

## WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA CHROMOWEGO NA ROZKŁAD WIELKOŚCI WĘGLIKÓW

STUDNICKI Andrzej, JURA Stanisław, SUCHOŃ Jacek  
Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska  
41-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wielkości węglików w żelwie chromowym z dodatkami stopowymi Ni, Mo, V i B. Wielkość węglików wyrażono równoważną średnicą kuli a następnie rozkład wielkości węglików opisano funkcją symulującą rozkład logarytmiczno-normalny. Wyznaczone parametry funkcji symulującej poddano analizie statystycznej ujmującej wpływ składu chemicznego na rozkład węglików.

### 1. WPROWADZENIE

Wyznacznikiem właściwości każdego tworzywa konstrukcyjnego jest jego metalograficzna budowa przestrzenna. Z tych względów sama informacja o rodzaju występujących faz bez podania ich ilościowych parametrów geometrycznych jest niewystarczająca w opisie metalograficznym tworzywa [1,2].

Ważną grupę stopów odlewniczych odpornych na zużycie ściernie stanowią żeliwa chromowe. Szczególną rolę w procesie ścierania odgrywają twarde węgliki chromu występujące w tych żeliwach. Korzystny wpływ fazy węglkowej (głównie typu  $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ) na odporność ścierną jest ogólnie uznawany. Aktualnie naukowcy i użytkownicy [3,4,5,6,7,8] poszukują sposobów jak rozszerzyć zakres zastosowania żeliw chromowych. Głównym problemem w tym tworzywie odlewniczym jest niska plastyczność, która zdecydowanie wyklucza stosowanie tego żeliwa w środowisku występowania sił dynamicznych.

Strukturę żeliwa chromowego można opisać jako strukturę kompozytu [4] w którym twarde węgliki rozmieszczone są w metalicznej osnowie stanowiącej element konstrukcyjny. Wykorzystanie plastycznej metalicznej osnowy jako elementu konstrukcyjnego będzie tylko wtedy możliwe gdy rozdrobnione węgliki nie będą tworzyły ciągłej siatki [7]. Sposobem podwyższenia własności plastycznych może być modyfikacja fazy węglkowej poprzez odpowiedni dobór składu chemicznego lub poprzez różne zabiegi technologiczne.

W niniejszym artykule przedstawiono opis ilościowy fazy węglikowej w żeliwie chromowym. Do opisu rozkładu wielkości węglików zastosowano funkcję symulującą [1] rozkład logarytmiczno-normalny któremu podlegają tego typu obiekty. Funkcję symulującą jednoznacznie określają tylko trzy parametry mówiące o liczebności, średniej wielkości i stopniu zróżnicowania wielkości analizowanych węglików. Znajomość trzech parametrów funkcji symulującej pozwala na zdefiniowanie wszystkich parametrów stereologicznych badanych struktur izometrycznych [1].

W realizowanej pracy wyznaczono parametry funkcji rozkładu wielkości węglików badanych żeliw chromowych. Parametry te zostały wykorzystane jako zbiór danych do poszukiwania związków między fazą węglikową a składem chemicznym.

## 2. MATERIAŁ DO BADAŃ I ICH PRZEBIEG

Wytypy doświadczalne żeliwa chromowego prowadzono w tyglowym piecu indukcyjnym o wyłożeniu obojętnym i pojemności 30 kg. Wsad składał się z wcześniej przygotowanych wlewków żeliwa chromowego wyjściowego (ok. 18 %Cr i 2,4 %C lub 3,3 %C), niklu, chromu oraz żelazostopów (FeCr, FeV, FeB, FeMo, FeTi). W ramach badań wykonano 77 wytopów. Próbki do badań odlewano w formach skorupowych w kształcie pręta o średnicy 25 mm.

Podstawowe parametry statystyczne rozkładu zawartości pierwiastków stopowych w badanych żeliwach chromowych przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1**

Rozkład statystyczny pierwiastków stopowych w badanym żeliwie chromowym

pierwiastek stopowy	zawartość pierwiastka stopowego w % wag.			
	min	max	średnia	odchylenie standardowe
<b>C</b>	1.60	3.30	2.46	0.423
<b>S</b>	0.009	0.037	0.024	0.00766
<b>P</b>	0.046	0.096	0.059	0.00897
<b>Si</b>	0.44	1.10	0.47	0.210
<b>Mn</b>	0.32	3.18	0.59	0.376
<b>Cr</b>	10.63	24.94	16.32	1.836
<b>Ni</b>	0.11	3.95	0.906	0.863
<b>Mo</b>	0.097	2.90	1.343	1.103
<b>V</b>	0.063	4.83	1.398	1.233
<b>B</b>	0.001	1.771	0.197	0.398
<b>Ti</b>	0.001	0.183	0.024	0.034

Próbki do badań ilościowych fazy węglikowej wycinano z prętów  $\phi$  25 mm. Zgłady do pomiarów parametrów stereologicznych zostały przygotowane standardową metodą metalograficzną. Do trawienia dobrano taki odczynnik który barwi tylko osnowę żeliwa a węgliki pozostawia jasne. Najlepszym odczynnikiem okazała się woda królewska. Do ilościowego opisu fazy węglikowej wykorzystano komputerowy analizator obrazu MAGISCAN 2AR firmy Joyce Loebel. Pomiary prowadzono na ekranie monitora złożonego z 512x512 punktów. Dla zastosowanego obiektywu (x40) współczynnik kalibracji wynosi 0.4796  $\mu\text{m}/\text{punkt}$  a powierzchnia pola pomiarowego równa się 58413  $\mu\text{m}^2$ . Pomiary

przeprowadzono na 8 polach pomiarowych dla każdej próbki. Dla każdego węglika i pola pomiarowego wykonano pomiary podstawowych parametrów stereologicznych tj. długość, szerokość, obwód, pole powierzchni, udział objętościowy węglików.

### 3. FUNKCYJNY OPIS ROZKŁADU WIELKOŚCI WĘGLIKÓW

Opis rozkładu wielkości mikrocząstek stopu oparte są w metalografii ilościowej na powszechnie akceptowanym twierdzeniu Bockstiegela, według którego najwłaściwszym wykładnikiem wielkości cząstki jest równoważna średnica  $D$  kuli lub równoważna średnica  $d$  przekroju [1]. Zgodnie z tym twierdzeniem uzyskane z pomiarów wielkości węglików przeliczono na równoważne im średnice przekrojów. Następnie rozkłady wielkości węglików wyrażone równoważnymi średnicami opisano za pomocą funkcji opisującej rozkład logarytmiczno-normalny.

Bezpośrednie wyrażenie liczby węglików o dowolnej wielkości  $d$  można wyrazić za pomocą następującego wzoru[1]:

$$N_A(d) = U \frac{Z \exp[Z(W - \ln d)]}{\{1 + \exp[Z(W - \ln d)]\}^2}$$

gdzie:

$d$  - średnica węglików [ $10^{-3}$ mm];

$U$  - wskaźnik sumarycznej liczby węglików [ $10^{-3}$ mm/mm<sup>2</sup>];

$W$  - średnia logarytmiczna wielkość węglików [ $10^{-3}$ mm];

$Z$  - zróżnicowanie wielkości węglików [ $1/10^{-3}$ mm].

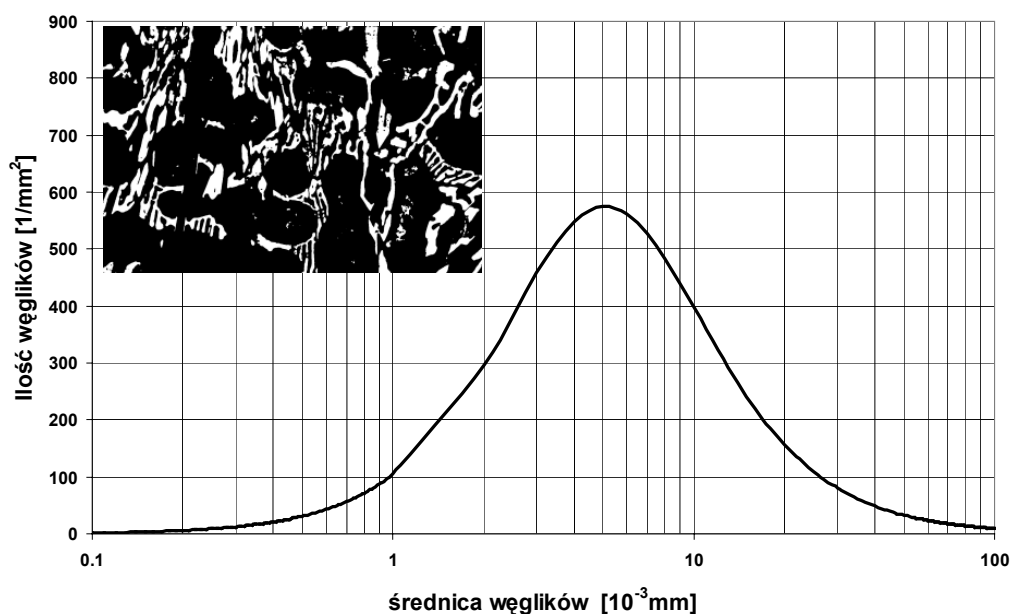
Wartości parametrów  $U, W, Z$  funkcji symulującej rozkład wielkości węglików wyznaczono numerycznie na podstawie dokonanych pomiarów. W tabeli 2 przedstawiono rozkład statystyczny parametrów  $U, W, Z$ .

**Tabela 2**

Rozkład statystyczny parametrów funkcji symulującej

Parametr	min	max	średnia	odchylenie standardowe
$U$ [ $10^{-3}$ mm/mm <sup>2</sup> ]	702	1839	1324	280
$W$ [ $10^{-3}$ mm]	1.013	1.982	1.429	0.178
$Z$ [ $1/10^{-3}$ mm]	1.258	2.267	1.714	0.223

Na rys.1 – 3 pokazano funkcyjny opis rozkładu wielkości węglików w wybranych żeliwach chromowych oraz odpowiadający jemu obraz rozłożenia węglików na przygotowanym do pomiaru parametrów stereologicznych zglądzie.

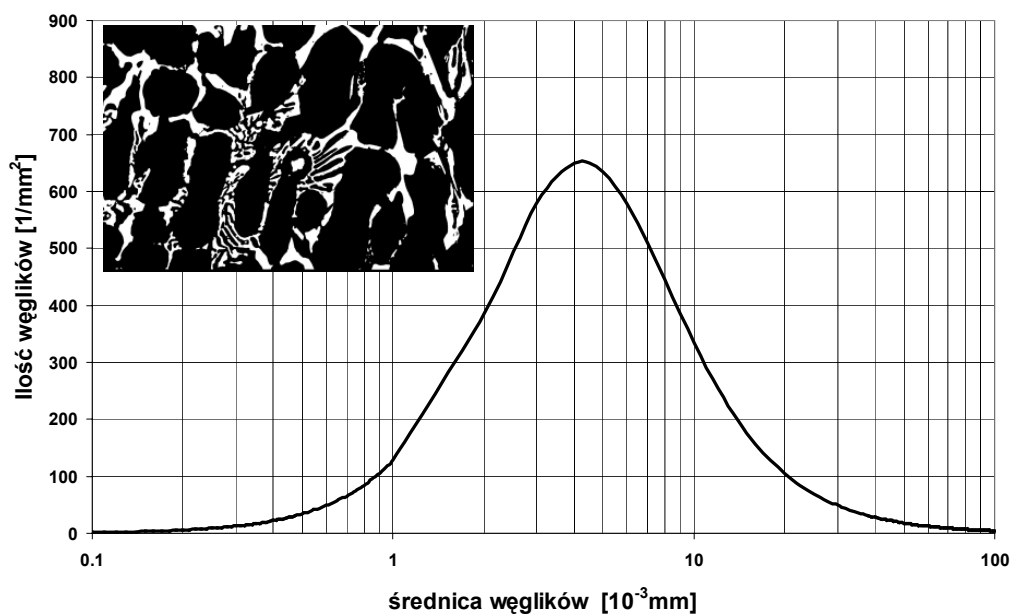


Skład chemiczny w % wag.

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B	Ti
2.34	0.027	0.053	0.32	0.59	17.2	0.116	0.106	0.071	0.001	0.001

Rys.1 Rozkład wielkości węglików – WYTOP 1 (U=1246, W=1.624, Z=1.844)

Fig.1 Distribution of carbides size – MELT 1 (U=1246, W=1.624, Z=1.844)

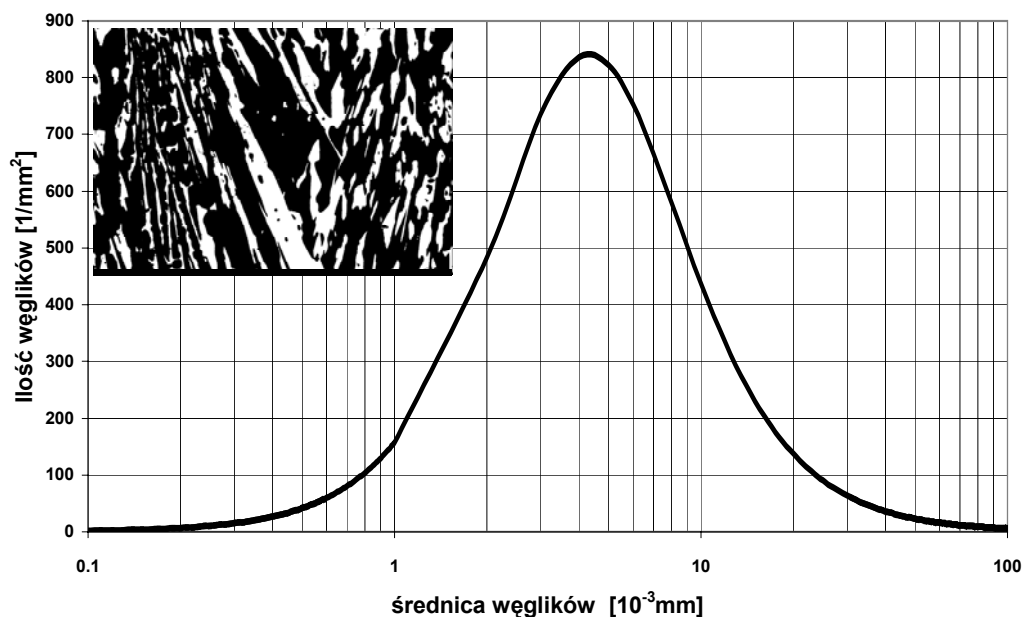


Skład chemiczny w % wag.

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B	Ti
2.11	0.027	0.060	0.42	0.44	15.88	0.906	2.71	0.108	0.052	0.024

Rys.2 Rozkład wielkości węglików – WYTOP 21 (U=1295, W=1.445, Z=2.014)

Fig.2 Distribution of carbides size – MELT 21 (U=1295, W=1.445, Z=2.014)



Skład chemiczny w % wag.

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B	Ti
3.30	0.033	0.049	0.20	0.62	16.5	0.116	0.282	0.067	0.001	0.002

Rys.3 Rozkład wielkości węglików – WYTOP 46 (U=1659, W=1.461, Z=2.026)

Fig.3 Distribution of carbides size – MELT 46 (U=1659, W=1.461, Z=2.026)

#### 4. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ

Jak widać z przedstawionych powyżej wykresów (rys.1-3) skład chemiczny żeliwa chromowego odgrywa istotną rolę w kształtowaniu fazy węglikowej. Analizie statystycznej poddano więc parametry  $U, W, Z$  i skład chemiczny aby uchwycić wzajemne ich zależności a tym samym określić wpływ poszczególnych składników stopowych na fazę węglikową. Obliczenia statystyczne przeprowadzono metodą regresji krokowej. Dla każdego analizowanego parametru przyjęto liniowy model równania regresji. W ten sposób ustalono które składniki stopowe i w jakim kierunku działają na parametry  $U, W, Z$ . W wyniku obliczeń otrzymano następujące zależności:

$$U = 748 + 155C - 10977S + 125Si + 33Cr - 56Ni - 101Mo + 61V + 57B - 1885Ti$$

Parametry statystyczne równania:

Wartość średnia = 1325; Odchylenie standardowe = 129; Współczynnik korelacji = 0.89;  
Test Fishera = 24.68; Test wiarygodności = 4.18; Poziom istotności = 0.005

$$W = 0.72 - 0.034C + 14.55S + 2.87P - 0.15Si - 0.064Mn + 0.025Cr - 0.028V - 0.078B$$

Parametry statystyczne równania:

Wartość średnia = 1.403; Odchylenie standardowe = 0.081; Współczynnik korelacji = 0.83;  
Test Fishera = 16.84; Test wiarygodności = 2.89; Poziom istotności = 0.01

$$Z = 2.17 - 0.19C + 13.6S - 0.34Si + 0.085Mn - 0.07Mo - 0.035V - 0.077B - 0.74Ti$$

Parametry statystyczne równania:

*Wartość średnia* = 1.733; *Odchylenie standardowe* = 0.161; *Współczynnik korelacji* = 0.72;  
*Test Fishera* = 8.30; *Test wiarygodności* = 1.82 ; *Poziom istotności* = 0.1

## 5. PODSUMOWANIE

Opis rozkładu wielkości węglików przy pomocy funkcji symulującej okazuje się bardzo przydatny, gdyż za pomocą jedynie trzech parametrów można analizować wszystkie zależności stereologiczne w metalografii ilościowej. Wyżej podane zależności statystyczne ułatwiają analizę parametrów stereologicznych węglików w zależności od założonego składu chemicznego żeliwa. W badanej grupie żeliw chromowych składnikami, które korzystnie wpływają na rozdrobnienie węglików są: węgiel, krzem, wanad i bor ponieważ jednocześnie powiększają parametr U (sumaryczną liczbę węglików) i zmniejszają parametr W (średnią logarytmiczną wielkość węglików). Trzeba jednak dodać, że składniki te przyczyniają się do większego zróżnicowania wielkości węglików ponieważ zmniejszają parametr Z.

## LITERATURA

- [1] Cybo J., Jura S.: Funkcyjny opis struktur izometrycznych w metalografii ilościowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995,
- [2] Cwajna J.: Ilościowy opis struktury stopów narzędziowych i jego zastosowanie. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej. Hutnictwo, z.39, 1991,
- [3] El-Ghazaly S.A.: Optimizing structure, toughness and wear performance of 15% Cr cold work cast tool steel. Steel Research, No 2, 1993,
- [4] Laird G., Nielsen R.L., MacMillan N.M.: On the nature of eutectic carbides in Cr-Ni white cast iron. Metallurgical Transactions A, vol.22A, 1991,
- [5] Radulovic M., Fiset M., Peev V.: The influence of vanadium on fracture toughness and abrasion resistance in high chromium cast irons. Journal of Materials Science, No 29, 1994,
- [6] Fusheng H., Chaochang W.: Modifying high Cr-Mn cast iron with boron and rare earth-Si alloy. Materials Science and Technology, vol.5, 1989.
- [7] Patent amerykański nr 4,638,847
- [8] Badania własne Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej.

## THE INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION OF CHROMIUM CAST IRON ON DISTRIBUTION OF CARBIDES SIZE

This paper presents the influence of chemical composition of chromium cast iron with Ni, Mo, V and B on distribution of carbides size. Distribution of carbides size was described by special function. Results of the investigations are presented as mathematical relationships and diagrams.