

METODA ATD JAKO SPOSÓB OCENY STOPNIA SFEROIDYZACJI ŻELIWA SFEROIDALNEGO

M. STAWARZ¹, J. SZAJNAR²

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

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono sposób oceny stopnia sferoidyzacji grafitu w oparciu o metodę ATD. Ocenę stopnia sferoidyzacji przedstawiono w formie równań regresji, w których zostały ujęte punkty charakterystyczne krzywych ATD. Do opisu kształtu wydzielań grafitu zastosowano współczynnik kształtu C.

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

1. WSTĘP

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

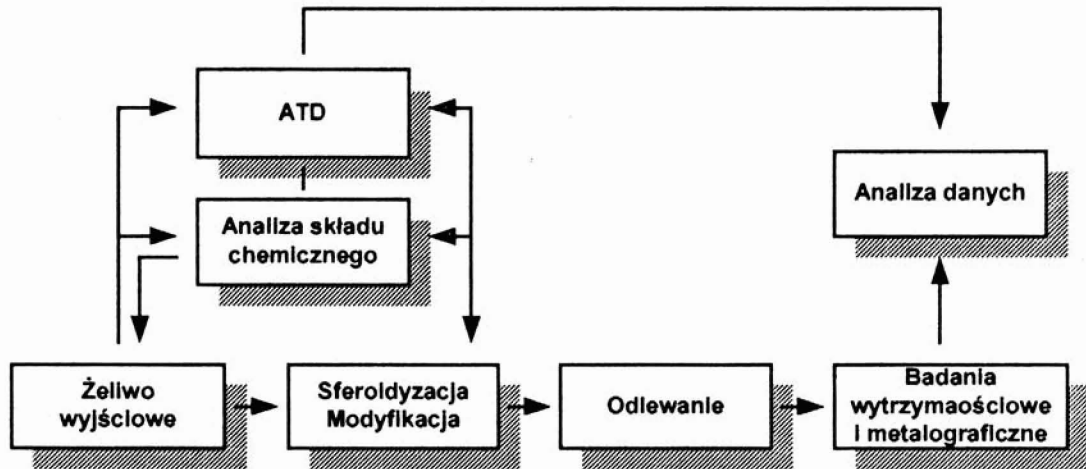
Cały problem oceny jakości żeliwa sprowadza się do oceny jakości metalu w kadzi przed zalaniem do form. Takie podejście do zagadnienia ma na celu zmniejszenie ilości odlewów wadliwych, przez wyeliminowanie przypadkowości z produkcji. Do oceny jakości żeliwa, a w szczególności kształtu wydzielań grafitu,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

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

² dr hab. inż. jszajnar@zeus.polsl.gliwice.pl

2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzono badania dwóch gatunków żeliwa sferoidalnego (EN GJS-400-15 i ZsCu1.0). Wytopy obu gatunków żeliwa przeprowadzono w warunkach przemysłowych (POWEN S.A. Zabrze). Szczegółowy sposób przeprowadzenia eksperymentu został przedstawiony na rysunku 1 i opisany w pracach [4, 6].



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

2.1. Analiza termiczno-derywacyjna

Krzywa termiczna $T = f(t)$ i krzywa derywacyjna $T' = dT/dt = f'(t)$ zarejestrowane podczas krzepnięcia żeliwa gatunku ZsCu1.0 w próbniku zostały poddane analizie wg schematu przedstawionego na rysunku 2. Na rysunku 3 przedstawiono krzywą termiczną i derywacyjną dla żeliwa EN GJS 400-15. Analiza ta polegała na określeniu punktów charakterystycznych znajdujących się na krzywych.

Temperatury punktów charakterystycznych na krzywej derywacyjnej [1]:

$T_A = T_L$ – temperatura likwidus,

T_B – temperatura w punkcie B,

$T_D = T_{SM}$ – temperatura solidus krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),

T_E – temperatura maksymalnego efektu cieplnego krystalizacji eutektycznej,

$T_F = T_S$ – temperatura solidus,

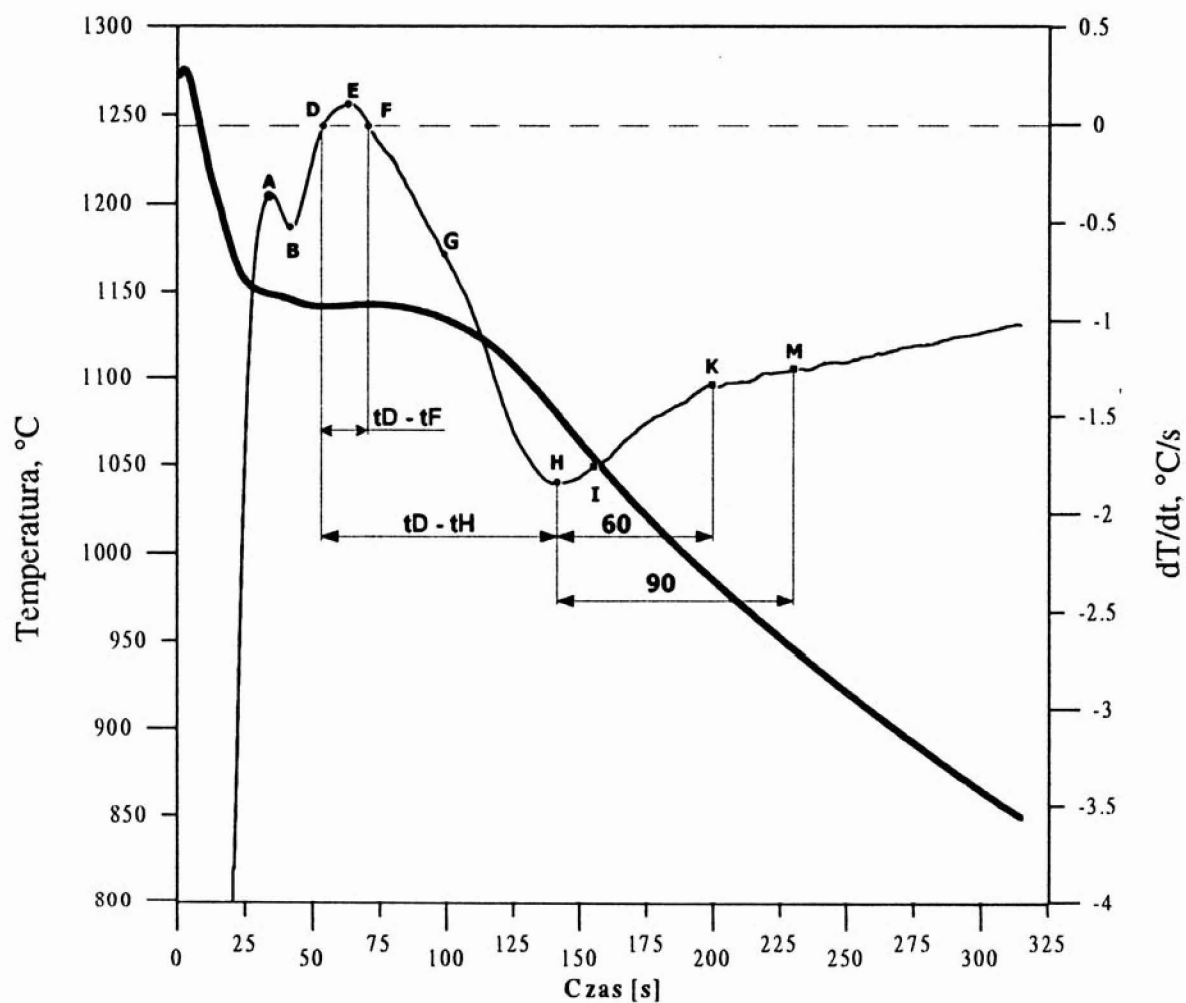
T_G – temperatura początku zetknięcia kryształów,

T_H – temperatura końca krystalizacji,

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

T_K – temperatura stygnięcia próbника po czasie t_H+60 s,

T_M – temperatura stygnięcia próbника po czasie t_H+90 s.



Rys. 2. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego ZsCu1.0

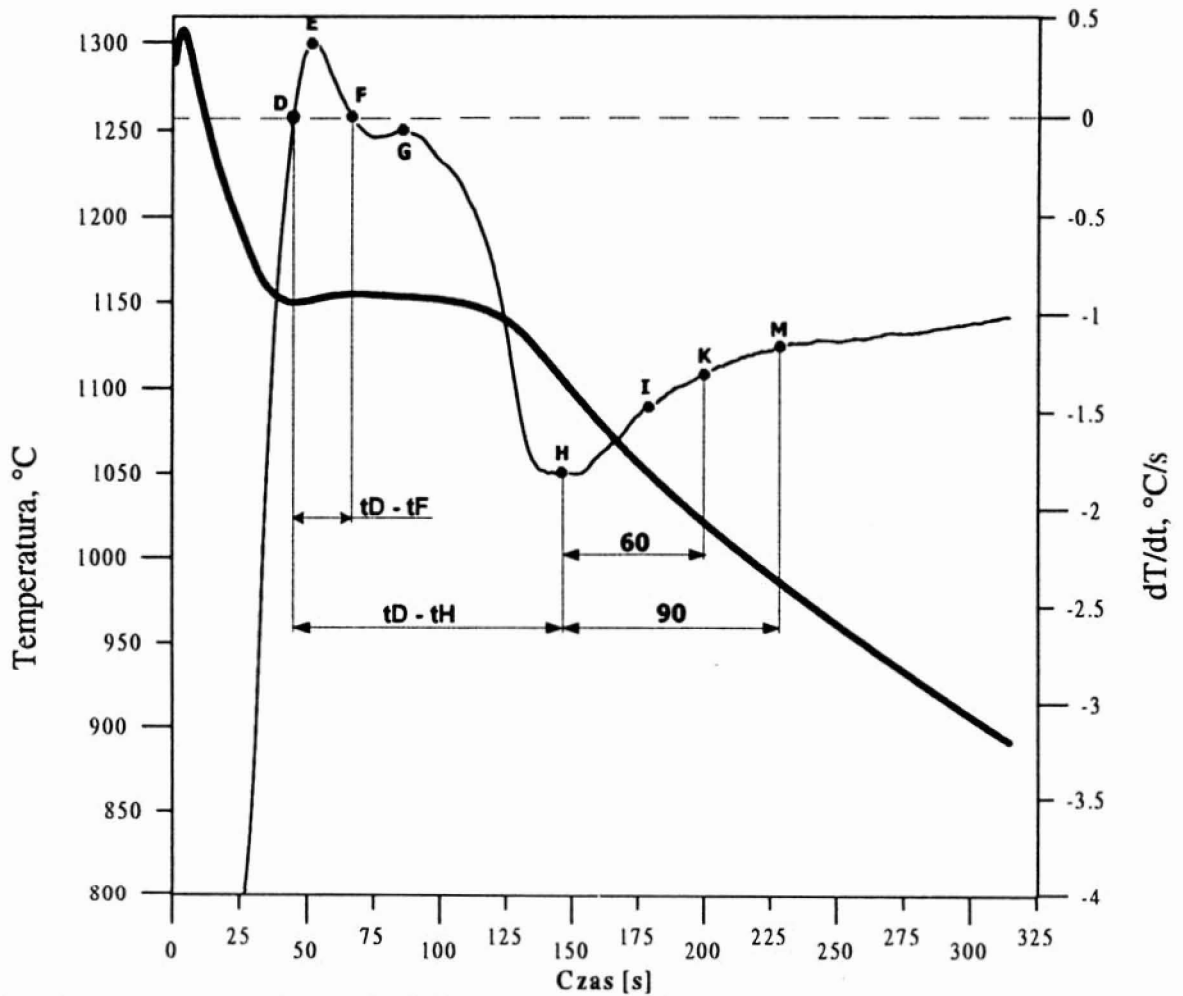
Fig. 2. TDA curves of Ductile Cast Iron ZsCu1.0

Tabela 1. Punkty charakterystyczne ATD

Table 1. Characteristic points ATD

Punkt	T, °C	dT/dt, °C/s	t, s
A	1148	-0,35	35
B	1145	-0,53	42
D	1141	0	54
E	1142	0,1	63
F	1143	0	71
G	1132	-0,75	103
H	1082	-1,85	140
I	1050	-1,74	158
K	985	-1,34	200
M	946	-1,25	230

T-temperatura, t-czas, dT/dt –pierwsza pochodna temperatury po czasie



Rys. 3. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego EN GJS-400-15

Fig. 3. TDA curves of Ductile Cast Iron EN GJS-400-15

Tabela 2. Punkty charakterystyczne ATD

Table 2. Characteristic points ATD

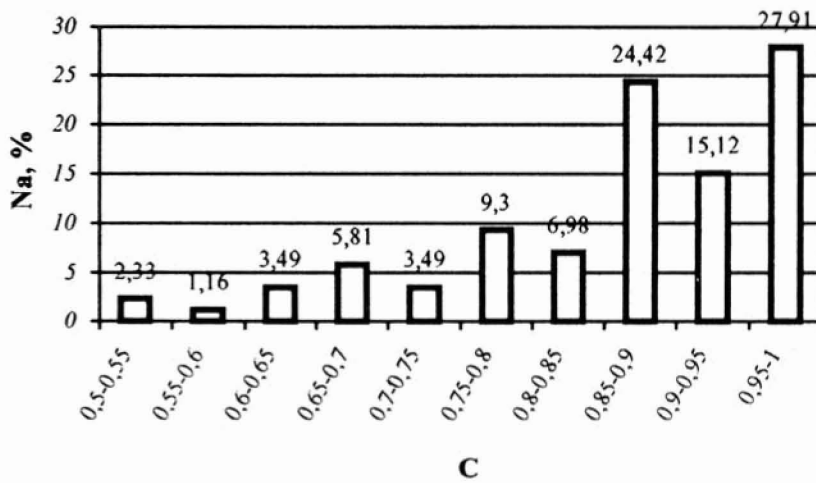
Punkt	T, °C	dT/dt, °C/s	t, s
D	1150	0	45
E	1151	-0,37	53
F	1154	0	67
G	1150	-0,33	108
H	1115	-1,81	141
I	1050	-1,46	180
K	1020	-1,3	201
M	983	-1,15	231

T-temperatura, t-czas, dT/dt –pierwsza pochodna temperatury po czasie

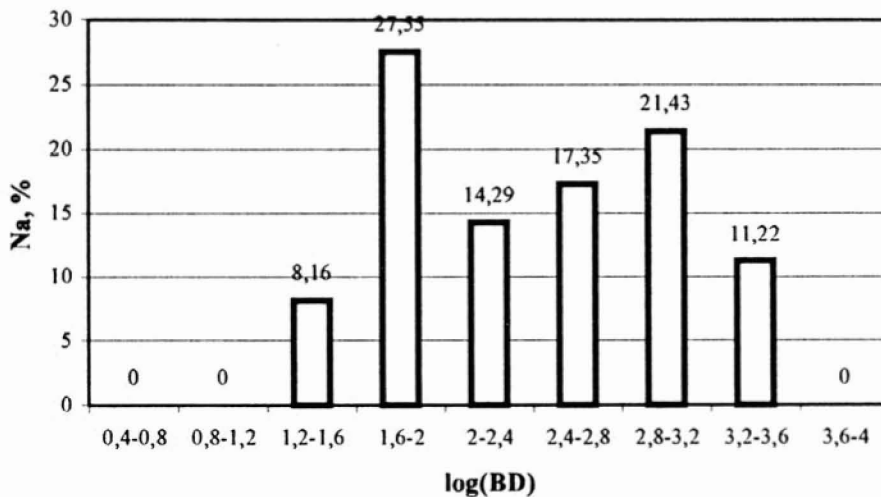
2.2. Analiza kształtu wydzielen grafitu

Do opisu kształtu wydzielen grafitu zastosowano współczynnik kształtu $C=O_k/O_w$, gdzie: O_k – obwód koła o powierzchni wydzielenia grafitu, O_w – obwód wydzielenia grafitu [2,5,7,8]. Dokonano pomiarów następujących charakterystycznych parametrów: pole powierzchni wydzielenia grafitu BD, obwód wydzielenia BP, procentowego udziału powierzchni grafitu G. Powyższe wielkości zostały wykorzystane przy sporządzaniu histogramów: (ilość „ N_a ” wydzielen grafitu w funkcji współczynnika kształtu „C” oraz ilość wydzielen „ N_a ” w funkcji pola powierzchni BD).

Przykładowe histogramy przedstawiono poniżej na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Ilość wydzielen grafitu „ N_a ” w funkcji współczynnika kształtu „C”
Fig. 4. Numbers of graphite separations „ N_a ” 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”

3. ANALIZA STATYSTYCZNA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Wszystkie wytopy zostały przebadane zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 1, 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 EN-GJS 400-15.

$$\text{Na}_{(0,8-1)}\% = -484,95 - 2,83T_D + 3,2T_F + 0,13T_K \quad (1)$$

Gdzie:

$T_D = T_{SM}$ – temperatura solidus krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),

T_F – temperatura solidus,

T_K – temperatura stygnięcia próbника po czasie $t_H + 60$ s,

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $\text{Na}_{(0,8-1)}\%_s = 73,4 \%$,
- odchylenie standardowe $\text{Na}_{(0,8-1)}\% = 1,99 \%$,
- współczynnik korelacji $R = 0,98$,
- test $F = 43,29$.

$$\text{Na}_{(0,9-1)}\% = -29,84 - 2,68T_D + 2,74T_F - 0,28(t_F - t_D) \quad (2)$$

Gdzie:

$T_D = T_{SM}$ – temperatura solidus krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),

T_F – temperatura solidus,

$t_F - t_D$ – czas krystalizacji eutektyki.

O parametrach statystycznych:

$\text{Na}_{(0,9-1)}\%_s = 43,02 \%$; $\text{Na}_{(0,9-1)}\% = 9,1 \%$; $R = 0,88$; $F = 6,22$.

Na podstawie równań 1 i 2 możemy zauważyć, korzystny wpływ przechłodzenia na ilość wydzielen grafitu klasy 0,8-1.

Ponadto obserwujemy wpływ charakterystycznej temperatury stanu stałego żeliwa (T_K) na ilość wydzielen grafitu. Wraz ze wzrostem wartości tej temperatury zwiększa się ilość wydzielen grafitu klasy $C=0,8\div 1$. Przewodność cieplna żeliwa sferoidalnego jest mniejsza w porównaniu z żeliwem szarym, w którym grafit występuje w postaci płatkowej. Różnice w przewodności cieplnej związane są z występowaniem odizolowanych wydzielen grafitu sferoidalnego, co wpływa na zmniejszenie przewodności cieplnej badanego żeliwa [3].

Również korzystnie na ilość wydzielen grafitu wpływa skrócenie czasu krystalizacji eutektyki ($t_F - t_D$) (równanie 2).

Równania regresji dla zbioru danych żeliwa gatunku ZsCu1.0 przedstawiono poniżej.

$$\text{Na}_{(0,8-1)}\% = 879,65 - 1,58T_D + 1,06T_m - 0,38(t_F - t_D) \quad (3)$$

Gdzie:

$T_D = T_{SM}$ – temperatura solidus krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),

T_M – temperatura stygnięcia próbnika po czasie $t_H + 90$ s,

$t_F - t_D$ – czas krystalizacji eutektyki

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $\text{Na}_{(0,8-1)}\%_s = 74,46 \%$;
- odchylenie standardowe $\text{Na}_{(0,8-1)}\% = 8,41 \%$;
- współczynnik korelacji $R = 0,89$;
- test $F = 3,47$.

$$\text{Na}_{(0,9-1)}\% = 1163,1 - 5,04T_D + 2,81T_F + 1,52T_m - 1,2(t_F - t_D) \quad (4)$$

Gdzie:

$T_D = T_{SM}$ – temperatura solidus krystalizacji metastabilnej eutektyki (Fe_3C),

T_F – temperatura solidus,

T_M – temperatura stygnięcia próbnika po czasie $t_H + 90$ s,

$t_F - t_D$ – czas krystalizacji eutektyki

O parametrach statystycznych:

$\text{Na}_{(0,9-1)}\%_s = 46,24 \%$; $\text{Na}_{(0,9-1)}\% = 9,14 \%$; $R = 0,94$; $F = 5,41$.

W równaniach 3 i 4 obserwujemy korzystny wpływ przechłodzenia na ilość wydzieleni grafitu klasy 0,8-1. W równaniach 3 i 4, podobnie jak w równaniach 1 i 2 można zauważyć wpływ temperatury stanu stałego żeliwa (T_M) na wartość Na.

Zarówno w równaniu 3, jak i w 4 korzystnie na ilość wydzieleni grafitu wpływa skrócenie czasu krystalizacji eutektyki ($t_F - t_D$).

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane równania statystyczne odnoszą się do oceny jakości żeliwa na podstawie charakterystycznych punktów ATD. Uzyskane zależności statystyczne cechują się wysokimi parametrami statystycznymi i mogą być pomocne przy kontroli jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o metodę ATD.

Uzyskane wyniki powinny znaleźć zastosowanie w warunkach przemysłowych, w celu zwiększenia efektywności oceny jakości żeliwa, zgodnie z zakładanym celem przeprowadzonych badań.

LITERATURA

- [1] S. Jura, J. Jura, Z. Jura; „Zastosowanie metody ATD i obsługa programu ATDV3 do oceny jakości żeliwa” Krzepnięcie Metali i Stopów, Badania wdrożeniowe, CPBP 02.09. Gliwice 1988, 262-293.
- [2] S. Jura i inni „Zastosowanie metody ATD do oceny jakości żeliwa sferoidalnego” Archiwum Odlewnictwa nr 1 (1/2) 2001, 93-102.
- [3] C. Podrzucki „Żeliwo – struktura właściwości zastosowanie” Tom 2 STOP Kraków 1991.
- [4] M. Stawarz „Ocena kształtu grafitu w żeliwie sferoidalnym gatunku ZsCu1.0 w oparciu o metodę ATD” DOKSEM 2003, Rajeckie Teplice, 11 –12 November 2003, 66-67.
- [5] Jura S., Jura Z.: *Wpływ składu chemicznego i stopnia sferoidyzacji grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa.* Archiwum Odlewnictwa nr 1 (2/2) 2001, 167-174.
- [6] Stawarz M., Szajnar J.: „Ocena kształtu wydzielań grafitu w żeliwie sferoidalnym metodą ATD” 12th International Scientific Conference AMME, Gliwice-Zakopane 7-10 December, 2003.
- [7] Szajnar J., Stawarz M.: „Ocena skuteczności analizy stereologicznej grafitu w żeliwie sferoidalnym” Międzynarodowa Konferencja Naukowa „ŻELIWO SFEROIDALNE W XXI WIEKU” Kraków, 2 – 3 października 2003.
- [8] Pietrowski S., Gumienny G.; „Metodyka przygotowania oceny jakości żeliwa sferoidalnego z zastosowaniem metody ATD” Archiwum Odlewnictwa, PAN vol.2, nr 6 2002
- [9] Guzik E.; *Procesy uszlachetniania żeliwa – wybrane zagadnienia*” Archiwum Odlewnictwa, Monografia nr 1, 2001

ATD METHOD FOR EVALUATION OF THE GRAPHITE SHAPE IN NODULAR CAST IRON

SUMMARY

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.

Recenzował prof. Józef Gawroński