



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE
SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Analiza parametrów krystalizacji żeliwa chromowego w odlewach o różnych modułach krzepnięcia

A. Studnicki

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Poland

W artykule przedstawiono nową metodę badania procesu krystalizacji stopów odlewniczych w zależności od szybkości stygnięcia odlewu. Zestaw 4 próbników z izolacją cieplną umożliwia rejestrację procesu stygnięcia odlewów o różnych modułach krzepnięcia. Metodę przetestowano na żeliwie chromowym odpornym na ścieranie o stałej zawartości chromu około 18% i zmiennej zawartości węgla, na trzech poziomach 1.8; 2.4; 3.3%.

1. WPROWADZENIE

Szybkość stygnięcia odlewu ma istotny wpływ na strukturę a w konsekwencji na własności użytkowe wyrobu. Przewidywanie struktury w przyszłym odlewie w znacznym stopniu może ułatwić właściwy dobór tworzywa, jego składu chemicznego oraz technologii odlewania. Parametry krystalizacji stopów odlewniczych są zależne od szybkości stygnięcia, co jest stwierdzeniem wielokrotnie udowodnionym. Z tego względu charakterystyki stopów odlewniczych powinny uwzględniać ten fakt. Powinny być znane funkcje, które określają wpływ składu chemicznego i szybkości stygnięcia na parametry opisujące cały proces krystalizacji tj. w zakresie krzepnięcia jak również w stanie stałym.

W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej (obecnie Zakładzie Odlewnictwa Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych) procesy krystalizacji stopów odlewniczych są badane od wielu lat. Wykorzystuje się do tego celu głównie znaną metodę ATD opracowaną przez profesora Jurę. Metoda ta opisuje jednak proces krystalizacji tylko dla jednej ściśle określonej geometrii odlewu. Próba wykorzystania jednego próbnika do określania parametrów krystalizacji w funkcji szybkości stygnięcia nie spełniła oczekiwań. Podstawową przeszkodą okazała się trudność w interpretacji krzywych stygnięcia i ich pochodnych. Krzywe stygnięcia rejestrowane poza centrum cieplnym odlewu uniemożliwiają precyzyjny odczyt parametrów krystalizacji, trudność ta wzrasta wraz z oddalaniem się od centrum cieplnego. Metodę z jednym próbnikiem opisano w publikacji [1]. Wykorzystując to doświadczenie oraz standardową metodę ATD opracowano metodę 4 próbników (wstępnie nazwaną metodą ATD-kaskada). Szerzej metodę opisano w następnym punkcie artykułu. Nową metodę badania krystalizacji w funkcji szybkości stygnięcia odlewu przetestowano na żeliwie chromowym uzyskując bardzo interesujące wyniki. Żeliwo chromowe jest cennym materiałem na odlewy odporne na ścieranie, często odlewy grubościennie. Własności

użytkowe takich odlewów nie zależą tylko od składu chemicznego, ale w dużej mierze od procesu ich stygnięcia, który w zasadniczy sposób kształtuje strukturę.

2. NOWA METODA BADAWCZA (ATD-kaskada)

Przy opracowywaniu metody ATD-kaskada zastosowano podstawową zasadę, że pomiar temperatury w centrum cieplnym odlewu najlepiej charakteryzuje proces krystalizacji stopu (najłatwiej odczytać parametry krystalizacji). Z tego względu skonstruowano serie próbników walcowych o różnych średnicach, tak dobranych aby znacznie różnicować szybkości stygnięcia odlewu. Przy doborze cech geometrycznych próbników wykorzystano symulacje komputerową. Aby zminimalizować rozmiary odlewów przy zachowaniu zróżnicowanych szybkości stygnięcia próbek zastosowano materiały termoizolacyjne (sibral 300) oraz wprowadzono dla większych próbników dodatkową izolację cieplną. Ostatecznie przyjęto następujące średnice d próbników: $\phi 30$ mm, $\phi 60$ mm, $\phi 80$ mm i $\phi 100$ mm oraz wysokość równą $1.5d$. Moduły krzepnięcia obliczone klasyczną metodą wynoszą odpowiednio: 0.56; 1.125; 1.5; 1.875 cm.

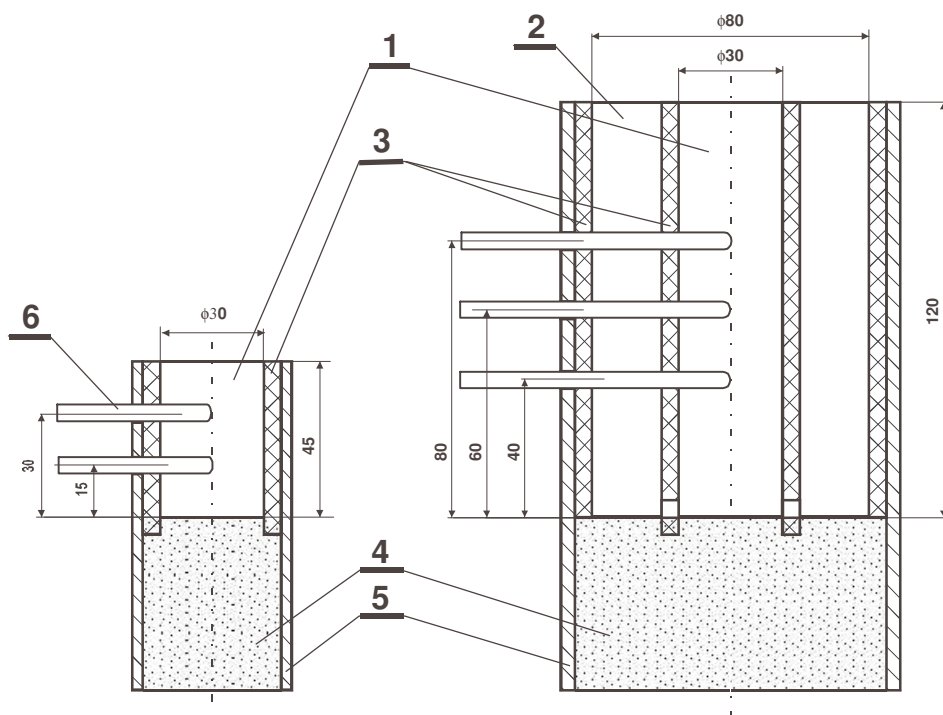
Precyzyjne określenie położenia centrum cieplnego odlewu jest prawie niemożliwe na podstawie symulacji komputerowej, chociażby ze względu na małą precyzję dostępnych parametrów termofizycznych materiałów. Z tego względu postanowiono w próbnikach umieszczać co najmniej 2 termoelementy (najlepiej 3). W największym próbniku $\phi 100$ mm zaleca się umieszczać 5 termoelementów. Wariant taki został przetestowany w wcześniejszych badaniach [2]. Uzyskano bardzo interesujące wyniki związane ze stygnięciem całego obszaru odlewu od centrum cieplnego do powierzchni czołowej próbki modelowej. Takie rozwiązanie pozwala na dokładniejszą rejestrację krzywej stygnięcia w miejscu najbardziej zbliżonym do centrum cieplnego odlewu, bez względu na rodzaj stopu, materiału formierskiego i temperatury przegrzania. W założeniach do konstrukcji próbników przyjęto jeszcze jeden ważny punkt. Z każdego próbnika powinniśmy uzyskać tzw. próbkę modelową o średnicy $\phi 30$ mm (odlew modelowy $\phi 30$) stanowiącą materiał do dalszych badań, szczególnie do badań metalograficznych, badań niektórych własności mechanicznych. Problem ten rozwiązano stosując w próbnikach powyżej $\phi 30$ mm wkładkę cylindryczną z materiału termoizolacyjnego. Na rys.1 przedstawiono konstrukcję próbnika $\phi 30$ i $\phi 80$ mm.

Dla pełnego opisu układu odlew-forma należałoby rejestrować również krzywe nagrzewania i stygnięcia formy odlewniczej. Z tego względu należy wprowadzić dodatkowe termoelementy do formy odlewniczej w osi próbnika. W prezentowanych badaniach tego nie wykonano.

Nowe stanowisko badawcze do rejestracji krzywych stygnięcia wg metody ATD-kaskada składa się z zestawu 4 próbników, przetwornika A/C wielokanałowego i komputera PC. Na rys.2 przedstawiono schemat tego stanowiska.

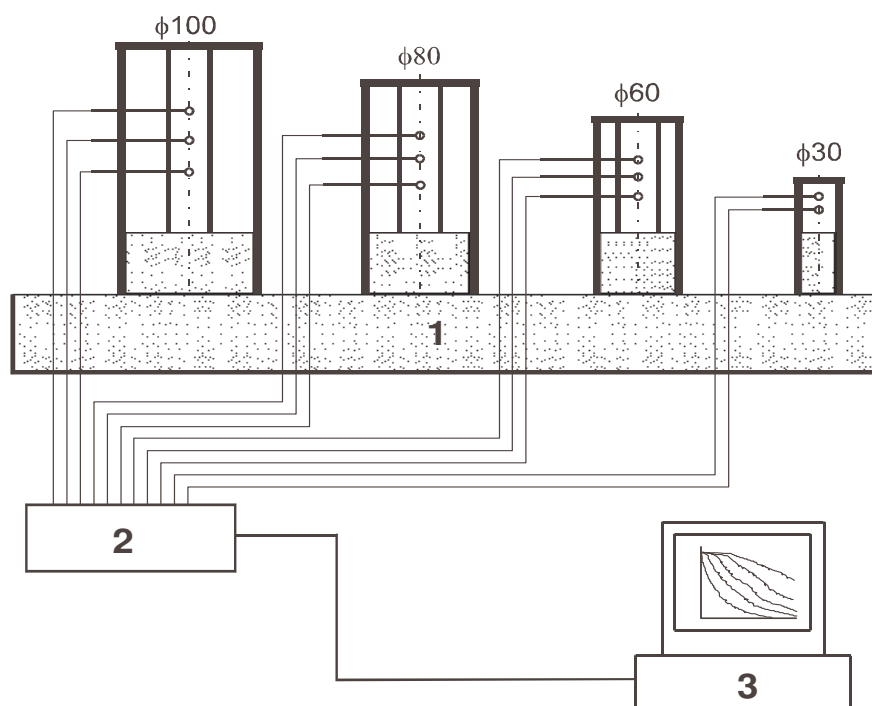
3. CEL BADAŃ, MATERIAŁ I PRZEBIEG BADAŃ

Celem badań było testowanie nowej metody oraz określenie wpływu szybkości stygnięcia odlewu na parametry krystalizacji żeliwa chromowego odpornego na ścieranie. Do badań wytypowano żeliwo chromowe o stałej zawartości chromu (około 18%) i zmiennej zawartości węgla na trzech poziomach (1.8%; 2.4% i 3.3%). Wykonano trzy wytopy. Proces stygnięcia zestawu próbników dla każdego wytopu rejestrowano do momentu osiągnięcia w największym próbniku $\phi 100$ mm temperatury poniżej 500°C . Czas ten wynosił około 3 godzin.



Rys.1 Konstrukcja próbników $\phi 30$ mm i $\phi 80$ mm.

1 –odlew próbki (odlew modelowy $\phi 30$), 2 –izolator cieplny, 3 –materiał izolacyjny (sibral 300), 4 –wkładka-forma, 5 –rura stalowa, 6 –osłonki kwarcowe

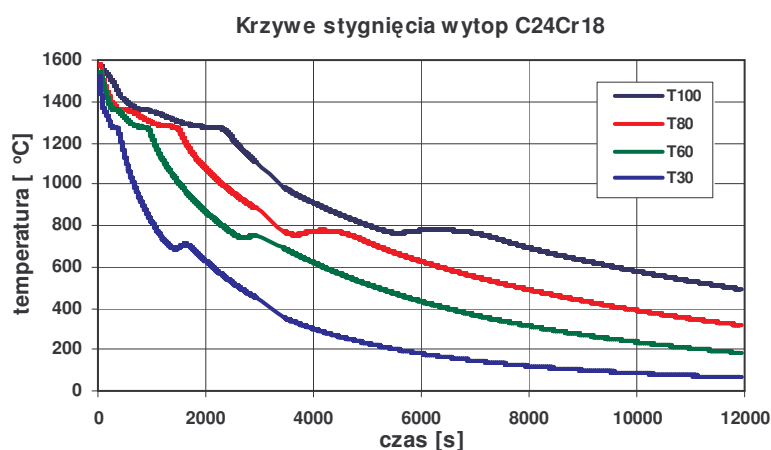


Rys.2 Schemat stanowiska badawczego w metodzie ATD-kaskada

1 -zestaw próbników, 2 –wielokanałowy przetwornik A/C, 3 –komputer PC

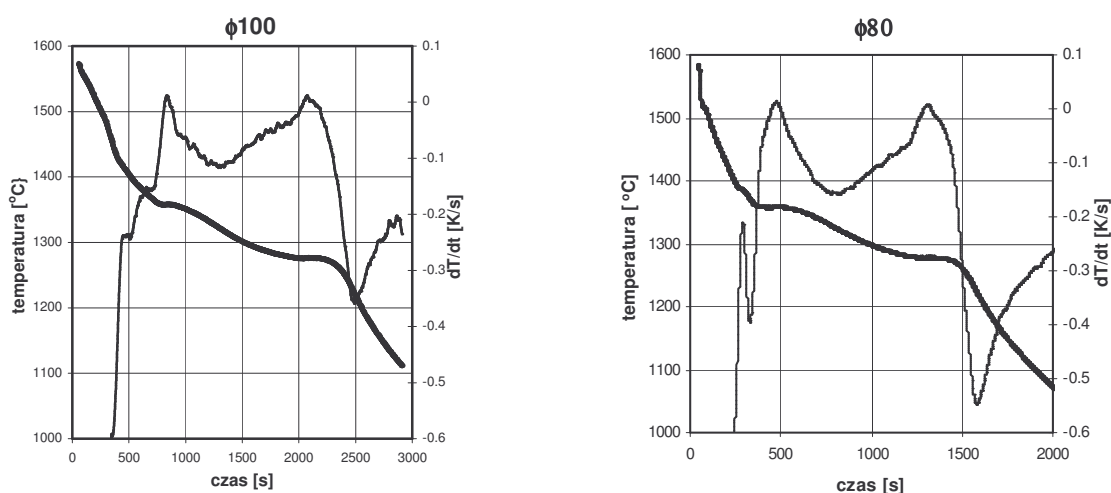
4. PARAMETRY KRYSZALIZACJI ŻELIWA CHROMOWEGO

Na rys.3 przedstawiono przykładowe krzywe stygnięcia dla żeliwa chromowego oznaczonego C24Cr18 o następującym składzie chemicznym: C=2.4%; Cr=18%. Są to krzywe zarejestrowane najbliżej centrum ciepłego odlewów. Na tych krzywych już widoczne są przemiany zachodzące podczas krzepnięcia stopu oraz w stanie stałym. Na

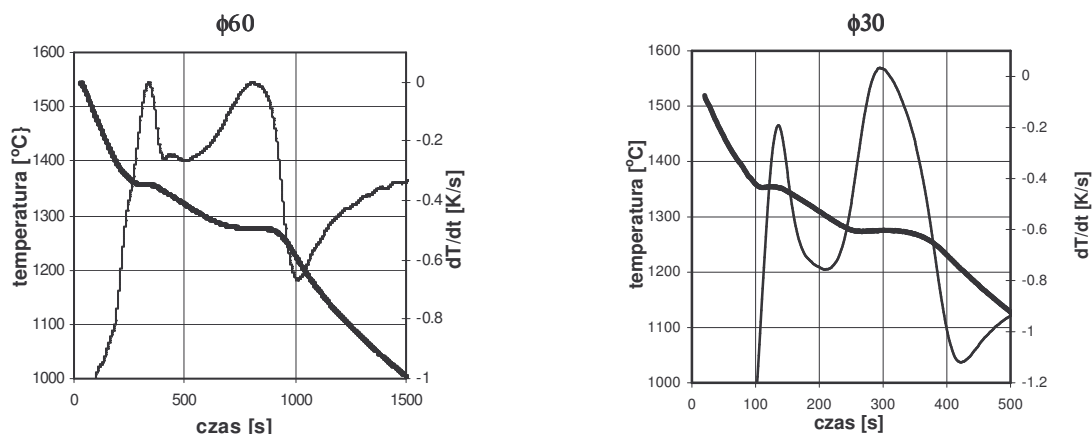


Rys.3 Krzywe stygnięcia zarejestrowane w próbnikach $\phi 30$, $\phi 60$, $\phi 80$, $\phi 100$ – wytop C24Cr18

obecnym etapie pracy krzywe stygnięcia poddano analizie podobnej do analizy w standardowej metodzie ATD ale tylko w zakresie krzepnięcia. Na podstawie krzywych stygnięcia i ich pierwszych pochodnych określano parametry krystalizacji. Na rys.4 przedstawiono wykresy stygnięcia i krystalizacji dla poszczególnych próbników tylko w zakresie krzepnięcia żeliwa. W tabeli 1 zestawiono parametry krystalizacji badanego żeliwa chromowego.



Rys.4.1 Krzywe stygnięcia i krystalizacji $\phi 100$, $\phi 80$ – wytop C24Cr18



Rys.4.2 Krzywe stygnięcia i krystalizacji $\phi 60$, $\phi 30$ – wytop C24Cr18

Tabela 1
Wybrane parametry krystalizacji żeliwa chromowego

Wytop	ϕ	TZ	TL	TS	TH	VZL	VZS	VZH	VLS	VLH
	mm	°C				K/s				
C18Cr18	100	1548	1399	1282	1234	0.199	0.126	0.129	0.086	0.098
	80	1582	1399	1285	1224	0.336	0.217	0.220	0.139	0.162
	60	1567	1397	1282	1247	0.443	0.290	0.277	0.192	0.194
	30	1501	1394	1278	1236	1.551	0.885	0.863	0.634	0.664
C24Cr18	100	1572	1359	1275	1222	0.279	0.149	0.144	0.068	0.082
	80	1584	1357	1278	1232	0.538	0.242	0.231	0.094	0.113
	60	1543	1356	1277	1232	0.649	0.349	0.325	0.166	0.185
	30	1523	1353	1275	1226	1.635	0.939	0.765	0.488	0.447
C33Cr18	100	1454	1282	1262	1162	0.176	0.110	0.106	0.026	0.067
	80	1479	1279	1260	1151	0.255	0.163	0.157	0.034	0.098
	60	1473	1275	1256	1143	0.334	0.246	0.229	0.066	0.156
	30	1444	1265	1249	1130	1.467	0.942	0.671	0.188	0.390

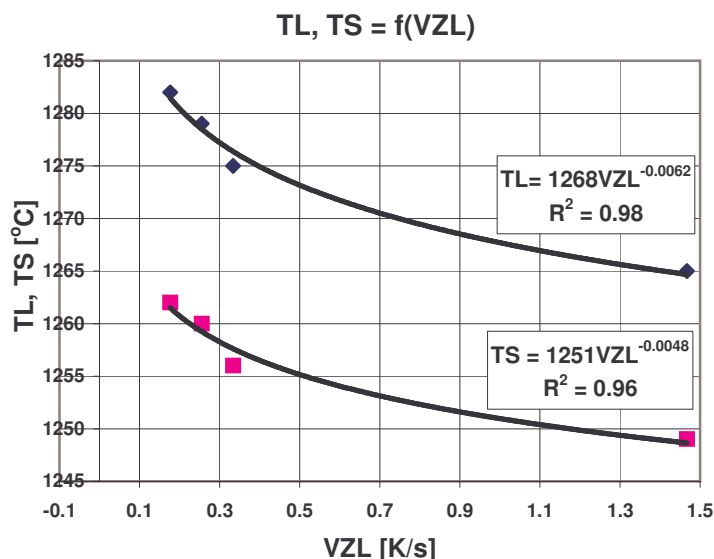
TZ, TL, TS, TH – temperatury: zalewania, likwidus, solidus, końca krzeonięcia
VZL, VZS, VZH, VLS VLH – średnie szybkości stygnięcia w zakresie w/w temperatur

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione w tabeli 1 szybkości stygnięcia są wartościami średnimi w określonych zakresach stygnięcia odlewu. Rzeczywista szybkość stygnięcia ulega ciągłej zmianie, jednak dla uproszczenia analizy przyjęto wartości średnie. Która z obliczonych średnich prędkości (a może inna) najlepiej charakteryzuje wpływ szybkości stygnięcia na parametry krystalizacji jeszcze ostatecznie nie zdefiniowano. Po wstępnej analizie można przyjąć, że może to być szybkość stygnięcia stopu w stanie ciekłym tj. VZL. Na rys.5 przedstawiono jak charakterystyczne temperatury przemian TL i TS zmieniają się w funkcji szybkości

stygnięcia VZL dla określonego składu chemicznego. Widzimy tutaj znaczny wpływ tej szybkości na parametry temperaturowe.

Funkcję opisującą charakterystyczne temperatury w zależności od szybkości stygnięcia określono na razie na podstawie arkusza kalkulacyjnego EXCEL za pomocą dostępnych funkcji trendu. Po wykonaniu większej ilości eksperymentów będzie możliwe poszukiwanie funkcji opisującej parametry krystalizacji w zależności od składu chemicznego i szybkości stygnięcia. Przedstawione w artykule wyniki badań dają dużą nadzieję na zrealizowanie tego celu.



Rys.5 Temperatury przemian w funkcji szybkości stygnięcia VZL – wytop C33Cr18

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski i uwagi do dalszych badań:

- nowa metoda umożliwi badanie wpływu szybkości stygnięcia na parametry krystalizacji stopu odlewniczego,
- zastosowanie materiałów izolacyjnych (sibral 300) i izolacji cieplnej próbników umożliwia uzyskanie odlewów modelowych $\phi 30$ mm, które mogą być przeznaczone do dalszych badań (np. metalograficznych, własności mechanicznych itd.),
- wkładka-forma umożliwia zastosowanie różnych materiałów formierskich w badaniach procesu krystalizacji stopów odlewniczych,
- do pełniejszego opisu stygnięcia układu odlew-forma sugeruje się umieścić termoelementy dodatkowo w formie (wkładka-forma).

LITERATURA

1. Studnicki A.: Badanie procesu krystalizacji odlewniczych materiałów odpornych na ścieranie. Archiwum Odlewnictwa, PAN-Katowice, rocznik 2, nr 4, 2002,
2. Studnicki A., Przybył M: Analiza fazy węglkowej żeliwa chromowego na przekroju modelowego odlewu. Archiwum Odlewnictwa, PAN-Katowice, rocznik 3, nr 8, 2003,
3. Badania własne Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej (niepublikowane).