3	0.030	0.029	0,11	0.53
6	2.60	7.2	0,031	0.036	0,10	0,35

Badania strukturalne żeliwa prowadzono w stanie surowym oraz austenitowanym w temperaturze 900 i 1000 °C. Zgłady wykonano klasyczną (szlifowano i polerowano na przekrojach poprzecznych odlanych próbek o przekroju 7x15 mm. Dla większego kontrastu, ułatwiającego analizę komputerową obrazu, zgłady trawiono silniej („wodą królewską”). Ilościową analizę struktury prowadzono za pomocą komputerowego analizatora obrazu MAGISCAN 2AR z użyciem mikroskopu metalograficznego OPTIPHOT. Badania wykonano z wykorzystaniem obiektywów o powiększeniu 40, 60, bądź 100 razy, co odpowiadało 0.4796; 0.31172; 0.1908 μm na 1 pixel. Segmentacja obrazu pola pomiarowego była kontrolowana na zasadzie interakcji z ekranem monitora komputera. Dla każdego obiektu – węglika dokonano pomiaru pola powierzchni oraz długości obwodu. Ponadto w polu pomiarowym zmierzono całkowitą powierzchnię detekowaną oraz liczbę węglików. Dla każdego zgładu badanie przeprowadzono na 10 polach pomiarowych. Otrzymano wartości średnie mierzonych wielkości tj. powierzchni i obwodu węglików. Utworzono histogramy – wykresy opisujące rozkład ilości węglików  $N_A$  [1/mm<sup>2</sup>] oraz udziału objętościowego  $V_V$  [%] w klasach wielkości ich powierzchni ( $A$ ). W celu funkcyjnego opisu omawianych wielkości aproksymowano empiryczne rozkłady z pomocą wielokrotnie wcześniej sprawdzonej funkcji w postaci [3,4]:

$$N_A(A) = \frac{U_N Z_N \exp(Z_N (W_N - \ln A))}{(1 + \exp(Z_N (W_N - \ln A)))^2} \quad V_V(A) = \frac{U_V Z_V \exp(Z_V (W_V - \ln A))}{(1 + \exp(Z_V (W_V - \ln A)))^2}$$

gdzie:  $A$  – pole powierzchni węglika [ $\mu\text{m}^2$ ];  $U_N, U_V$  – odpowiednio wskaźnik sumarycznej ilości węglików [ $1/\text{mm}^2$ ] lub sumarycznego udziału objętościowego [%],  $Z_N, Z_V$  – wskaźnik zróżnicowania wielkości powierzchni węglików (gdy  $Z$  wzrasta krzywa rozkładu staje się „smuklejsza”);  $W_N, W_V$  – średnia logarytmiczna wielkość powierzchni węglików [ $\mu\text{m}^2$ ].

Dla każdej analizowanej próbki (struktury) wyliczony zestaw parametrów  $U, W, Z$  opisuje w sposób ilościowy fazę węglkową, dogodną do dalszej analizy.

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

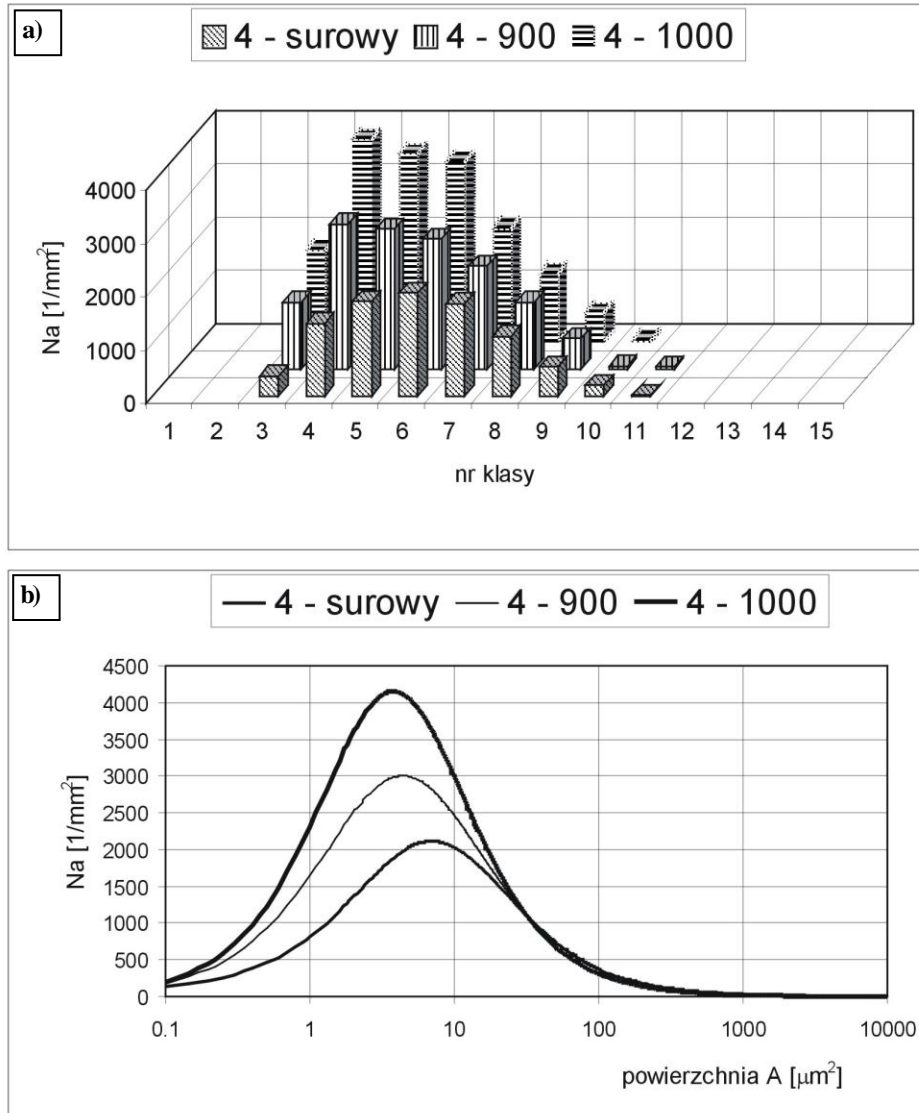
W tabeli 2 zamieszczono wartości średnie empiryczne analizowanej struktury oraz obliczone parametry  $U, W, Z$  [3] opisujące rozkłady  $Na(A)$  i  $Vv(A)$  przykładowo dla dwóch wytopów (nr 1 i nr 4). Histogramy rozkładu ilości węglików  $Na(A)$  oraz udziału objętościowego  $Vv(A)$  w zależności od stanu surowego czy austenitowanego dla wytopu nr 4 przedstawiono na rys.1a i rys.2a, natomiast przebieg funkcji aproksymujących te rozkłady przedstawiono na rys.1b i rys.2b. Z analizy rys.1 można stwierdzić korzystny wpływ austenitowania na zmniejszenie wielkości węglików – maksimum funkcji występuje przy mniejszej powierzchni węglików, a jej wartość  $Na(A)$  jest największa w strukturze żeliwa wygrzewanego w  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ . Podobny przebieg funkcji  $Na(A)$  występuje w przeważającej liczbie wytopów, a w nielicznych przypadkach zmiana temperatury austenitowania nie odgrywała istotnej roli na przebiegu funkcji. Natomiast znacznie mniejszy wpływ obróbki cieplnej można zauważyć na przebiegu  $Vv(A)$ . Średni udział objętościowy węglików ulega nieznacznemu wzrostowi lub prawie pozostaje bez zmian w wyniku austenitowania w  $900\text{ }^\circ\text{C}$  w stosunku do stanu surowego. Podwyższenie temperatury wygrzewania do  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  sprzyja niewielkiemu zmniejszeniu udziału objętościowemu węglików. Wygrzanie to, powoduje jednak w niektórych wytopach wydzielenie bardzo drobnych (ziarnisto-kulistych) węglików wtórnych w osnowie (rys.3), których z uwagi na bardzo małą wielkość, nie uwzględniono w pomiarach na analizatorze obrazu. Z obserwacji struktury badanych żeliw wynika, że zauważalne występowanie dyspersyjnych węglików ma miejsce w gatunkach o wyższej zawartości węgla, przy czym zmniejszająca się zawartość chromu sprzyja temu procesowi.

Jednocześnie stwierdzono fakt zmniejszenia udziału objętościowego węglików  $Vv$ , przy zwiększonej ilości węglików  $Na$  i zmniejszonym średnim obwodzie wydzieleni  $L_A$  w strukturze żeliwa austenitowanego w  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ . Proces ten można najprawdopodobniej tłumaczyć wystąpieniem dyfuzyjnej segmentacji węglików w miejscach ich „przewężeń” oraz koagulacją.

Celowym jest graficzne przedstawienie (porównanie) przebiegu funkcji  $Na(A)$  i  $Vv(A)$  dla wytopów o zbliżonej zawartości węgla, lecz zmiennym stężeniu chromu – rys.4 i 5. Zauważyć można wyraźnie korzystny wpływ chromu na ilość i wielkość wydzieleni węglkowych, a znacznie mniejszy na udział objętościowy węglików. Natomiast większa zawartość węgla w żeliwie zwiększa przede wszystkim udział objętościowy węglików, a także ich wielkość.

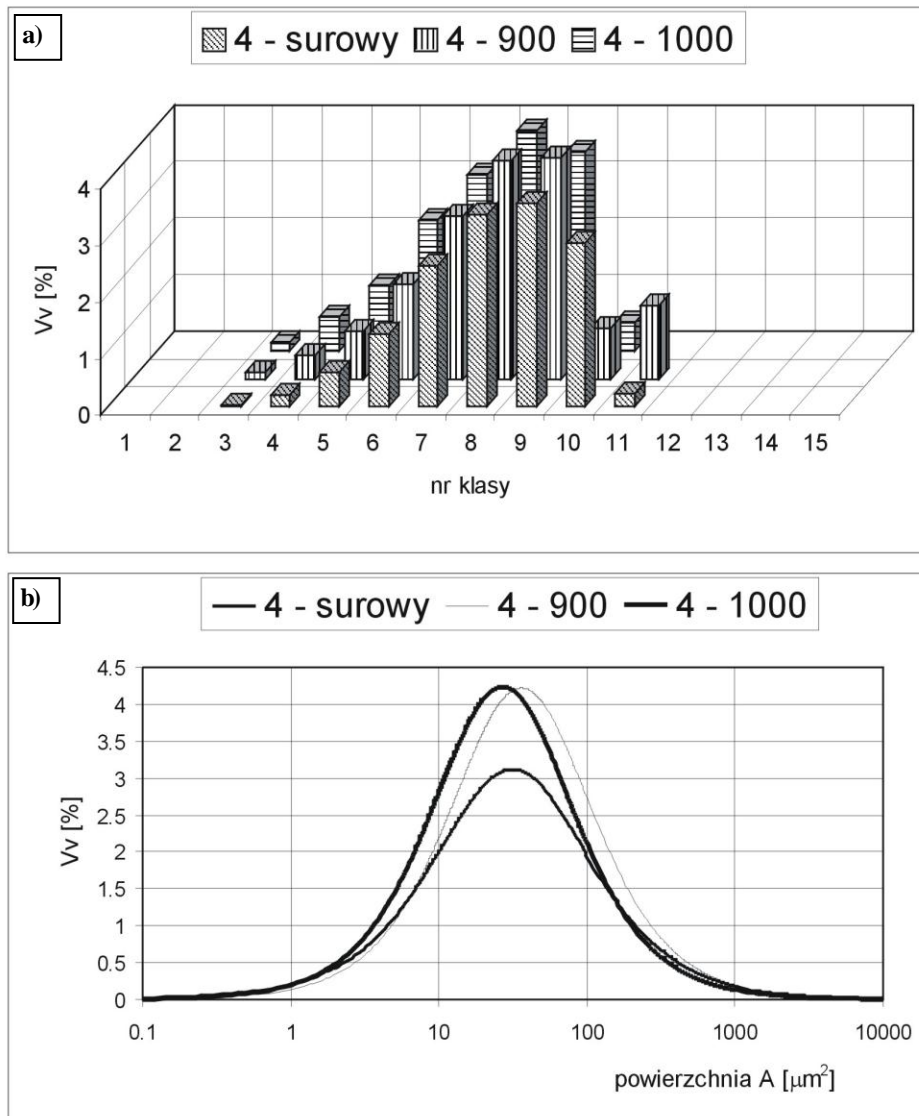
Tabela 2 Parametry stereologiczne węglików wybranych wytopów w stanie surowym i austenitizowanym  
 Table 2 Stereological parameters of carbides of chromium cast iron as-cast and after austenitizing

numer wytopu	wartości średnie empiryczne				funkcja aproksymująca							
	parametry	stan próbki 900°C		stan próbki 1000°C		parametry	stan próbki 900°C		stan próbki 1000°C			
		surowy	900°C	1000°C	900°C		1000°C	surowy	900°C	1000°C		
<b>1</b>	<b>A</b> μm <sup>2</sup>	9.06	6.0	5.5	<b>U<sub>N</sub></b> 1/mm <sup>2</sup>	6135	10297	9804	<b>U<sub>V</sub></b> %	5.27	6.56	5.70
	<b>L<sub>A</sub></b> μm	12.9	12.9	11.8	<b>W<sub>N</sub></b> μm <sup>2</sup>	0.957	0.795	0.657	<b>W<sub>V</sub></b> μm <sup>2</sup>	3.55	2.83	2.75
	<b>V<sub>V</sub></b> %	7.71	8.1	7.3	<b>Z<sub>N</sub></b> 1/mm <sup>2</sup>	0.904	1.642	1.811	<b>Z<sub>V</sub></b> %	1.19	1.07	1.00
	<b>Na</b> 1/mm <sup>2</sup>	7416	12987	12684	R	0.99	0.97	0.97	R	0.99	0.97	0.98
					F	425	27	26	F	111	25	50
<b>4</b>		surowy	900°C	1000°C		surowy	900°C	1000°C		surowy	900°C	1000°C
	<b>A</b> μm <sup>2</sup>	16.5	12.3	9.2	<b>U<sub>N</sub></b> 1/mm <sup>2</sup>	7452	10926	13770	<b>U<sub>V</sub></b> %	10.27	12.63	12.59
	<b>L<sub>A</sub></b> μm	26.4	18.5	15.4	<b>W<sub>N</sub></b> μm <sup>2</sup>	1.962	1.484	1.331	<b>W<sub>V</sub></b> μm <sup>2</sup>	3.46	3.58	3.29
	<b>V<sub>V</sub></b> %	15.9	16	15.4	<b>Z<sub>N</sub></b> 1/mm <sup>2</sup>	1.132	1.098	1.204	<b>Z<sub>V</sub></b> %	1.21	1.33	1.34
	<b>Na</b> 1/mm <sup>2</sup>	9037	12911	16472	R	0.99	0.97	0.97	R	0.99	0.97	0.97
				F	61	27	30	F	79	26	22	



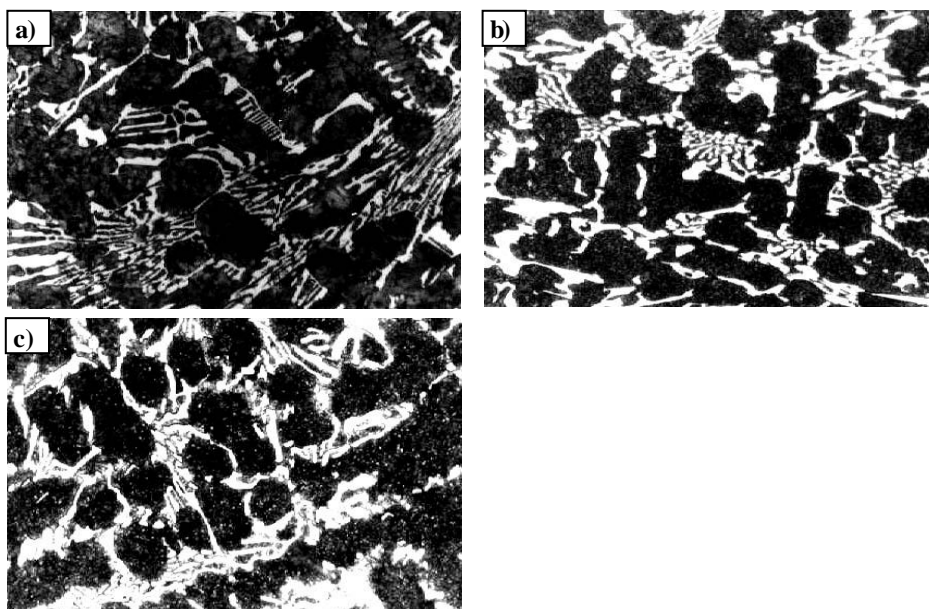
Rys.1 Rozkład ilości węglików w zależności od wielkości ich powierzchni – wytop 4  
a) histogramy, b) funkcje

Fig.1 Quantitative distribution of carbides in size function –melt 4  
a) histograms, b) functions.

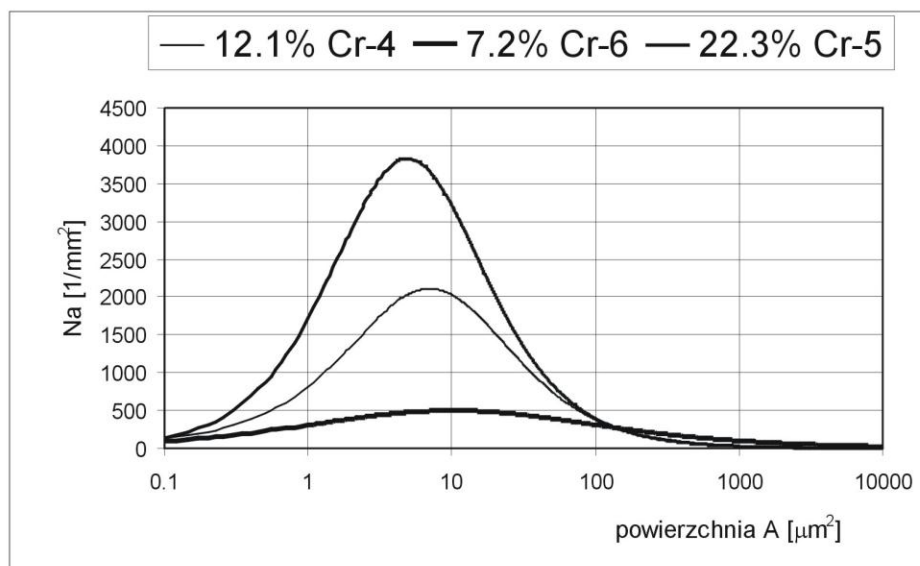


Rys.2 Rozkład udziału objętościowego węglików w zależności od wielkości ich powierzchni - wytop 4  
a) histogramy, b) funkcje

Fig.2 Distribution of volume fraction of carbides in size function – melt 4  
a) histograms, b) functions



Rys.3 Struktury żeliwa chromowego (wytopy 4) a) stan surowy, b) 900 °C, c) 1000 °C  
 Fig.3 Microstructure of chromium cast iron (melt 4) a) as-cast, b) 900 °C, c) 1000 °C



Rys.4 Rozkład ilości węglików w funkcji wielkości ich powierzchni (wytopy 4, 5, 6)  
 Fig.4 Quantitative distribution of carbides in size function (melts 4, 5, 6)

**LITERATURA**

- [1] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: Odporne na ścieranie stopy żelaza. Część I i II .  
Wyd. ZG STOP, Kraków 1980,
- [2] Podzucki Cz.: Żeliwo. Struktura Właściwości Zastosowanie. T.1 i 2, Wyd. ZG  
STOP, Kraków 1991,
- [3] Cybo J., Jura S.: Funkcyjny opis struktur izometrycznych w metalografii  
ilościowej. Wyd. Politechniki Śląskiej Gliwice 1995,
- [4] Przybył M., Studnicki A., Jura S.: Wpływ węgla i chromu na ilość fazy  
węglkowej w żeliwie chromowym. Krzepnięcie Metali i Stopów, , rocznik 2, nr  
44 s.305, PAN Katowice 2000.

**STEREOLOGICAL PARAMETERS OF CARBIDES OF CHROMIUM CAST  
IRON IN AS-CAST AND AFTER AUSTENITIZING****SUMMARY**

In this paper stereological parameters of carbides of chromium cast iron has been presented. Chromium cast iron in as-cast and after austenitizing 900 °C and 1000 °C have been examined.

Recenzował Prof. Józef Gawroński