

**ROZKŁAD WIELKOŚCI WYDZIELEŃ GRAFITU W GRUBYM  
ODLEWIE ŹELIWNYM**J. SUCHOŃ<sup>1</sup>Zakład Odlewnictwa, Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice POLAND**STRESZCZENIE**

Praca przedstawia analizę rozkładu wielkości wydzielen grafitu na przekroju grubego odlewu żeliwnego. Dokonano opisu funkcyjnego rozkładu wielkości wydzielen grafitu w warstwach pomiarowych odległych od siebie o 5 mm. Określono jak zmieniają się na przekroju walca parametry funkcji opisującej rozkład wielkości wydzielen grafitu. W badaniach nie stwierdzono wyraźnej zależności między odległością od powierzchni (szybkością krzepnięcia) a wielkością wydzielen grafitu, a potwierdzono wpływ na udział objętościowy grafitu.

*Key words: graphite size distribution, solidification rate*

**1. WPROWADZENIE**

Grubościenne odlewy charakteryzują się istotnymi zmianami struktury na przekroju. Zmienność ta w sposób szczególny dotyczy żeliw. W przypadku żeliw połowicznych następuje znaczące zmniejszenie udziału cementytu od powierzchni w głąb odlewu przeciwstawione zwiększaniu udziału grafitu. Charakter tych zmian daje się z powodzeniem opisać za pomocą równań. Dla grafitu równanie opisujące zmianę udziału na przekroju odlewu ma postać [1]:

$$V_{VG} = V_{Goś} - \frac{\Delta V_{VG}}{1 + \exp[Z_G \cdot (W_G - x)]} \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta V_{VG}$  – różnica udziału grafitu pomiędzy powierzchnią a osią odlewu,

---

<sup>1</sup> dr inż., [jacek.suchon@polsl.pl](mailto:jacek.suchon@polsl.pl)

$W_G$  – odległość od powierzchni, w której następuje najintensywniejsza zmiana udziału grafitu,

$Z_G$  – współczynnik określający intensywność zmiany udziału grafitu,

$V_{Go\delta}$  – udział objętościowy grafitu w osi odlewu,

$x$  – odległość od powierzchni.

Celem niniejszego opracowania jest prześledzenie jak zmienia się ilość i udział wydzieli grafitu w poszczególnych odległych od siebie o 5 mm warstwach grubego odlewu żeliwnego.

## 2. PRZEPROWADZONE BADANIA

W ramach przeprowadzonych badań dokonano pomiaru cech stereologicznych wydzieli grafitu w grubym odlewie żeliwnym (walec hutniczy). Pomiarów dokonano na komputerowym analizatorze obrazu mierząc wielkości wydzieli grafitu w poszczególnych odległych od siebie o 5 mm warstwach 12 badanych walców. Dla badanych odlewów analizowano zmianę ilości i udziału wydzieli grafitu w klasach ich wielkości w każdej badanej warstwie. W tabelach 1 i 2 przedstawiono jak zmienia się ilość i wielkość wydzieli grafitu w poszczególnych warstwach w klasach ich wielkości. Tabele zawierają wartości średnie dla całej badanej partii. Dla lepszej prezentacji wyników wartości przedstawione w tabelach 1 oraz 2 posłużyły do sporządzenia wykresów przedstawiających rozkłady ilości oraz udziału wydzieli grafitu w klasach jego wielkości w poszczególnych warstwach przekroju walca.

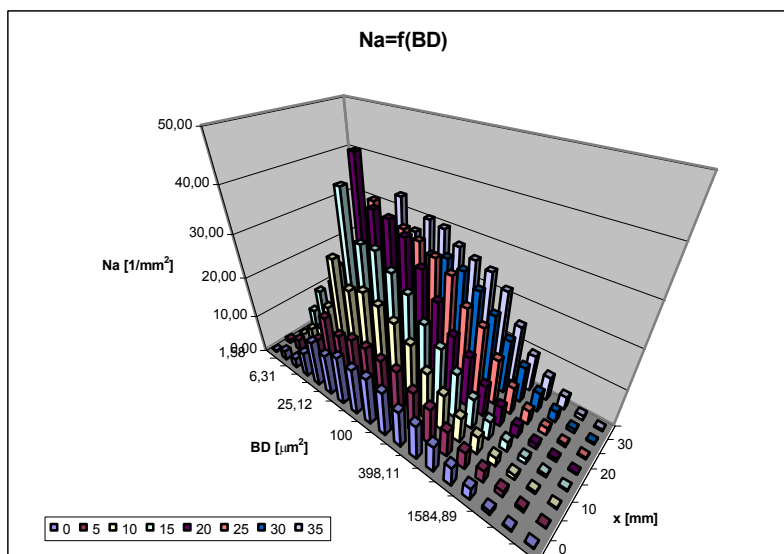
Tabela 1. Ilość wydzieli grafitu w klasach jego wielkości na mm<sup>2</sup>

Table 1. Amount of graphite in its size classes on square mm

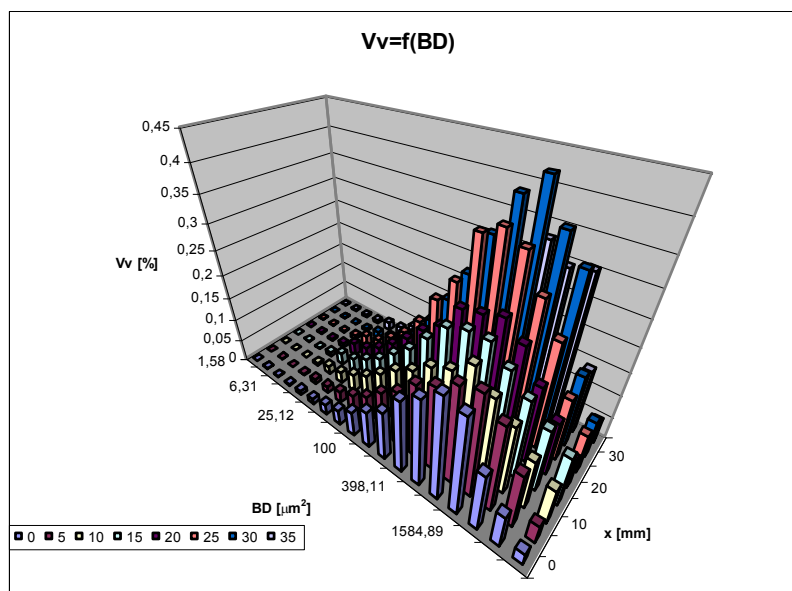
BD	Warstwa								
	0	5	10	15	20	25	30	35	
1,58	0,21	0,84	0,00	4,82	3,21	4,31	1,46	6,30	
2,51	2,28	2,92	3,69	12,21	12,57	13,88	5,54	23,05	
3,98	2,39	2,32	6,08	5,59	9,66	8,02	4,27	16,01	
6,31	6,23	7,45	13,76	22,07	25,51	18,90	12,48	19,72	
10	11,56	15,40	27,15	40,19	45,29	34,84	23,65	33,25	
15,85	10,43	12,87	21,67	29,94	35,55	28,23	21,07	26,36	
25,12	12,28	14,07	23,04	30,14	34,85	31,40	23,35	30,43	
39,81	11,71	14,25	21,76	27,00	32,52	30,09	25,29	29,63	
63,1	12,07	13,56	19,89	24,03	27,45	28,06	26,15	27,00	
100	11,26	13,41	16,90	19,13	21,93	25,79	24,82	25,45	
158,49	9,33	10,73	12,43	15,60	15,87	20,22	21,99	24,36	
251,19	8,88	9,38	9,54	11,68	12,86	17,61	18,02	21,54	
398,11	6,84	6,69	6,49	7,91	8,07	11,82	13,90	14,88	
630,96	4,78	4,57	4,63	4,91	5,21	7,08	9,34	9,54	
1000	3,03	3,27	2,40	2,70	2,94	3,64	5,01	6,22	
1584,89	1,01	1,56	1,26	1,46	1,36	1,90	2,76	3,45	
2511,89	0,39	0,67	0,61	0,69	0,64	0,72	0,88	1,10	
3981,07	0,09	0,17	0,27	0,39	0,26	0,30	0,39	0,32	

Tabela 2. Udział procentowy wydzieli grafitu w klasach ich wielkości  
 Table 2. Percentage fraction of graphite in its size classes

BD	Warstwa							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1,58	0,0001	0,0001	0	0,0006	0,0004	0,0005	0,0002	0,0009
2,51	0,0005	0,0006	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,001	0,0041
3,98	0,0008	0,0008	0,0015	0,0025	0,0031	0,0027	0,0014	0,0052
6,31	0,0031	0,0034	0,006	0,0098	0,0101	0,0087	0,0052	0,0077
10	0,0087	0,0113	0,0189	0,027	0,0287	0,0258	0,0151	0,0186
15,85	0,0126	0,0148	0,024	0,0334	0,0372	0,034	0,0224	0,023
25,12	0,023	0,0254	0,0401	0,0527	0,0577	0,059	0,04	0,0431
39,81	0,0333	0,04	0,0594	0,0754	0,0867	0,0903	0,0699	0,0591
63,1	0,0546	0,0615	0,0871	0,1076	0,1193	0,1341	0,1161	0,0892
100	0,0814	0,0949	0,1168	0,1391	0,155	0,1979	0,1782	0,128
158,49	0,1074	0,1202	0,139	0,1808	0,1811	0,2472	0,2447	0,2012
251,19	0,1581	0,1612	0,1685	0,2196	0,2327	0,3423	0,3254	0,2544
398,11	0,1872	0,1805	0,1848	0,2328	0,2402	0,3617	0,3964	0,2979
630,96	0,2192	0,2078	0,2163	0,2339	0,2517	0,3418	0,4302	0,3272
1000	0,2099	0,2188	0,1789	0,2031	0,2221	0,281	0,3664	0,295
1584,89	0,1241	0,1859	0,1494	0,1692	0,1657	0,2243	0,3223	0,3034
2511,89	0,0704	0,1181	0,1072	0,1359	0,1175	0,1348	0,1544	0,1383
3981,07	0,0251	0,0406	0,0782	0,1086	0,0644	0,0843	0,0814	0,0478



Rys. 1. Rozkład ilości grafitu w klasach wielkości w poszczególnych warstwach na przekroju  
 Fig. 1. Graphite in size classes distribution on individual layers of cross section.



Rys. 2. Rozkład udziału grafitu w klasach wielkości w poszczególnych warstwach na przekroju  
 Fig. 2. Graphite fraction in size classes distribution on individual layers of cross section.

Uzyskane wykresy pozwalają na dokonanie pewnej niestety uproszczonej analizy rozkładu wielkości wydzielen grafitu na przekroju odlewu. Aby dokonać pełniejszego zobrazowania zmian wielkości wydzielen grafitu na przekroju otrzymane rozkłady  $N_v=f(BD)$  i  $V_v=f(BD)$  opisano za pomocą funkcji (2) [2].

$$f(BD) = \frac{U \cdot Z \cdot \exp \{Z[W - \log(BD)]\}}{\{1 + \exp [Z(W - \log(BD))]\}^2} \quad (2)$$

gdzie:

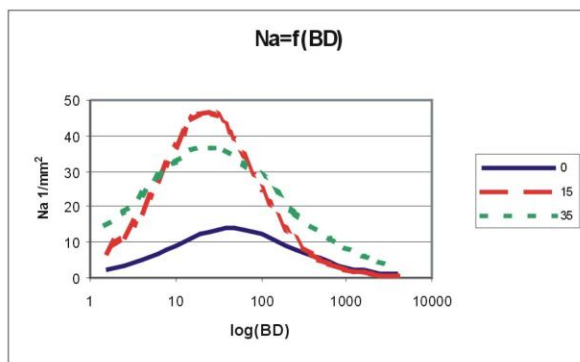
- U – wskaźnik sumarycznej liczby cząstek,
- W – średnia logarytmiczna wielkość cząstek,
- Z – zróżnicowanie wielkości cząstek,
- BD – wielkość wydzielen grafitu.

Otrzymane rozkłady a szczególnie analiza otrzymanych parametrów pozwala na prześledzenie jak zmieniają się wielkość i ilość wydzielen grafitu na przekroju odlewu. Uzyskane wielkości parametrów U, W, Z dla obu funkcji zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Otrzymane parametry funkcji  
Table 3. Obtained function's parameters

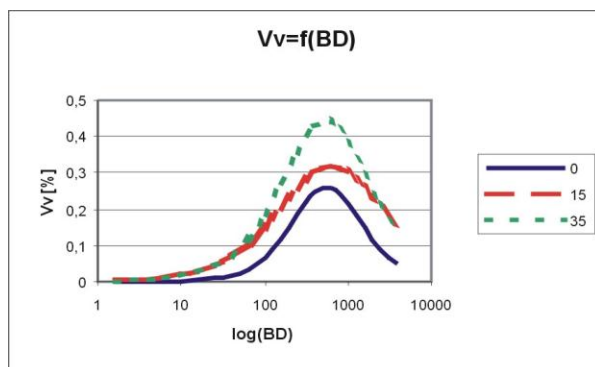
	$U_{Na}$	$W_{Na}$	$Z_{Na}$	$U_{Vv}$	$W_{Vv}$	$Z_{Vv}$
0	26,73292	1,66235	2,092542	0,298441	2,7455	3,497867
5	32,50855	1,617789	2,114909	0,348629	2,756873	3,142882
10	43,0892	1,53294	2,60678	0,423535	2,82814	2,37085
15	69,99608	1,375832	2,668358	0,548201	2,7987	2,307147
20	69,9695	1,425799	2,616742	0,517043	2,670108	2,368775
25	79,13409	1,446393	2,301518	0,561197	2,609664	2,728136
30	56,76367	1,680994	2,25895	0,653065	2,724667	2,885783
35	84,96567	1,399267	1,731433	0,639327	2,733767	2,764367

Na podstawie wyznaczonych parametrów sporządzono wykresu przedstawiające krzywe dzwonowe rozkładu ilości i udziału grafitu w wybranych warstwach (rys.3 i 4)



Rys. 3. Rozkład ilości wydzielen grafitu w warstwach 0, 15, 35 mm od powierzchni w klasach wielkości

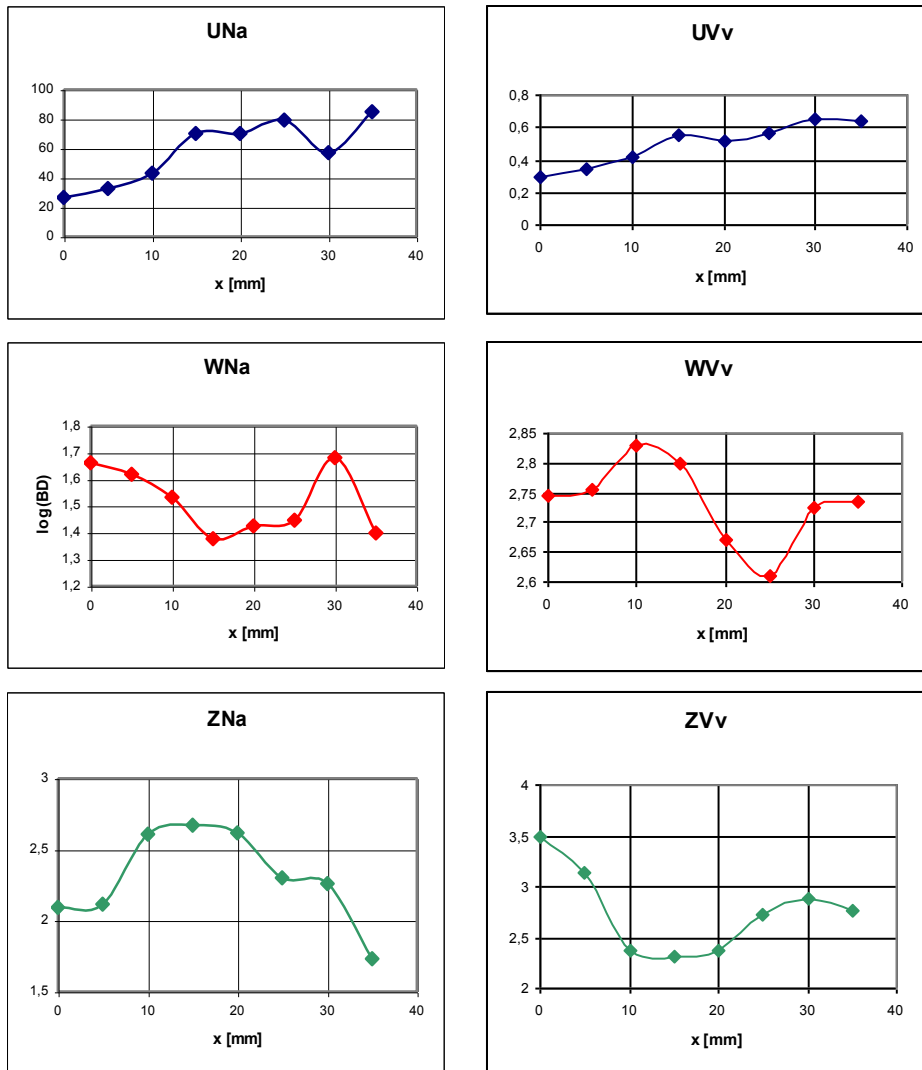
Fig. 3. Graphite amount in size classes distribution on layers 0, 15, 35 mm from surface



Rys. 4. Rozkład udziału grafitu w warstwach 0, 15, 35 mm od powierzchni w klasach wielkości.

Fig. 4. Graphite fraction in size classes distribution on layers 0, 15, 35 mm from surface.

Dla lepszego zobrazowania jak zmieniają się parametry U,W,Z na przekroju odlewu naniesiono otrzymane wielkości parametrów dla obu funkcji na wykresy prezentujące jak zmieniają się one w poszczególnych odległościach od powierzchni odlewu (rys.5).



Rys. 5. Zmiany parametrów U,W,Z obu funkcji na przekroju odlewu.

Fig. 5. Changes of U, W, Z parameters both functions on cross section

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pokazują duże zróżnicowanie wydzieleni grafitu na przekroju grubego odlewu żeliwnego. Świadczą o tym zmiany wartości parametrów U, W, Z funkcji  $N_a = f(BD)$  i  $V_v = f(BD)$ , jakie zachodzą w poszczególnych warstwach przekroju.

Obserwując jak zmienia parametr U obu funkcji można zauważyć, że na przekroju odlewu następuje sukcesywny wzrost ilości i udziału wydzieleni grafitu w miarę przesuwania się w głąb odlewu.

Inaczej przedstawia się zachowanie parametru W (średnia logarytmiczna wielkość cząstek) na przekroju odlewu. Parametr ten nie wykazuje jednoznacznego kierunku zmiany swej wartości. Parametr  $W_{Na}$  (opisuje, jakich wydzieleni grafitu największa ilość przypada na  $1 \text{ mm}^2$  powierzchni) przyjmuje na powierzchni odlewu wartość 1,66235 ( $45,96 \mu\text{m}^2$ ) i maleje w miarę jak przesuwamy się w głąb odlewu, aby na głębokości 15 mm osiągnąć swoje minimum 1,375832 ( $23,76 \mu\text{m}^2$ ). Następnie nieznacznie rośnie, aby nagłym skokiem osiągnąć swe maksimum w odległości 30 mm od powierzchni odlewu 1,680994 ( $47,97 \mu\text{m}^2$ ) a w chwilę potem raptownie spada.

Odmienne zachowuje się parametr  $W_{Vv}$  (opisuje, jakie wydzielenia grafitu stanowią największy udział objętościowy) w warstwach przypowierzchniowych (0÷10 mm) zwiększa swoją wartość od 2,7455 do 2,82814 ( $556,54 \div 673,19 \mu\text{m}^2$ ) poczym maleje, aby w odległości 25 mm osiągnąć minimum 2,609664 ( $407,06 \mu\text{m}^2$ ), po którym to odnotowujemy ponowny wzrost.

Zróżnicowanie wielkości cząstek Z (przedstawia ono „smukłość” albo „rozłożystość” krzywej dzwonowej) dla obu rozkładów wykazuje zupełne przeciwieństwo w kierunku zmian wartości. Parametr  $Z_{Na}$  od powierzchni do 15 mm w odlewie poczym zaczyna maleć. Parametr  $Z_{Vv}$  przeciwnie maleje do głębokości 15 mm by zacząć wzrost.

### 4. WNIOSKI

1. Przeprowadzone obliczenia wskazują, że wraz z grubością odlewu zwiększa się ilość i udział objętościowy wydzieleni grafitu.
2. Nie znaleziono jednoznacznej zależności między wielkością wydzieleni grafitu a szybkością krzepnięcia (odległością od powierzchni odlewu).

### LITERATURA

- [1] Suchoń J.: *Wpływ procesów krystalizacji na strukturę walców żeliwnych*. Praca doktorska, Gliwice 2001.
- [2] Cybo J., Jura S.: *Funkcyjny opis struktur izometrycznych w metalografii*. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1995.

**GRAPHITE SIZE DISTRIBUTION IN THICK CAST IRON CASTING****SUMMARY**

In the work analysis of graphite size distribution on cross section of thick cast iron casting has been presented. Functional description of graphite size distribution in measurement layers each 5 mm distant has been done. How change parameters of function describing graphite size distribution on cross section of cast iron roll has been determined. In researches has not been affirmed clear dependence between distance from surface (solidification rate) and size of graphite grain, however its influence on graphite volume fraction has been confirmed.

Recenzował Prof. Józef Gawroński