65/14

Archives of Foundry,
Year 2004, Volume 4, № 14
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2004, Rocznik 4, Nr 14
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

ANALIZA ODLEWANIA ŻELIWA CHROMOWEGO W FORMIE PIASKOWEJ - FIZYCZNE MODELOWANIE STYGNIĘCIA

A. STUDNICKI[1], M. PRZYBYŁ[2], J.KILARSKI[3],
Zakład Odlewnictwa
Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej
44-100 Gliwice ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę procesu stygnięcia żeliwa chromowego w formie piaskowej. Proces odlewania przeprowadzono na stanowisku do eksperymentalnego modelowania stygnięcia odlewów o różnych modułach krzepnięcia w formie odlewniczej.

Key words: chromium cast iron, cooling curve, solidification

1. WPROWADZENIE

Żeliwa chromowe [1,2] należą do materiałów odlewniczych często stosowanych w przemyśle wydobywczym, przeróbczym różnych surowców mineralnych. Wykorzystywana jest tam ich wysoka odporność na ścieranie. Żeliwa chromowe, a szczególnie pewna ich grupa, w której występują w strukturze twarde węgliki M_7C_3. Odlewy z żeliwa chromowego odpornego na ścieranie najczęściej są odlewami grubościennymi. Informacja o geometrii odlewu przy doborze składu chemicznego, technologii odlewania i obróbki cieplnej jest bardzo istotna i ściśle się wiąże z wrażliwością żeliwa chromowego na grubość ścianki odlewu, tzn. szybkość stygnięcia. Z reguły nieodpowiedni skład fazowy i gruboziarnista struktura odlewu charakteryzuje się gorszymi własnościami użytkowymi.

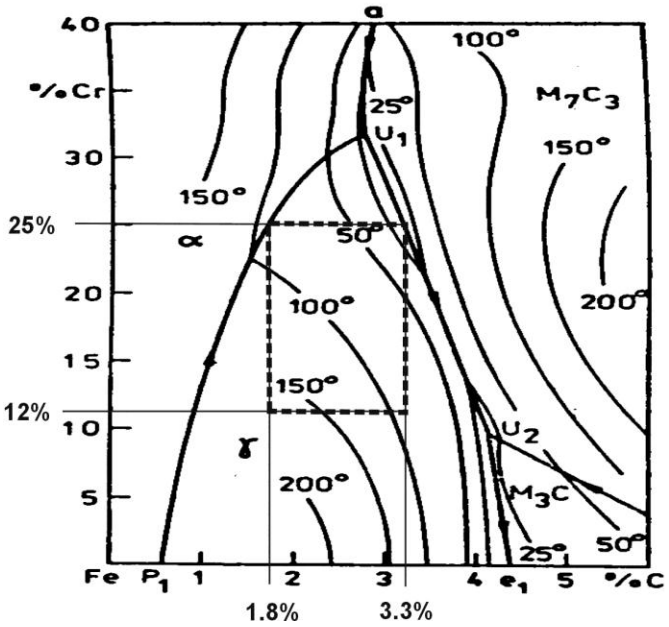
Zastosowanie metody ATD-K3 (opis metody w artykule A.Studnickiego - „Eksperymentalne modelowanie stygnięcia odlewu w formie" w niniejszym numerze

[1] *dr inż. ajstud@polsl.gliwice.pl*
[2] *dr inż. marlo13@polsl.gliwice.pl*
[3] *dr inż. sekrmt3@polsl.gliwice.pl*

Archiwum Odlewnictwa) umożliwia scharakteryzowanie wrażliwości stopów odlewniczych na szybkość stygnięcia. W niniejszej pracy przeanalizowano przebieg krzywych stygnięcia w układzie odlew z żeliwa chromowego – forma piaskowa dla odlewów o średnicach ϕ30, ϕ60 i ϕ100 mm.

2. CEL BADAŃ, MATERIAŁ I ICH PRZEBIEG

Ogólnym celem pracy było określenie wrażliwości żeliwa chromowego na szybkość stygnięcia odlewu w formie piaskowej. W artykule skupiono się tylko na analizie krzywych stygnięcia odlewu modelowego i piaskowej formy modelowej.
Do badań wytypowano żeliwo chromowe odporne na ścieranie, w którym krystalizują w fazie węglikowej głównie węgliki M_7C_3. Na rys.1 przedstawiono zaplanowany obszar wytopów w zakresie zawartości węgla i chromu na projekcji powierzchni likwidus układu Fe-C-Cr.



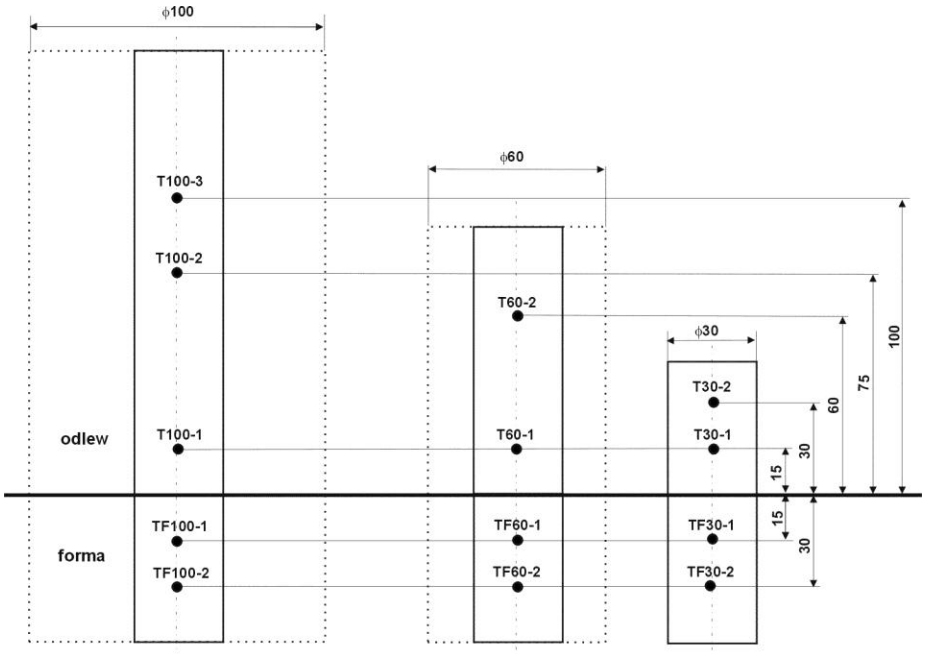
Rys.1 Projekcje powierzchni likwidus układu równowagi Fe-C-Cr [3]
Fig.1 Likwidus surfaces of Fe-C-Cr equilibrium system [3]

Badania przeprowadzono na 9 wytopach żeliwa chromowego o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1. Wytopy wykonano w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w piecu indukcyjnym o wyłożeniu obojętnym. Zestaw próbników ATD-K3 oraz próbnik ATD-C zalewano przegrzanym ciekłym metalem i rejestrowano krzywe stygnięcia w odlewie modelowym a także formie modelowej przez okres około 3 godz., tj. do czasu osiągnięcia temperatury poniżej 500 ^{o}C w próbniku ϕ100 mm. Na rys.2

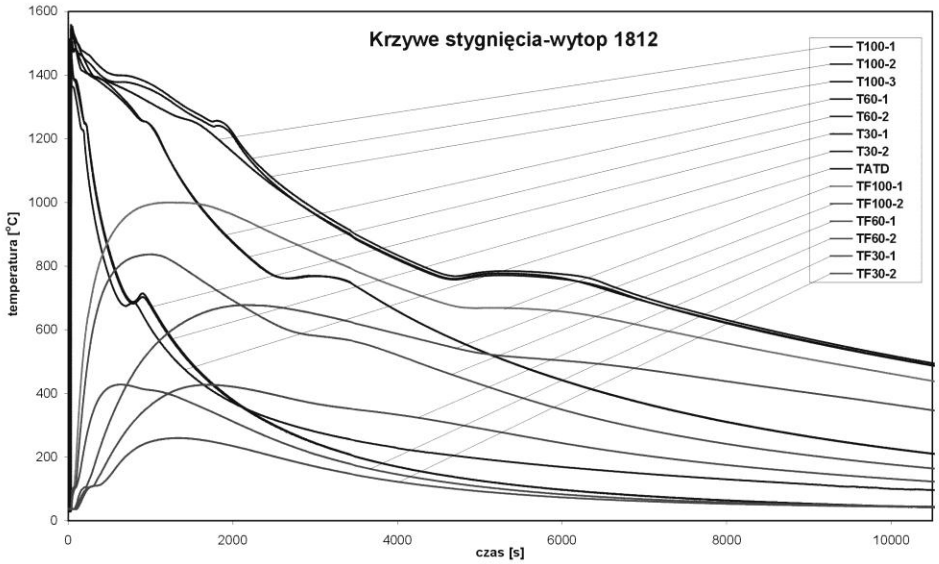
przedstawiono schemat rozmieszczenia termoelementów w próbnikach ϕ30, ϕ60, ϕ100 i ich oznaczenie. Kilka eksperymentów prowadzono do uzyskania przez odlewy temperatury pokojowej. Na rys. 3 i rys.4 przedstawiono dla niektórych wytopów zarejestrowane krzywe stygnięcia w całym zakresie czasu rejestracji.

Tabela 1 Skład chemiczny badanego żeliwa chromowego
Table 1 Chemical composition of chromium cast iron

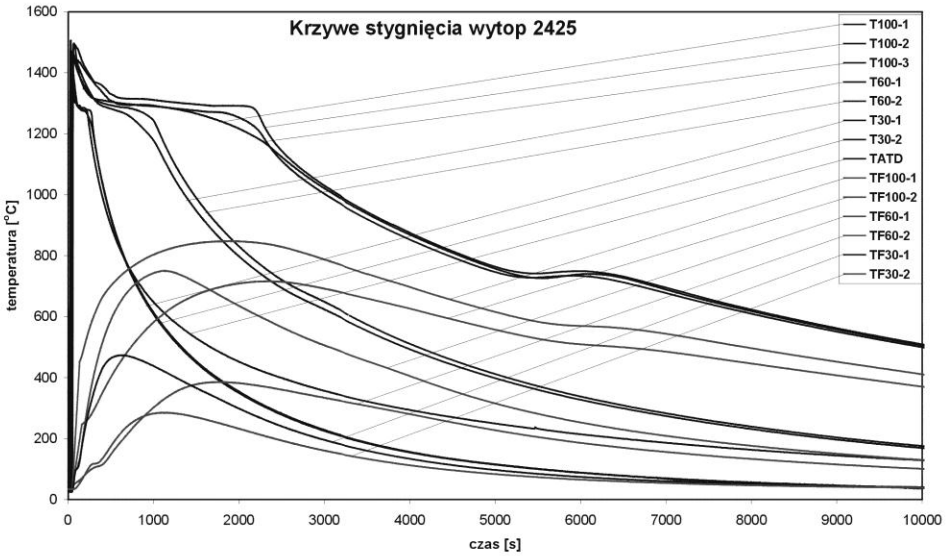
oznaczenie wytopu	**zawartość pierwiastków w % wag.**					
	C	**Cr**	**P**	**S**	**Mn**	**Si**
1818	**1.49**	**16.86**	0.033	0.023	0.20	0.45
2418	**2.09**	**16.48**	0.039	0.020	0.21	0.50
3318	**2.89**	**15.71**	0.036	0.019	0.32	1.47
1812	**1.75**	**11.65**	0.061	0.020	0.18	0.72
2412	**2.25**	**11.37**	0.059	0.020	0.17	0.86
3312	**2.92**	**10.79**	0.062	0.021	0.23	1.15
1825	**1.95**	**23.28**	0.057	0.030	0.12	0.43
2425	**2.45**	**22.93**	0.050	0.029	0.18	0.74
3325	**3.21**	**22.92**	0.049	0.029	0.20	0.74



Rys.2 Schemat rozmieszczenia termoelementów w próbnikach i ich oznaczenie
Fig.2 Spacing scheme and marking of thermoelements in samplers



Rys. 3 Krzywe stygnięcia – wytop 1812
Fig. 3 Cooling curves – melt 1812



Rys. 4 Krzywe stygnięcia – wytop 2425
Fig. 4 Cooling curves – melt 2425

3. OPIS PROCESU STYGNIECIA W UKŁADZIE ODLEW-FORMA

Interpretacja faz krystalizujących w stopach oparta jest na analizie układów równowagi. Bezkrytyczne przenoszenie informacji zawartych na wykresach równowagi może doprowadzić do błędnych wniosków a w najlepszym przypadku do mało precyzyjnych.

W rzeczywistych odlewach stopy stygną w warunkach nierównowagowych. Odlewy modelowe w metodzie ATD-K3 również stygną w warunkach odbiegających od równowagowych. Występujące w kolejnych odlewach ϕ30, ϕ60 i ϕ100 mm szybkości stygnięcia wpływają na stopień odchylenia od warunków równowagowych badanego stopu. Ma to między innymi odbicie w parametrach krystalizacji tj. charakterystycznych temperaturach przemian, intensywności tych przemian. W tabeli 2 zestawiono niektóre parametry krystalizacji wybranych stopów, zaś charakterystyczne temperatury oraz średnie szybkości nagrzewania i chłodzenia formy odlewniczej zestawiono w tabeli 3.

Parametry krystalizacji żeliwa chromowego zostały określone na podstawie krzywych stygnięcia zarejestrowanych najbliżej centrum cieplnego odlewów ϕ30, ϕ60 i ϕ100 mm. Parametry te odczytywano zgodnie z zasadami stosowanymi w tradycyjnej metodzie ATD. Do obliczenia średnich szybkości stygnięcia w zakresie charakterystycznych temperatur przemian wykorzystano dane odczytane z krzywych stygnięcia i krystalizacji (pierwsza pochodna krzywej stygnięcia). Na podstawie analizy przebiegu zmian temperatury formy piaskowej w funkcji czas eksperymentu, przyjęto do rozważań osiągane maksymalne temperatury w formie w odległości 15 i 30 mm od czoła odlewu modelowego. Ponadto za celowe uważano określenie szybkości nagrzewania formy do temperatury maksymalnej, jak i jej chłodzenia. W przypadku określenia średniej szybkości chłodzenia, istnieje dość duża dowolność w wyborze bądź temperatury do której przebiega chłodzenie, czy też określenia przedziału czasowego. Autorzy sądzą, że określenie średniej szybkości chłodzenia formy z maksymalnej temperatury do momentu uzyskania przez odlew temperatury 500 ^{o}C jest korzystne (poniżej tej temperatury nie zachodzą już przemiany w stygnącym odlewie).

Przebieg krzywych stygnięcia odlewów w poszczególnych próbnikach jest bardzo zróżnicowany. Po głębszej obserwacji samych krzywych stygnięcia, a dokładniej po analizie wyznaczonych parametrów krystalizacji można stwierdzić, że szybkość odprowadzania ciepła ma istotny wpływ na te parametry. Generalnie wraz ze wzrostem szybkości stygnięcia obniżają się charakterystyczne temperatury przemian. Na rys.5 przedstawiono krzywe stygnięcia i krystalizacji w odlewach ϕ30, ϕ60 i ϕ100 mm dla jednego z wytopów. Na tym rysunku widać jak zmienia się intensywność przemian w poszczególnych odlewach (znaczne zróżnicowanie wartości pochodnej w odlewie ϕ30). Natomiast na rys.6 przedstawiono sposób odczytu (wyznaczenia) niektórych parametrów krystalizacji i przemian fazowych w stanie ciekłym i stałym, na przykładzie próbnika ϕ60 mm wytopu 2412. W zakresie krzepnięcia średnia szybkość stygnięcia zmienia się znacznie (prawie 10-krotnie porównując odlew ϕ30 z odlewem ϕ100). Ma

to prawdopodobnie wpływ na krystalizację faz (np. typ węglików), a na pewno na ich rozdrobnienie. Przemiany w stanie stałym są również dobrze uwidocznione na zarejestrowanych krzywych – rys.3,4, tabela 2.

Tabela 2 Niektóre parametry krystalizacji wybranych żeliw chromowych
Table 2 Some crystallization parameters of choose chromium cast iron

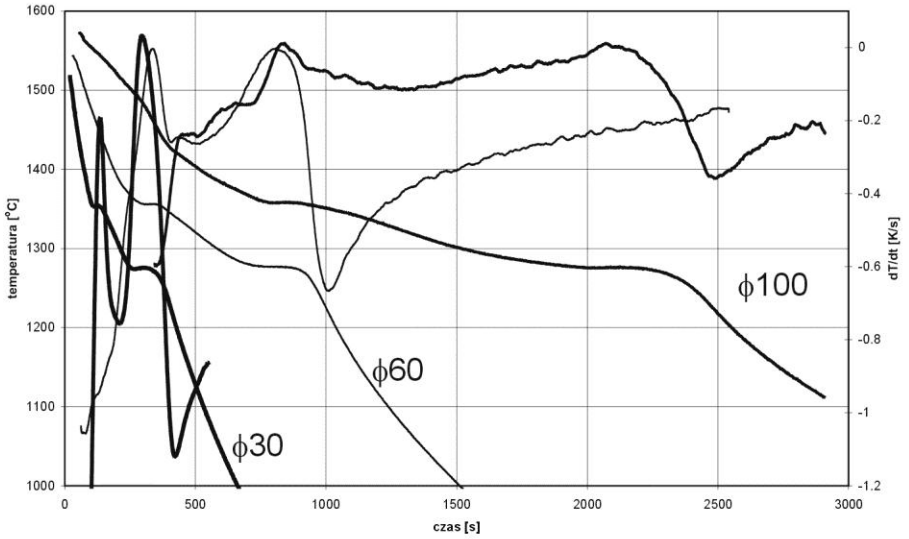
Rozmiar próbnika	TZ	TL	TS	TH	TP	V_{ZL}	V_{ZS}	V_{LS}	V_{HP}	KH	tH	tP
	°C					°C/s					s	
	wytop 1812											
ϕ100	1546	1400	1254	1207	776	0.26	0.17	0.13	0.15	0.40	2031	4895
ϕ60	1559	1394	1254	1201	763	0.55	0.34	0.23	0.26	0.66	1106	2801
ϕ30	1510	1386	1249	1199	705	2.34	1.51	1.14	0.79	2.22	243	866
	wytop 2412											
ϕ100	1464	1366	1249	1199	784	0.19	0.12	0.09	0.14	0.38	2226	5223
ϕ60	1448	1355	1242	1162	766	0.43	0.27	0.21	0.25	0.49	1099	2698
ϕ30	1416	1345	1232	1186	747	1.58	0.97	0.78	0.81	1.80	289	829
	wytop 3312											
ϕ100	1450	1308	1229	1150	788	0.21	0.12	0.06	0.11	0.31	2722	5972
ϕ60	1453	1300	1222	1102	782	0.53	0.29	0.16	0.24	0.44	1214	2575
ϕ30	1401	1294	1220	1148	777	1.98	1.01	0.59	0.72	1.89	344	861

TZ, TL, TS,TH, TP – temperatury zalewania, likwidus, solidus, końca krzepnięcia, przemiany eutektoidalnej; V_{ZL} ,V_{ZS} ,V_{LS} ,V_{HP} – średnie prędkości stygnięcia w odpowiednich zakresach temperatur; KH – prędkość stygnięcia na końcu krzepnięcia; tH –czas końca krzepnięcia; tP –czas przemiany eutektoidalnej.

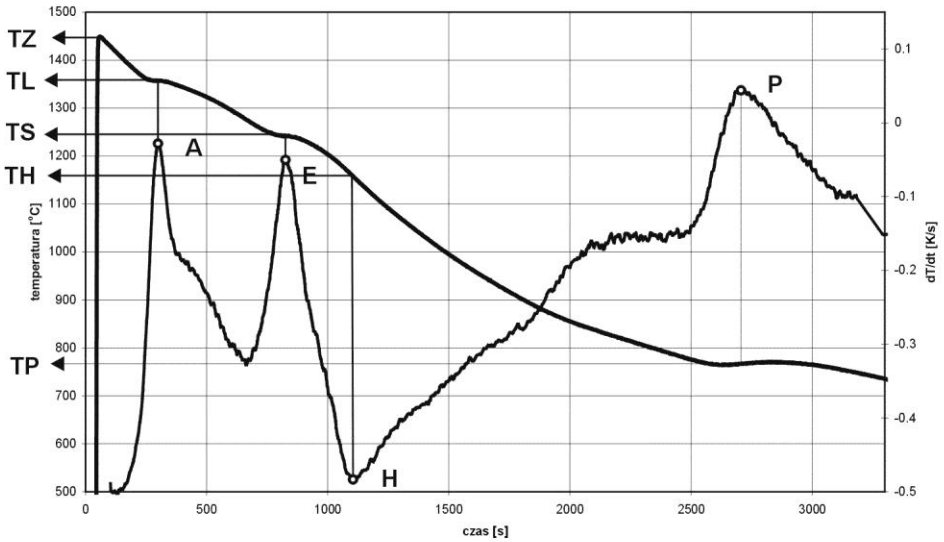
Tabela 3 Niektóre parametry piaskowej formy odlewniczej
Table 3 Some parameters of sand mould

Rozmiar próbnika	TFmax-1	TFmax-2	tmax-1	tmax-2	Vn-1	Vn-2	Vch-1	Vch-2
	°C		s		°C/s			
	wytop 1812							
ϕ100	1000	678	1298	2177	0.76	0.30	0.06	0.04
ϕ60	831	429	1009	1734	0.80	0.25	0.10	0.04
ϕ30	421	256	643	1330	0.65	0.18	0.06	0.007
	wytop 2412							
ϕ100	966	668	1530	2434	0.62	0.27	0.06	0.04
ϕ60	675	392	1146	1790	0.57	0.21	0.08	0.04
ϕ30	428	246	664	1406	0.61	0.16	0.06	0.008
	wytop 3312							
ϕ100	893	646	2140	2731	0.41	0.23	0.05	0.04
ϕ60	818	457	1215	1800	0.66	0.24	0.09	0.05
ϕ30	493	300	695	1466	0.68	0.19	0.08	0.04

Tfmax-1, Tfmax-2 – maksymalne temperatury w punktach pomiarowych formy odlewniczej; tmax-1, tmax-2 – czas osiągnięcia maksymalnych temperatur w punktach pomiarowych formy; Vn-1, Vn-2, Vch-1, Vch-2 – średnie prędkości nagrzewania i chłodzenia formy.



Rys. 5 Krzywe stygnięcia i krystalizacji w zakresie krzepnięcia –wytop 2418
Fig. 5 Cooling and crystallization curves in solidification scope– melt 2418



Rys.6 Krzywe stygnięcia i krystalizacji do przemiany eutektoidalnej (P) –odlew ϕ60 - wytop 2412
Fig.6 Cooling and crystallization curves to eutectoid transformation (P) –cast ϕ60 - melt 2412

Dla większości wytopów występuje wyraźnie zarejestrowana przemiana eutektoidalna, przy czym temperatura przemiany (wyznaczona zgodnie z rys.6) ulega obniżeniu w miarę zwiększenia szybkości stygnięcia. Intensywniejsze oddziaływanie szybkości stygnięcia na temperaturę przemiany eutektoidalnej występuje w wytopach niskowęglowych, a mniejsze w wysokowęglowych. Oddziaływanie cieplne zachodzącej przemiany eutektoidalnej w żeliwie przejawia się również w przebiegu krzywych stygnięcia formy piaskowej. W niektórych stopach, tj. wysokochromowych, jak np. w wytopie 2425, od szybkości stygnięcia uzależnione jest występowanie lub też brak przemiany eutektoidalnej. Obserwując przebieg krzywych stygnięcia odlewu ϕ30 aż do temperatury ok. 50 ^{o}C (rys.4), nie zauważa się żadnej przemiany fazowej w stanie stałym (pozostaje osnowa austenityczna).
Autorzy przypuszczają, że w przedstawionej metodyce badań tkwią potencjalnie większe możliwości oceny procesów oddziaływania układu odlew-forma, a niniejsza praca jest pierwszą próbą szerszego zastosowania tej metody do opisu procesu stygnięcia materiałów odlewniczych.

LITERATURA

[1] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: Odporne na ścieranie stopy żelaza. Część I i II . Wyd. ZG STOP, Kraków 1980.

[2] Podrzucki Cz.: Żeliwo. Struktura Właściwości Zastosowanie. T.1 i 2, Wyd. ZG STOP, Kraków 1991.

[3] Chicco B., Thorpe W.R.: On the solidification of pure C-Cr-Fe alloys. Cast Metals 1973, T.5, nr 4.

CASTING ANALYSIS OF CHROMIUM CAST IRON IN SAND MOULD – PHYSICAL MODELING OF COOLING

SUMMARY

In this paper casting analysis of chromium cast iron in sand mould has been presented. Cooling process of cast in new test stand has been observed.

Recenzował Prof. Józef Gawroński