

# Parametry stereologiczne węglików na przekroju odlewu z modyfikowanego żeliwa chromowego

A. Studnicki\*, J. Suchoń

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska,  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: andrzej.studnicki@polsl.pl

Otrzymano 25.07.2011; zaakceptowano do druku 27.07.2011

## Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę parametrów stereologicznych węglików na przekroju odlewu modelowego wykonanego z modyfikowanego (mieszanina FeNb+FeV+MZR) żeliwa chromowego odpornego na zużycie ściernie. Zaobserwowano skokową zmianę niektórych parametrów stereologicznych węglików w pewnej odległości od powierzchni odlewu.

**Słowa kluczowe:** Żeliwo chromowe, Węgliki chromu, Parametry stereologiczne, Modyfikacja, Odlew modelowy

## 1. Wprowadzenie

W odlewach, szczególnie odlewach masywnych mamy do czynienia z gradientową budową struktury na przekroju ścianki odlewu [1]. Jest to oczywiście związane z różnymi warunkami krystalizacji (głównie zróżnicowaniem szybkości stygnięcia) stopu co w efekcie końcowym daje niejednorodność własności mechanicznych i użytkowych na przekroju odlewu. Jedną z metod walki z tym zjawiskiem jest szerokie stosowanie zabiegów modyfikacji stopów odlewniczych. Poprawę jednorodności struktury można również uzyskać zabiegami obróbki cieplnej lecz są to często bardzo drogie czynności. Najbardziej przez odlewników pożądaną drogą poprawy struktury pozostaje więc modyfikacja.

Z opisanym powyżej zjawiskiem mamy do czynienia również w produkcji odlewów z żeliwa chromowego. Żeliwo chromowe [2,3] jest szeroko stosowanym stopem na elementy odporne na zużycie ściernie, a te najczęściej są elementami masywnymi (grubościnnymi).

Struktura żeliwa chromowego składa się z twardych węglików chromu w osnowie austenitycznej lub produktach jej przemiany. Podstawowymi pierwiastkami żeliwa chromowego są żelazo, chrom i węgiel, które wystarczają do powstania pożądaných faz gwarantujących wysoką odporność na zużycie ściernie. Jednak nie wystarczają one na osiągnięcie przez ten stop podwyższonych właściwości wytrzymałościowych, w tym szczególnie ciągliwości. Czyste stopy żelaza i chromu z węglem w odlewach grubościennych osiągają bardzo niekorzystną gruboziarnistą strukturę. Dodatki niklu i molibdenu miały głównie na celu poprawę jego własności wytrzymałościowych np. poprzez zmianę morfologii węglików czy ułatwienie obróbki cieplnej osnowy. Dalsze działania w tym kierunku to zabiegi modyfikacji.

W prezentowanej pracy zajmowano się analizą struktury żeliwa chromowego z dodatkami niklu i molibdenu na przekroju modelowego odlewu. Modelowy odlew [4,5] skonstruowano tak aby symulował stygnięcie odlewu grubościennego. Wytopione żeliwo było poddane również zabiegowi modyfikacji za pomocą złożonej mieszaniny żelazostopów i metali ziem rzadkich oraz azotu.

## 2. Materiał i metodyka badań

Do badań wytypowano podeutektyczne żeliwo chromowe z dodatkami niklu i molibdenu, które zostało poddane złożonemu procesowi modyfikacji z użyciem azotu aktywowanego w łuku elektrycznym. W tabeli 1 podano skład modyfikatora oraz wyniki analizy składu chemicznego badanego żeliwa oznaczonego w pracy jako sS31a.

Tabela 1.

Skład modyfikatora i analiza składu chemicznego badanego żeliwa chromowego sS31a

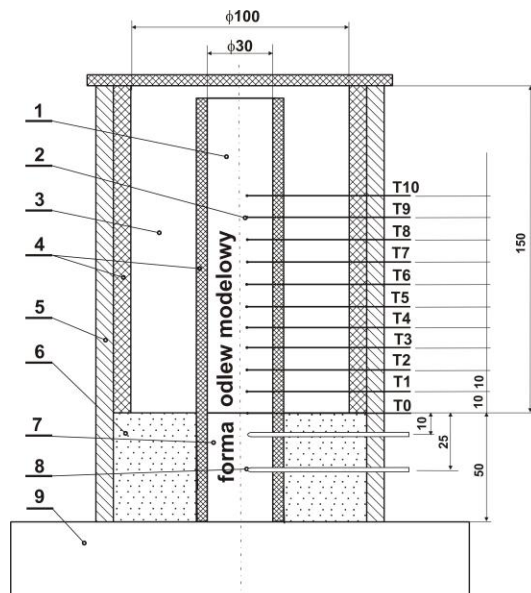
Skład modyfikatora:						
0,25%FeNb+0,15%FeV+0,2%MZR+N <sub>2</sub>						
Skład chemiczny żeliwa w % wag.						
C [%]	Cr [%]	Cr/C	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	Mo [%]
2,63	16,89	6,4	0,62	0,31	1,27	1,86
P [%]	S [%]	Nb [%]	V [%]	Ce [%]	La [%]	N [ppm]
0,05	0,016	0,22	0,13	0,009	0,004	657

Wytop wykonano w piecu indukcyjnym tyglowym o pojemności 20 kG i wyłożeniu obojętnym. Po roztopieniu wsadu i przegrzaniu metalu przeprowadzono w piecu kolejne zabiegi: odtlenianie, dodanie modyfikatora, przedmuchiwanie kąpieli aktywowanym azotem. Po podgrzaniu ciekłego metalu (1520 °C) dokonano spustu do dobrze wygrzanej kadzi i następnie zalano przygotowany zestaw form, w tym próbnik  $\phi 100$ , którego konstrukcję pokazano na rysunku 1. Próbnik ten wykorzystywany jest do badania procesu krystalizacji stopów odlewniczych, umożliwia rejestrację krzywych stygnięcia w analizowanym odlewie modelowym. Otrzymany w prezentowanej pracy odlew modelowy został wykorzystany do analizy parametrów stereologicznych węglików chromu na jego przekroju. Z odlewu modelowego wycięto próbki do przygotowania złądów metalograficznych. Kolejne cięcia wykonywano prostopadle do osi odlewu w połowie odległości między sąsiednimi termoelementami. W ten sposób otrzymano komplet próbek reprezentujących różne miejsca na przekroju odlewu modelowego oddalone od powierzchni styku forma-odlew modelowy.

Zgłądy przygotowano wg standardowej metody (szlifowanie, polerowanie) a następnie poddano je trawieniu wodą królewską w celu głębokiego wytrawienia osnowy badanego żeliwa.

Badania ilościowe wykonywano przy powiększeniach od 200x do 600x na dziesięciu polach (zdjęciach) dla każdego zgładu. Analizę ilościową struktury przeprowadzono na podstawie zdjęć wykonanych w połowie promienia próbki za pomocą programu NIS ELEMENTS BR 3.10. W skład programu (pakietu) wchodzi dwie aplikacje, pierwsza (NIS ELEMENTS F) do przechwytywania obrazu z kamery oraz druga (NIS ELEMENTS BR 3.10) do wykonywania obliczeń parametrów stereologicznych (zliczania wydzielań, współczynników kształtu, długości, powierzchni i objętości itp.). Zastosowany do analizy

program posiada szereg narzędzi do filtrowania obrazu, które pozwalają na jego obróbkę.



Rys. 1. Konstrukcja próbki  $\phi 100$  (moduł termiczny 2,6) i sposób rozmieszczenia termoelementów

- 1-odlew modelowy, 2-termoelement PtRh10-Pt, 3-izolator cieplny, 4-materiał izolacyjny SIBRAL 300, 5-obudowa stalowa, 6-materiał formierski (piasek kwarcowy), 7-forma modelowa, 8-termoelement NiCr-Ni, 9-podstawa  
T0 – termoelement PtRh10-Pt na granicy odlew modelowy-forma, T1 ÷ T10 – termoelementy PtRh10-Pt w odlewie modelowym

## 3. Parametry stereologiczne węglików na przekroju odlewu modelowego

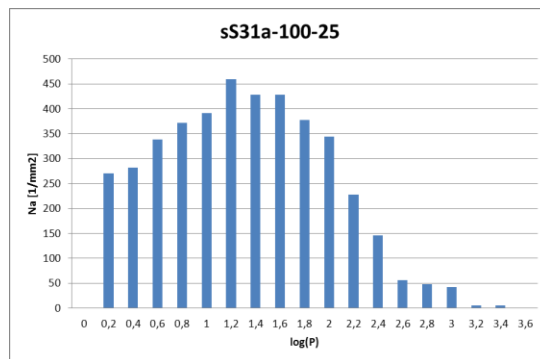
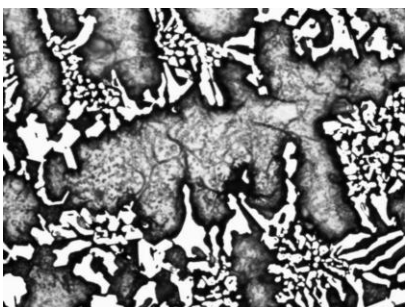
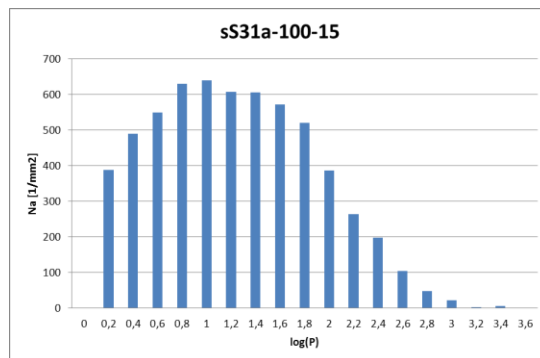
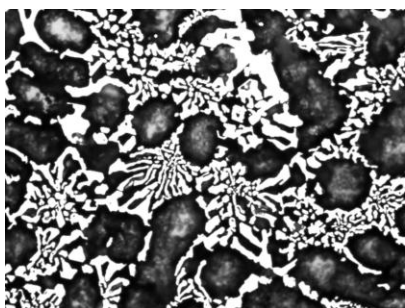
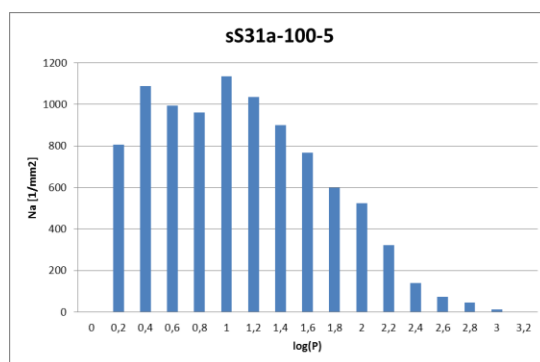
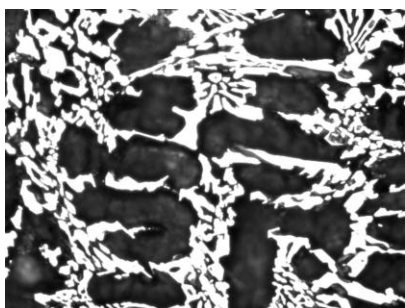
Średnie wartości pomierzonych parametrów stereologicznych węglików chromu dla badanego żeliwa chromowego podeutektycznego zestawiono w tabeli 2. Oznaczenie analizowanej próbki składa się z nazwy wytopu (sS31a) – średnicy odlewu ( $\phi 100$  mm) – odległości od powierzchni formy (5mm, 15mm, itd.).

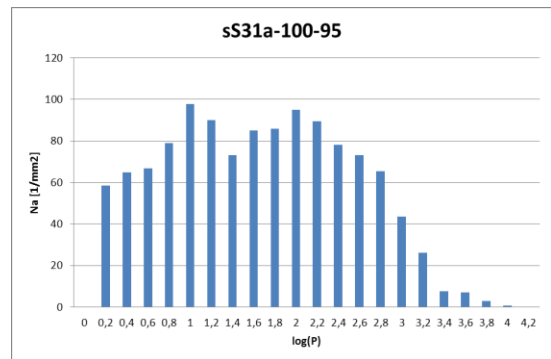
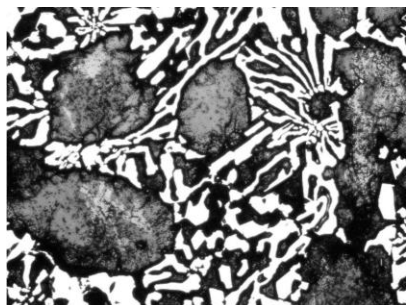
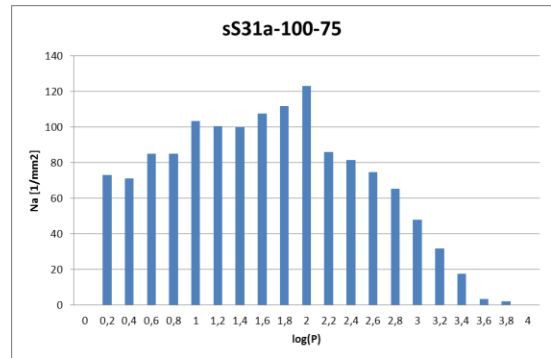
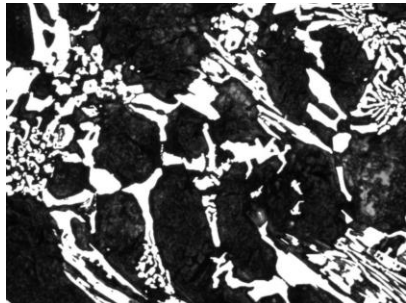
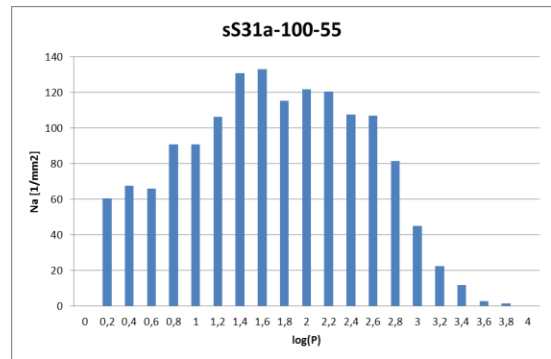
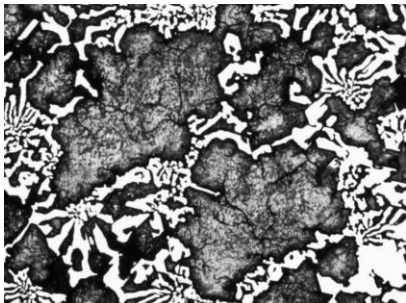
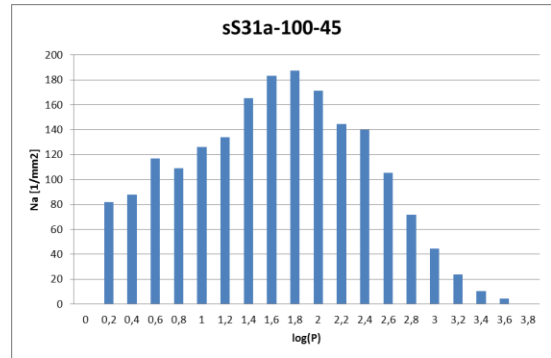
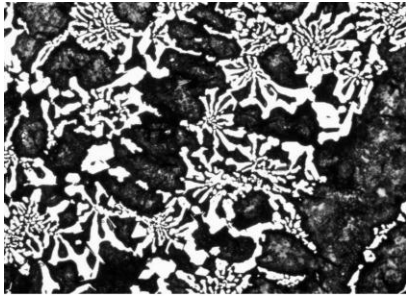
Na rysunku 2 pokazano histogramy rozkładu ilości węglików (Na) w klasach ich wielkości na przekroju analizowanego odlewu. Do histogramów dołączono również przykłady zdjęć analizowanych struktur. Analizując opracowane histogramy można stwierdzić, że w miarę oddalania się od powierzchni odlewu zmniejsza się sumaryczna ilość węglików oraz wzrasta udział węglików w wyższych klasach. Świadczy to wyraźnie o powiększaniu się węglików krystalizując coraz bliżej centrum cieplnego odlewu.

Tabela 2.

Zestawienie średnich wartości parametrów stereologicznych fazy węglkowej żeliwa chromowego dodatkami niklu i molibdenu modyfikowanego mieszaniną FeNb+FeV+MZR z przedmuchiwaniem aktywowanym azotem

Oznaczenie próbki	Powierzchnia P [ $\mu\text{m}^2$ ]	Obwód O [ $\mu\text{m}$ ]	Długość L [ $\mu\text{m}$ ]	Szerokość B [ $\mu\text{m}$ ]	Współczynnik kształtu B/L	Udział objętościowy węglików [%]
sS31a-100-5	20,80	26,55	12,23	1,11	0,091	27,12
sS31a-100-15	35,57	32,55	14,84	1,53	0,103	26,65
sS31a-100-25	41,08	30,40	13,64	1,67	0,122	23,28
sS31a-100-45	103,09	52,36	23,81	2,54	0,107	24,93
sS31a-100-55	137,07	60,75	27,53	3,00	0,109	23,85
sS31a-100-75	149,30	61,05	27,71	2,99	0,108	23,92
sS31a-100-95	158,74	63,41	28,82	3,03	0,105	21,88

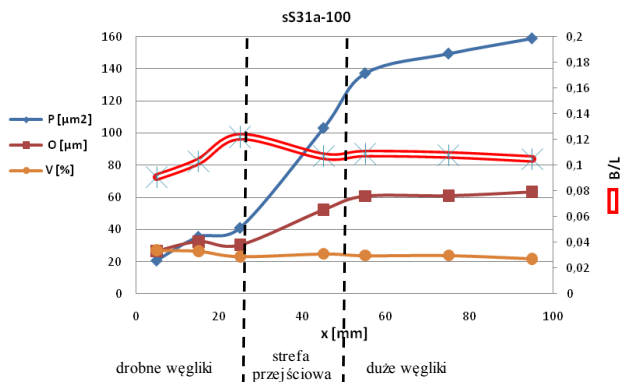




Rys. 2. Histogramy rozkładu ilości węglików Na w klasach ich wielkości P na przekroju odlewu modelowego (próbnik  $\phi 100$ ) w odległości 5, 15, 25, 45, 55, 75 i 95 mm od powierzchni formy modelowej – żeliwo chromowe z niklem i molibdenem modyfikowane mieszaniną FeNb+FeV+MZR i przedmuchiwane azotem

## 4. Podsumowanie

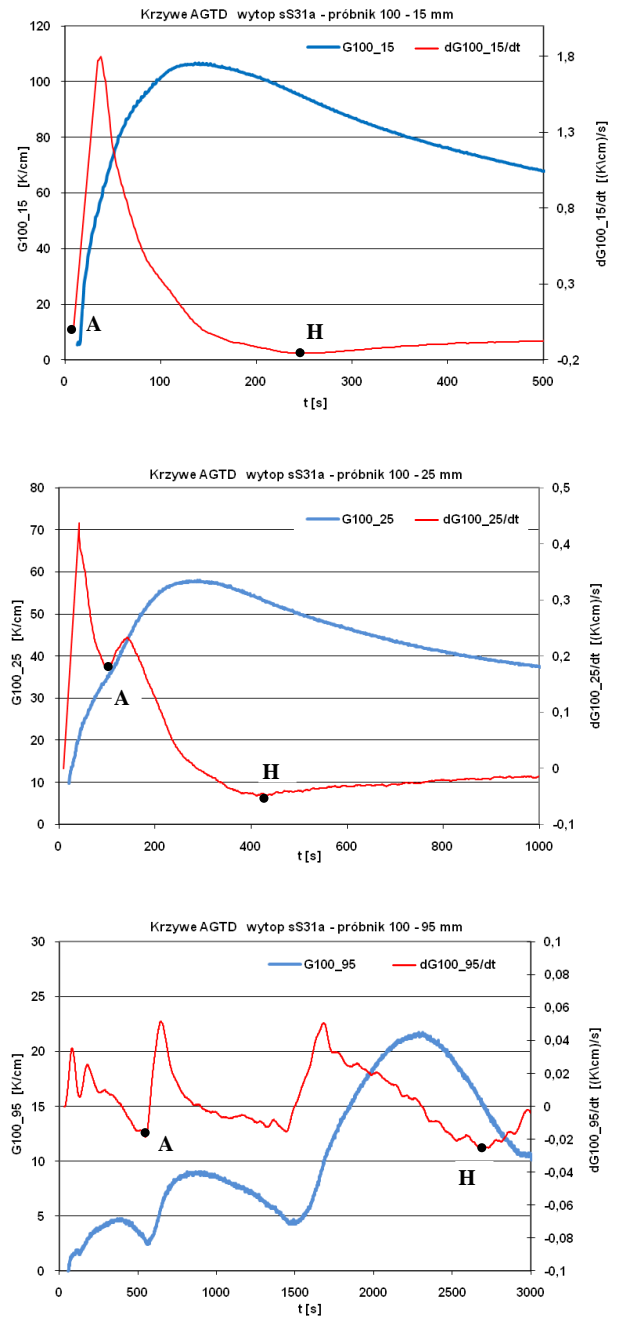
Po przeprowadzeniu badań ilościowych fazy węglkowej na przekroju grubościennego odlewu wykonanego z modyfikowanego żeliwa chromowego stwierdzono silny wpływ miejscowych warunków krystalizacji na parametry stereologiczne tych wydzieli. Na rysunku 3 przedstawiono jak zmieniają się wybrane średnie wartości parametrów stereologicznych węglików chromu na przekroju analizowanego odlewu. Można zauważyć, że istnieją jakieś krytyczne wartości parametrów krystalizacji pierwotnej po przekroczeniu których następuje wyraźna, wręcz skokowa zmiana wielkości węglików.



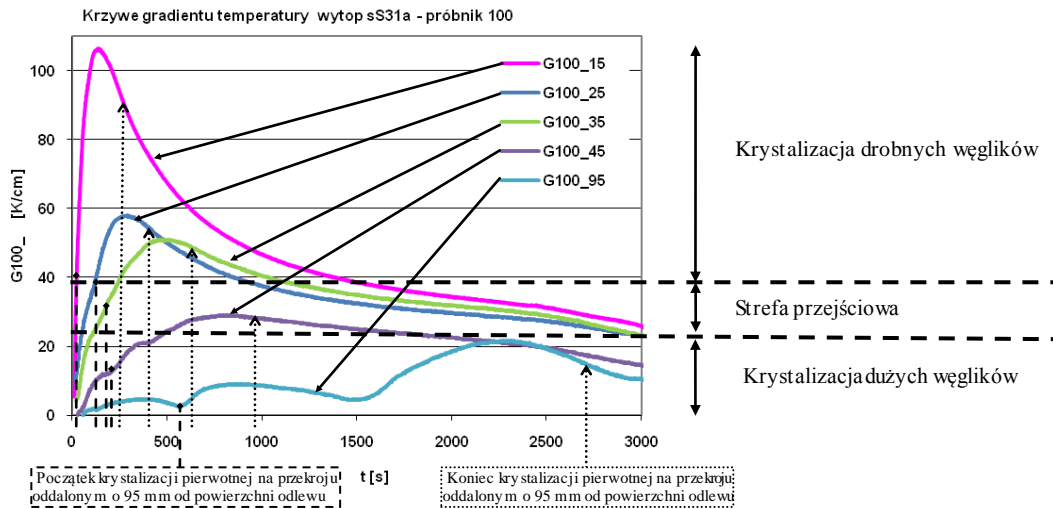
Rys. 3. Rozkład wybranych parametrów stereologicznych węglików na przekroju modelowego odlewu  $\phi 100$

W pracy przeanalizowano zmianę gradientu temperatury na przekroju odlewu modelowego. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wykresy AGTD (analiza gradientu temperatury i derywacyjna) na których można prześledzić zmianę gradientu temperatury w przedziale krzepnięcia badanego żeliwa na wybranych przekrojach modelowego odlewu. Punkt A zaznaczony na pochodnej krzywej gradientu temperatury oznacza początek krystalizacji pierwotnej a punkt H koniec procesu krystalizacji pierwotnej badanego żeliwa chromowego.

Na rysunku 5 zestawiono przebieg krzywych gradientu temperatury na kilku analizowanych przekrojach modelowego odlewu. Na tym rysunku zaznaczono zakresy zmienności gradientu temperatury, które gwarantują krystalizację węglików o danej wielkości. Drobne węgliki uzyskuje się, gdy gradient temperatury osiąga wysokie wartości (powyżej 40 K/cm) w całym zakresie krzepnięcia. Strefa przejściowa to obszar odlewu w którym następuje skokowa zmiana wielkości węglików. Dla analizowanego żeliwa strefa ta rozciąga się w zakresie zmiany gradientu temperatury od 20 do 40 K/cm. W strefie przejściowej wielkość węglików wzrasta wraz ze zmniejszaniem się udziału gradientu temperatury w krytycznym zakresie 20-40 K/cm przypadającego na przedział czasowy krystalizacji pierwotnej żeliwa.



Rys. 4. Wykresy gradientu temperatury i jego pochodnej (krzywe AGTD) badanego żeliwa chromowego na przekrojach odlewu modelowego oddalonych o 15; 25 i 95 mm od powierzchni formy



Rys. 5. Gradient temperatury na przekroju odlewu modelowego i jego wpływ na wielkość węglików chromu

## Podziękowania

Pracę wykonano dzięki finansowaniu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego projektu badawczego własnego N N507 370135.

## Literatura

[1] Fraś E: Krystalizacja metali. WNT, Warszawa 2003,

- [2] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: Odporne na ścieranie stopy żelaza. Część I Żeliwo. Wyd. ZG STOP, Kraków 1980.
- [3] Gierek A.: Zużycie ściernie metalowych elementów roboczych. Skrypt Pol.Śl., nr 1752, Gliwice 1993.
- [4] Studnicki A.: Eksperymentalne modelowanie stygnięcia odlewu w formie, Archiwum Odlewnictwa, PAN Katowice, 2004, vol 4, nr 14, str. 476-481,
- [5] Studnicki A., Przybył M., Kilariski J.: Analiza odlewania żeliwa chromowego w formie piaskowej – fizyczne modelowanie stygnięcia, Archiwum Odlewnictwa, PAN Katowice, 2004, vol 4, nr 14, str. 482-489.

# Stereological parameters of carbides on section of casting made from modified chromium cast iron

## Abstract

The analysis of stereological parameters of carbides on the section of the model casting made from modified (the mixture FeNb+FeV+RE) wear resistance chromium cast iron was introduced in the article. The jump change of some stereological parameters of carbides in certain distance from the surface of the casting was observed.