

## BADANIE PROCESU KRYSTALIZACJI ODLEWNICZYCH MATERIAŁÓW ODPORNÝCH NA ŚCIERANIE

A. STUDNICKI<sup>1</sup>

Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono nową metodę opisu procesu krystalizacji odlewniczych materiałów odpornych na ścieranie przeznaczonych na odlewy grubościennie. Pierwsze eksperymenty zostały przeprowadzone z użyciem żeliwa chromowego, które jest najczęściej stosowanym materiałem na odlewy grubościennie. Istotną zaletą nowej metody z wykorzystaniem próbnika z izolacją cieplną jest łatwe przygotowanie próbek do dalszych badań metalograficznych ze względu na małe wymiary ( $\phi 30$  mm) próbki odlewanej.

*Key words: research method, crystallization, chromium cast iron, cooling rate*

### 1. WPROWADZENIE

Gabaryty odlewów w sposób istotny determinują przebieg procesu stygnięcia, co w konsekwencji odbija się na własnościach użytkowych odlewu. W przypadku materiałów odpornych na ścieranie, czyli materiałów najczęściej bardzo twardych wycinanie próbek do dalszych badań jest poważnym problemem technicznym i ekonomicznym. Niewłaściwe przygotowanie próbek powoduje wyciągnięcie błędnych wniosków, natomiast wykorzystanie wyników badań z analizy małych odlewów próbek często nie przenosi się na odlewy o dużych gabarytach.

Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej od wielu lat zajmuje się badaniami materiałów odlewniczych odpornych na ścieranie ze szczególnym ukierunkowaniem na żeliwa chromowe [1,2,3]. Żeliwo chromowe jest cenionym tworzywem odlewniczym wykorzystywanym do produkcji odlewów pracujących w środowiskach ściernych [4].

---

<sup>1</sup> dr inż., [ajstud@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:ajstud@zeus.polsl.gliwice.pl)

Mechaniczne i trybologiczne własności żeliwa chromowego zależą głównie od struktury metalograficznej powstającej w czasie krystalizacji odlewu. Kształtowanie struktury pierwotnej rozpoczyna się na etapie stygnięcia odlewu, szczególnie w procesie krzepnięcia. Skład chemiczny stopu i warunki stygnięcia umożliwiają otrzymanie wielowariantowej struktury w zależności od potrzeb.

Znajomość przebiegu procesu krystalizacji stopu jest źródłem wielu cennych informacji, zarówno dla nauki i praktyki przemysłowej jak i dla dalszego rozwoju technologii. Wiedza o procesie krystalizacji jest istotna obecnie gdy na szeroką skalę wprowadza się komputerowe symulowanie procesów krzepnięcia i stygnięcia odlewów. Bez podstawowych danych (parametrów) opisujących proces krystalizacji nie jest możliwa rzetelna symulacja komputerowa.

Znane z literatury wykresy równowagi stopów nie zawsze odpowiadają realnym stopom technicznym i mogą jedynie służyć jako wskazówka, punkt wyjścia do opisu procesu krystalizacji stopów technicznych. Wykresy równowagi nie uwzględniają szybkości stygnięcia odlewu na powstającą strukturę, co w przypadku odlewów ma istotny wpływ.

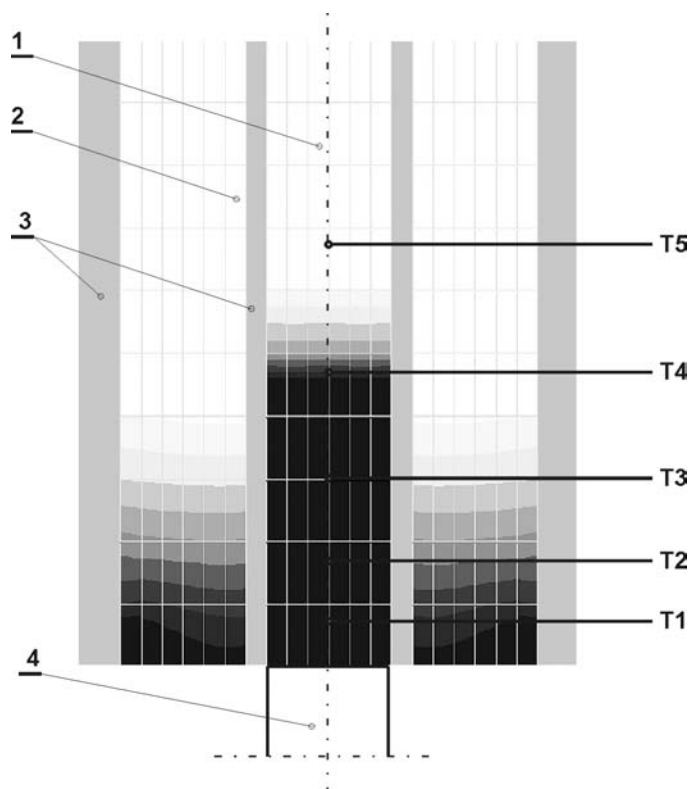
W prowadzonych badaniach zastosowano aparaturę rejestrującą Crystaldigraph PC-TL oraz specjalnie opracowany próbnik z izolacją cieplną, który umożliwia znaczne zróżnicowanie szybkości stygnięcia odlewu próbki.

## 2. PRÓBNIK DO BADAŃ

Przy opracowywaniu konstrukcji próbnika do badania procesu krystalizacji materiałów odlewniczych odpornych na ścieranie (tzn. materiałów trudnoobrabialnych mechanicznie) przy różnych szybkościach stygnięcia odlewu przyjęto następujące **założenia**:

- co najmniej pięć punktów pomiarowych (termopar) krzywej stygnięcia o znacznym zróżnicowaniu szybkości stygnięcia,
- jeden punkt pomiarowy (termopara) powinien znajdować się w centrum cieplnym odlewu),
- możliwość obróbki odlewu próbki na typowej ściernej przecinarce laboratoryjnej (z bardzo dobrym chłodzeniem),
- średnica odlewu próbki max  $\phi 30$  mm,
- do zminimalizowania wymiarów odlewu wykorzystać materiały izolacyjne,
- wykorzystać mikrokomputerowy system rejestracji danych (np. system Crystaldigraph PC-TL do długoczasowej rejestracji).

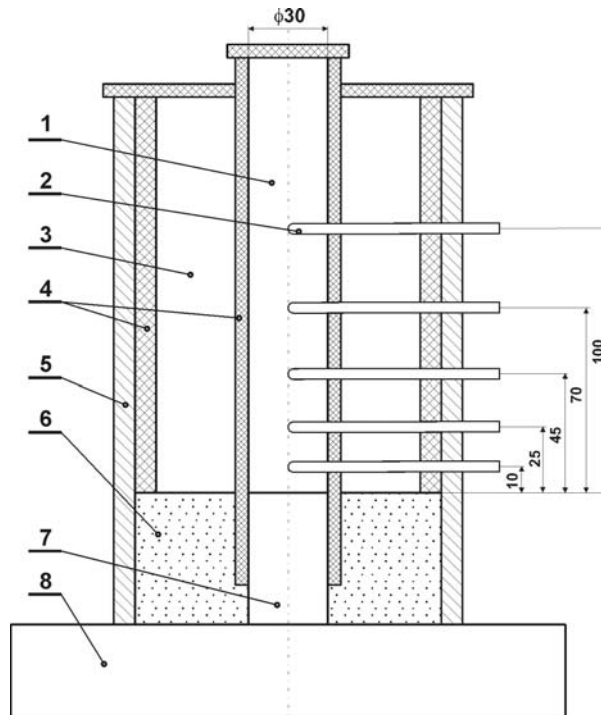
Powyższe założenia uwzględniono przy konstruowaniu próbnika. Wstępnie opracowaną konstrukcję przetestowano w programie symulacyjnym Simtec „odlewając numerycznie” żeliwo chromowe. Na rys. 1 przedstawiono przebieg izoterm w nowym próbniku. Symulacja potwierdziła oczekiwany przebieg stygnięcia odlewu próbki. Zróżnicowanie czasów krzepnięcia (szybkości krzepnięcia) w wybranych punktach odlewu próbki okazał się znaczny tzn. od 0 do około 1800 s.



Rys.1 Pole temperatury na przekroju odlewu próbki  $\phi 30$  mm i izolatora cieplnego  
 Fig.1 Temperature field on the section of cast specimen  $\phi 30$  mm and heat insulator  
 1 - próbka  $\phi 30$  mm (specimen  $\phi 30$  mm); 2 - izolator cieplny (heat insulator); 3 - materiał izolacyjny Sibral 300 (insulating material Sibral 300); 4 - stalowy ochładzalnik (steel chill).

Konstrukcję **próbnika z izolacją cieplną** przedstawiono na rys. 2. Obudowę próbnika stanowi rura stalowa (5) wyłożona od wewnątrz materiałem izolacyjnym (4) oraz wypełniona w dolnej części materiałem formierskim (6). Próbnik pomiarowy ustawiony jest na stalowej masywnej podstawie (8) połączonej z ochładzalnikiem stalowym (7). Górna powierzchnia ochładzalnika stanowi zerowy poziom pomiarowy odlewu próbki (1). Odlew próbki jest umieszczony w cylindrycznej osłonie izolacyjnej o średnicy wewnętrznej  $\phi 30$  mm i grubości 5 mm. Izolator cieplny (3) będący fizycznie również badanym materiałem stanowi dodatkową izolację cieplną przy stygnięciu odlewu próbki. Jako pierwszy wlewany jest do próbnika materiał izolatora cieplnego. Po podgrzaniu osłon kwarcowych (2), trwa to około 10 s, odlewana jest próbka pomiarowa (1). Górna część próbnika jest przykrywana materiałem izolacyjnym po wypełnieniu ciekłym metalem wszystkich wnęk próbnika.

Do konstrukcji nowego próbnika wykorzystano materiał izolacyjny Sibral 300, aby znacznie zróżnicować szybkość stygnięcia odlewu i zminimalizować jego wymiary.



Rys.2 Konstrukcja próbnika z izolacją cieplną

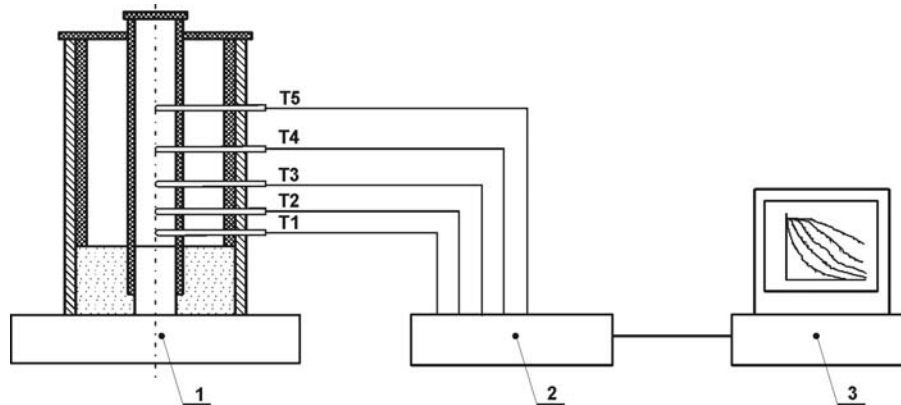
Fig.2 Construction of sampler with heat insulation

1 – odlew próbki (cast specimen), 2 – osłona kwarcowa (quartz shield), 3 – izolator cieplny (heat insulator), 4 – materiał izolacyjny (insulating material), 5 – rura stalowa (steel pipe), 6 – materiał formierski (moulding material), 7 – ochładzalnik (chill), 8 – stalowa podstawa (steel plate).

### 3. PIERWSZE EKSPERYMENTY – ŻELIWO CHROMOWE

Celem pierwszego eksperymentu było przetestowanie nowego próbnika. Próby przeprowadzono na 3 wytopach żeliwa chromowego (zawartość węgla przyjęto na trzech poziomach 1.8%; 2.4% i 3.3% przy stałej zawartości chromu około 18%). Eksperymenty wykonano na stanowisku badawczym, którego schemat przedstawiono na rys.3. Dodatkowo do prób dołączono standardową próbę ATD. Na rys. 4 przedstawiono zarejestrowane krzywe stygnięcia dla jednego z wytopów. Krzywe stygnięcia następnie poddano analizie, obliczono ich pierwsze pochodne oraz wyznaczono niektóre parametry krystalizacji, między innymi temperatury przemian,

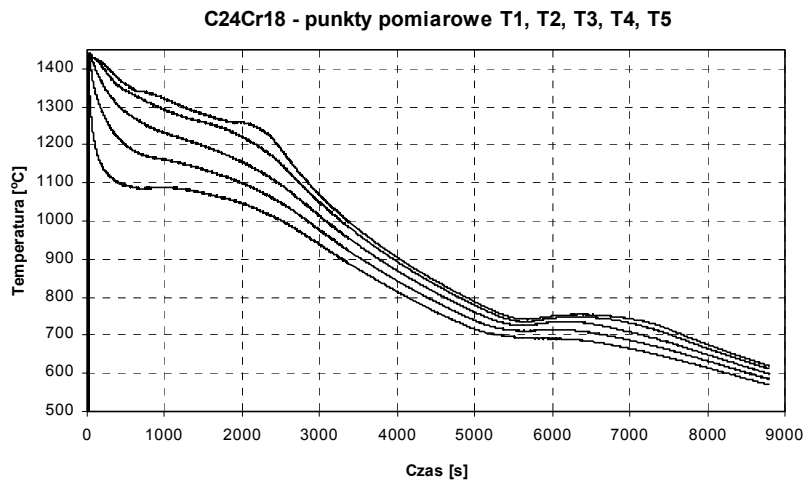
szybkości stygnięcia. Na rys.5 przykładowo przedstawiono wybrane krzywe stygnięcia (cienkie linie) i ich pierwsze pochodne (grube linie). W tabeli 1 zebrano niektóre parametry krystalizacji żeliwa chromowego zidentyfikowane na podstawie pomiarów w nowym próbniku z izolacją cieplną jak i w próbniku ATD.



Rys. 3 Stanowisko badawcze

Fig. 3 Research stand

1 - próbnik z izolacją cieplną (tester with heat insulation); 2 - przetwornik Crystaldigraph PC-TL; 3 - komputer rejestrujący (computer)



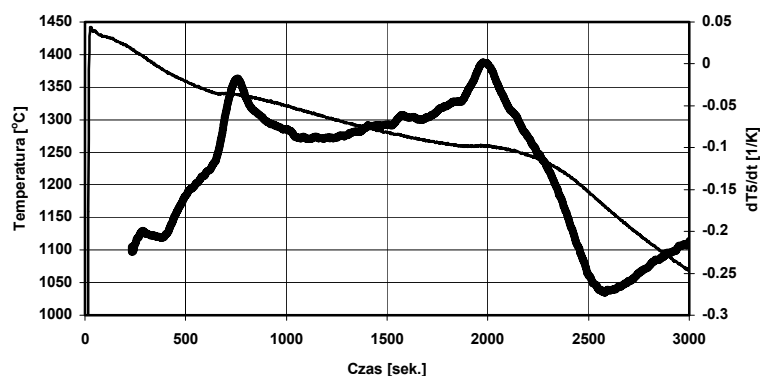
Rys.4 Krzywe stygnięcia zarejestrowane w punktach pomiarowych T1, T2, T3, T4 i T5  
Fig. 4 Cooling curves in measurement points T1, T2, T3, T4 and T5

Tabela 1 Niektóre parametry krystalizacji żeliwa chromowego  
 Table 1 A some crystallization parameters of chromium cast iron

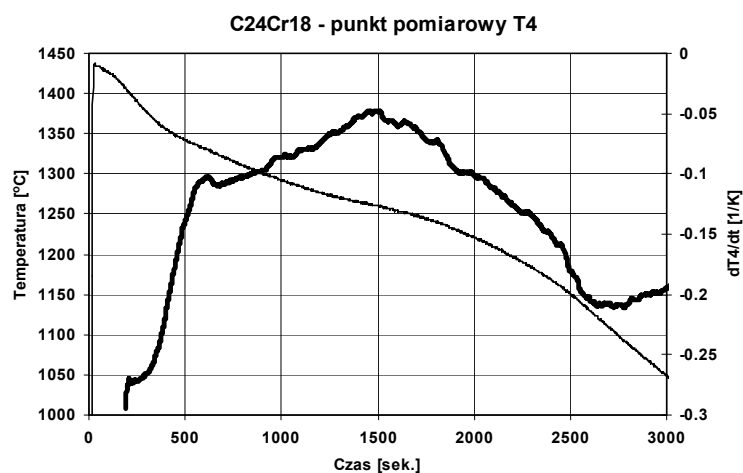
Żeliwo	Termopara	TZ [°C]	TL [°C]	TS [°C]	TL-TS [°C]	V <sub>ZL</sub> [K/s]	V <sub>LS</sub> [K/s]	t <sub>ZL</sub> [s]	t <sub>LS</sub> [s]
C18Cr18	ATD	1468	1354	1254	100	3.167	0.847	36	118
	T1								
	T2	1436	1299	1154	145	1.105	0.211	124	687
	T3	1436	1360	1241	119	0.355	0.150	214	791
	T4	1436	1363	1262	113	0.168	0.117	434	961
	T5	1436	1375	1270	105	0.131	0.087	467	1207
C24Cr18	ATD	1421	1329	1253	76	3.407	0.817	27	93
	T1	1442							
	T2	1442	1308	1166	142	0.971	0.177	138	800
	T3	1442	1329	1223	106	0.409	0.120	276	883
	T4	1442	1336	1258	78	0.202	0.087	524	897
	T5	1442	1343	1258	85	0.150	0.068	662	1256
C33Cr18	ATD	1404	1235	1233	2	2.315	0.037	73	53
	T1	1414							
	T2	1414	1227	1171	56	0.488	0.089	383	629
	T3	1414	1247	1251	4	0.254	0.007	657	547
	T4	1414	1254	1240	14	0.208	0.026	766	534
	T5	1414	1255	1248	7	0.157	0.009	1013	711

TZ, TL, TS – temperatura zalewania, likwidus i solidus,  
 V<sub>ZL</sub> – prędkość stygnięcia w stanie ciekłym, V<sub>LS</sub> – średnia prędkość krzepnięcia  
 t<sub>ZL</sub> – czas stygnięcia w stanie ciekłym, t<sub>LS</sub> – czas krzepnięcia

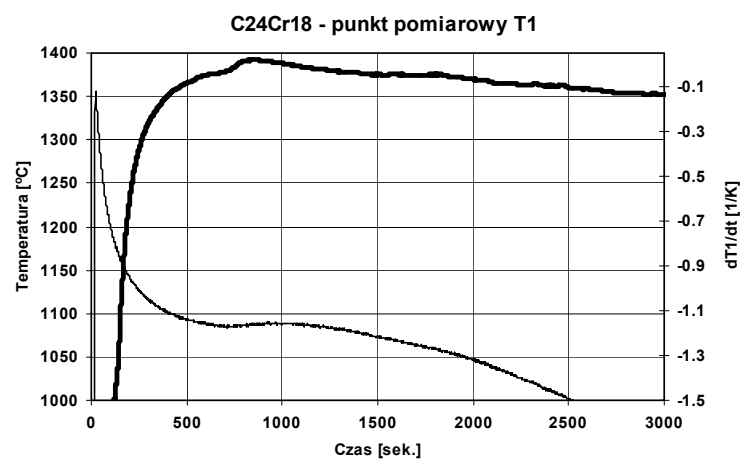
#### C24Cr18 - punkt pomiarowy T5



Rys.5a Krzywe stygnięcia i krystalizacji w punkcie pomiarowym T5  
 Fig.5a Cooling and crystallization curves in point T5



Rys.5b Krzywe stygnięcia i krystalizacji w punkcie pomiarowym T4  
Fig.5b Cooling and crystallization curves in point T4



Rys.5c Krzywe stygnięcia i krystalizacji w punkcie pomiarowym T1  
Fig.5c Cooling and crystallization curves in point T1

#### 4. PODSUMOWANIE

Wstępne wyniki badań potwierdziły konieczność prowadzenia badań w zakresie wpływu szybkości stygnięcia odlewu na parametry krystalizacji żeliwa chromowego. Uzależnienie parametrów krystalizacji żeliwa chromowego od grubości ścianki odlewu

(szybkości stygnięcia) jest istotne dla praktyki przemysłowej. Dobór składu chemicznego żeliwa chromowego i technologii wytwarzania konkretnych odlewów musi być powiązane z wrażliwością wybranego tworzywa na szybkość stygnięcia.

Na podstawie przeprowadzonych prób wyciągnięto kilka wniosków i uwag do dalszych badań:

- czas rejestracji w nowym próbniku z izolacją cieplną powinien obejmować pełny cykl krystalizacji żeliwa chromowego tj. krystalizację pierwotną i wtórną,
- rozmieszczenie termopar w nowym próbniku z izolacją cieplną jest właściwe ponieważ umożliwia rejestrację całej gamy krzywych stygnięcia występujących w badanym odlewie,
- testy w nowym próbniku z izolacją cieplną należy prowadzić równolegle z testem wg standardowej metody ATD,
- dla żeliwa chromowego należy utrzymać czas wygrzewania (około 10 s) osłon kwarcowych aby do minimum zlikwidować bezwładność układu osłona-termopara,
- należy przeprowadzić badania jaki wpływ na parametry krystalizacji ma segregacja pierwiastków stopowych,
- nowy próbnik z izolacją cieplną prawdopodobnie może być stosowany do badań innych stopów odlewniczych.

#### LITERATURA

- [1] Badania własne Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej (niepublikowane).
- [2] Studnicki A., Jura S., Kilariski J., Przybył M., Sadowski K.: Zmiany stereologii fazy węglkowej w żeliwie chromowym. Krzepnięcie Metali i Stopów, z.22, 1995, PAN-Oddział Katowice, s.82.
- [3] Jura S., Kilariski J., Jura Z.: ATD żeliwa wysokochromowego i jego funkcje krystalizacji faz. Krzepnięcie Metali i Stopów, z.19, 1994, PAN-Oddział Katowice, s.157.
- [4] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: Odporne na ścieranie stopy żelaza. Część I , Część II. Wyd. ZG STOP, Kraków 1980.

#### INVESTIGATION OF CRYSTALLIZATION PROCESS OF WEAR RESISTANT CAST IRON

The paper presents new research method of crystallization process of wear resistant cast iron on heavy-section casting. First experiments became passed with use of chromium cast iron, which is most often practical material on heavy-section casting.

Recenzował Prof. Józef Gawroński