

**METODA ATD JAKO SPOSÓB OCENY JAKOŚCI ŻELIWA  
SFEROIDALNEGO GATUNKU EN-GJS-400-15**M. STAWARZ<sup>1</sup>, J. SZAJNAR<sup>2</sup>, Cz. WÓJTOWICZ<sup>3</sup><sup>1,2</sup>Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska  
ul. Towarowa 7, 44 – 100 Gliwice<sup>3</sup>Powen Sp. z o.o. ul Wolności 318, 41-800 Zabrze

## STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono sposób oceny jakości żeliwa sferoidalnego gatunku EN-GJS-400-15 w oparciu o metodę ATD. Przedstawiono krzywe ATD, dla których wyznaczono punkty charakterystyczne i w oparciu o nie dokonano oceny jakości żeliwa.

*Key words: ductile cast iron, thermal derivative analysis, nodular graphite, mechanical properties*

## 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.

Ocena jakości żeliwa sprowadza się do problemu oceny jakości metalu w kadzi odlewniczej 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 własności mechanicznych, kształtu, wielkości oraz ilości wydzieliń grafitu 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. składem chemicznym itp.) daje pełen obraz jakości żeliwa.

---

<sup>1</sup> mgr inż., [sekrm13@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:sekrm13@zeus.polsl.gliwice.pl)

<sup>2</sup> dr hab. inż., prof. Pol. Śl., [jszajnar@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:jszajnar@zeus.polsl.gliwice.pl)

<sup>3</sup> mgr inż.

## 2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono dla żeliwa sferoidalnego gatunku EN GJS-400-15. Wytopy realizowano w warunkach przemysłowych, a szczegółowy sposób przeprowadzenia eksperymentu został przedstawiony w pracach [1÷4].

W tabelach poniżej przedstawiono wartości maksymalne, minimalne, średnie oraz odchylenie standardowe dla składu chemicznego badanego żeliwa oraz własności mechanicznych.

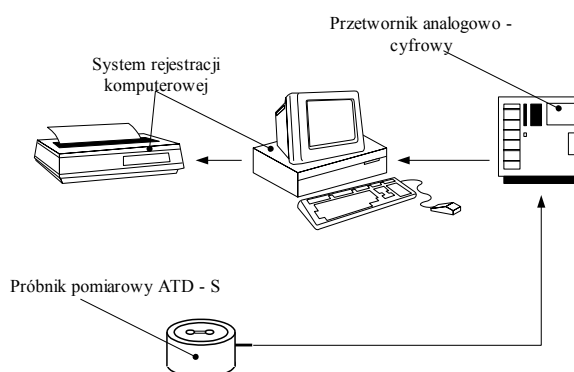
Tabela 1. Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego  
Table 1. Chemical composition of ductile cast iron

Wartość	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Mg
	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>maksymalna</b>	3,85	0,28	2,6	0,05	0,008	0,02	0,06	0,072
<b>minimalna</b>	3,46	0,06	2,1	0,036	0,004	0,01	0,01	0,03
<b>średnia</b>	3,61	0,09	2,38	0,044	0,006	0,01	0,03	0,048
<b>odchylenie standardowe</b>	0,12	0,05	0,15	0,005	0,001	0,005	0,01	0,013

Tabela 2. Własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego  
Table 2. Mechanical properties of ductile cast iron

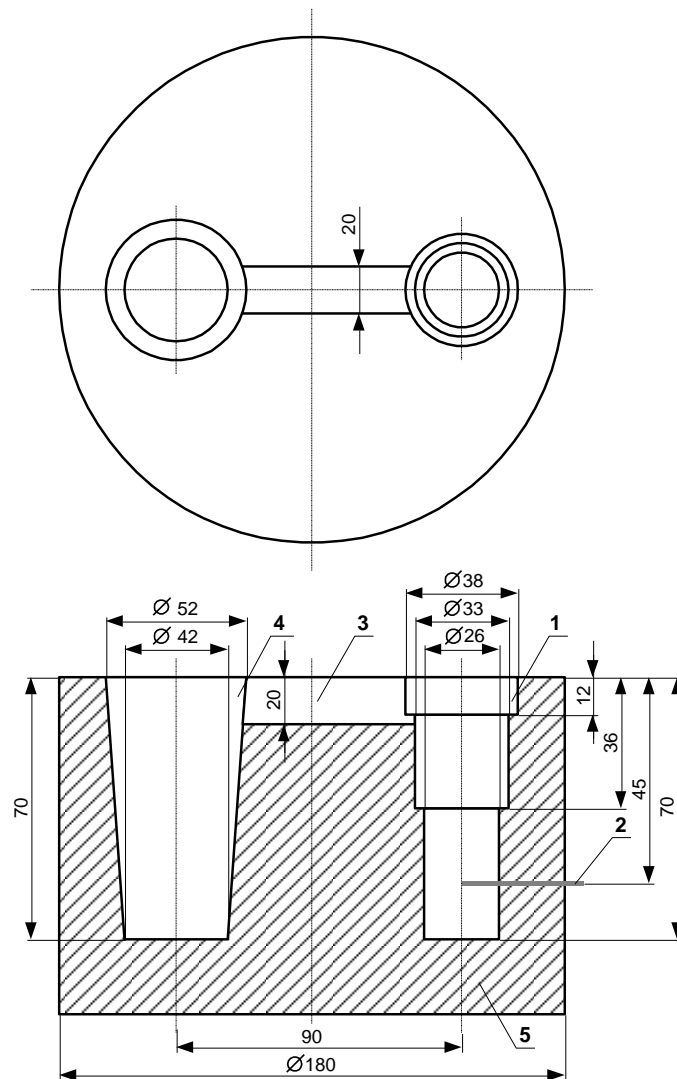
Wartość	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	HB
	MPa	%	
<b>maksymalna</b>	442	25,3	149
<b>minimalna</b>	403	19,8	137
<b>średnia</b>	424,6	22,9	142,8
<b>odchylenie standardowe</b>	11,5	1,3	4,96

Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska pomiarowego, natomiast na rysunku 2 przedstawiono użyty w badaniach próbnik ATD – S.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego  
Fig. 1. Schema of measuring – position

Cieple żeliwo wlewano przy użyciu łyżki metalowej do części pomiarowej 1, w której umieszczona była termopara 2 w osłonce kwarcowej (średnica zewnętrzna osłonki  $\varnothing 5$  mm). Po wypełnieniu zbiornika pomiarowego 1 nastąpiło wypełnienie zbiornika przelewowego 4, przez przelew 3. Całość została umieszczona w formie 5.

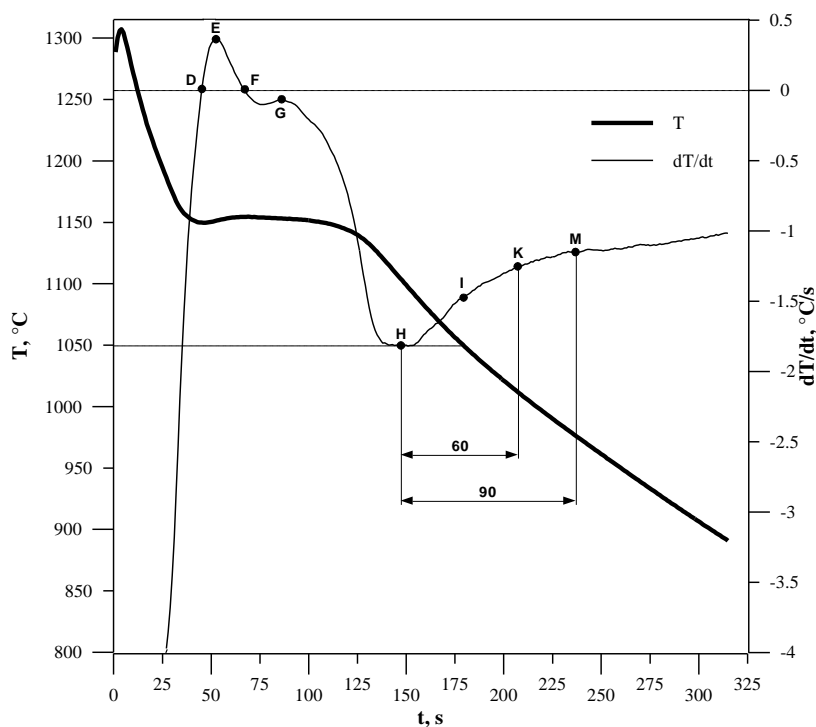


Rys. 2. Próbnik ATD-S  
Fig. 2. Probe of ATD - S

## 2.1. Analiza termiczna - derywacyjna

Przykładowa krzywa termiczna  $T = f(t)$  i krzywa derywacyjna  $T' = dT/dt = f'(t)$  zarejestrowane podczas krzepnięcia metalu w próbniku została poddana analizie wg schematu przedstawionego na rysunkach 3÷4. Analiza ta polegała na określeniu punktów charakterystycznych znajdujących się na krzywych i została przeprowadzona dla wszystkich wytopów. Dane opisujące punkty charakterystyczne (temperatura, czas, wartość pierwszej pochodnej po czasie, drugiej pochodnej po czasie) zostały umieszczone w macierzy danych.

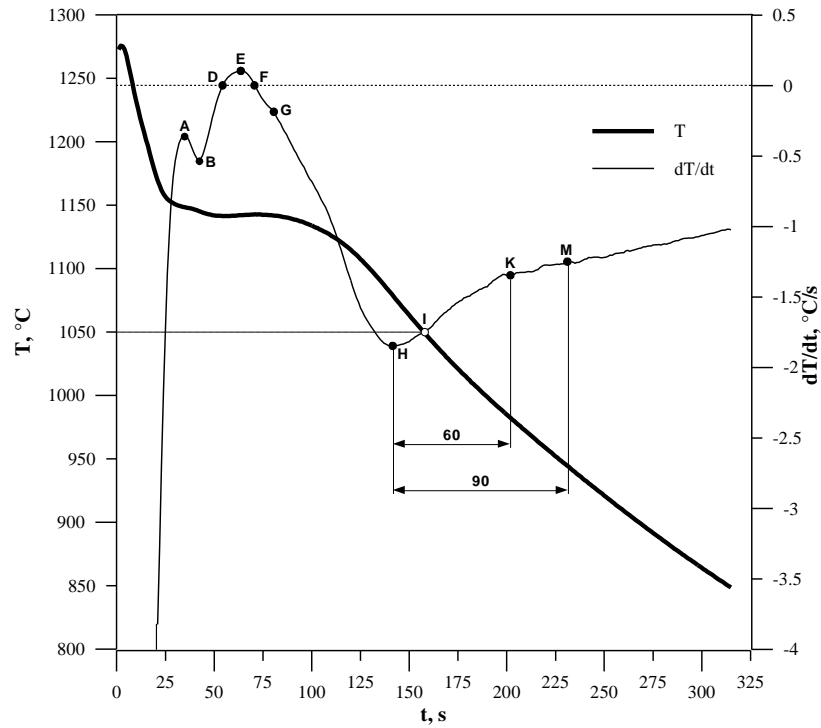
Wytopy zostały podzielone na grupy ze względu na eutektyczny równoważnik węgla CE. Dla żeliwa gatunku EN-GJS-400-15 otrzymano w wyniku podziału dwie podgrupy żeliwa: eutektyczne (rysunek 3) i nadeutektyczne (rysunek 4).



Rys. 3. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego, eutektycznego  
Fig. 3. TDA curves of eutectic ductile cast iron

Na powyższej krzywej można zaobserwować następujące efekty cieplne:

- „DEFGH” od krystalizacji eutektyki grafit + austenit,
- „IKM” od zmiany przewodnictwa cieplnego.

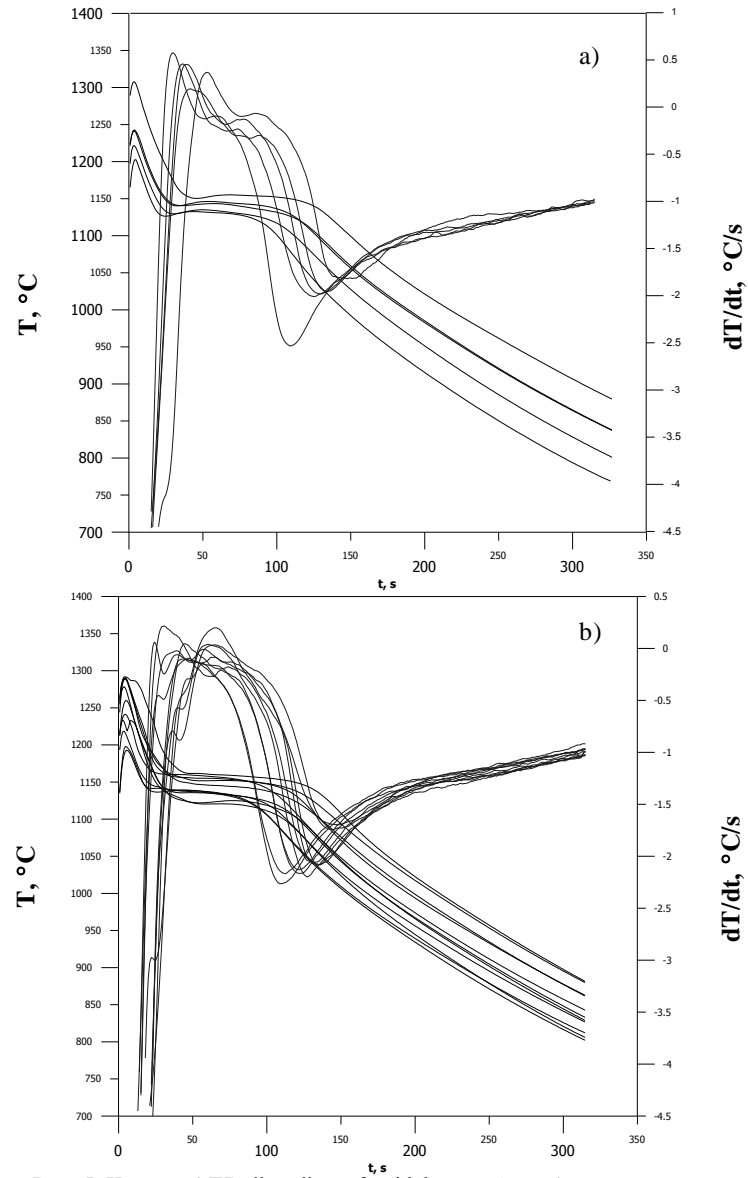


Rys. 4. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego nadeutektycznego  
 Fig. 4. TDA curves of hypereutectic ductile cast iron

Na powyższej krzywej można zaobserwować następujące efekty cieplne:

- „AB” od krystalizacji grafitu pierwotnego,
- „BDEFGH” od krystalizacji eutektyki grafit + austenit,
- „IKM” od zmiany przewodnictwa cieplnego.

Na rysunku 5 przedstawiono zbiorcze wykresy ATD dla omawianych grup żeliwa.



Rys. 5. Krzywe ATD dla żeliwa sferoidalnego: a) eutektycznego, b) nadeutektycznego

Fig. 5. TDA curves of ductile cast iron : a) eutectic, b) hypereutectic

Krzywe ATD przyporządkowane do poszczególnych podgrup mogą się różnić nieznacznie od siebie. Jedną z przyczyn jest minimalne odchylenie CE od składu eutektycznego powodujące zanik efektu „AB” krystalizacji grafitu pierwotnego dla wytopów o składzie nadeutektycznym. Drugą przyczyną są różne temperatury zalewania poszczególnych próbek, spowodowane względami technicznymi (różne temperatury żeliwa wyjściowego przed zabiegami sferoidyzacji i modyfikacji, słabe wygrzanie łyżki przy pomocy której zalewano próbnik, przeprowadzanie zabiegu sferoidyzacji w kadzi, która została stosunkowo mało wygrzana itp.).

### 3. ANALIZA STATYSTYCZNA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Poniżej przedstawiono równanie statystyczne dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-15, opisujące zależność pomiędzy, własnościami mechanicznymi żeliwa sferoidalnego w funkcji punktów charakterystycznych, wyznaczonych na krzywej ATD.

$$A_5 = -10,36 + 0,07T_M + 0,046(t_F - t_D) - 0,027T_Z \quad (1)$$

Gdzie:

$T_M$  – temperatura stygnięcia próbnika po czasie  $t_H + 90$  s,  
 $t_F - t_D$  – przedział czasowy krystalizacji eutektyki pomiędzy punktami F i D,  
 $T_Z$  – maksymalna temperatura zarejestrowana podczas pomiaru.

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia  $A_{5s} = 22,75\%$ , odchylenie standardowe  $A_5 = 0,8\%$ ,
- współczynnik korelacji  $R = 0,8$ , test  $F = 6,1$ .

Uzyskane wyniki w równaniu 1 cechują się wysokimi parametrami statystycznymi i z pewnością nadają się do oceny jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o metodę ATD, jednak wyjaśnienie ich sensu fizycznego jest trudne do interpretacji na tym etapie badań.

$$HB_s = 45,41 + 0,11T_Z + 0,9T_K - 0,95T_M - 0,1(t_F - t_D) - 0,42(t_H - t_A) \quad (2)$$

Gdzie:

$T_Z$  – maksymalna temperatura zarejestrowana podczas pomiaru,  
 $T_K$  – temperatura stygnięcia próbnika po czasie  $t_H + 60$  s,  
 $T_M$  – temperatura stygnięcia próbnika po czasie  $t_H + 90$  s,  
 $t_F - t_D$  – przedział czasowy krystalizacji eutektyki pomiędzy punktami F i D,  
 $t_H - t_A$  – przedział czasowy krystalizacji próbnika pomiędzy punktami H i A.

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia  $HB_s = 143,23$ , odchylenie standardowe  $HB = 3,11$ ,
- współczynnik korelacji  $R = 0,85$ , test  $F = 3,97$ .

Skrócenie czasu krystalizacji powoduje wzrost twardości badanego żeliwa.

Nie udało się znaleźć zależności statystycznej opisującej korelację pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie  $R_m$  a wartościami punktów charakterystycznych ATD.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane równania statystyczne odnoszą się do oceny jakości żeliwa na podstawie charakterystycznych punktów ATD. Uzyskane zależności statystyczne cechują się wysokimi parametrami i mogą być pomocne przy kontroli jakości żeliwa sferoidalnego w oparciu o metodę ATD. Wyjaśnienie sensu fizycznego poszczególnych elementów wchodzących w skład równań będzie możliwe, pod warunkiem przeprowadzenia dodatkowych wytopów. W ten sposób będzie można wyeliminować tzw. czynnik ludzki, który niewątpliwie ma wpływ na jakość żeliwa sferoidalnego, zwłaszcza przy technologii sferoidyzacji metodą zalewową na dnie kadzi, którą wytwarzano żeliwo opisywane w powyższym artykule.

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 i inni „Zastosowanie metody ATD do oceny jakości żeliwa sferoidalnego” *Archiwum Odlewnictwa* nr 1 (1/2) 2001, 93-102.
- [2] 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.
- [3] S. Jura, Z. Jura: *Wpływ składu chemicznego i stopnia sferoidyzacji grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa*. *Archiwum Odlewnictwa* nr 1 (2/2) 2001.
- [4] M. Stawarz, J. Szajnar: „Ocena kształtu wydzieleni grafitu w żeliwie sferoidalnym metodą ATD” *12<sup>th</sup> International Scientific Conference AMME*, Gliwice-Zakopane 7-10 December, 2003.

#### TDA METHOD FOR EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES IN NODULAR CAST IRON OF SORT EN-GJS-400-15

#### SUMMARY

The paper presented equations of regression for evaluation of quality of ductile cast iron of sort EN GJS-400-15. They were prepared with the use of characteristic points of TDA curves.

Recenzował Prof. Józef Gawroński