

**PARAMETRY EUTEKTYCZNOŚCI ŻELIWA CHROMOWEGO
Z DODATKAMI STOPOWYMI Ni, Mo, V i B**A. STUDNICKI¹, S. JURA²

Katedra Odlewnictwa

Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono opracowane zależności matematyczne określające parametry eutektyczności żeliwa chromowego z dodatkami niklu, molibdenu, wanadu i boru. Do parametrów eutektyczności zaliczono następujące wielkości: zawartość węgla w eutektyce, temperaturę przemiany eutektycznej, zakres krzepnięcia eutektyki, równoważnik węgla, współczynnik nasycenia eutektycznego. Charakterystyczne temperatury krzepnięcia niezbędne do opracowania zależności funkcyjnych odczytano z wykresów krzepnięcia i krystalizacji (wykresy ATD).

1. WPROWADZENIE

W żelwie chromowym punkt eutektyczny dzieli ten stop na dwie grupy materiałów odlewniczych o bardzo zróżnicowanych własnościach użytkowych. Skokowa zmiana wielu z tych własności (np. udurowienie, odporność na ścieranie, odporność na pękanie itp.) jest ściśle związana ze strukturą powstałą w procesie krzepnięcia odlewu, a szczególnie z jej fazą węglkową [1].

Znacznie lepszymi własnościami użytkowymi charakteryzują się żeliwa chromowe leżące na lewo od punktu eutektycznego. Do tej grupy zaliczane są żeliwa chromowe ogólnie nazywane żeliwami podeutektycznymi i eutektycznymi.

Punkt eutektyczny określa skład chemiczny stopu przy którym krzepnięcie zachodzi w stałej temperaturze, czyli temperatura likwidus pokrywa się z temperaturą solidus. Ta zasada została wykorzystana przy opracowaniu parametrów charakteryzujących eutektyczność badanego żeliwa chromowego. Wykresy równowagi fazowej stopów wieloskładnikowych do których zaliczamy żeliwo chromowe pokazują, że krystalizacja eutektyki zachodzi w pewnym zakresie temperatur. W niniejszej pracy temperaturami

¹ Dr inż. e-mail: ajstud@zeus.polsl.gliwice.pl

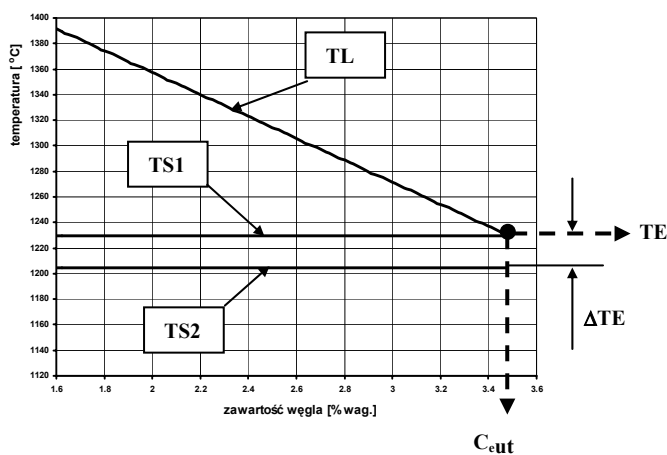
² Prof. dr hab. inż. e-mail: sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

granicznymi reakcji eutektycznej są temperatury oznaczone przez TS1 i TS2. Temperatury te określono na wykresach ATD badanego żeliwa chromowego. Występują one w punktach maksymalnego efektu cieplnego początku i końca krystalizacji eutektyki.

Opisane zależnościami matematycznymi temperatury krzepnięcia TL, TS1 i TS2 [2,3] wykorzystano do opracowania parametrów eutektyczności badanego żeliwa chromowego. W pracy określono następujące parametry eutektyczności żeliwa chromowego: zawartość węgla w eutektyce C_{cut} [% wag.], temperatura przemiany eutektycznej TE [°C], zakres krzepnięcia eutektyki ΔTE [°C], równoważnik węgla CE [% wag.], współczynnik nasycenia eutektycznego SC [].

2. ZAWARTOŚĆ WĘGLA W EUTEKTYCE, TEMPERATURA PRZEMIANY EUTEKTYCZNEJ I ZAKRES KRZEPNIĘCIA EUTEKTYKI

W żeliwie chromowym do jednoznacznego opisu położenia punktu eutektycznego niezbędne są trzy parametry, dwa parametry temperaturowe i jeden dotyczący zawartości węgla w żeliwie eutektycznym. Taki opis wiąże się z klasycznym patrzeniem na wykres fazowy i porównywaniem go do układu żelazo-węgiel. Temperatury określają położenie punktu eutektycznego „w pionie” tj. na osi temperatury a zawartość węgla w eutektyce „w poziomie” tj. na osi zawartości węgla w żeliwie. Na rys.1 na fragmencie wykresu fazowego żeliwa chromowego pokazano te trzy parametry definiujące położenie punktu eutektycznego.



Rys.1. Parametry opisujące położenie punktu eutektycznego żeliwa chromowego
Fig.1. Parameters of eutectic point position of chromium cast iron

Zawartość węgla w eutektyce żeliwa chromowego

Do wyznaczenia zawartości węgla w eutektyce (C_{eut}) badanego żeliwa chromowego wykorzystano równani opisujące temperaturę likwidus TL i temperaturę solidus 1 TS1. Dla żeliwa chromowego eutektycznego spełniona musi być następująca zależność:

$$TL - TS1 = 0 \quad (1)$$

Podstawiając za TL równanie 1[3] i za TS1 równanie 2[3] uzyskujemy zależność:

$$387 - 85.91 \cdot C - 5.33 \cdot Cr - 3.36 \cdot Ni + 0.51 \cdot Mo - 7.83 \cdot V - 139.13 \cdot B - 0.49 \cdot SL = 0 \quad (2)$$

Następnie podzielono obie strony równania 2 przez współczynnik kierunkowy przy zmiennej C. Zawartość węgla w eutektyce opisuje wtedy następujące równanie:

$$C_{\text{eut}} = 4.5 - 0.062 \cdot Cr - 0.0391 \cdot Ni + 0.0059 \cdot Mo - 0.0911 \cdot V - 1.6195 \cdot B - 0.0057 \cdot SL \quad (3)$$

Dla badanego żeliwa chromowego wszystkie analizowane pierwiastki stopowe oprócz molibdenu obniżają zawartość węgla w eutektyce czyli przesuwają punkt eutektyczny w lewo w stronę mniejszej zawartości węgla. Przegrzanie żeliwa ukryte w parametrze SL również wpływa na obniżenie węgla w eutektyce. Równanie 3 potwierdza bardzo silne działanie boru na zmianę węgla w eutektyce. Pierwiastek ten dodawany w małych ilościach może znacznie zmienić strukturę żeliwa chromowego.

Temperatura przemiany eutektycznej żeliwa chromowego

Temperaturę przemiany eutektycznej (TE) lub początek tej przemiany określa temperatura solidus 1 (TS1) opisana równaniem 2[3].

$$TE = TS1 \quad (4)$$

$$TE = 1200 + 2.17 \cdot Cr - 10.75 \cdot Ni - 3.41 \cdot Mo + 2.33 \cdot V - 56.47 \cdot B \quad (5)$$

Na zmianę temperatury przemiany eutektycznej można oddziaływać w obu kierunkach poprzez wprowadzane dodatki stopowe. Do podwyższenia temperatury należy zwiększyć zawartość takich pierwiastków jak chrom i wanad. Silnie na obniżenie temperatury przemiany eutektycznej działa bor. Wprowadzenie 1 % boru powoduje obniżenie temperatury o 56 °C.

Zakres temperatur przemiany eutektycznej

Zakres temperatur przemiany eutektycznej określają graniczne temperatury TS1

(równanie 2[3]) i TS2 (równanie 3[3]):

$$\Delta TE = TS1 - TS2 \quad (6)$$

$$\Delta TE = 46 - 1.4 \cdot Cr - 10.75 \cdot Ni + 4.01 \cdot Mo + 6.46 \cdot V + 148.5 \cdot B \quad (7)$$

W równaniu 7 widać, że bor silnie działa na kolejny parametr krzepnięcia żeliwa chromowego. Ogólnie można stwierdzić, że pierwiastki węglotwórcze zwiększają zakres krzepnięcia eutektyki.

Równania 3, 5 i 7 jednoznacznie opisują położenie punktu eutektycznego w badanym żeliwie chromowym. Graficznie parametry C_{eut} , TE i ΔTE przedstawiono w postaci nomogramów w pracy [2].

3. RÓWNOWAŻNIK WĘGLA

Wpływ poszczególnych pierwiastków na odchylenie składu chemicznego żeliwa od jego składu eutektycznego określa się często przy pomocy tzw. równoważnika węgla CE. Graniczna wartość tj. wartość eutektyczna równoważnika węgla dla badanej grupy

żeliw chromowych wynosi 4.5. Wartość ta wynika bezpośrednio z równania 3 (wyraz wolny).

Równoważnik węgla określono następującym wzorem otrzymanym po przekształceniu równania 3:

$$CE = C_c + 0.062 \cdot Cr + 0.0391 \cdot Ni - 0.0059 \cdot Mo + 0.0911 \cdot V + 1.6195 \cdot B + 0.0057 \cdot SL \quad (8)$$

gdzie: C_c – całkowita zawartość węgla w żeliwie [% wag.]

Równanie to ułatwia projektowanie składu chemicznego żeliwa chromowego o założonej strukturze. Dodatki stopowe chromu, niklu wanadu i boru powodują przesuwanie składu chemicznego żeliwa chromowego w kierunku stopu eutektycznego. Przekroczenie wartości granicznej równoważnika węgla $CE=4.5$ dla badanej grupy żeliwa chromowego świadczy o uzyskaniu żeliwa nadeutektycznego w którym będą krystalizowały pierwotne węgliki chromu typu M_7C_3 .

4. WSPÓLCZYNNIK NASYCENIA EUTEKTYCZNEGO

Stopień odchylenia składu chemicznego żeliwa od jego składu eutektycznego określa się zazwyczaj za pomocą tzw. współczynnika nasycenia eutektycznego SC.

Współczynnik nasycenia eutektycznego wylicza się wg następującego wzoru:

$$SC = \frac{C_c}{C_{eut}} \quad (9)$$

W równaniu 9 w miejsce C_{eut} podstawiono równanie 3 określające zawartość węgla w eutektycznym żeliwie chromowym. Ostateczna postać równania na współczynnik nasycenia eutektycznego SC badanego żeliwa chromowego jest następująca:

$$SC = \frac{C_c}{4.5 - 0.062 \cdot Cr - 0.0391 \cdot Ni + 0.0059 \cdot Mo - 0.0911 \cdot V - 1.6195 \cdot B - 0.0057 \cdot SL} \quad (10)$$

Graniczna wartość $SC=1$ tego współczynnika wyznacza stop eutektyczny. Wartości poniżej 1 określają stopy pod eutektyczne.

Równanie 10 przedstawiono na ostatnim nomogramie na rys. 4. Na nomogramie oznaczono wartość graniczną współczynnika nasycenia eutektycznego i opisano obszary odpowiednio dla żeliwa pod eutektycznego i nadeutektycznego.

5. PODSUMOWANIE

Badany proces krystalizacji żeliwa chromowego z dodatkami stopowymi Ni, Mo, V i B wymagają między innymi znajomości punktów charakterystycznych wykresów fazowych złożonych stopów Fe-C-Cr-Ni-Mo-V-B. Dla żeliwa w zakresie krzepnięcia najbardziej charakterystycznym punktem jest punkt eutektyczny, w którym przecinają się linie temperatury krzepnięcia, tj. linie likwidus i solidus. W przypadku stopów wieloskładnikowych do których należy zaliczyć badane żeliwo chromowe reakcja eutektyczna nie zachodzi w jednej temperaturze.



Współczynnik nasycenia eutektycznego (SC) żeliwa chromowego
Eutectic saturation (SC) of chromium cast iron

Zmiany temperatur krzepnięcia żeliwa chromowego wywołane dodatkami stopowymi Ni, Mo, V i B mają wpływ na przebieg procesu krystalizacji pierwotnej a w konsekwencji na obraz struktury pierwotnej żeliwa. W analizowanych stopach odlewniczych przyjęto, że podstawowym wyznacznikiem określającym zakres krystalizacji pierwotnej będzie punkt eutektyczny, dlatego bardzo ważna jest znajomość położenia tego punktu. Położenie punktu eutektycznego w badanym żeliwie chromowym opisano trzema parametrami, tj. zawartością węgla w eutektyce (C_{eut}), temperaturą przemiany eutektycznej (TE) oraz zakresem temperatur krystalizacji eutektyki (ΔTE). Opracowane równania 3, 5 i 7 podają ilościowy wpływ poszczególnych pierwiastków stopowych na położenie punktu eutektycznego w złożonym układzie Fe-C-Cr-Ni-Mo-V-B.

Pomocne przy określaniu położenia żeliwa chromowego względem punktu eutektycznego mogą być wyznaczone dla tego żeliwa wskaźniki eutektyczności, tj. równoważnik węgla CE (równanie 8) i współczynnik nasycenia eutektycznego SC (równanie 10). Dla analizowanego żeliwa przekroczenie odpowiednio $CE > 4.5$ i $SC > 1$ powoduje krystalizację żeliwa jako stopu nadeutektycznego z bardzo niekorzystną fazą węglkową składającą się z dużych, kruchych węglików pierwotnych.

LITERATURA

- [1] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: *Odporne na ścieranie stopy żelaza. Część I Żeliwo*. Wyd. ZG STOP, Kraków 1980.
- [2] Studnicki A.: *Wpływ dodatków stopowych niklu, molibdenu, wanadu i boru na eutektyczność żeliwa chromowego*. Praca Doktorska. Politechnika Śląska, 1999.
- [3] Studnicki A., Jura S.: *Wykresy fazowe żeliwa chromowego z dodatkami Ni, Mo, V i B w zakresie krzepnięcia*. Krzepnięcie Metali i Stopów, rocznik 1, nr 40, 1999, PAN-Oddział Katowice, s.197.

PARAMETERS OF EUTECTIC OF CHROMIUM CAST IRON WITH ALLOYS ADDITION Ni, Mo, V AND B

SUMMARY

Equations of parameters description of eutectic of chromium cast iron with Ni, Mo, V and B were presented in this paper. Parameters of eutectic are as follows: carbon content in eutectic (C_{eut}), temperature of eutectic process (TE), temperature range of eutectic process (ΔTE), carbon equivalent (CE), and coefficient of eutectic saturation (SC).

Reviewed by prof. Stanisław Pietrowski