



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

Conference  
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

## Wpływ procesu stygnięcia odlewu na wybrane parametry żeliwa chromowego odpornego na ścieranie

A. Studnicki, M. Przybył, J. Kilariski

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

W artykule przedstawiono krótką analizę parametrów struktury oraz wybranych własności mechanicznych odlewu modelowego wykonanego z żeliwa chromowego odpornego na ścieranie. Zakres badań obejmował: ilościową ocenę fazy węglkowej, analizę twardości i mikrotwardości osnowy. Pomiary w/w parametrów wykonano na przekrojach modelowego odlewu specjalnie zaprojektowanego do badania materiałów odlewniczych przeznaczonych na odlewy grubościenne. W pracy analizie poddano żeliwo chromowe o zróżnicowanej zawartości węgla (1.8; 2.4 i 3.3%) oraz chromu (12; 18 i 24%).

### 1. WPROWADZENIE

Własności użytkowe odlewu zależą nie tylko od składu chemicznego, ale w dużej mierze od procesu stygnięcia odlewu, który w zasadniczy sposób kształtuje strukturę. Gabaryty odlewu i stosowana technologia odlewania wpływają na szybkość stygnięcia, czyli w konsekwencji na strukturę przyszłego wyrobu. W strukturze odlewu są zapisane wszystkie interesujące użytkownika własności.

Wśród żeliw chromowych znaczącą grupę stanowią stopy stosowane na elementy maszyn pracujące w środowiskach ściernych, np. w przemyśle wydobywczym i przerobczym różnych surowców mineralnych. Odlewy odporne na ścieranie (np. płyty bijakowe, młotki, listwy, wyłożenia zsyków, zęby koparek, korpusy pomp, wirniki itd.) są zwykle odlewami grubościennymi w których stygnięcie przebiega z różną szybkością na przekroju. Taki przebieg stygnięcia ma wpływ na rozkład różnych parametrów tj. twardość, mikrotwardość osnowy, wielkość węglików, wielkość ziaren, udarność, odporność na pękanie, wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie itd.

Pomimo różnych dyskusji w świecie nauki i praktyki na temat znaczenia parametrów materiałowych, które decydują o odporności tworzywa na ścieranie, twardość materiału nadal zajmuje ważne a często niepodważalne miejsce przy doborze tworzywa na różne elementy robocze, szczególnie w przypadku silnego zużycia ściernego (objętościowego). Z tego względu ważne jest aby odlew posiadał na przekroju roboczym jednorodne właściwości przeciwsierne. Tak więc twardość, która jest często znaczącym parametrem powinna być optymalnie wysoka i w miarę stała na roboczej głębokości odlewu.

W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej opracowano metodę badania procesu krystalizacji dla odlewów grubościennych. Metoda ta umożliwi analizę szeregu czynników

(szybkości stygnięcia, składu chemicznego, struktury, technologii odlewania) mających wpływ na własności użytkowe odlewów grubościennych wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych.

Analiza rozkładu różnych parametrów na przekroju modelowego odlewu może być bardzo przydatna do prognozowania struktury w odlewach przemysłowych.

## 2. CEL BADAŃ, MATERIAŁ I PRZEBIEG BADAŃ

Celem pracy było określenie wpływu kierunkowego procesu krystalizacji oraz stężenia węgla i chromu na rozkład wybranych parametrów stereologicznych węglików oraz rozkład twardości i mikrotwardości osnowy w żelwie chromowym.

Zaprezentowane badania przeprowadzono na dziewięciu wytopach żeliwa chromowego o składzie chemicznym podanym w tablicy 1. Wytopy zostały wykonane w indukcyjnym piecu tyglowym o wyłożeniu obojętnym w Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej (obecnie Zakładzie Odlewnictwa Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych).

Tabela 1

Skład chemiczny badanych żeliw chromowych

nr wytopu oznaczenie	C %	Cr %	nr wytopu oznaczenie	C %	Cr %	nr wytopu oznaczenie	C %	Cr %
4 C18Cr12	1.93	12.12	6 C18Cr18	1.86	18.94	7 C18Cr24	1.82	23.38
5 C24Cr12	2.50	12.69	1 C24Cr18	2.43	17.27	2 C24Cr24	2.44	21.43
8 C33Cr12	3.55	13.28	3 C33Cr18	3.56	17.23	9 C33Cr24	3.15	25.11

Odlew modelowy  $\phi 30$  mm poddany badaniom uzyskano w specjalnym próbniku z izolacją cieplną. Zadaniem izolacji cieplnej próbniaka jest zmniejszenie szybkości stygnięcia całego odlewu. Na rys.1 przedstawiono konstrukcję próbniaka z izolacją cieplną. Czas stygnięcia próbniaka do temperatury  $500^{\circ}\text{C}$  wynosi około 3 godzin.

W czasie odlewania rejestrowano krzywe stygnięcia w pięciu punktach odlewu modelowego. Krzywe stygnięcia umożliwią w przyszłości głębszą analizę parametrów krystalizacji w funkcji szybkości stygnięcia i ich wpływ na własności użytkowe żeliwa chromowego.

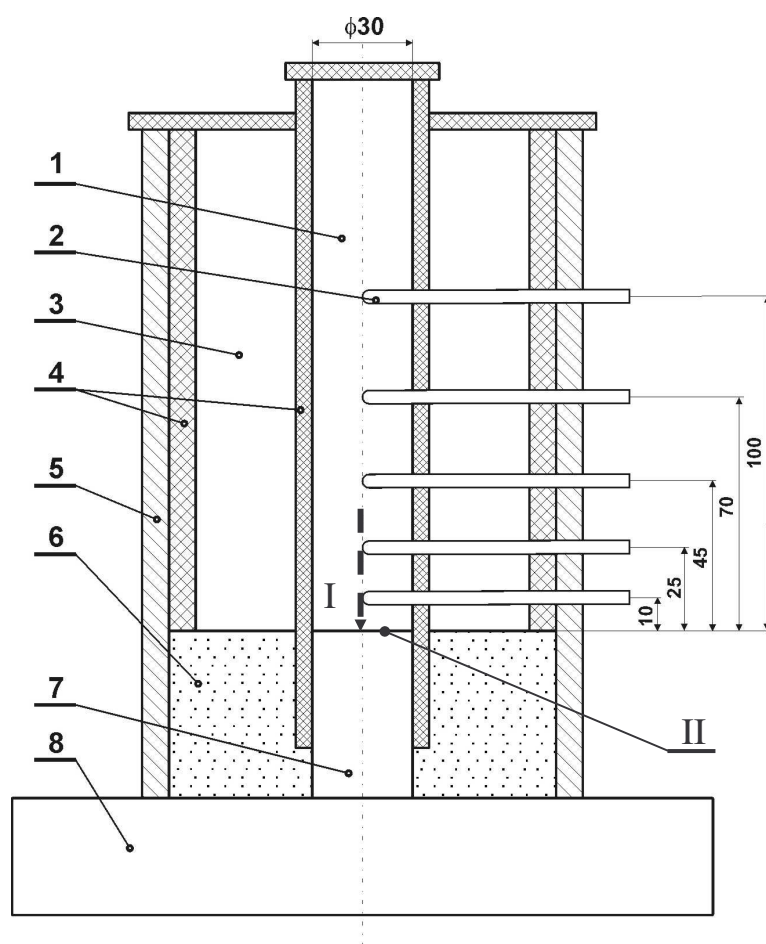
W dalszej części pracy odlew modelowy  $\phi 30$  został wykorzystany do przygotowania próbek do badań rozkładu twardości i mikrotwardości osnowy oraz rozkładu parametrów stereologicznych węglików w funkcji odległości od czoła odlewu modelowego oraz w od orientacji analizowanego przekroju względem kierunku odprowadzania ciepła z odlewu. Na rys.2 i rys.3 przedstawiono sposób pozyskiwania próbek z odlewu modelowego.

## 3. ROZKŁAD TWAROŚCI I MIKROTWARDOŚCI OSNOWY NA PRZEKROJU MODELOWEGO ODLEWU

Próbki do badań przygotowano z odlewu modelowego uzyskanego w próbniku z izolacją cieplną. Jest to odlew walcowy o średnicy  $\phi 30$  mm. Dzięki wykorzystaniu tego odlewu,

proces przygotowania próbek do pomiarów twardości i zglądów do pomiarów mikrotwardości jest prosty i nie powoduje uszkodzenia struktury w trakcie cięcia. Przecinanie odlewu modelowego o średnicy  $\phi 30$  mm przeprowadzono na standardowej laboratoryjnej przecinarnie ścierniej firmy Struers przy intensywnym chłodzeniu. Odlew modelowy przecięto w miejscach z których zdjęto krzywe stygnięcia w czasie przeprowadzenia eksperymentu odlewania. Na rys.2 pokazano sposób pobierania próbek do badania twardości i mikrotwardości osnowy.

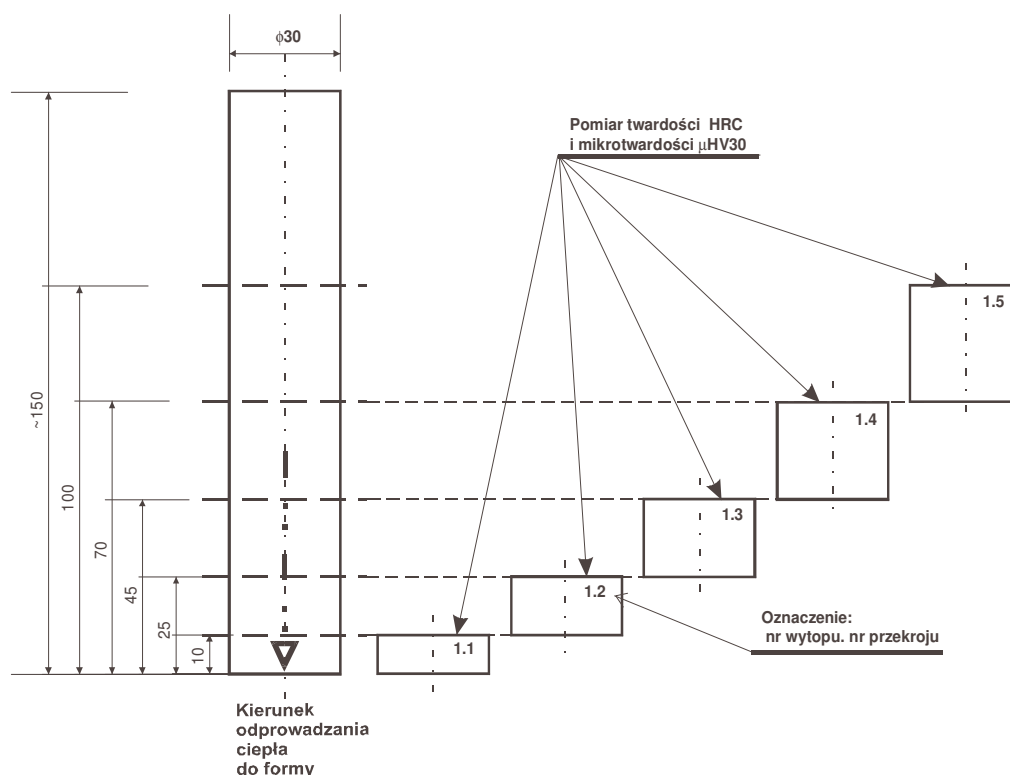
Komplet próbek z każdego wytopu składający się z 5 sztuk został poddany dalszym badaniom. Badania twardości wykonano metodą Rockwella zgodnie z normą. Zglądy do pomiaru mikrotwardości osnowy przygotowano standardową metodą i następnie słabo trawiono odczynnikami Mi19Fe. Pomiar mikrotwardości wykonano przy obciążeniu 30 G na mikrotwardościomierzu Hannemana. W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiaru twardości i mikrotwardości osnowy próbek. Wykonano również badania jakościowe struktury, oględzinom na mikroskopie optycznym poddano wytrawione zglądy. Szczególnie uwagę skupiono na osnowie, na jej jednorodności.



Rys.1 Konstrukcja próbki z izolacją cieplną

1 – odlew modelowy  $\phi 30$ , 2 – osłona kwarcowa, 3 – izolator cieplny, 4 – materiał izolacyjny  
5 – rura stalowa, 6 – materiał formierski, 7 – ochładzalnik, 8 – stalowa podstawa.

I – kierunek odprowadzenia ciepła z odlewu modelowego do formy, II – czoło próbki modelowej (zerowy poziom pomiarowy)



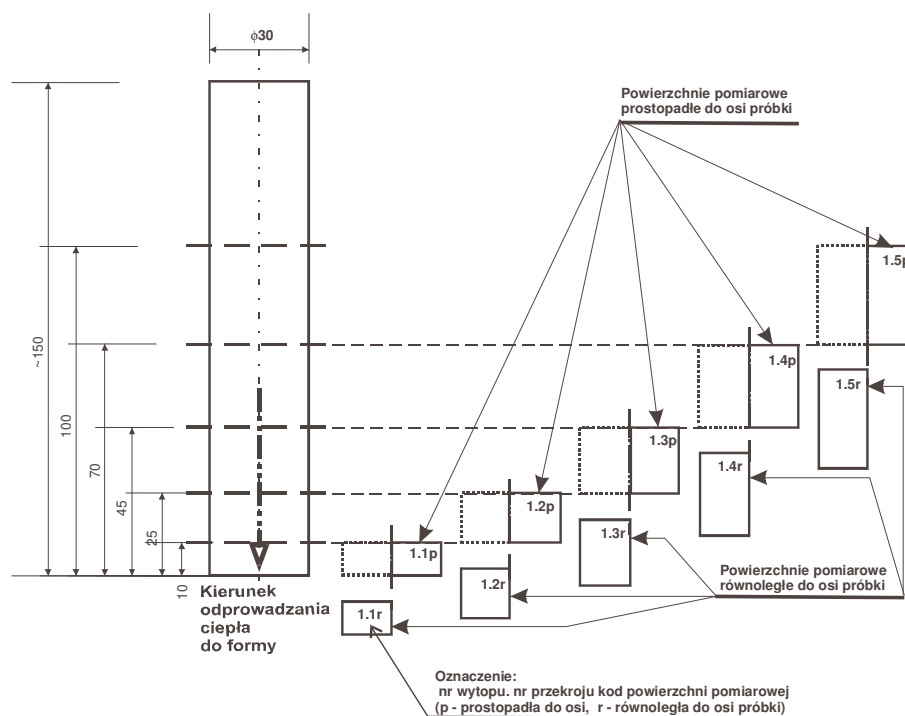
Rys.2 Sposób pobierania próbek z odlewu modelowego do pomiaru twardości i mikrotwardości

Tabela 1  
Zestawienie wyników badań

nr wyt. oznacz.	L [mm]	HRC	HV30	nr wyt. oznacz.	HRC	HV30	nr wyt. oznacz.	HRC	HV30		
4 C18Cr12	10	44.3	490	6 C18Cr24	44.0	602	7 C18Cr33	49.6	628		
	25	46.0	542		43.6	419		49.0	531		
	45	45.3	547		40.3	427		46.0	555		
	70	42.0	590		38.0	384		41.6	484		
	100	37.6	582		36.6	363		40.6	461		
5 C24Cr12	10	45.6	596	1 C24Cr24	43.6	588	2 C24Cr33	42.1	521		
	25	47.3	584		44.0	539		43.0	530		
	45	45.6	575		42.0	523		42.8	528		
	70	42.0	563		44.0	453		42.3	504		
8 C33Cr12	100	46.6	532	41.0	459	42.0	510				
	10	46.6	582		3 C33Cr24		48.0	682	9 C33Cr33	40.3	518
	25	45.0	583				48.5	657		42.6	523
	45	46.3	568				48.0	614		42.0	520
	70	46.6	570				47.0	594		39.5	503
100	46.5	561	47.0	572		39.4	501				

#### 4. OPIS FAZY WĘGLIKOWEJ NA PRZEKROJU MODELOWEGO ODLEWU

Próbki do badań struktury zostały wycięte z modelowego odlewu o kierunkowym przepływie ciepła. Analizę struktury prowadzono w dwóch płaszczyznach, tj. prostopadłej i wzdłużnej (równoległej) do osi odlewu w funkcji odległości od czoła próbki (rys.3).



Rys.3 Sposób pobierania próbek z odlewu modelowego do badań metalograficznych

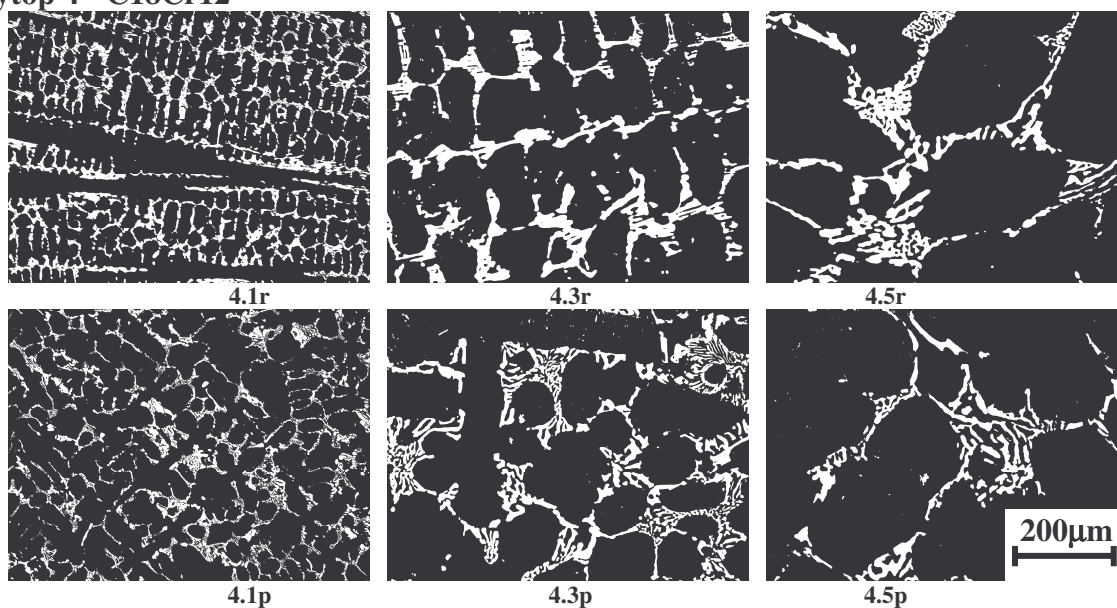
Badania metalograficzne wykonano na mikroskopie świetlnym NIKON współpracującym z komputerowym analizatorem obrazu MAGISCAN-2AR. Pomiary realizowano z użyciem obiektywów o powiększeniu 20 i 40 razy, co odpowiadało polu pomiarowemu odpowiednio 25516 i 58413  $\mu\text{m}^2$ . Analizie ilościowej poddano wydzielania węglików występujące na 8 polach pomiarowych, rejestrując: powierzchnię dekodowaną – BD, obwód – BP, długość – BL, szerokość – BB oraz udział objętościowy fazy węglikowej – Vv.

Na rys.4 przedstawiono struktury dwóch wytopów z wybranych obszarów modelowego odlewu, tj. blisko czoła (10 mm – przekrój 1), w części środkowej (45 mm – przekrój 3) oraz w pobliżu centrum cieplnego (100 mm – przekrój 5), przekroje oznaczone zgodnie z rys.3.

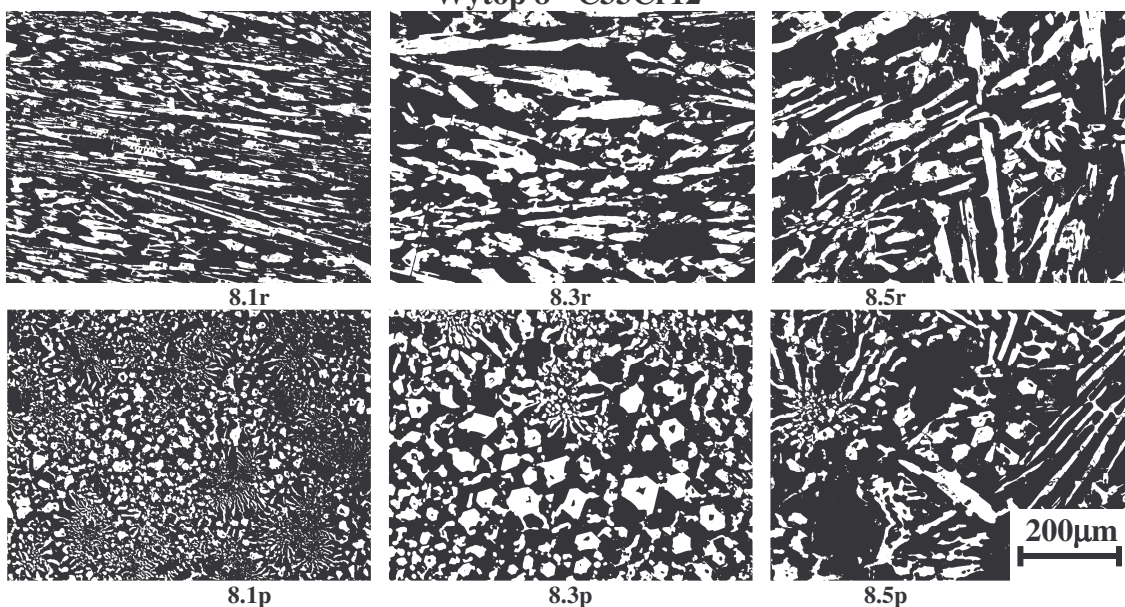
Intensywniejsze zmiany parametrów stereologicznych węglików zaobserwowano w płaszczyźnie wzdłużnej próbki, czyli w kierunku przepływu ciepła. W okolicy centrum cieplnego odlewu, szczególnie w wytopach wysokowęglowych zauważa się jeszcze wydłużone węgliki, lecz zorientowane w różnych kierunkach. Subtelniejszych informacji dostarczają histogramy rozkładu parametrów stereologicznych wszystkich analizowanych węglików. I tak na rys.5 i 6 przedstawiono odpowiednio ilość węglików – Na [ $1/\text{mm}^2$ ] na poszczególnych przekrojach wzdłużnych (równoległych) i poprzecznych (prostopadłych) modelowego odlewu żeliwa chromowego wysokowęglowego w klasach ich powierzchni. Podziału na klasy dokonano w 15 przedziałach w skali logarytmicznej w oparciu o najmniejszą i największą analizowaną powierzchnię węglika dla poszczególnego wytopu. Natomiast na rys.7 i 8 przedstawiono

odpowiednio rozkład ilości węglików – Na oraz udziału objętościowego względnego –  $V_v$  tylko na jednej wybranej płaszczyźnie (szybkości stygnięcia) próbki, lecz z trzech badanych wytopów. Stwierdza się znacznie zróżnicowany przebieg histogramów w zależności od zawartości węgla w wytopie. Maksymalna ilość węglików – Na występuje w niskowęglowym żelazie (w klasach o małej powierzchni węglików) i maleje ona w miarę wzrostu zawartości węgla z jednoczesnym przesunięciem maksimum w kierunku większych powierzchni węglików.

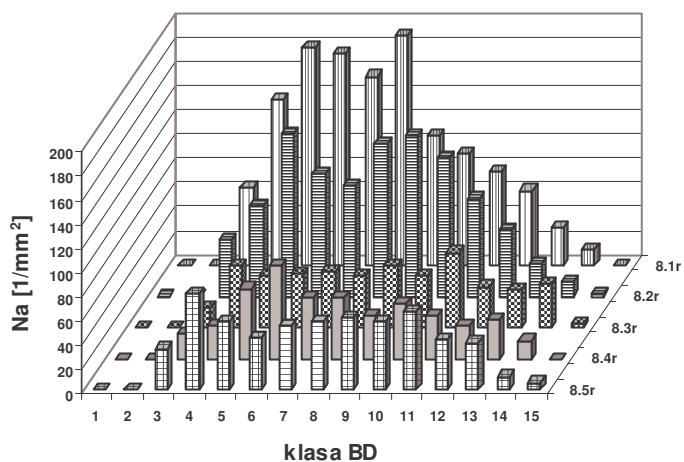
#### Wytop 4 - C18Cr12



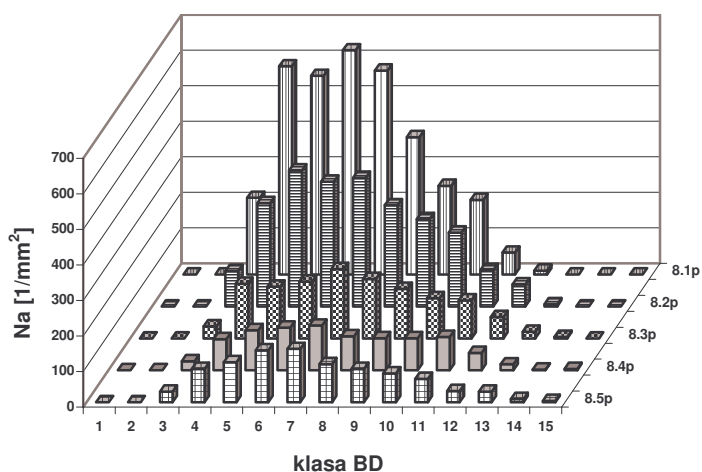
#### Wytop 8 - C33Cr12



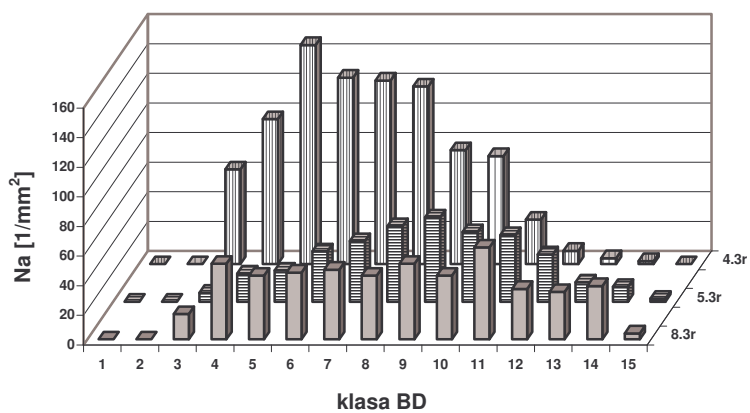
Rys.4 Struktura żelaza chromowego w funkcji odległości od czoła próbki – wytop 4 i 8



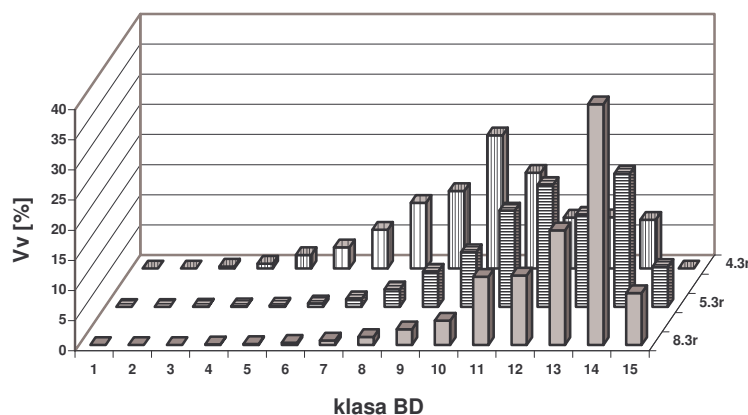
Rys.5 Rozkład ilości węglików w klasach wielkości na przekrojach wzdłużnych odlewu próbki wytop 8 - C33Cr12



Rys.6 Rozkład ilości węglików w klasach wielkości na przekrojach poprzecznych odlewu próbki wytop 8 - C33Cr12



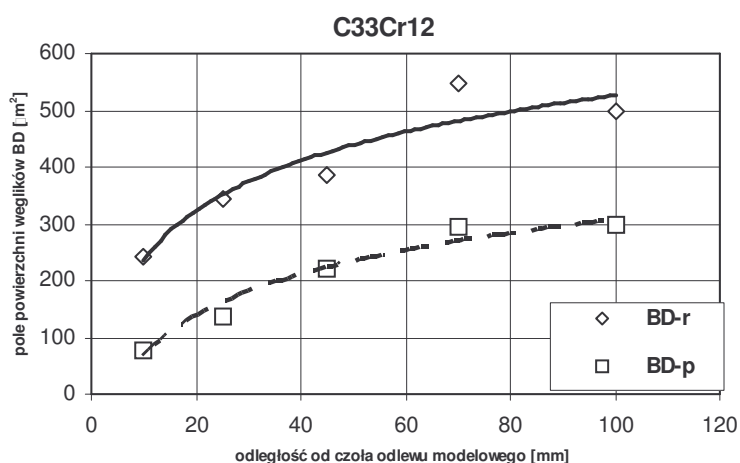
Rys.7 Rozkład ilości węglików w klasach wielkości na przekrojach wzdłużnych odlewu próbki wytopy 4, 5 i 8



Rys.8 Rozkład udziału objętościowego węglików w klasach wielkości na przekrojach wzdłużnych odlewu próbki - wytopy 4, 5 i 8

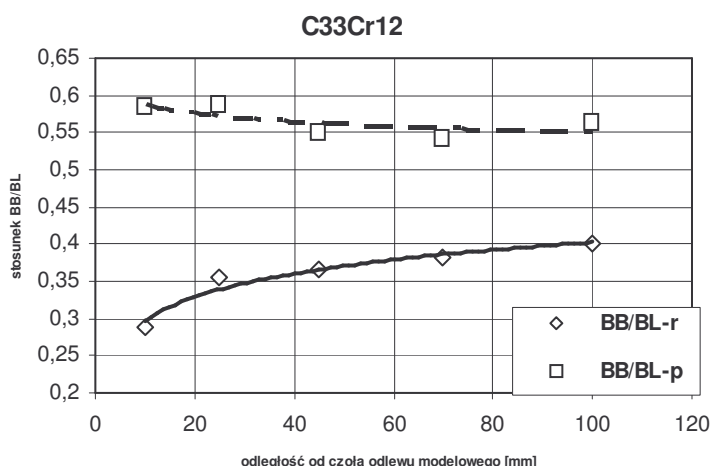
## 5. PODSUMOWANIE I ZALECENIA KOŃCOWE

Stwierdzono bardzo silny wpływ szybkości chłodzenia na wielkość i kształt wydzielań węglików. Ilościowym potwierdzeniem tej tezy jest analiza średniej wartości powierzchni węglików – BD (rys.9) oraz „współczynnika kształtu” ujmującego stosunek szerokości do długości węglika – BB/BL (rys.10) w funkcji odległości od czoła próbki dla żeliwa chromowego wysokowęglowego (wytop 8). Analiza wartości „współczynnika kształtu” na obu przekrojach modelowego odlewu potwierdza występowanie istotnych różnic kształtu węglików w płaszczyźnie wzdłużnej, czyli w kierunku odprowadzania ciepła (od mocno wydłużonych –przy czole próbki do zbliżonych do ziarnistych –w okolicy centrum cieplnego).



Rys.9 Zmiana średniej wielkości węglików na przekroju odlewu próbki –wytop 8

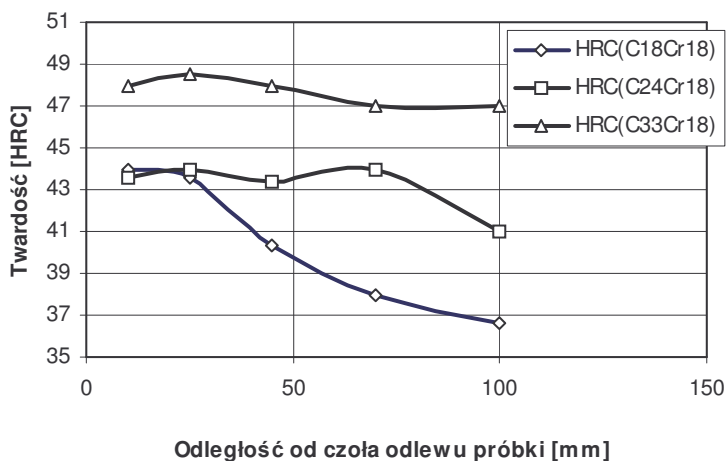




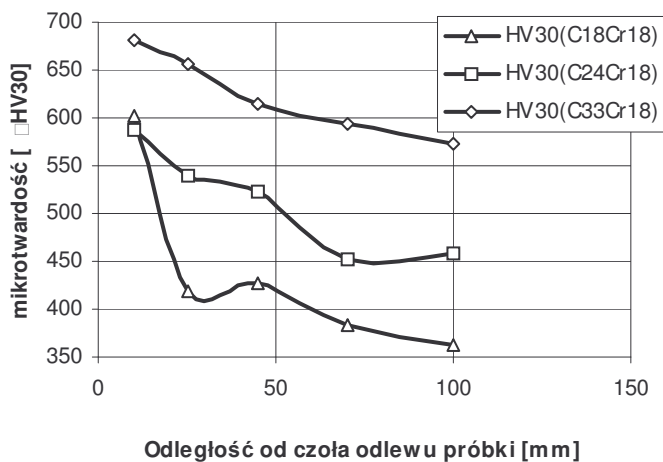
Rys.10 Zmiana „współczynnika kształtu” (BB/BL) węglików na przekroju odlewu próbki – wytop8

Zmieniająca się struktura na przekroju wzdłużnym odlewu modelowego wymusza zmiany twardości stopu. Stąd na rys.11 i 12 pokazano jak w żelwie chromowym o średniej zawartości chromu 18%, węgiel oraz szybkość stygnięcia wpływa na

twardość i mikrotwardość osnowy. W żeliwach chromowych niskowęglowych zauważa się silny wpływ szybkości chłodzenia na te parametry. Stosowanie więc takiego żeliwa na odlewy grubościennie nie jest wskazane z uwagi na konieczność zapewnienia wysokiej twardości na całym przekroju odlewu użytkowego.



Rys.11 Rozkład twardości na przekroju modelowego odlewu



Rys.4 Rozkład mikrotwardości osnowy na przekroju modelowego odlewu

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące zalecenia końcowe:

- odlew modelowy otrzymany w próbniku z izolacją cieplną umożliwia analizę procesu stygnięcia materiałów odlewniczych przeznaczonych na odlewy grubościenne,
- niewielki przekrój poprzeczny odlewu modelowego ( $\phi 30$  mm), szczególnie w odniesieniu do materiałów twardych o dużej odporności na ścieranie ułatwia wykonanie zgładów metalograficznych (odpada uciążliwe cięcie grubościennych odlewów).

## 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).