

Kinetyka krzepnięcia wlewka stalowego

I. Część teoretyczna

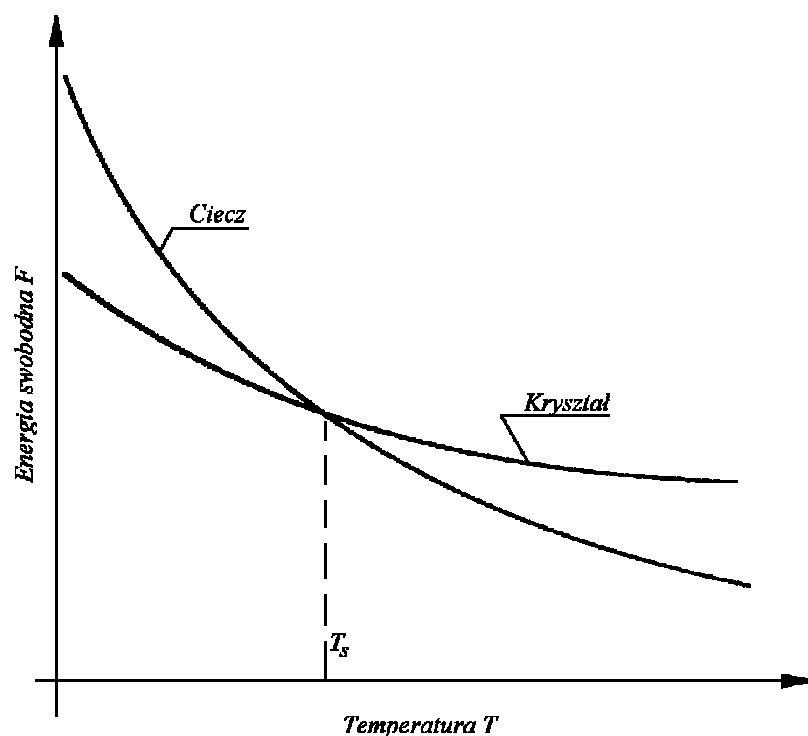
Ciekła stal przechodzi we wlewnicy w stan stały. Kryształy wydzielające się z ciekłej stali nazywają się kryształami pierwotnymi, a powstająca struktura – strukturą pierwotną w odróżnieniu od struktury wtórnej utworzonej w stanie stałym.

Postać utworzonej struktury pierwotnej wpływa na właściwości stali odlanej w postaci wlewka, na jej dalsze zachowanie przy dalszej przeróbce i pewnym stopniu na właściwości wyrobów gotowych. Z wymienionych powodów istotne jest zapoznanie się z przebiegiem krystalizacji i szybkością krzepnięcia wlewka, jak również z kolejnością krystalizacji jego poszczególnych stref. Znajomość szybkości i kolejności krzepnięcia poszczególnych stref umożliwia ustalenie optymalnego czasu wytrzymania wlewków we wlewnicach, warunków potrzebnych do zasilania środkowych stref wlewka ciekłym metalem z nadstawki itp.

1. Warunki energetyczne procesu krystalizacji

W przyrodzie wszystkie przemiany przebiegają samorzutnie, czyli zarówno krystalizacja jak i topnienie przebiegają samorzutnie wywołane są tym, że nowy stan skupienia jest w nowych warunkach bardziej stabilny, tzn. ma mniejszy zasób energii.

Ogólnie można stwierdzić, że im większa jest energia swobodna układu tym mniejsza jest jego trwałość /stabilność/ i jeśli jest to tylko możliwe, to w układzie zachodzą takie zmiany aby energia układu w nowym stanie była mniejsza. Zawsze wraz ze zmianą warunków zewnętrznych, np. temperatury, energia swobodna układu zmienia się, przy czym przebieg tej zmiany jest inny w stanie ciekłym niż w stanie stałym. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie charakter zmiany energii swobodnej w stanie ciekłym i stałym zależnie od temperatury.



Rys. 1. Zmiana energii swobodnej układu w stanie ciekłym i stałym w zależności od temperatury.

Powyżej temperatury T_s mniejszą energię swobodną ma substancja w stanie ciekłym, poniżej temperatury T_s ta sama substancja w stanie stałym. Wynika stąd, że powyżej temperatury T_s substancja powinna znajdować się w stanie stałym, a poniżej w stanie stałym w postaci krystalicznej. Jest oczywiste, że przy temperaturze równej T_s energia swobodna w stanie ciekłym jest równa energii w stanie stałym i substancja występuje zarówno w stanie ciekłym jak i stałym w stanie równowagi. Temperatura T_s jest zatem temperaturą stanu równowagi lub teoretyczną temperaturą krystalizacji. Jeżeli jednak chłodzimy ciecz to przy temperaturze T_s proces krystalizacji nie będzie przebiegał, ponieważ przy tej temperaturze $F_c = F$ krystalizacji. Aby krystalizacja mogła się rozpocząć konieczne jest zmniejszenie energii swobodnej układu. Na podstawie krzywych zamieszczonych na rys. 1 można wnioskować, że możliwe jest to jedynie w przypadku gdy temperatura cieczy obniży się poniżej temperatury T_s . Temperaturę przy której rozpoczyna się krystalizacja nazywamy rzeczywistą temperaturą krystalizacji. Ochłodzenie cieczy poniżej temperatury równowagi nazywa się przechłodzeniem cieczy, a wielkość przechłodzenia nazywa się stopniem przechłodzenia.

Można również stwierdzić, że przemiana odwrotna, a mianowicie przejście ze stanu stałego w stan ciekły, może odbywać się jedynie powyżej temperatury T_s . Zjawisko to nazywa się przegrzaniem.

Przedstawione powyżej rozważania dotyczą czystych substancji. Ciekła stal jest

wieloskładnikowym roztworem. Z tego powodu należy uwzględnić jeszcze efekt przechłodzenia stężeniowego, co jest wyczerpująco przedstawiane w ramach wykładu.

2 Szybkość krzepnięcia stali we wlewnicy

Krzepnięcie stali we wlewnicy jest procesem złożonym, a analiza procesu jest utrudniona z następujących powodów:

- stal nie krzepnie przy stałej temperaturze ale w pewnym zakresie temperatur,
- na przekroju krzepnącego wlewka występuje różnica temperatury,
- własności fizyczne żeliwa /wlewnica/ i stali są różne, współczynnik rozszerzalności liniowej żeliwa wynosi $0,10 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, współczynniki dla stali są zmienne i wahają się w granicach $0,15 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ do $0,25 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$,
- tworząca się szczelina pomiędzy wlewkiem a wlewnicą utrudnia przepływ ciepła z wlewka do wlewnicy.

Wyżej wymienione trudności są przyczyną, że do chwili obecnej dla określenia grubości zakrzepniętej warstwy wlewka posługujemy się wzorem D. Stefana:

$$d = k \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

gdzie:

- d – grubość zakrzepniętej warstwy, cm,
- k – współczynnik krzepnięcia, $\text{cm}/\text{min}^{-0,5}$

Przedstawione powyżej równanie zostało wyprowadzone w 1889 roku dla określenia grubości lodu na biegunie i nazywane jest prawem pierwiastka kwadratowego. Skorygowany wzór Stefana dla warunków krzepnięcia wlewka stalowego ma postać:

$$d = k\sqrt{t} - C \quad (2)$$

gdzie:

- C – stała uzależniona od stopnia przegrzania stali.

Współczynnik k nie jest wielkością stałą, ale zależy od czasu krzepnięcia wlewka, materiału z jakiego wykonana jest wlewnica oraz od temperatury ścian wlewnicy.

3 Metody określania czasu krzepnięcia wlewka

1. Wylewanie wlewków w czasie ich krzepnięcia.
2. Analiza matematyczna.

3. Wykorzystanie wyników pomiarów przewodności elektrycznej.
4. Pomiar temperatury krzepnących wlewków.
5. Badania modelowe z zastosowaniem parafiny lub naftalenu.

Dotychczasowe badania wykazały, że wartość współczynnika k w pierwszym okresie krzepnięcia wlewków kwadratowych i płaskich waha się w granicach 22-24, a dla wlewków okrągłych wynosi 22. Krzepnięcie wlewka w tym okresie jest zgodne z prawem pierwiastka kwadratowego. W miarę upływu czasu szybkość krzepnięcia wzrasta wraz ze wzrostem stosunku powierzchni odprowadzającej ciepło do ciekłej części wlewka.

II. Cel ćwiczenia

Określenie współczynnika szybkości krzepnięcia k na podstawie badań modelowych.

III. Opis stanowiska badawczego

Aparatura: kadź odlewnicza, wlewnice, ciecz modelowa – naftalen.

IV. Przebieg ćwiczenia

- roztopienie naftalenu,
- odlanie naftalenu do 3-ch wlewnic,
- po upływie 10, 30 i 40 minut wylanie z wlewnic nie zakrzepniętego naftalenu,
- przecięcie w osi otrzymanych wlewków i zmierzenie w kilku punktach zakrzepniętej warstwy.

V. Opracowanie wyników

- korzystając z wzoru Stefana obliczyć współczynnik krzepnięcia k ,
- wykonać wykres zależności grubości warstwy zakrzepniętej od czasu krzepnięcia,
- na podstawie otrzymanych wyników opracować wnioski.

Literatura:

1. Cramb A.W.: The making, shaping and treating of steel 11th edition, Casting volume 2003, CD.
2. Schwerdtfeger K.: Metallurgie des Stranggiessens, Stahleisen 1992.
3. Schrewe H.,F.: Continuous casting of steel, Stahleisen, 1989.