



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE
SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Ocena kształtu wydzielań grafitu w żeliwie sferoidalnym metodą ATD

M. Stawarz, J. Szajnar

Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
44 – 100 Gliwice, ul. Towarowa 7, Polska

W artykule przedstawiono ocenę kształtu wydzielań grafitu sferoidalnego w oparciu o metodę analizy termiczno – derywacyjnej (ATD) i metodę komputerowej analizy kształtu wydzielań grafitu. Do opisu kształtu wydzielań grafitu zastosowano współczynnik kształtu C. Uzyskane wyniki z analizy ATD oraz z analizy kształtu wydzielań grafitu zostały poddane analizie statystycznej. Na podstawie analizy statystycznej uzyskano zależności, które pozwalają na określenie kształtu wydzielań grafitu w oparciu o charakterystyczne punkty krzywych ATD.

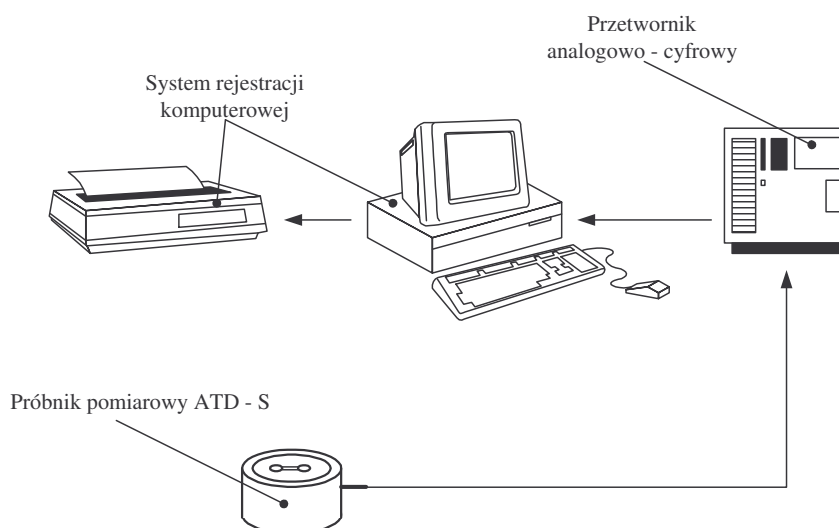
1. WSTĘP

Żeliwo sferoidalne jest tworzywem o bardzo dużym zróżnicowaniu właściwości mechanicznych w zależności od liczby i wielkości wydzielań grafitu, jak również od rodzaju osnowy, dlatego w ostatnim dziesięcioleciu produkcja odlewów z żeliwa sferoidalnego wykazywała tendencje wzrostowe.

Wraz ze wzrostem produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego powstał problem skutecznego sposobu oceny jakości tego żeliwa. Metoda oceny kształtu wydzielań grafitu w oparciu o metodę ATD ma niewątpliwie bardzo ważną zaletę w porównaniu z innymi metodami oceny żeliwa sferoidalnego. Jest to metoda, która pozwala na szybką ocenę jakości żeliwa w kadzi odlewniczej, przed zalaniem do formy. Uzyskane wyniki z analizy ATD mogą posłużyć bezpośrednio do zabiegów poprawiających jakość ciekłego metalu w kadzi odlewniczej i w związku z tym uzyskanie odlewów o pożądanym kształcie wydzielań grafitu i wymaganych właściwościach mechanicznych stawianych przez odbiorcę surowym odlewom. Taki sposób produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego w powiązaniu z oceną żeliwa metodą ATD pozwala na bardziej dokładne sterowanie właściwościami gotowego odlewu i przez to ogranicza do minimum przypadkowość w produkcji odlewów

2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

W badaniach wykorzystano 11 wytopów żeliwa sferoidalnego gatunku ZsCu1. Do rejestracji krzywych ATD zastosowano zestaw aparatury Crystaldigraph. Stanowisko badawcze przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

2.1. Określenie składu chemicznego żeliwa

Analiza chemiczna została przeprowadzona na spektrometrze BAIRD SCL – 16. Średni skład chemiczny dla 11 wytopów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Średni skład chemiczny

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Cu | Mg |
|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 3,58 | 0,46 | 2,69 | 0,048 | 0,014 | 0,09 | 0,98 | 0,062 |

2.2. Badania właściwości mechanicznych

Badania właściwości mechanicznych przeprowadzono zgodnie z PN-EN 1563. Uzyskane średnie wyniki dla badanych próbek zostały zamieszczone w tabeli 2.

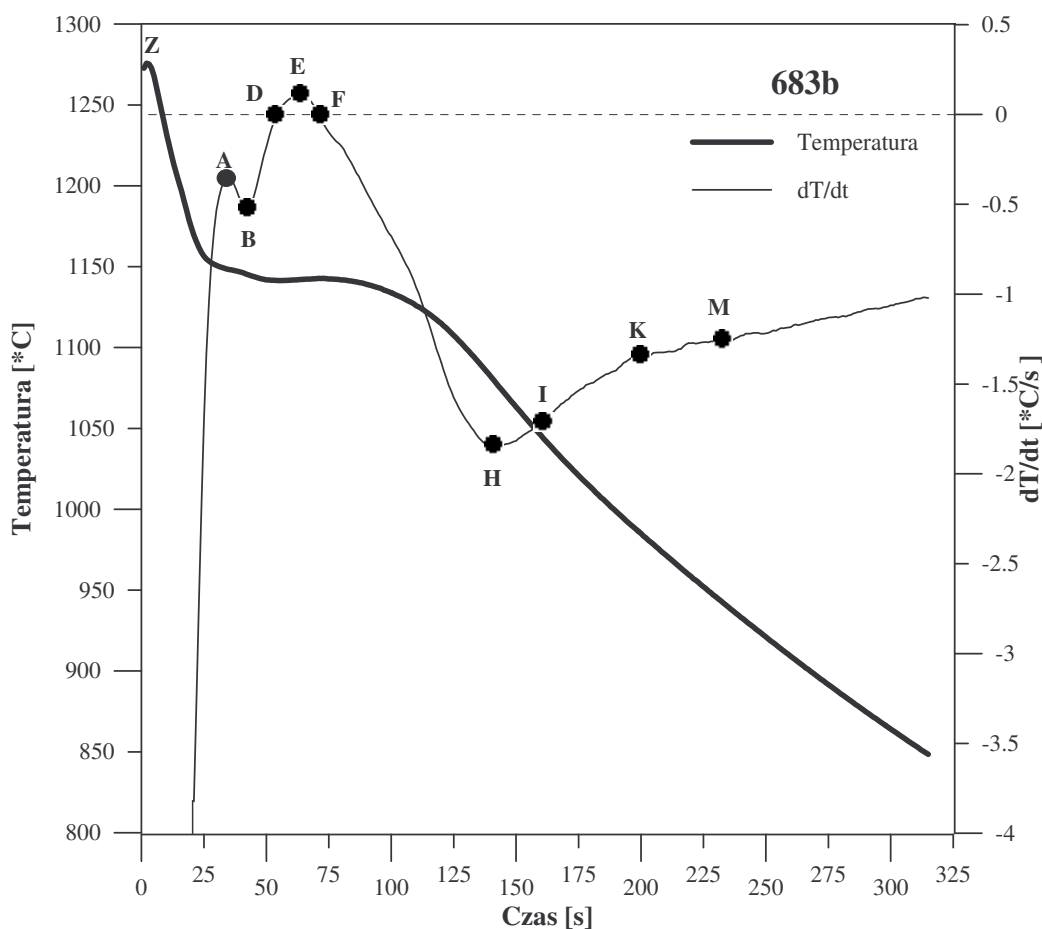
Tabela 2.

Średnie właściwości mechaniczne

| R_m | A₅ | HB |
|----------------------|----------------------|-----------|
| MPa | % | |
| 747,1 | 2,5 | 292,8 |

2.3. Analiza termiczno - derywacyjna

Krzywa termiczna $T = f(t)$ i krzywa derywacyjna $T' = dT/dt = f'(t)$ zarejestrowane podczas krzepnięcia metalu w próbniku zostały poddane analizie wg schematu przedstawionego na rysunku 2. Analiza ta polegała na określeniu punktów charakterystycznych znajdujących się na krzywych.



Rys. 2. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego

Punkty charakterystyczne znajdujące się na krzywej derywacyjnej:

- Z –maksymalna temperatura ciekłego metalu,
- A – temperatura w punkcie A,
- B – temperatura w punkcie B,
- D – temperatura krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),
- E – maksymalna szybkość podgrzewania metalu wskutek oddziaływania ciepła krystalizacji,
- F – temperatura krystalizacji stabilnej eutektyki,
- H – temperatura końca krystalizacji próbника,

I – charakterystyczna temperatura w stanie stałym (1050 °C)

K – $t_H + 60$ s czas stygnięcia próbника,

M – $t_H + 90$ s czas stygnięcia próbника.

2.4. Analiza stereologiczna wydzielen grafitu

W celu opisu przestrzennej budowy żeliwa sferoidalnego posłużono się analizatorem obrazu MAGISCAN. Ponadto do opisu kształtu wydzielen grafitu zastosowano współczynnik kształtu C [1-3], który można zdefiniować jako:

$$C = \frac{O_K}{O_w}$$

gdzie: O_K – obwód koła,

O_w – obwód wydzielenia grafitu,


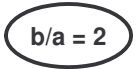
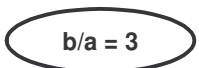
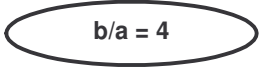
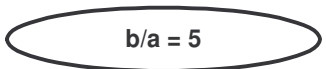
dla warunku:

$$F_K = F_w$$

gdzie: F_K – pole powierzchni koła,

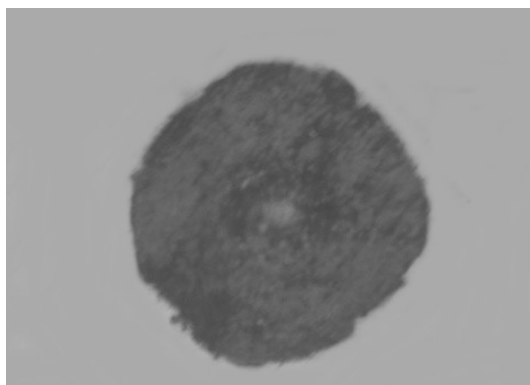
F_w – pole powierzchni wydzielenia grafitu.

Na rysunku 3 przedstawiono schematycznie kształt grafitu w zależności od współczynnika C.

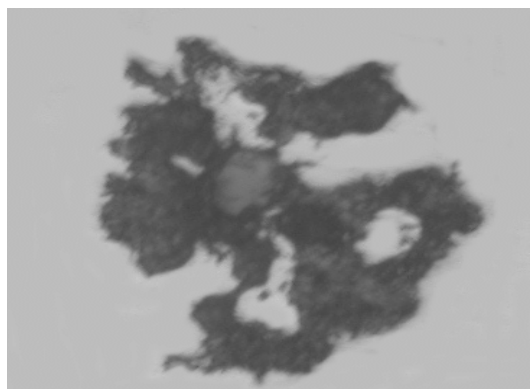
| Kształt grafitu | Kryterium kształtu 'C' | Gatunek żeliwa |
|--|------------------------|---------------------|
| $b/a = 1$  $b/a = 2$  | 1 0,9 | żeliwo sferoidalne |
| $b/a = 3$  | 0,8 | |
| $b/a = 4$  $b/a = 5$  | 0,72 0,66 | żeliwo wermikularne |

Rys. 3. Przykładowy kształt grafitu w zależności współczynnika kształtu C

Przykładowe kształty wydzieli grafitu przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Wydzielenie grafitu sferoidalnego (powiększenie x400)



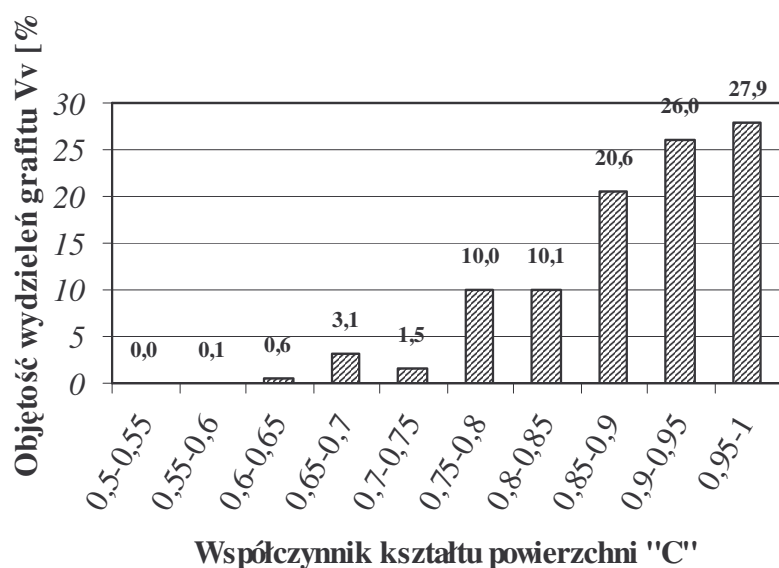
Rys. 5. Wydzielenie grafitu typu „exploded” (powiększenie x400)

Dokonano pomiarów charakterystycznych parametrów opisujących wydzielenia grafitu:

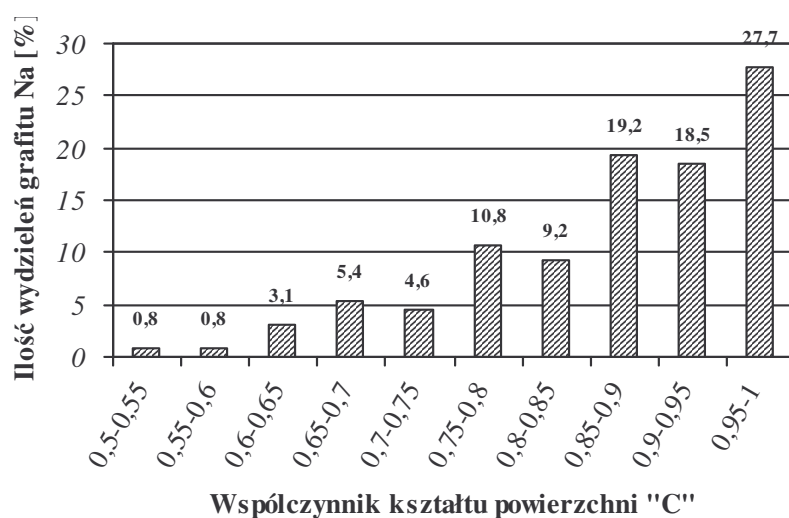
- pole powierzchni wydzielenia grafitu BD ,
- obwód wydzielenia BP ,
- procentowy udział powierzchni grafitu G .

Powyższe wielkości zostały wykorzystane przy sporządzaniu histogramów: (objętości wydzieli grafitu „ V_v ” w funkcji współczynnika kształtu „ C ” oraz ilości wydzieli grafitu „ N_a ” w funkcji współczynnika kształtu „ C ”).

Na podstawie wykonanych badań opracowano histogramy, których przykłady przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Objętość wydzielen grafitu „V_v” w funkcji współczynnika kształtu powierzchni „C”



Rys. 7. Ilość wydzielen grafitu „N_a” w funkcji współczynnika kształtu powierzchni „C”

3. ANALIZA WYDZIELEŃ GRAFITU W FUNKCJI CHARAKTERYSTYCZNYCH PUNKTÓW ATD

$$N_{a(0,9)}\% = -12371,5 + 11,61 \cdot T_I + 0,26 \cdot T_M \quad (1)$$

Gdzie: T_I – temperatura w punkcie I,

T_M – temperatura w punkcie M,

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia N_{a_s} = 47,28 %,
- odchylenie standardowe N_a = 5,16 %,
- współczynnik korelacji R = 0,89,
- test F = 12,49.

Na podstawie uzyskanego równania (1) można zauważyć, że ilość wydzieleni grafitu o najbardziej pożądanym kształcie (współczynnik kształtu $C=0,9\div 1$) opisana jest przez charakterystyczne temperatury stanu stałego żeliwa. Wraz ze wzrostem wartości tych temperatur zwiększa się ilość wydzieleni grafitu klasy $C=0,9\div 1$. Kulisty kształt wydzielenia charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem przewodności cieplnej w porównaniu z grafitem płatkowym w żeliwie szarym. Różnice w przewodności cieplnej związane są z występowaniem odizolowanych wydzieleni grafitu sferoidalnego co wpływa na zmniejszenie przewodności cieplnej badanego żeliwa [4].

$$N_{a(0,8)}\% = 664,7 - 1,13 \cdot T_D + 0,77 \cdot T_M \quad (2)$$

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D,

T_M – temperatura w punkcie M,

O parametrach statystycznych:

$$N_{a_s} = 74,46\% ; N_a = 4,8\% ; R = 0,85 ; F = 9,3.$$

Wraz z obniżeniem temperatury T_D (wzrostem przechłodzenia) zwiększa się ilość wydzieleni grafitu klasy $C=0,8\div 1$. Ilość wydzieleni grafitu w tym przypadku opisana jest również przez charakterystyczną temperaturę stanu stałego żeliwa T_M . Podobnie jak w przypadku poprzednim decydujące znaczenie odgrywa tu zmniejszenie współczynnika przewodności cieplnej żeliwa sferoidalnego.

$$V_{V(0,9)}\% = 1650,56 - 2,05 \cdot T_D + 0,8 \cdot T_M \quad (3)$$

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D,

T_M – temperatura w punkcie M,

O parametrach statystycznych:

$$V_V = 41,3\% ; N_a = 2,77\% ; R = 0,98 ; F = 89,03.$$

Objętość wydzieleni grafitu (klasy $C=0,9\div 1$) podobnie jak w poprzednim przypadku zależy od wartości przechłodzenia T_D i od temperatury T_M opisującej stan stały żeliwa.

$$V_{V(0,8)}\% = 1045,91 - 1,47 \cdot T_D + 0,77 \cdot T_K - 0,38 \cdot t_F \quad (4)$$

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D,

T_K – temperatura w punkcie K,

t_F – czas krystalizacji stabilnej eutektyki

O parametrach statystycznych:

$$V_V = 74\% ; N_a = 3,41\% ; R = 0,93 ; F = 12,14.$$

Objętość wydzieleni grafitu (klasy $C = 0,8 \div 1$) zależy od wielkości przechłodzenia T_D i od temperatury T_K opisującej stan stały żeliwa, ponadto w równaniu (4) obserwujemy wpływ czasu końca krystalizacji eutektyki grafitowej, wraz ze skróceniem czasu t_F zwiększa się ilość wydzieleni grafitu klasy 0,8 – 1. Wydłużenie czasu t_F powoduje krystalizację grafitu sferoidalnego w zdegenerowanej postaci.

4. PODSUMOWANIE

- Ilość i objętości wydzieleni grafitu (klasy $C=0,8\div 1$ i $C=0,9\div 1$) określają parametry stanu stałego – decydujące znaczenie odgrywa tu zmniejszenie współczynnika przewodności cieplnej żeliwa sferoidalnego,

- Zaobserwowano korzystny wpływ przechłodzenia na ilość i objętości wydzielań grafitu,
- Uzyskane zależności cechują się wysokimi parametrami statystycznymi i mogą być pomocne przy kontroli jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o metodę ATD.

LITERATURA

1. Stawarz M, Jura S; „Parametry stereologiczne grafitu i skład chemiczny określający właściwości żeliwa sferoidalnego” Archiwum Odlewnictwa, Rocznik 2, Nr 4 PAN Katowice, 2002.
2. Szajnar J, Stawarz M, Jura S; „Ocena analizy stereologicznej grafitu w żeliwie sferoidalnym” Archiwum Odlewnictwa rok, Rocznik 3, PAN Katowice, 2003.
- 3 Jura S., Stawarz M.: „Wpływ składu chemicznego i parametrów stereologicznych wydzielań grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego” Polska Metalurgia w latach 1998 – 2002 tom 2 Wydawnictwo Naukowe PAN, s.46 – 51, Kraków, 2002.
- 4 Stawarz M., Szajnar J.: „Ocena jakości żeliwa sferoidalnego metodą ATD” Archiwum Odlewnictwa, Rocznik 3, Nr 10, PAN Katowice, 2003.