

IDENTYFIKACJA CHARAKTERYSTYCZNYCH TEMPERATUR KRZEPNIĘCIA ŻELIWA CHROMOWEGO

STUDNICKI Andrzej, JURA Stanisław
Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7, POLAND

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania charakterystycznych temperatur krzepnięcia żeliwa chromowego na wykresach ATD. Wykorzystanie przy określaniu pierwszej (T'), drugiej T'' i trzeciej pochodnej (T''') krzywej stygnięcia bardzo ułatwia odczyt charakterystycznych temperatur krzepnięcia. W pierwszej części opracowania dokonano uzasadnienia wyboru punktów na krzywych T' , T'' i T''' na podstawie rozwiniętej przez prof. Jurę i zespół teorii analizy termicznej i derywacyjnej a szczególnie w zakresie funkcji krystalizacji poszczególnych faz stopu. Charakterystyczne temperatury krzepnięcia są niezbędne przy opracowywaniu wykresów fazowych stopów technicznych, które dostarczają danych na temat przebiegu krzepnięcia i składu eutektycznego stopu.

1. Wprowadzenie

Znajomość przebiegu procesu krystalizacji stopu jest źródłem wielu cennych informacji, zarówno dla nauki i praktyki przemysłowej jak i dla dalszego rozwoju technologii. Szczególnego znaczenia wiedza o procesie krystalizacji jest istotna obecnie gdy na szeroką skalę wprowadza się komputerowe symulowanie procesów krzepnięcia i stygnięcia odlewów. Bez podstawowych danych opisujących proces krzepnięcia tj. temperatura likwidus, temperatura solidus, czas krzepnięcia, zakres krzepnięcia itp. nie jest możliwa symulacja komputerowa.

Znane z literatury wykresy równowagi wieloskładnikowych stopów nie zawsze odpowiadają realnym stopom technicznym i mogą jedynie służyć jako wskazówka, punkt wyjścia do opisu procesu krystalizacji stopów technicznych. Na podstawie znajomości temperatur krzepnięcia można łatwo budować wykresy fazowe badanych stopów, które mogą być wykorzystane w praktyce przemysłowej.

W prowadzonych badaniach zastosowano aparaturę CRYSTALDIGRAPH-PC, która jest bardzo przydatna do badania procesu krystalizacji stopów.

2. Funkcje krystalizacji żeliwa chromowego

Każda krzywa stygnięcia stopu ma swoje charakterystyczne punkty odpowiadające przebiegającym procesom krystalizacji faz w zakresie krzepnięcia i stygnięcia odlewu. W niniejszej pracy przeprowadzono identyfikację charakterystycznych punktów krzepnięcia żeliwa chromowego podeutektycznego i eutektycznego na podstawie opisu procesu krystalizacji pierwotnej poszczególnych faz zaproponowanego przez zespół prof. Jury [1]. Rozwijając teorię analizy termicznej i derywacyjnej autorzy [2,3] opracowali funkcje krystalizacji. Podstawą tego opracowania było założenie, że masa wykryszalowanej cieczy jest funkcją zarodkowania i wzrostu kryształu a ciepło wydzielone w procesie krystalizacji jest proporcjonalne do wykryszalowanej masy. Przy opisie procesu krystalizacji autorzy korzystali z prawa Tammana o szybkości zarodkowania oraz z prawa Chworinowa o przyroście warstwy ciała stałego. Metoda ATD charakteryzuje się jednopunktowym pomiarem temperatury, jak to wynika z prac [2,3,4], pochodną krzywej stygnięcia próbника (odlewu) opisuje się równaniem ogólnym:

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{dT}{dt} \right)_c + F_K$$

Pierwszy człon równania opisuje krzywą kalorymetryczną [2,5] (bazową, zerową, gradientową), a drugi człon opisuje kinetykę krystalizacji faz. Wykorzystując prawa Tammana i Chworinowa autorzy zaproponowali następującą postać funkcji krystalizacji F_K jednej fazy:

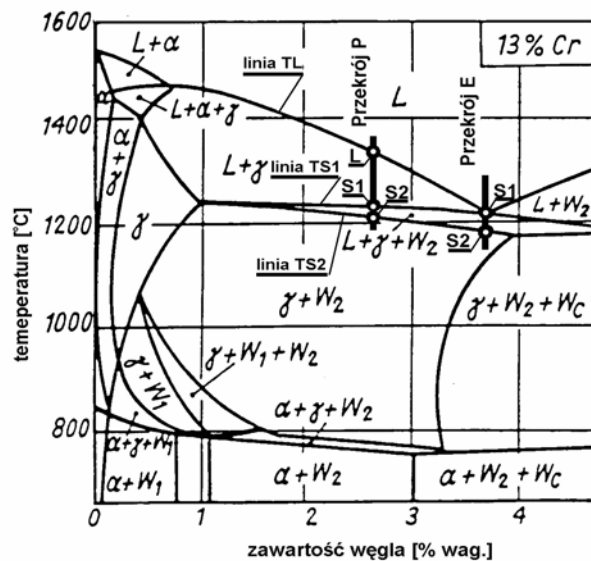
$$F_K = \frac{A_Z Z \exp(Z(T_p - T))}{(1 + \exp(Z(T_p - T)))^2} + \frac{A_V \frac{1}{1 + \exp(Z_K(T - T_k))}}{1 + \exp(Z(T_p - T))}$$

gdzie:

A_Z - współczynnik zarodkowania, Z - współczynnik intensywności zarodkowania,
 A_V - współczynnik wzrostu kryształu, Z_K - współczynnik intensywności kończenia procesów krystalizacji, T_p - temperatura początku krystalizacji fazy, T_k - temperatura końca krystalizacji fazy, T - temperatura.

W żeliwie chromowym podstawą liczby krystalizujących faz był wykres równowagi fazowej Fe-C-Cr. Na rys.1 przedstawiającym przekrój politermiczny układu potrójnego Fe-C-Cr zaznaczone rozważane w pracy żeliwo chromowe podeutektyczne (przekrój P) i eutektyczne (przekrój E). Dla żeliwa chromowego podeutektycznego najpierw z cieczy krystalizują dendryty fazy γ , a następnie po dojściu do charakterystycznej linii solidus zaczyna krystalizować eutektyka składająca się z dwóch faz, eutektycznej fazy γ i eutektycznej fazy węglkowej. W eutektyce krystalizacja składowych przebiega

równocześnie, lecz maksima efektów cieplnych tych faz [1] nie pokrywają się, co uwidacznia się pewnym zakresem krystalizacji eutektyki. W pracy zakres krystalizacji eutektyki ograniczono dwoma liniami solidus. Na rys.1 charakterystyczne linie krystalizacji pierwotnej (krzepnięcia) oznaczono następująco: TL -linia temperatury likwidus (maksymalny efekt cieplny krystalizacji dendrytów fazy γ), TS1 -linia temperatury solidus 1 (maksymalny efekt cieplny krystalizacji fazy γ eutektycznej), TS2 -linia temperatury solidus 2 (maksymalny efekt cieplny krystalizacji fazy węglkowej eutektycznej).



Rys.1 Przekrój politermiczny układu równowagi fazowej stopu Fe-C-Cr o zawartości 13 %Cr
Fig.1 Polythermal section of Fe-C-Cr system at 13 %Cr

Sumaryczna funkcja krystalizacji żeliwa chromowego podeutektycznego (przekrój P na rys.1) opisana jest ogólnym wzorem :

$$F_{\Sigma} = F_{\gamma} + (F_{\gamma eut} + F_{Ceut})_{eut}$$

W przypadku żeliwa chromowego eutektycznego (przekrój E na rys.1) sumaryczna funkcja krystalizacji ma następującą postać:

$$F_{\Sigma} = (F_{\gamma eut} + F_{Ceut})_{eut}$$

gdzie:

F_{γ} -funkcja krystalizacji dendrytów fazy γ , $F_{\gamma eut}$ -funkcja krystalizacji fazy γ eutektycznej F_{Ceut} -funkcja krystalizacji fazy węglkowej eutektycznej.

3. Identyfikacja temperatur krzepnięcia

Bazując na opisie krystalizacji żeliwa chromowego dokonano identyfikacji charakterystycznych temperatur krzepnięcia żeliwa chromowego na krzywej stygnięcia. Do identyfikacji wykorzystano pierwszą, drugą i trzecią pochodną krzywej stygnięcia.

Dla żeliwa chromowego podeutektycznego temperaturę likwidus TL wyznaczono na podstawie charakterystycznego punktu L na pierwszej pochodnej krzywej stygnięcia. Punkt ten określa maksymalny efekt cieplny krystalizacji dendrytów fazy γ ($dT/dt=\max$). Druga pochodna krzywej stygnięcia w tym punkcie przyjmuje wartość zerową ($d^2T/dt^2=0$) a trzecia pochodna osiąga swoje minimum lokalne ($d^3T/dt^3=\min$).

Temperatury krzepnięcia w zakresie krystalizacji eutektyki określono wykorzystując pierwszą i trzecią pochodną krzywej stygnięcia.

Punkt S1 identyfikuje temperaturę solidus 1 (TS1). Punkt S1 określa maksymalny efekt cieplny krystalizacji fazy γ eutektycznej. Wyznacza się go dla dwóch przypadków:

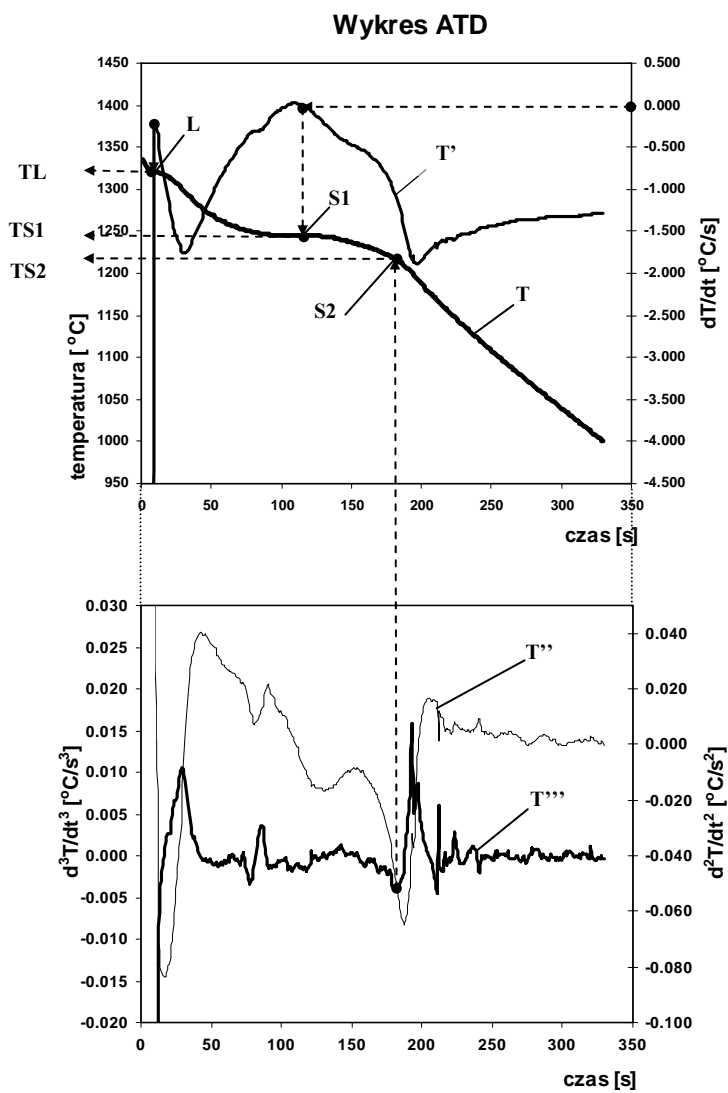
- 1) gdy pierwsza pochodna krzywej stygnięcia osiąga wartości dodatnie punkt S1 określa się dla warunku $dT/dt=0$ na spadku pierwszej pochodnej po przekroczeniu jej dodatniego maksimum,
- 2) gdy pierwsza pochodna krzywej stygnięcia nie osiąga wartości dodatnich punkt S1 określa się dla warunku $dT/dt=\max$, wtedy druga pochodna wynosi zero ($d^2T/dt^2=0$) a trzecia pochodna osiąga swoje minimum lokalne ($d^3T/dt^3=\min$).

Punkt S2 identyfikuje temperaturę solidus 2 (TS2). Punkt S2 określa maksymalny efekt cieplny krystalizacji fazy węglikowej eutektycznej. Wyznacza się go również dla dwóch przypadków.

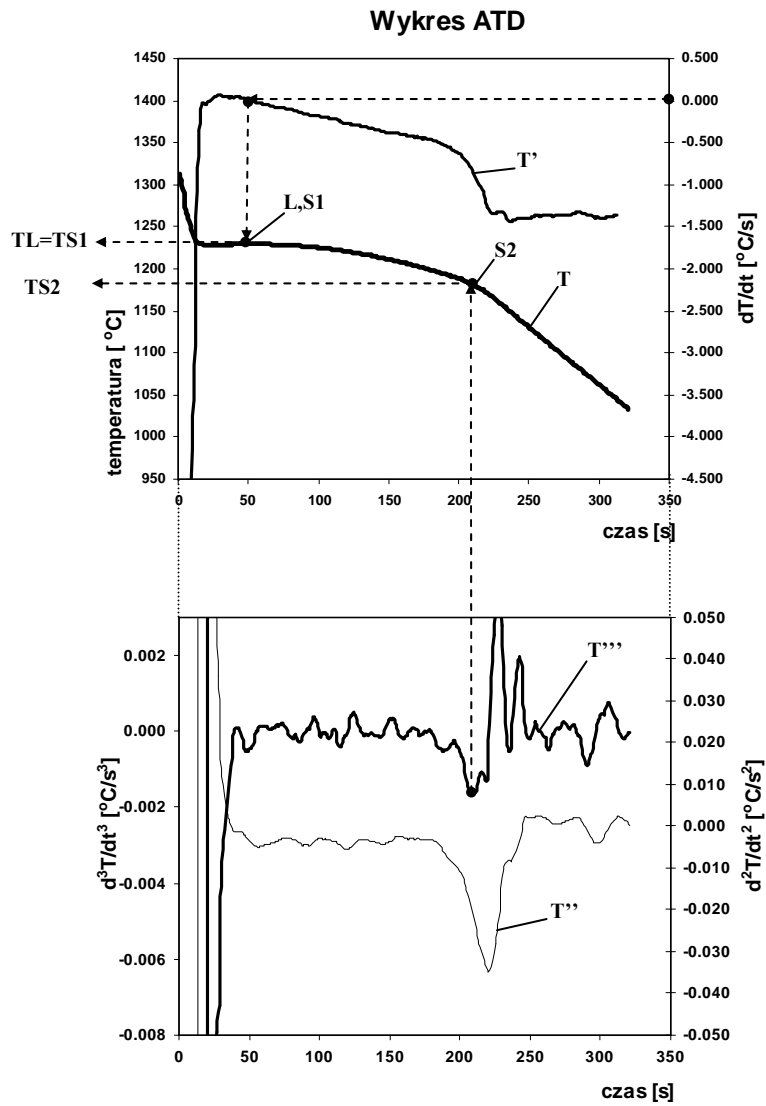
- 1) gdy pierwsza pochodna krzywej stygnięcia w zakresie krystalizacji eutektyki osiąga swoje lokalne maksimum przed końcem krystalizacji ($dT/dt=\max$), wtedy druga pochodna wynosi zero ($d^2T/dt^2=0$), a trzecia pochodna osiąga swoje minimum lokalne ($d^3T/dt^3=\min$).
- 2) gdy nie występuje wyraźne maksimum lokalne pierwszej pochodnej przed końcem krystalizacji eutektyki wtedy identyfikację temperatury solidus2 ustala się na podstawie minimum lokalnego trzeciej pochodnej krzywej stygnięcia ($d^3T/dt^3=\min$).

W przypadku krystalizacji żeliwa chromowego eutektycznego zasady identyfikacji charakterystycznych temperatur krzepnięcia są takie same jak w przypadku żeliwa podeutektycznego w zakresie krystalizacji eutektyki. Temperaturę likwidus przyjmuje się wtedy równą temperaturze solidus 1 ($TL=TS1$).

Sposób odczytu charakterystycznych temperatur krzepnięcia dla żeliwa chromowego podeutektycznego i eutektycznego przedstawiono na rys.2 i rys.3.



Rys.2 Sposób odczytu charakterystycznych temperatur krzepnięcia żeliwa chromowego podeutektycznego
 Fig.2 The procedure read-out of characteristic solidification temperatures of hypo-eutectic chromium cast iron



Rys.3 Sposób odczytu charakterystycznych temperatur krzepnięcia żeliwa chromowego eutektycznego
 Fig.3 The procedure read-out of characteristic solidification temperatures of eutectic chromium cast iron

4. Podsumowanie

Metoda ATD umożliwia obserwację kinetyki krystalizacji poszczególnych faz żeliwa chromowego. Analizując szczegółowo krzywą stygnięcia, jej pierwszą i drugą pochodną (krzywe ATD) można określić charakterystyczne temperatury krzepnięcia tj. temperaturę likwidus, temperatury solidus. Krzywe ATD opisują sumaryczny efekt cieplny procesu krzepnięcia poszczególnych faz stopu. Znajomość przebiegu składowych funkcji krystalizacji tych faz ułatwia i umożliwia interpretację krzywych ATD pod kątem identyfikacji charakterystycznych punktów krystalizacji faz i odpowiadających im temperatur. Ta zasada została wykorzystana w niniejszym opracowaniu.

Literatura

- [1] Jura S., Kilariski J., Jura Z.: Krzepnięcie Metali i Stopów, z.19, 1994, s.157.
- [2] Jura S i inni: Wyd. STOP, Gliwice 1985.
- [3] Jura S.: Konf. PAN, Instytut Odlewnictwa, Kraków 1984, s.6.
- [4] Jura Z.: Krzepnięcie Metali i Stopów, z.17, 1982, s.39.
- [5] Kapturkiewicz W.: Krzepnięcie Metali i Stopów, z.14, 1990, s.17.
- [6] Studnicki A.: Wpływ dodatków stopowych niklu, molibdenu, wanadu i boru na eutektyczność żeliwa chromowego. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1999.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 7 T08B 010 13

IDENTYFICATION OF CHARAKTERISTIC SOLIDIFICATION TEMPERATURES OF CHROMIUM CAST IRON

The paper presents the method for the determination of characteristic temperatures of solidification process of hypo-eutectic and eutectic chromium white cast iron.

Recenzował
Prof. dr inż. Józef Gawroński