

KOMPLEKSOWA OCENA JAKOŚCI ŻELIWA SFEROIDALNEGO

EVALUATION COMPLEX OF QUALITY FOR NODULAR CAST IRON

W pracy przedstawiono ocenę jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o przeprowadzone badania kompleksowe dwóch gatunków żeliw. Przedstawiono równania regresji do oceny jakości żeliwa sferoidalnego gatunku ZsCu1. Opracowano je na podstawie charakterystycznych punktów krzywych ATD. Do opisu kształtu wydzielań grafitu zastosowano współczynnik kształtu C.

Słowa kluczowe: żeliwo sferoidalne, analiza termiczno derywacyjna, grafit sferoidalny, współczynnik kształtu

The paper presented equations of regression for evaluation of graphite shape in nodular cast iron. They were prepared with the use of characteristic points of TDA curves. The factor shape C was used to describe the nodular cast iron.

Keywords: ductile cast iron, thermal derivative analysis, nodular graphite, factor shape

1. Wstęp

Żeliwo sferoidalne jest tworzywem odlewniczym o bardzo szerokim zastosowaniu. Wynika to z bardzo dużego zróżnicowania 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. Jego całkowity wzrost wyniósł ok. 40%, z jednoczesnym spadkiem produkcji odlewów z pozostałych stopów żelaza, dla żeliwa szarego i stopowego spadek ten wyniósł ok. 13%, dla odlewów z żeliwa ciągliwego spadek wyniósł ok. 26% i odlewów staliwnych ok. 25% [1].

Wraz ze wzrostem produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego powstał problem skutecznego i szybkiego sposobu oceny jakości tego żeliwa. W poniższej pracy przedstawiono kompleksową ocenę jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu metodę ATD i komputerową analizę kształtu wydzielań grafitu.

Problem oceny jakości żeliwa sprowadza się do oceny jakości metalu w kadzi przed zalaniem form. Takie podejście do zagadnienia ma na celu zmniejszenie odlewów wadliwych, przez wyeliminowanie przypadkowości z produkcji. Do oceny jakości żeliwa, a w szczególności kształtu wydzielań grafitu, wielkości oraz ilości wydzielań idealnie nadaje się metoda analizy termiczno derywacyjnej. Pozwala ona na szybką i skuteczną ocenę jakości ciekłego metalu, w powiązaniu z innymi danymi daje pełen obraz jakości żeliwa.

2. Przebieg i wyniki badań

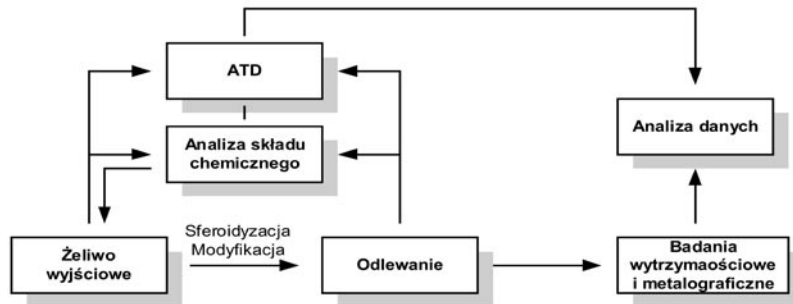
Badania przeprowadzono na dwóch gatunkach żeliwa sferoidalnego (EN-GJS 400-15 i ZsCu1,0). Przeprowadzono 19 wytopów żeliwa gatunku EN-GJS 400-15, oraz 16 wytopów żeliwa gatunku ZsCu1,0. Ideowy schemat przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 1.

Pierwszym etapem badań było określenie składu chemicznego żeliwa wyjściowego, oraz zarejestrowanie krzywej chłodzenia, na podstawie której wyznaczono wartości pierwszej i drugiej pochodnej. Jeżeli skład chemiczny żeliwa wyjściowego był odpowiedni, następował proces sferoidyzacji i modyfikacji.

Następnym etapem była analiza składu chemicznego, oraz rejestracja krzywej chłodzenia żeliwa sferoidalnego. Podobnie jak w poprzednim przypadku na podstawie krzywej chłodzenia została obliczona pierwsza i druga pochodna i wyznaczone punkty charakterystyczne, których wartości zostały umieszczone w macierzy danych. Do rejestracji krzywych ATD zastosowano aparaturę Crystaldigraph wraz z oprogramowaniem [2, 6]. Następnie zostały przeprowadzone badania wytrzymałościowe wg PN-EN 1563.

Dokonano również analizy kształtu wydzielań grafitu przy pomocy komputerowego analizatora obrazu. Następnie próbki zostały wytrawione w celu przeprowadzenia analizy procentowego udziału poszczególnych składników struktury. Badania wszystkich wytopów zostały przeprowadzone według powyższego schematu i wyniki badań zostały umieszczone w macierzy danych.

W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny żeliwa wyjściowego oraz sferoidalnego.



Rys. 1. Kontrola procesu produkcji żeliwa sferoidalnego
Fig. 1. Process of control for produce Ductile Cast Iron

Właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego: $R_m=728$ MPa, $A_5=1,8\%$, $HB=341$ (próbka nr 683b).

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. Krzywa oznaczona nr 1 odnosi się do żeliwa sferoidalnego, a nr 2 to przebieg chłodzenia żeliwa szarego. Analogicznie zostały oznaczone krzywe derywacyjne, odpowiednio 1' i 2'.

Do opisu kształtu wydzielań grafitu zastosowano współczynnik kształtu C [3]. Dokonano pomiarów następujących charakterystycznych parametrów: pole powierzchni wydzielania grafitu BD , obwód wydzielania BP , procentowego udziału powierzchni grafitu G . Powyższe wielkości zostały wykorzystane przy sporządzaniu histogramów: (ilość „ N_a ” i objętość „ V_v ” wydzielań grafitu w funkcji współczynnika kształtu „ C ” oraz ilość „ N_a ” i objętość „ V_v ” w funkcji pola powierzchni BD)

Przyjęto, że bardzo dobre żeliwo sferoidalne będzie charakteryzowało się współczynnikiem kształtu $0,9 < C < 1$, natomiast żeliwo wermikularne powinno posiadać współczynnik kształtu $0,66 < C < 0,9$. Na podstawie wykonanych badań opracowano histogramy, których przykłady przedstawiono poniżej.

3. Analiza statystyczna uzyskanych wyników

Wszystkie wytopy zostały przebadane w sposób zaprezentowany w rozdziale 2, a wyniki badań umieszczono w dwóch macierzach danych (macierz

dla żeliwa gatunku EN-GJS 400-15 i macierz dla żeliwa gatunku ZsCu1.0). W oparciu o uzyskane dane stosując metodę regresji krokowej opracowano zależności statystyczne. Poniżej przedstawiono przykładowe równania statystyczne dla żeliwa gatunku ZsCu1.0.

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

Gdzie: T_I – temperatura w punkcie I, T_M – temperatura w punkcie M,

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $N_a = 47,28 \%$,
- odchylenie standardowe $N_a = 5,16 \%$,
- współczynnik korelacji $R = 0,89$,
- test $F = 12,49$.

Na podstawie uzyskanego równania (1) można zauważyć, że ilość wydzielań 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 wydzielań grafitu klasy $C=0,9 \div 1$. Kulisty kształt wydzielania charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem przewodności cieplnej w porównaniu z grafitem płatkowym w żelwie szarym. Różnice w przewodności cieplnej związane są z występowaniem odizolowanych wydzielań grafitu sferoidalnego co wpływa na zmniejszenie przewodności cieplnej badanego żeliwa [4, 5].

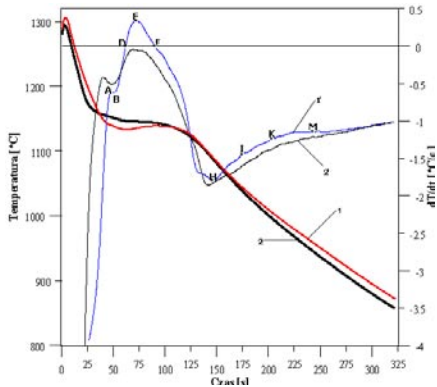
$$N_{a(0,8)} \% = 664,7 - 1,13 \cdot T_D + 0,77 \cdot T_M$$

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D, T_M – temperatura w punkcie M,

Tab. 1. Skład chemiczny żeliwa

Tab. 1. Chemical composition of cast iron

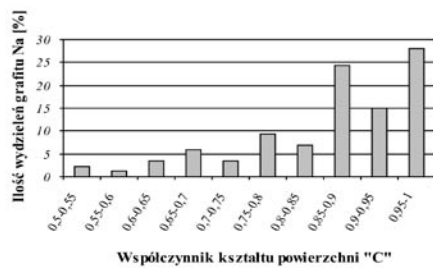
Żeliwo wyjściowe próbka nr 683a							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	-
%	%	%	%	%	%	%	-
3,51	0,54	1,98	0,049	0,029	0,07	0,49	-
Żeliwo sferoidalne próbka nr 683b							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Mg
%	%	%	%	%	%	%	%
3,54	0,53	2,73	0,049	0,006	0,07	1,26	0,06



Rys. 2. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego (1) i (1') i szarego (2) i (2')

Fig. 2. TDA curves of Ductile Cast Iron and gray cast iron

- Punkty charakterystyczne na krzywej derywacyjnej:
 Z – maksymalna temperatura ciekłego metalu,
 A – temperatura w punkcie A,
 B – temperatura w punkcie B,
 D – temperatura krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe₃C),
 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.



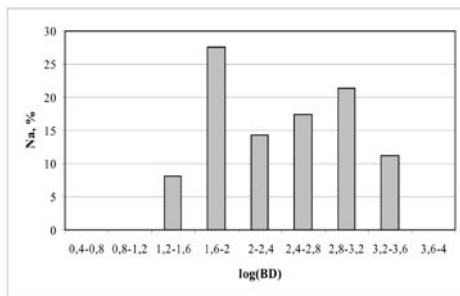
Rys. 3. Ilość wydzielen grafitu „ N_a ” w funkcji współczynnika kształtu „ C ”

Fig. 3. Numbers of graphite separations „ N_a ” in function of „ C ” coefficient



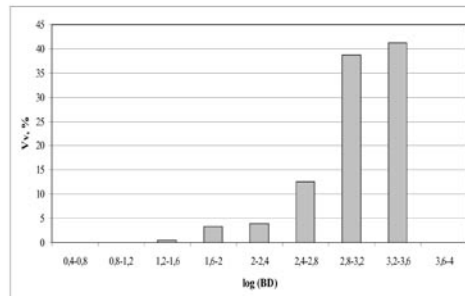
Rys. 4. Objętość wydzielen grafitu „ V_v ” w funkcji współczynnika kształtu „ C ”

Fig. 4. Volume of graphite separations „ V_v ” in function of „ C ” coefficient



Rys. 5. Ilość wydzielen grafitu „ N_a ” w funkcji pola powierzchni BD

Fig. 5. Numbers of graphite separations „ N_a ” in function of area „ BD ”



Rys. 6. Objętość wydzielen grafitu „ V_v ” w funkcji pola powierzchni BD

Fig. 6. Volume of graphite separations „ V_v ” in function of area „ BD ”

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 wydzielen grafitu klasy $C=0,8 \div 1$. Ilość wydzielen 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 [5].

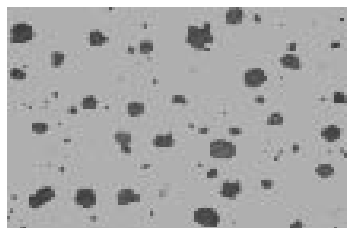
$$V_{V(0,9)} \% = 1650,56 - 2,05 \cdot T_D + 0,8 \cdot T_M$$

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D, T_M – temperatura w punkcie M,

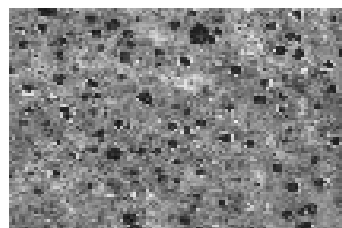
O parametrach statystycznych:

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

Objętość wydzielen 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 [5].



Rys. 7. Sferoidy grafitu, zgląd nie trawiony
Fig. 7. Graphite spheroids, microsection unetched



Rys. 8. Struktura żeliwa sferoidalnego, trawiona
Fig. 8. Structure of Ductile Iron, etched 3% Nital

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

Gdzie: T_D – temperatura w punkcie D, T_K – temperatura w punkcie K, t_F – czas krystalizacji stabilnej eutektyki

O parametrach statystycznych:

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

Objętość wydzielań grafitu (klasy C=0,8÷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 wydzielań grafitu klasy 0,8 – 1. Wydłużenie czasu t_F powoduje krystalizację grafitu sferoidalnego w zdegenerowanej postaci [5].

5. Literatura

- [1] Tybulczuk J., Martynowicz – Lis K.: *Stan aktualny i prognozy rozwoju żeliwa sferoidalnego*, Seminarium pt. „Wiodące gatunki i technologie żeliwa sferoidalnego – dziś i jutro” Instytut Odlewnictwa, , str. 21, 2002.
- [2] Stawarz M., Szajnar J.: *Ocena jakości żeliwa sferoidalnego metodą ATD*, Archiwum Odlewnictwa, Nr 10, str. 199 – 206, Kraków, Rocznik 3, 2003.
- [3] Jura S. i inni: *Zastosowanie metody ATD do oceny jakości żeliwa sferoidalnego*, Archiwum Odlewnictwa nr 1 (1/2), str. 93-102, 2001.
- [4] Podrzucki C.: *Żeliwo – struktura właściwości zastosowanie*, tom 1 STOP Kraków, s.207, 1991.
- [5] Stawarz M.: *Ocena kształtu grafitu w żeliwie sferoidalnym gatunku ZsCu1.0 w oparciu o metodę ATD*, DOKSEM 2003, Rajeckie Teplice, str. 66-67, 11 –12 November 2003.
- [6] Stawarz M., Szajnar J.: *Ocena kształtu wydzielań grafitu w żeliwie sferoidalnym metodą ATD*, 12th International Scientific Conference AMME, Gliwice-Zakopane 7-10 December, str. 832, 2003.

4. Podsumowanie

Zaprezentowany sposób kompleksowej oceny jakości żeliwa sferoidalnego jest w pełni miarodajny ze względu na ilość przeprowadzonych wytopów.

Uzyskane zależności statystyczne cechują się wysokimi parametrami statystycznymi i mogą być pomocne przy kontroli jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o metodę ATD.

Zaprezentowane równania statystyczne odnoszą się do oceny jakości żeliwa na podstawie charakterystycznych punktów ATD. Zebrany zbiór danych pozwala na sporządzenie innych zależności statystycznych, nad którymi obecnie trwa praca. Uzyskane wyniki badań powinny znaleźć zastosowanie w warunkach przemysłowych, w celu zwiększenia efektywności oceny jakości żeliwa, zgodnie z zakładanym celem przeprowadzonych badań.

Mgr inż. Marcin STAWARZ

Zakład Odlewnictwa

Ins. Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Towarowa 7, 44 – 100 Gliwice

tel. (032) 231 60 31