

KONTROLA STALIWA NIESTOPOWEGO METODĄ ATD

S. PIETROWSKI¹, G. GUMIENNY²
Katedra Systemów Produkcji, Politechnika Łódzka,
ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź
W. MEKSA³, G. WOŹNICKI⁴
Spółdzielnia Pracy „Armatura”
Ul. Duńska 23, 91-210 Łódź

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki kontroli staliwa gatunku GC20 i GC40 metodą ATD. Wykazano, że na krzywej derywacyjnej występują efekty cieplne od krystalizujących faz. Zwiększenie ilości węgla w staliwie zmienia charakterystyczne temperatury przemian staliwa zgodnie z jego znanym wpływem. Na tej podstawie można opracować program komputerowy kontroli staliwa w procesie wytapiania.

Key words: crystallization, cast steel, thermal derivative analysis

1. WSTĘP

Kontrola produkcji żeliwa szarego, wermikularnego, sferoidalnego i austenitycznego oraz siluminów metodą analizy termicznej i derywacyjnej (ATD) została dobrze rozpoznana i zastosowana w wielu odlewniach [1 ÷ 4]. Brak jest danych w literaturze przedmiotu jej zastosowania w kontroli produkcji staliwa. Badania rozpoznawcze w zakresie możliwości zastosowania metody ATD do kontroli różnych gatunków staliwa przedstawiono w pracy [5]. Niniejszy artykuł dotyczy jej rozwinięcia dla staliwa niestopowego.

¹ prof. zw. dr hab. inż., spietrow@mail.p.lodz.pl

² dr inż., grzegum@p.lodz.pl

³ prezes, mgr inż.

⁴ v-ce prezes, mgr inż.

2. METODYKA BADAŃ

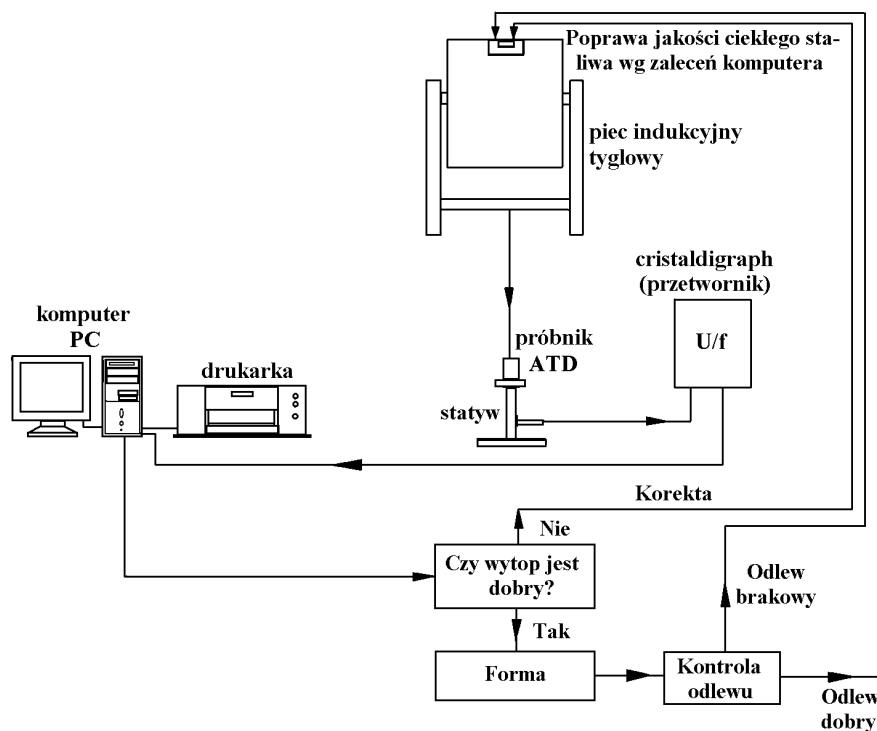
Staliwo wytapiano w S. P. „Armatura” w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości o pojemności tygla 100kg. Pomiaru temperatury staliwa dokonano termoelementem zanurzeniowym PtRh10–Pt. Skład chemiczny badanych gatunków staliwa określono na Quantowagu „Hilger” w S. P. „Armatura” i podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny badanego staliwa

Table 1. The chemical composition of investigated cast steel

Lp.	Gatunek	Skład chemiczny, %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
1	GC20	0,21 ÷ 0,26	0,29 ÷ 0,45	0,68 ÷ 0,88	≤ 0,015	≤ 0,030	≤ 0,15	≤ 0,10	≤ 0,08	≤ 0,08
2	GC40	0,40 ÷ 0,50	0,40 ÷ 0,45	0,60 ÷ 0,80	≤ 0,013	≤ 0,020	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,05

Schemat przeprowadzonej kontroli badanego staliwa z zastosowaniem metody ATD przedstawiono na rysunku 1.

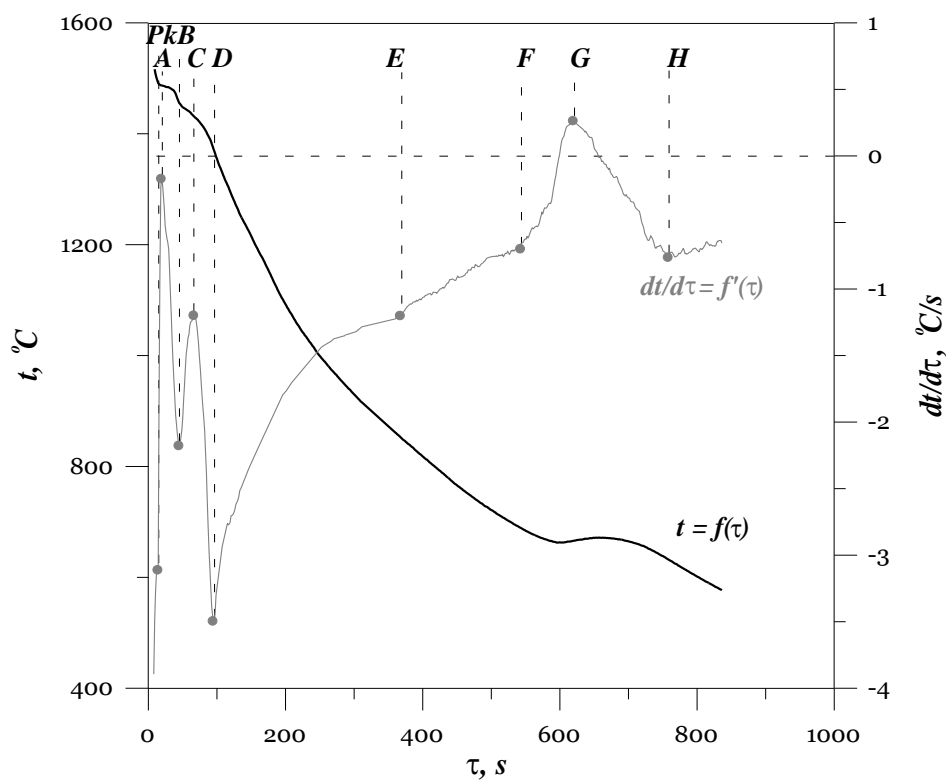


Rys. 1. Schemat kontroli staliwa metodą ATD

Fig. 1. The scheme of cast steel control with TDA method

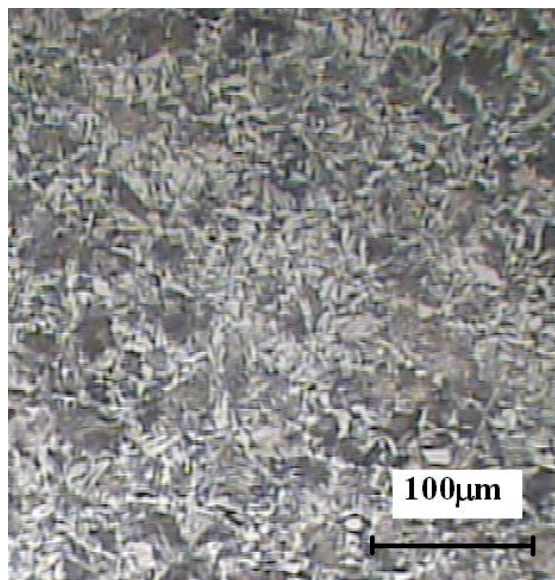
3. WYNIKI BADAŃ

Reprezentatywne krzywe ATD staliwa nr 1 pokazano na rysunku 2, a jego mikrostrukturę na rysunku 3.



Punkt	τ, s	$t, ^\circ C$	$dt/d\tau, ^\circ C/s^2$
Pk	15	1490	-3,12
A	20	1486	-0,18
B	46	1454	-2,19
C	68	1430	-1,21
D	96	1372	-3,51
E	369	851	-1,21
F	544	688	-0,67
G	621	666	0,25
H	759	631	-0,77

Rys. 2. Krzywe ATD staliwa zawierającego 0,21 ÷ 0,26% C (L.p. 1, tab. 1)
 Fig. 2. TDA curves of cast steel with 0,21 ÷ 0,26% C (No. 1, tab. 1)



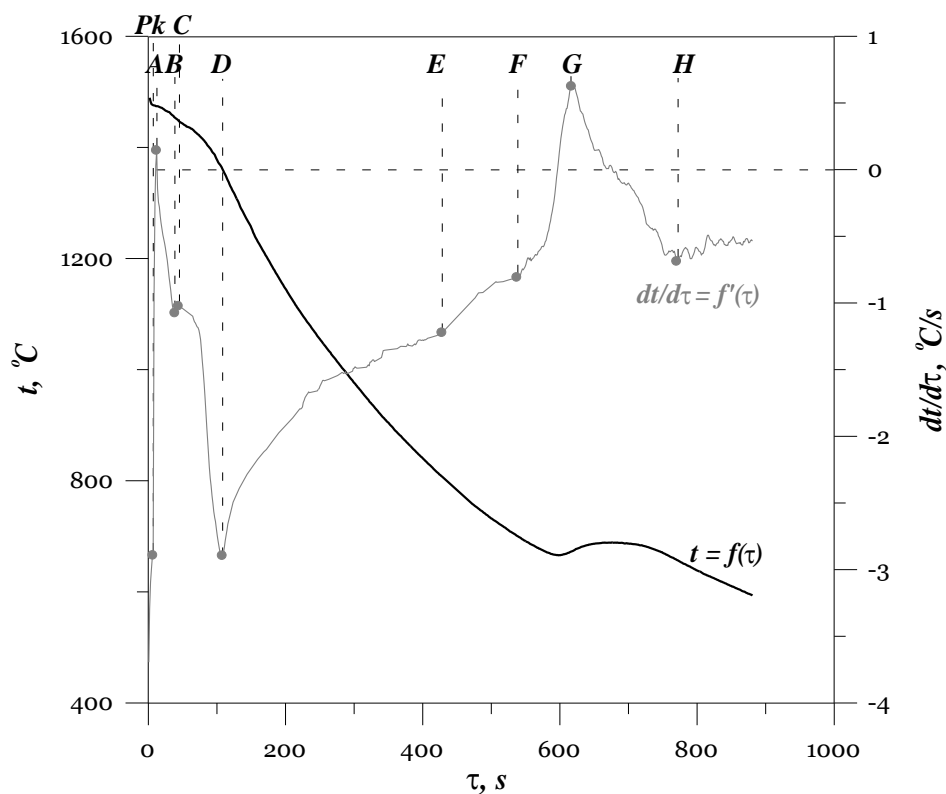
Rys. 3. Mikrostruktura staliwa 1: ferryt, perlit, cementyt trzeciorzędowy, wtrącenia niemetaliczne
 Fig. 3. The microstructure of 1 cast steel: ferrite, pearlite, cementite, non-metallic inclusions

Poszczególne efekty cieplne na krzywej derywacyjnej są wynikiem krystalizacji i przemian fazowych w stanie stałym następujących faz:

- Pk początek krystalizacji ferrytu wysokotemperaturowego δ (α),
- AB efekt krystalizacji i rozpuszczania się ferrytu, przemiana perytektyczna $\delta \rightarrow \gamma$,
- BCD krystalizacja austenitu (γ), B – początek, C – maksymalny efekt cieplny, D – koniec,
- EF przemiana częściowa $\gamma \rightarrow \alpha$, E – początek, F – koniec,
- FGH przemiana pozostałej ilości $\gamma \rightarrow P$ (perlit).

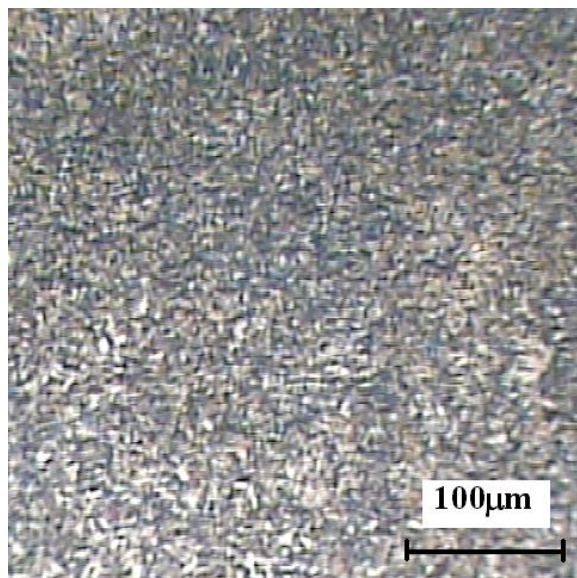
Krystalizacja staliwa rozpoczyna się w temperaturze $t_{Pk} = 1490^{\circ}\text{C}$. Przemiana perytektyczna zachodzi w zakresie temperatury $t_A \div t_B = 1486 \div 1454^{\circ}\text{C}$. Krystalizacja austenitu kończy się w temperaturze $t_D = 1372^{\circ}\text{C}$. Efekt cieplny od częściowej przemiany $\gamma \rightarrow \alpha$ przebiega łagodnie, bez maksimum i zaznaczony jest na krzywej derywacyjnej punktami przegięcia E i F. Przemiana rozpoczyna się w temperaturze $t_E = 851^{\circ}\text{C}$, a kończy w $t_F = 688^{\circ}\text{C}$. W tej temperaturze rozpoczyna się przemiana pozostałej ilości austenitu w perlit. Koniec przemiany występuje w temperaturze $t_H = 631^{\circ}\text{C}$.

Wzrost zawartości węgla w staliwie do zakresu 0,40 ÷ 0,50% (L.p. 2, tab. 1) zmienia przebieg krzywej krystalizacji i temperaturę charakterystycznych punktów na krzywej stygnięcia jak to pokazano na rysunku 4. Mikrostrukturę tego staliwa przedstawiono na rysunku 5.



Punkt	τ, s	$t, ^\circ C$	$dt/d\tau, ^\circ C/s^2$
Pk	8	1475	-2,90
A	13	1473	0,14
B	40	1452	-1,08
C	45	1446	-1,03
D	109	1359	-2,90
E	429	806	-1,23
F	539	699	-0,82
G	618	671	0,62
H	772	656	-0,70

Rys. 4. Reprezentatywne krzywe ATD staliwa zawierającego 0,40 ÷ 0,50% C (L.p. 2, tab. 1)
 Fig. 4. Representative TDA curves of cast steel with 0,40 ÷ 0,50% C (No. 2, tab. 1)



Rys. 5. Mikrostruktura staliwa 2: ferryt, perlit, cementyt trzeciorzędowy, wtrącenia niemetaliczne

Fig. 5. The microstructure of 2 cast steel: ferrite, pearlite, cementite, non-metallic inclusions

Wzrost zawartości węgla obniżył temperaturę początku krystalizacji do $t_{Pk} = 1475^{\circ}\text{C}$. Spowodował również istotną zmianę w efektach cieplnych na krzywej derywacyjnej w obszarze krystalizacji. W zakresie krystalizacji austenitu, krzywa derywacyjna charakteryzuje się tylko przegięciem BC. Nie występuje na niej efekt cieplny jak dla staliwa 1. Spowodowane jest to małą ilością krystalizującego ferrytu δ , a więc i niewielkim ciepłem jego krystalizacji oraz przemiany perytektycznej. Ilość krystalizującego austenitu jest większa w porównaniu ze staliwem niskowęglowym. Większe jest jego ciepło krystalizacji, co w konsekwencji powoduje tylko przegięcie krzywej derywacyjnej. Przemiana perytektyczna rozpoczyna się w niższej temperaturze $t_A = 1473^{\circ}\text{C}$, a kończy w podobnej jak dla staliwa niskowęglowego. Temperatura końca krystalizacji austenitu wynosi $t_D = 1359^{\circ}\text{C}$ i jest niższa w porównaniu ze staliwem 1. Również niższa jest temperatura początku częściowej przemiany $\gamma \rightarrow \alpha$ i wynosi $t_E = 806^{\circ}\text{C}$, wzrosła natomiast temperatura przemiany eutektoidalnej $t_F \div t_H = 699 \div 656^{\circ}\text{C}$.

Przedstawione zmiany temperatury poszczególnych przemian fazowych są zgodne z ogólnie znanym wpływem na nie węgla. Wynika stąd, że produkcję staliwa niestopowego można kontrolować metodą ATD. W związku z tym aktualnie wykonuje się ATD dla dużej ilości wytopów staliwa celem uzyskania znacznej ilości danych

niezbędnych do opracowania określonych zależności eksperymentalnych. Opracowane zostaną zależności statystyczne pomiędzy charakterystycznymi temperaturami i kątami nachyleń odpowiednich odcinków krzywej krystalizacji a własnościami mechanicznymi: R_m , $R_{p0,2}$, A_5 i HB staliwa. Na ich podstawie opracowany zostanie algorytm do zbudowania autorskiego programu komputerowego kontroli jakości staliwa.

4. WNIOSKI

Z przedstawionych w pracy wyników badań wnioski są następujące:

- analiza termiczna i derywacyjna rejestruje przemiany fazowe w staliwie w procesie krystalizacji ze stanu ciekłego i w stanie stałym,
- zwiększenie zawartości węgla zmienia temperaturę charakterystycznych przemian zgodnie z ogólną wiedzą,
- powyższe stwierdzenia upoważniają do opracowania programu komputerowego kontroli staliwa w procesie jego przygotowania metalurgicznego.

LITERATURA

- [1] Pietrowski S., Pisarek B., Władysław R., *Crystallization, microstructure, properties and control of vermicular cast iron*, Inżynieria Materiałowa, Nr 51, 2001, s. 720.
- [2] Gumienny G., Praca doktorska pt. *Ocena jakości żeliwa sferoidalnego metodą analizy termicznej i derywacyjnej (ATD)*, Łódź 2003.
- [3] Projekt celowy Nr: 7T08B 164 99 C/4261. *Wdrożenie systemu kontroli i sterowania jakością żeliwa austenitycznego na wkładki tłokowe metodą ATD. Zbadanie wpływu składu chemicznego żeliwa na uzyskanie struktury austenitycznej oraz charakterystykę krzywych ATD*. 1999 – 2000.
- [4] Pietrowski S., *Control of silumins crystallization with thermal and derivative analysis method (TDA)*, Acta Metallurgica Slovaca, v. 2, 2002, s. 168.
- [5] Pietrowski S., Władysław R., Meksa W., Woźnicki G., *Ocena krystalizacji staliwa metodą ATD*, Archiwum Odlewnictwa, Nr 8, 2003. s. 293.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu celowego Nr ROW-192-2003

THE CONTROL OF NON-ALLOYED CAST STEEL WITH TDA METHOD

SUMMARY

In this paper results of control of GC20 and GC40 cast steel with TDA method is presented. It was demonstrated, that on the derivative curve there appear thermal effects from phases crystallization. The increase of carbon contents in cast steel changes characteristic temperature of cast steel transformations according to its known influence. Based on this the computer program of the cast steel control during casting process can be elaborated.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Jan Głownia