

PARAMETRY STEREOLOGICZNE GRAFITU I SKŁAD CHEMICZNY OKREŚLAJĄCY WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE ŻELIWA SFEROIDALNEGO

M. STAWARZ¹, S. JURA²

Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechniki Śląskiej
ul. Towarowa 7,44 – 100 Gliwice

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono funkcyjny opis stereologii wydzielań grafitu w żeliwie sferoidalnym oraz wpływ pierwiastków i stopnia sferoidyzacji grafitu w żeliwie na jego właściwości mechaniczne.

Key words: ductile cast iron, graphite spheroidization, mechanical properties

1. WPROWADZENIE

Żeliwo sferoidalne jest nowoczesnym tworzywem odlewniczym, które znajduje coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki. Dzięki odpowiednio dopracowanej technologii żeliwa sferoidalnego można uzyskać odlewy, które cechują się bardzo dużą niezawodnością a równocześnie niższą ceną w porównaniu ze staliwem. Właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego mogą zmieniać się w granicach: $R_m = 400 \div 1100 \text{ MPa}$, $A_5 = 2\% \div 25\%$, $HB = 150 \div 400$.

Podjęto próbę oceny wpływu składu chemicznego i parametrów stereologicznych na właściwości mechaniczne żeliwa na podstawie wytopów uzyskanych w warunkach przemysłowych.

¹ mgr inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

² prof. dr hab. inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

2. OPIS KSZTAŁTU WYDZIELEŃ GRAFITU SFEROIDALNEGO

Do opisu kształtu wydzielen grafitu zastosowano wskaźnik kształtu grafitu „C”. Wskaźnik ten można zdefiniować jako stosunek obwodu koła „O_K” do obwodu wydzielenia grafitu „O_W” rzeczywistego dla tej samej powierzchni koła F_K i wydzielenia grafitu F_W.

$$C = \frac{O_K}{O_W} \quad (1)$$

dla warunku: F_K=F_W

Założono ze grafit sferoidalny ulega deformacji na kształt eliptyczny. Zastępcza elipsa dla kryterium kształtu C=0,9 będzie charakteryzować się stosunkiem półosi:

$$e = \frac{b}{a} = 2 \quad (2)$$

gdzie: a i b to półosie elipsy.

Przyjęto, że bardzo dobre żeliwo sferoidalne będzie charakteryzowało się współczynnikiem kształtu 0,9<C<1, natomiast żeliwo wermikularne powinno posiadać współczynnik kształtu 0,66<C<0,9. W obu przypadkach granice te mogą być przesunięte do wartości C=0,8 lub mogą zachodzić na siebie, co jest charakterystyczne dla zbiorów rozmytych [3].

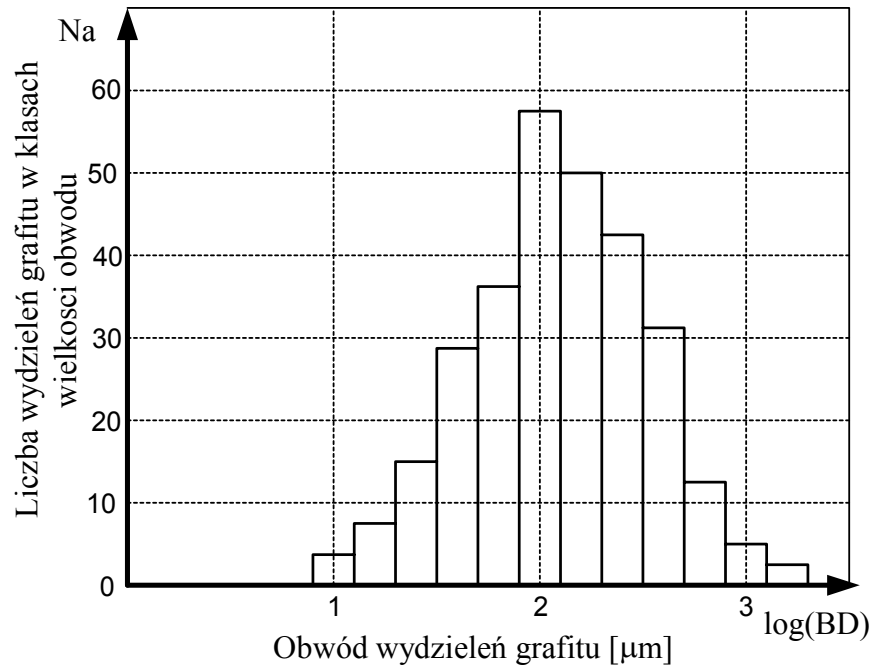
2.1. Parametry funkcyjne stereologii grafitu

Technika komputerowa pozwala na wygodne operowanie algorytmami dla cyfrowego opisu struktury. Można zliczać ilości wydzielen, obwody, średnice, rzuty i inne parametry. Najczęściej opisuje się strukturę wartościami średnich wydzielen i odchyleniem standardowym opisywanego zbioru. Są to opisy punktowe opisujące dane wydzielenia. Metody analizy funkcyjnej struktury metalograficznej pozwoliły na jednoznaczne opisy cyfrowe, które umożliwiają uzyskanie jednoznacznych opisów statystycznych [4].

Analiza funkcyjna struktur charakteryzuje się tym, że daje pełen ich opis w całym zakresie występowania. Podstawowym warunkiem jest opracowanie tych pomiarów jako zbioru normalnego lub logarytmiczno – normalnego. Wykorzystując wyniki tych pomiarów w pracy [2] przyjęto jako klasyfikacje wydzielen grafitu według obwodu. Dla normalizacji zbioru przyjęto układ logarytmiczno – normalny. Każdą próbkę analizowano według takiej klasyfikacji przy czym podział klas w układzie logarytmicznym obwodu wydzielen wynosi:

$$\Delta = 0,2 \quad (2)$$

W każdej klasie zliczano liczbę wydzieliń grafitu. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku nr 1.



Rys.1. Liczba wydzieliń grafitu sferoidalnego
Fig. 1. Numbers of spheroidal graphite's separations

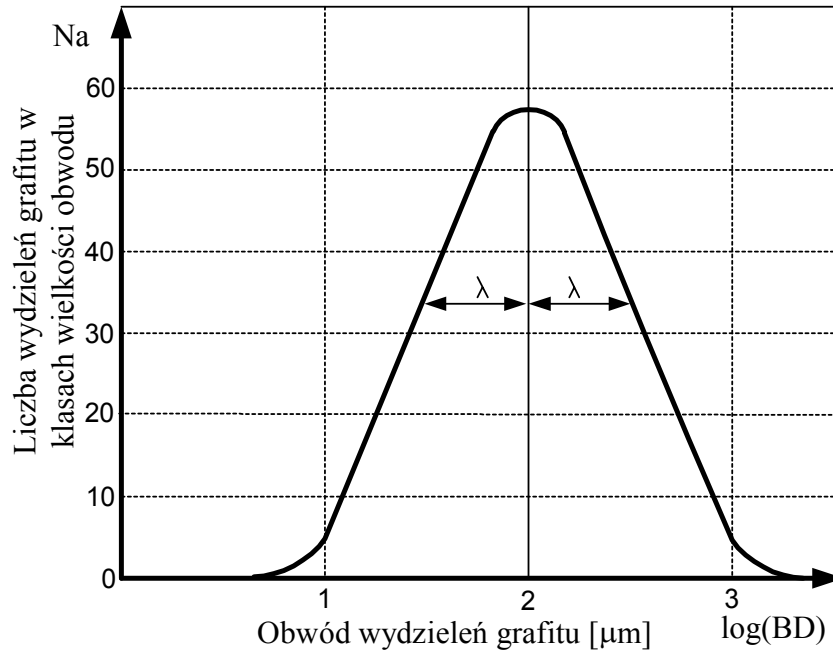
Na podstawie powyższego wykresu można obliczyć wartość średnią logarytmiczną oraz logarytm odchylenia standardowego. Częściej oblicza się wartość średnią oraz odchylenie standardowe i to stanowi dane wyjściowe do analizy statystycznej. Analizując powyższy wykres pojawia się pytanie jaki wpływ na właściwości mechaniczne ma liczba wydzieliń w poszczególnych klasach.

Stosując metody [1], opisujące funkcyjne ten zbiór, przyjęto formułę algebraiczną:

$$Na = \frac{UZ \exp(Z(W - \log(BD)))}{(1 + \exp(Z(W - \log(BD))))^2} \quad (4)$$

gdzie: U – liczba proporcjonalna do wydzieliń grafitu Na,
W – średnia logarytmiczna wydzieliń grafitu wg obwodu,
Z – współczynnik intensywności zmian Na,
BD – obwód wydzieliń grafitu.

Na rysunku 2 przedstawiono graficzny obraz funkcji, opisującej zbiór przedstawiony na rysunku 1. Poszczególne parametry wynoszą: $U=65,6[l/mm^2]$, $Z=3,396[l/\mu m]$, $W=2,08[\mu m]$.



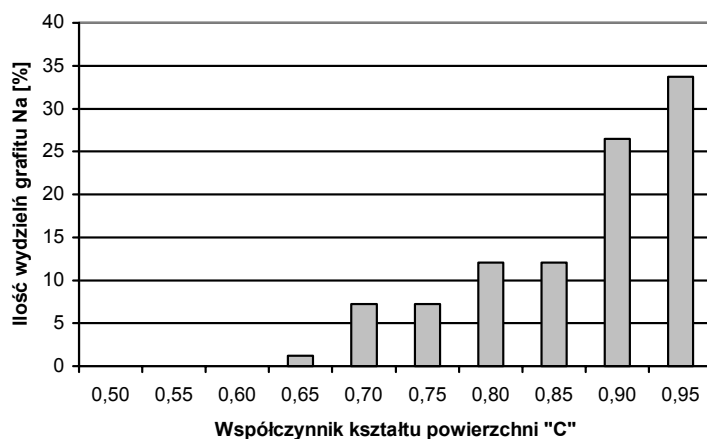
Rys.2. Funkcja wydzieleń grafitu sferoidalnego
Fig. 2. Function spheroidal graphite's separations

W funkcji (4) podobnie jak w funkcji Gaussa rozproszenie od średniej logarytmicznej wynosi λ . Podwójną wielkość λ nazwano pasmem standardowym, które zawiera 58% wydzieleń. Wielkość ta określa jednorodność zbioru wydzieleń grafitu, im jest mniejsza, wydzielania grafitu są bardziej jednorodne. Mając trzy podstawowe parametry U , W , Z funkcji opisującej zbiór wydzieleń grafitu można mieć informacje o całości [4].

3. WPŁYW STOPNIA SFEROIDYZACJI GRAFITU I SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

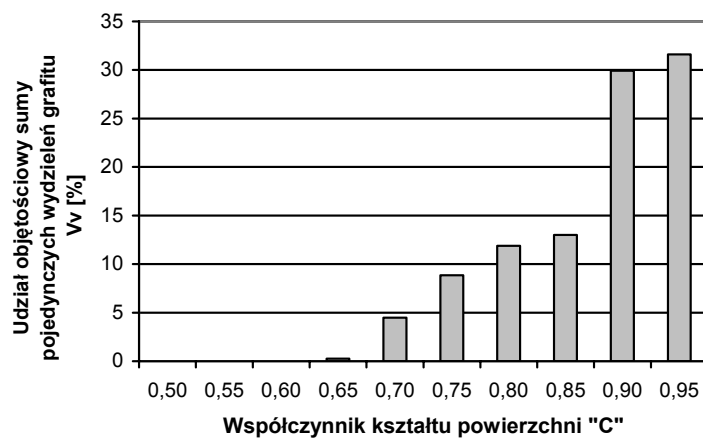
Analizie statystycznej poddano 25 wytopów z żeliwa sferoidalnego. Pomiarów wydzieleń grafitu dokonano metodą komputerowej analizy obrazu, uzyskując względną liczbę Na , objętość grafitu Vv o wskaźniku $C=0,9$, oznaczając je odpowiednio symbolem $Na09$ i $Vv09$. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy wykres

przedstawiający liczbę wydzieli grafitu N_a w funkcji klas współczynnika kształtu powierzchni „C”.



Rys.3. Liczba wydzieli grafitu N_a w funkcji współczynnika kształtu „C”
Fig.3. Numbers of graphite separations N_a in function shape coefficient „C”

Na rysunku 4 przedstawiono udział objętościowy pojedynczych wydzieli grafitu V_v w klasach współczynnika kształtu powierzchni „C”.



Rys.4. Objętość wydzieli grafitu V_v w funkcji współczynnika kształtu „C”
Fig.4. Capacity of graphite separations V_v in function shape coefficient „C”

W wyniku analizy statystycznej uzyskano następujące zależności eksperymentalne:

- wytrzymałość na rozciąganie

$$R_m = 267 + 527Mn + 773P + 2,25Na_{0.9} \quad (5)$$

o parametrach statystycznych:

- odchylenie standardowe $dR_m = 35$ MPa,
- wartość średnia $R_m = 527$ MPa,
- wsp. korelacji $R = 0,95$,
- test Fischera-Snedecora $F = 53$,
- test wiarygodności $W = 9,2$.

Najistotniejszy wpływ na wytrzymałość R_m żeliwa ma mangan. Mała zawartość manganu sprzyja powstawaniu struktury ferrytycznej, natomiast duża struktury perlitycznej. Wpływ fosforu jest nieznaczny ze względu na małą jego zawartość. Istotny wpływ na wytrzymałość R_m wywiera stopień sferoidyzacji grafitu $Na_{0.9}$.

- wydłużenie plastyczne

$$A_5 = 31,4 - 42,7Mn - 91,9P - 0,043V_{v0.9} \quad (6)$$

o parametrach statystycznych:

$$dA_5 = 1,9\%; A_5s = 13,7\%; R = 0,98; F = 146; W = 27$$

Istotny wpływ na wydłużenie żeliwa sferoidalnego ma mangan, fosfor oraz względny, objętościowy udział wydzielen grafitu V_v o współczynniku kształtu $c = 0,9 \div 1$. Wszystkie te parametry obniżają wydłużenie plastyczne żeliwa sferoidalnego.

- twardość

$$HB = 193 + 257Mn - 31,5Si + 418P + 0,36Na_{0.9} \quad (7)$$

o parametrach statystycznych:

$$dHB = 12; HB_s = 206; R = 0,98; F = 98; W = 21$$

Jak wynika z zależności (7) intensywnie podnosi twardość żeliwa dodatek manganu, który sprzyja powstawaniu struktury perlitycznej. Podobnie wpływa fosfor, który tworzy roztwór wzmacniając osnowę żeliwa. Krzem sprzyja grafityzacji, więc zwiększa ilość ferrytu. Na granicy wpływu na twardość oddziałuje względna liczba wydzielen grafitu $Na_{0.9}$.

4. WPŁYW PARAMETRÓW FUNKCYJNYCH I SKŁADU CHEMICZNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Wyniki prób poddano analizie statystycznej, poszukując związków między właściwościami mechanicznymi żeliwa i parametrami funkcyjnymi opisującymi stereologię grafitu. Do obliczeń statystycznych zastosowano metodę regresji krokowej,

która pozwala na prostą eliminację czynników nieistotnych [5]. Dla przedstawienia wpływu parametrów stereologicznych grafitu przyjęto wyrażenie do obliczeń jako wydzielony czynnik sumarycznego wpływ składu chemicznego na właściwości mechaniczne.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń statystycznych, uzyskano następujące zależności eksperymentalne:

- wytrzymałość na rozciąganie

$$R_m = 7,31 + (-89,04Si + 103,8Mn + 2857P) - 1,58U - 81,08W + 28,38Z \quad (8)$$

o parametrach statystycznych:

$dR_m = 33\text{MPa}$; $R_{ms} = 495\text{MPa}$; $R = 0,93$, $F = 26$; $W = 7,8$.

- wydłużenie plastyczne

$$A_5 = -22,7 + (30,3C - 17,3Si + 8,27Mn + 67P) - 0,229U - 11,32W + 3,87Z \quad (9)$$

o parametrach statystycznych:

$A_{5s} = 0,76\%$; $A_{5s} = 21,9\%$; $R = 0,97$; $F = 25$; $W = 10$.

- twardość

$$HB = 365 + (-63,96C + 10,5Si + 33,6Mn + 2272,6P + 417,28Mg) - 0,51U - 55,7W + 6,82Z \quad (10)$$

o parametrach statystycznych:

$dHB = 0,76\%$; $HB_s = 183$; $R = 0,97$; $F = 57$; $W = 15$.

W przedstawionych wzorach sumarycznych wpływ składu chemicznego opisano wyrażeniem ujętym w nawiasy. W obliczeniach statystycznych wyrażenia te przyjęto jako jedną zmienną, osobno dla każdej właściwości, pozostałe zmienne dotyczą parametrów stereologicznych grafitu, opisujących rozkład liczby wydzieli grafitu.

Jak wynika ze wzorów (8,9,10) węgiel ma istotny wpływ na wydłużenie A_5 i twardość HB, krzem zmniejsza wydłużenie A_5 i wytrzymałość R_m , mangan i fosfor zwiększają wszystkie trzy właściwości a magnez ma istotny wpływ na twardość HB.

Natomiast wzrost liczby wydzieli grafitu U obniża wszystkie właściwości. Niekorzystnie wpływa wzrost wielkości grafitu W, tj. średniej logarytmicznej obwodu wydzieli grafitu. Natomiast korzystnie na właściwości wpływa jednorodność wydzieli grafitu Z.

LITERATURA

- [1] Jura S., Studnicki A., Przybył M., Jura Z., Jura J.: *ATD Determines spheroidization grade of graphite in cast iron*. Acta Metallurgica Slovaca 7, 2001
- [2] Cybo J., Jura S.: *Funkcyjny opis struktur izometrycznych w metalografii ilościowej*. Wydawnictwo Politechniki śląskiej. Gliwice 1995.
- [3] Jura S., Jura Z.: *Wpływ składu chemicznego i stopnia sferoidyzacji grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa*. Archiwum Odlewnictwa nr 1 (2/2) 2001, str. 167-174.
- [4] Jura S., Jura Z.: *Wpływ funkcyjnych parametrów stereologicznych grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego*. Archiwum Odlewnictwa nr 1 (2/2) 2001. str. 175-185.
- [5] Draper N. R., Smith H.: *Analiza regresji stosowana*, PWN, Warszawa 1973.

**STEREOLOGICAL PARAMETERS OF GRAPHITE AND CHEMICAL
CONSTITUTION DETERMINING DUCTILE CAST IRON'S
MECHANICAL PROPERTIES**

SUMMARY

The article presents functional description of graphite's separation stereology in ductile cast iron and influences of elements and graphite spheroidization grade in cast iron on mechanical properties.

Recenzował Prof. Józef Gawroński