

JÓZEF GAWROŃSKI
MARIUSZ ŁĄBECKI
JERZY SOKOŁOWSKI

WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO I GRUBOŚCI ŚCIANKI NA WŁASNOŚCI ODLEWÓW WYKONANYCH W KOKILACH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu składu chemicznego na własności mechaniczne i strukturę odlewów kokilowych żeliwnych przed i po obróbce cieplnej.

Skład chemiczny badanych żeliw regulowano przez zmianę węgla w granicach 3,0 - 3,6 %, krzemu 1,6 - 2,8 %, oraz manganu 0,4 - 0,8 %. Badania przeprowadzono na odlewach o grubościach ścianek 6 - 60 mm o przekroju kołowym i prostokątnym, dla których proporcjonalnie do wymiarów zmieniano grubość ścianki kokili.

1. Wstęp

Szeroko rozwijająca się technologia odlewania kokilowego żeliwa szarego wymaga określenia ścisłych zależności pomiędzy składem chemicznym odlewów a ich grubością ścianek.

Powszechne wzorowanie się na normie radzieckiej GOST-1412-54 ustalającej skład chemiczny i własności odlewów kokilowych, utrudnia dobór składu chemicznego, gdyż norma opracowana dla szerokiego przedziału grubości ścianek /8-50 mm oraz 50-100 mm/ [1].

Wykresy strukturalne wiążące skład chemiczny /najczęściej C + Si oraz Mn/ z szybkością krzepnięcia, bądź sprowadzoną grubością ścianki od-

lewów, mają ograniczone zastosowanie chociażby ze względu na przybliżone wyniki oraz wpływ całego szeregu dodatkowych czynników / temperatura przegrzania metalu, rodzaj modyfikatora, temperatura kokili i in./które w istotny sposób zmieniają własności i strukturę odlewów kokilowych [2, 3, 4].

Zmieniając skład chemiczny i grubość ścianki odlewu w bardzo nieznacznych granicach można uzyskać różne struktury żeliwa kokilowego od żeliwa kokilowego białego do całkowicie szarego, łącznie z najkorzystniejszą strukturą perlityczną i najkorzystniejszą postacią i rozłożeniem grafitu.

W przedstawionej pracy przeanalizowano wpływ składu chemicznego i grubości ścianki odlewu na możliwości uzyskania w odlewach struktury, zapewniającej wysokie własności mechaniczne.

2. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań jest ustalenie wpływu węgla, krzemu i manganu na własności wytrzymałościowe i twardość odlewów wykonywanych w kokilach.

Wpływ wymienionych pierwiastków na własności mechaniczne odlewów określa się dla różnych grubości ścianek wyrażonych zmienną średnicą dla odlewów o przekroju kołowym i zmiennymi wymiarami boków/ dla odlewów o przekroju prostokątnym/.

Założony zmienny skład chemiczny zestawiono w tablicy 1. Na rys. 1 podano wymiary żeliwnych kokil walcowych i prostopadkościennych, służących do wykonywania odlewów.

W każdym typie kokil /typ A-walcowe, typ B- prostopadkościenne/ wykonano po 6 kokil pozwalających zmieniać grubość ścianki odlewu. Kokile pokrywano pokryciem ochronnym na bazie talku i szkła wodnego o grubości 0,3 - 0,5 mm.

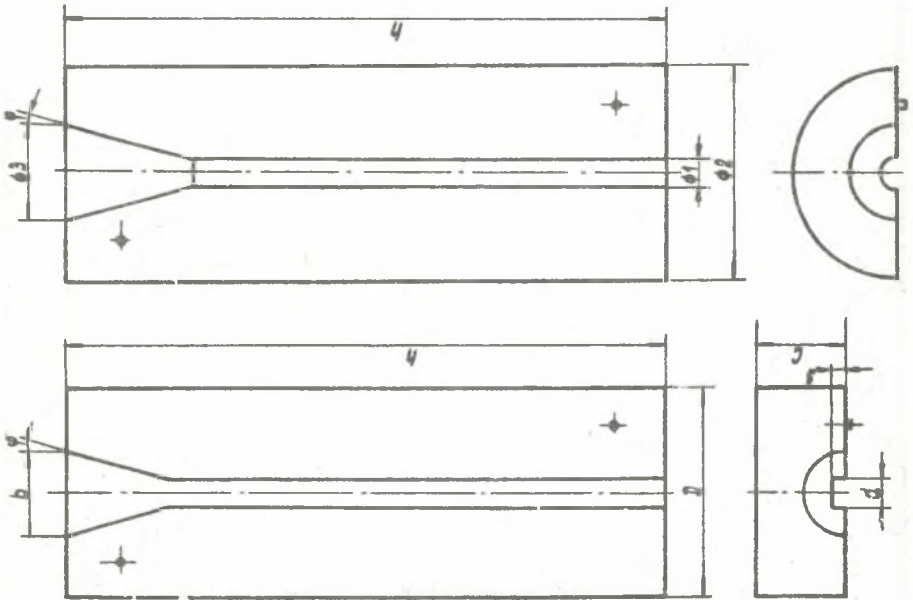
Szybkość krzepnięcia i stygnięcia odlewów o przekroju kołowym i prostokątnym obliczono tak, aby były one porównywalne między sobą.

W wyniku obliczeń założono jednakowe czasy krzepnięcia [6]

$$\tau_{30} - \tau_{20},$$

co dało podstawę do ustalenia grubości ścianki kokil.

Wpływ składu chemicznego na własności odlewów przedstawiono w oparciu o stopień nasycenia Sc i równoważnik węgla. zapisanych w postaci:



n° kokili mymiany	1						2						3						4						5						6										
	ϕ_2	62	113	152	209	275	350	85	113	152	209	275	350	113	152	209	275	350	152	209	275	350	400	476	152	209	275	350	400	476	152	209	275	350	400	476	152	209	275	350	400
ϕ_1	6	10	25	40	63	100	10	16	25	40	63	100	16	25	40	63	100	25	40	63	100	150	200	25	40	63	100	150	200	25	40	63	100	150	200	25	40	63	100	150	200
h	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
ϕ_3	29	35	44	56	67	76	35	44	56	67	76	85	44	56	67	76	85	56	67	76	85	97	124	56	67	76	85	97	124	56	67	76	85	97	124						
ϕ	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°						
D	62	85	112	152	208	287	85	112	152	208	287	112	152	208	287	350	152	208	287	350	400	476	152	208	287	350	400	476	152	208	287	350	400	476							
C	29	39	54	67	97	124	39	54	67	97	124	54	67	97	124	150	67	97	124	150	200	250	67	97	124	150	200	250	67	97	124	150	200	250							
h	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
b	29	35	44	56	67	76	35	44	56	67	76	85	44	56	67	76	85	56	67	76	85	97	124	56	67	76	85	97	124	56	67	76	85	97	124						
d	6	10	25	40	63	100	10	16	25	40	63	100	16	25	40	63	100	25	40	63	100	150	200	25	40	63	100	150	200	25	40	63	100	150	200						
s	3	5	6	8	10	13	5	6	8	10	13	16	6	8	10	13	16	8	10	13	16	20	25	8	10	13	16	20	25	8	10	13	16	20	25						

Rys.1. Kokile do badań

$$S_o = \frac{C_g}{4,26 - 0,31 Si - 0,33P - 0,40S + 0,027 Mn}$$

$$C_E = C_u + 0,31 Si + 0,33P - 0,027Mn + 0,4S$$

3. Topienie metalu, zalewanie form i obróbka cieplna odlewów

Wytopy żeliwa do badań wykonano w 50 kg piecu indukcyjnym o wyłożeniu zasadowym.

W badaniach uwzględniono wyniki z 25 wytopów o składzie chemicznym podanym w tabelicy 1.

Tablica 1

Założone składy chemiczne odlewów

Nr wytopu	Udział pierwiastka chemicznego w %				
	C	Si	Mn	P	S
1	3,0	1,6	0,8	0,2	0,1
2	3,2	1,6	0,8	0,2	0,1
3	3,4	1,6	0,8	0,2	0,1
4	3,6	1,6	0,8	0,2	0,1
5	3,0	2,8	0,8	0,2	0,1
6	3,2	2,8	0,8	0,2	0,1
7	3,4	2,8	0,8	0,2	0,1
8	3,6	2,8	0,8	0,2	0,1
9	3,0	2,8	0,4	0,2	0,1
10	3,2	2,8	0,4	0,2	0,1
11	3,4	2,8	0,4	0,2	0,1
12	3,6	2,8	0,4	0,2	0,1
13	3,0	2,0	0,4	0,2	0,1
14	3,2	2,0	0,4	0,2	0,1
15	3,4	2,0	0,4	0,2	0,1
16	3,6	2,0	0,4	0,2	0,1
17	3,2	2,0	0,4	0,2	0,1
18	3,0	2,4	0,4	0,2	0,1
19	3,2	2,4	0,4	0,2	0,1
20	3,4	2,4	0,4	0,2	0,1
21	3,6	2,4	0,4	0,2	0,1
22	3,0	2,4	0,8	0,2	0,1
23	3,2	2,4	0,8	0,2	0,1
24	3,4	2,4	0,8	0,2	0,1
25	3,6	2,4	0,8	0,2	0,1

Wsad metalowy przygotowany w kształcie wałków odlanych z żeliwiaka w dwu wersjach składów chemicznych - żeliwo A i żeliwo B. /tablica 2 / .

Tablica 2

Skład chemiczny żeliwa wyjściowego, %									
Żeliwo A					Żeliwo B				
C	Si	Mn	P	S	C	Si	Mn	P	S
3,25	1,41	0,86	0,2	0,1	3,0	1,4	0,36	0,2	0,1

Namiar do pieca indukcyjnego obliczano stosując w zależności od potrzeb żeliwo A lub B, a brakującą ilość pierwiastków uzupełniano w trakcie wytapiania.

Topnik dodawano w postaci kamienia wapiennego na dno pieca przed rozpoczęciem topienia.

Modyfikator w składzie:

Fe - Si - 40%, Ca - Si - 20%, Fe - Mn - 30%

złom elektrodowy - 10%

w ilości 0,5% ciężaru ciekłego żeliwa wprowadzono na dno kadzi, przed spuszczeniem ciekłego metalu.

Temperatura kokil wahała się w zakresie 300 - 400°C zaś temperatura zalewania ciekłego metalu wahała się w granicach 1360 - 1410°C.

Temperaturę kokili mierzono termoparą przyłgową i zestawem kredek "Termochrom" do zgrubnego określania temperatury.

Temperaturę zalewania mierzono termoparą PtRh10 -Pt.

Rzeczywisty skład chemiczny wykonanych odlewów podano w tablicy 3.

W każdym zestawie kokil wykonywane po 3 odlewy, które stanowiły podstawę dalszych badań i przyjmowania średnich wyników.

Tablica 3

Nr wytopu	Ilość pierwiastka chemicznego w %						
	C	Si	Mn	P	S	Sc	C _E
	2	3	4	5	6	7	8
1	3,08	1,83	0,88	0,20	0,056	0,848	3,7116
2	3,20	1,61	0,96	0,20	0,089	0,868	3,7747
3	3,38	1,60	1,08	0,19	0,092	0,917	3,9464
4	3,62	1,68	1,02	0,20	0,067	0,986	4,2070
5	2,91	2,86	0,87	0,24	0,056	0,886	3,8752
6	3,20	2,80	1,01	0,24	0,071	0,968	4,1484
7	3,25	2,83	1,02	0,31	0,060	0,989	3,4258
8	3,50	3,10	1,14	0,25	0,032	1,081	4,5246
9	2,77	2,73	0,46	0,234	0,070	0,634	4,7088
10	3,00	2,35	0,46	0,140	0,085	0,867	3,7958
11	2,99	2,27	0,71	0,118	0,074	0,853	3,7422
12	3,60	2,39	0,67	0,146	0,042	1,037	4,3869
13	2,58	1,60	0,55	0,164	0,083	0,700	3,1484
14	3,01	1,81	0,56	0,181	0,074	0,853	3,6432
15	3,17	1,56	1,11	0,185	0,065	0,729	3,7110
16	3,46	1,73	0,68	1,161	0,071	0,943	4,0592
17	3,06	1,51	0,53	0,153	0,080	0,824	3,5962
18	2,93	2,15	0,42	0,167	0,086	0,832	3,6741
19	3,11	1,72	0,52	0,163	0,076	0,850	3,7252
20	3,38	2,24	0,59	0,155	0,055	0,962	4,1313
21	3,25	2,37	0,63	0,176	0,066	0,033	4,0525
22	2,75	2,22	0,89	0,157	0,102	0,786	3,5066
23	3,11	1,94	1,01	0,130	0,072	0,861	3,7576
24	3,32	2,46	0,94	0,123	0,061	0,960	4,1426
25	3,38	2,46	0,99	0,205	0,072	0,985	4,1483

Próbki do badań z wykonanych odlewów pobierano zgodnie ze schematem pokazanym na rys.2



Rys.2. Schemat pobierania próbek z odlewów kokilowych:
 1 - próbka wytrzymałościowa; 2 - próbka do pomiaru twardości po obróbce cieplnej i na zgląd;
 3 - próbka na zgląd i HB przed obróbką cieplną;
 4 - zapasowa próbka wytrzymałościowa; 5-układ wlewowy

Ze względu na dużą różnorodność próbek, dokonano wstępnego podziału odlewów na trzy grupy biorąc pod uwagę przełom odlewów: białe, zabielenie i szare.

Ze względu na znaczną rozpiętość grubości odlewów zastosowano dla wszystkich odlewów wyżarzanie grafityzujące-normalizujące o zróżnicowanych czasach wygrzewania od 30-60 minut przy temperaturze 960°C.

Wybór zróżnicowanego czasu wyżarzania podyktowany był chęcią uzyskania osnowy perlitycznej we wszystkich odlewach, niezależnie od grubości ścianki i od struktury wyjściowej /przełom: biały, zabieleny, szary/.

4. Wyniki badań

Poniższe zestawienie wyników jest zestawieniem skróconym, zawierającym jedynie najważniejszą dokumentację wykonanych badań, które stanowią charakterystykę wpływu poszczególnych czynników na własności odlewów kokilowych.

4.1. Własności mechaniczne i technologiczne

Wpływ składu chemicznego na własności mechaniczne odlewów kokilowych określono, stosując syntetyczny wskaźnik jakim jest stopień nasycenia. Wskaźnik ten pozwala jednoznacznie określić w jakim stopniu podstawowe pierwiastki żeliwa odlewane w kokilach wpływają na własności mechaniczne i strukturę oraz na własności technologiczne - w głównej mierze na zdolność do zabielenia /próba klina/.

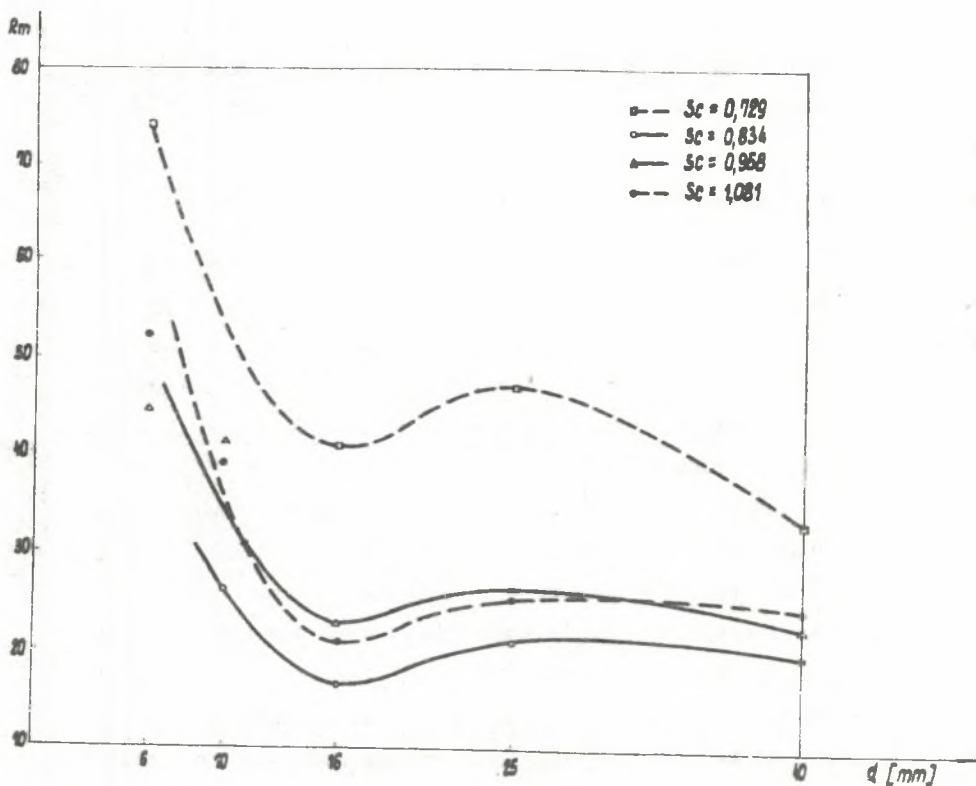
Załączone rysunki od 3-8 ilustrują zależność wpływu składu chemicznego /Sc/ na wytrzymałość na rozciąganie i twardość dla odlewów o przekroju kołowym i prostokątnym przy zmiennej grubości ścianek.

Rys.5 - 8 przedstawiają zmianę twardości odlewów jako funkcję wymienionych czynników przed obróbką cieplną i po obróbce cieplnej.

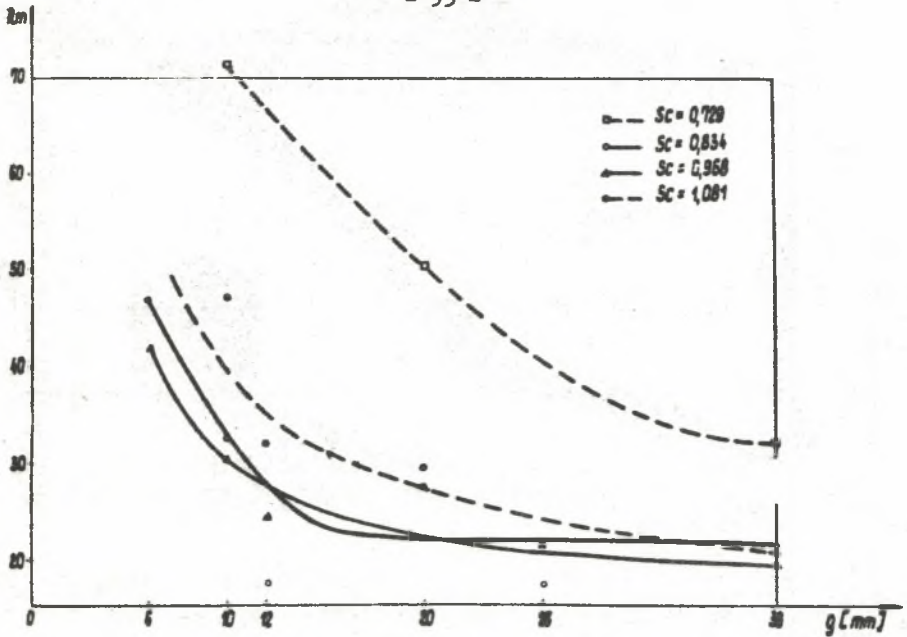
Podstawową próbą technologiczną pozwalającą szybko określić przydatność wytopionego żeliwa dla poszczególnych odlewów o zmiennej grubości ścianki jest próba technologiczna klina. W przypadku żeliwa odlewane do kokil próba klina wykonywanego w formie metalowej ma tym większe znaczenie, ponieważ pozwala dodatkowo ocenić wpływ innych parametrów formy metalowej na strukturę odlewów -np. jakości i grubości pokrycia ochronnego i izolującego oraz temperatury kokili.

Podobnie jak w przypadku odlewania do form piaskowych próba klina umiejętnie wykorzystana pozwala kierować procesem zalewania, celem uzyskania odlewów niezabielonych.

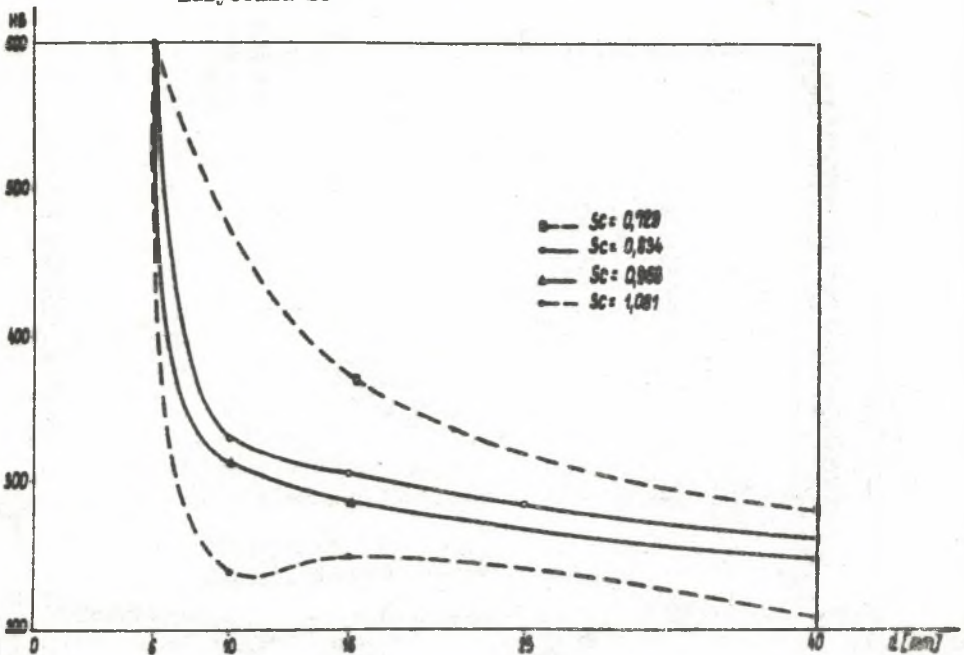
Na rys.9 porównano wpływ składu chemicznego /Sc/ na głębokość zabielania klina odlanego w kokili o stałych parametrach, regulujących szybkość krzepnięcia /grubość pokrycia i temperatura/, porównując badania dla tych samych żeliw odlewanych w kształcie klina w formach piaskowych.



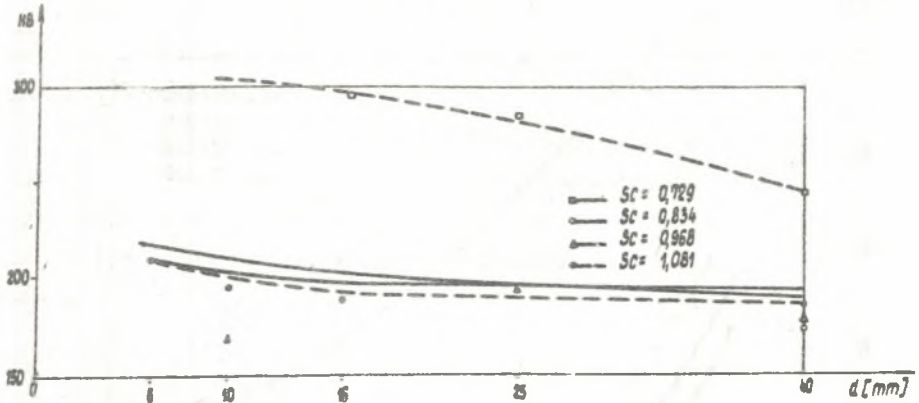
Rys. 3. Zależność wytrzymałości na rozciągania od średnicy odlewów dla różnych stopni nasycenia Sc



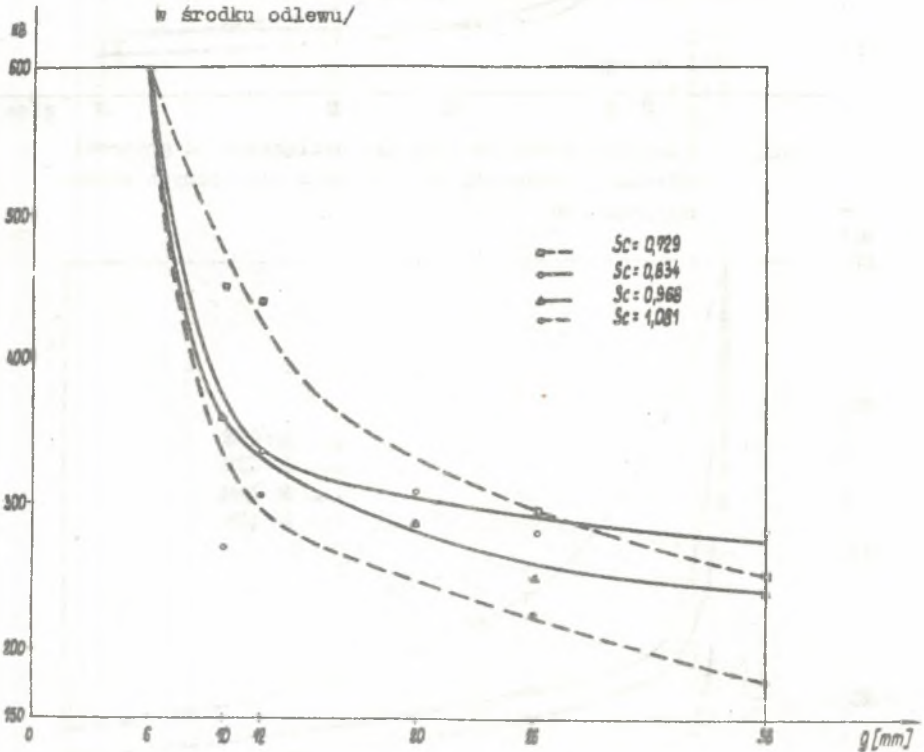
Rys. 4. Zależność wytrzymałości na rozciąganie od grubości odlewów o przekroju prostokątnym dla różnych stopni nasycenia Sc



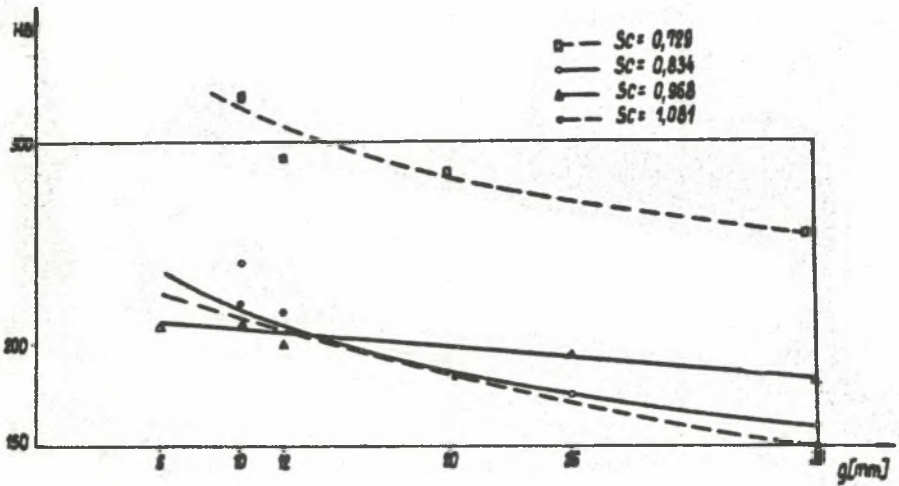
Rys. 5. Zależność twardości przed obróbką cieplną od średnicy odlewu dla różnych stopni nasycenia Sc /HB mierzono w środku odlewu/



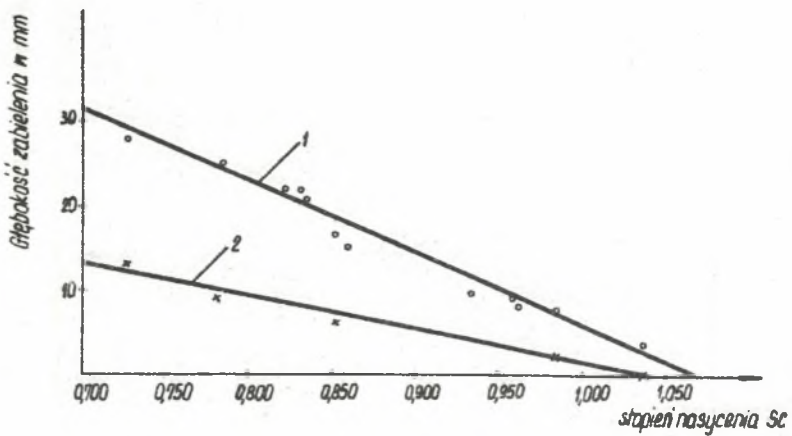
Rys.6. Zależność twardości po obróbce cieplnej od średnicy odlewu dla różnych stopni nasycenia Sc /HB mierzone w środku odlewu/



Rys.7. Zależność twardości przed obróbką cieplną od grubości odlewów o przekroju prostokątnym dla różnych stopni nasycenia Sc /HB mierzone w środku odlewu/



Rys.8. Zależność twardości po obróbce cieplnej od grubości odlewów o przekroju prostokątnym dla różnych stopni nasycenia Sc /HB mierzono w środku odlewu/



Rys.9. Zależność głębokości zabielenia klina od stopnia nasycenia żeliwa szarego

- 1 - kliny z formy metalowej
- 2 - kliny z formy piaskowej

4.2. Badania metalograficzne

Przeprowadzone badania metalograficzne potwierdzają uzyskane wyniki badań mechanicznych.

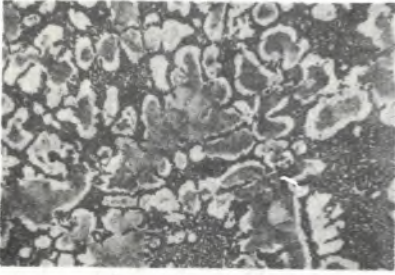
Przykładowo pokazano struktury rdzenia surowych próbek z wytopu 14 - na rys.10 dla \varnothing 6 mm, oraz na rys.11 dla \varnothing 63 mm.

Typowe struktury kokilowych odlewów charakteryzujące się bądź to występowaniem grafitu międzydendrytycznego z dużą ilością ferrytu, bądź też zawierające ledeburyt i cementyt. Strukturę próbki z rys.11 po obróbce cieplnej pokazano na rys.12. Jak widać, ledeburyt i cementyt zostały całkowicie zlikwidowane /zgrafityzowane/, a powstanie niewielkich ilości ferrytu wyraźnie wpłynęło na zmianę własności mechanicznych żeliwa. Na rys.13 pokazano strukturę zabilonego żeliwa z wytopu 9. Ta sama próbka po obróbce cieplnej wykazała inną strukturę - pokazaną na rys.14. Jest to typowa struktura odlewów kokilowych po żarzeniu. Otrzymany drobno płytkowy perlit i niewielkie wydzielenia grafitu gwarantują dobre własności mechaniczne. Niewielka ilość ferrytu świadczy o zbliżonych do właściwych parametrów obróbki cieplnej.

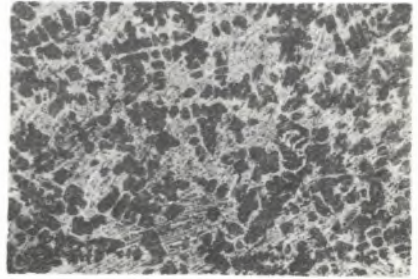
Przytoczone przykłady struktur świadczą o ważności doboru parametrów obróbki cieplnej. Zależne są one od grubości ścianek odlewu i struktury wyjściowej. Właściwe dobranie ich pozwoli na osiągnięcie najlepszych własności mechanicznych.

Zbędne wydłużanie czasu wyżarzania powoduje grafityzację i znaczny wzrost ilości ferrytu, który poważnie obniża własności mechaniczne odlewów.

Rys. 10 - 14 przedstawiają struktury próbek trawionych 3% alkoholowym roztworem HNO_3 , przy powiększeniu 150 x.



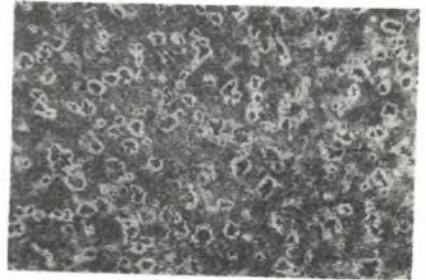
Rys.10 Struktura próbki 141 A nie obrabionej cieplnie. Cementyt, perlit, grafit



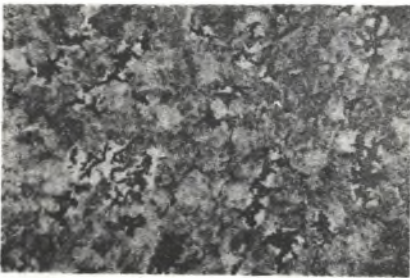
Rys.13 Struktura próbki 91 B nie obrabionej cieplnie. Cementyt, perlit, grafit, ledeburyt.



Rys.11 Struktura próbki 146 A nie obrabionej cieplnie /środek/. Perlit, ledeburyt, grafit



Rys.14 Struktura próbki 91 B obrabionej cieplnie. Perlit, ferryt, grafit



Rys.12 Struktura próbki 146 B po obróbce cieplnej /brzeg/. Perlit, ferryt, grafit

5. Analiza wyników badań

Badania własności mechanicznych oraz badania strukturalne pozwalają sądzić, że własności mechaniczne żeliwa odlewane w kokili w jednakowym stopniu zależne są od składu chemicznego i szybkości krystalizacji, przy czym skład chemiczny wyrażony stopniem nasycenia posiada mniejszy wpływ w miarę zbliżania się do jedności.

Grubość ścianki odlewu, która przy jednakowych pozostałych warunkach winna posiadać istotny wpływ na intensywność stygnięcia odlewów, poczynając już od średnicy około 16 mm przy rosnącym stopniu nasycenia Sc nie wykazuje znacznieszego wpływu na zmianę wytrzymałości na rozciąganie.

W przypadku odlewów o przekroju prostokątnym obserwuje się identyczne zjawiska.

Wpływ stopnia nasycenia na twardość w zależności od grubości ścianki odlewu jest różny dla odlewów nie obrabionych cieplnie i po obróbce cieplnej /rys. 5 i 7 i rys. 6 i 8/.

W przypadku odlewów nie obrabionych cieplnie rozrzut twardości dla zakresu stopnia nasycenia $Sc = 0,729 - 1,081$ jest znaczny i wynosi $HB = 250 - 500$ dla odlewów cienkościennych; $HB = 220 - 350$ dla odlewów grubościennych.

Po obróbce cieplnej rozrzut twardości jest znacznie mniejszy.

Można więc sądzić, że skład chemiczny po prawidłowej obróbce cieplnej nie wpływa w istotny sposób na twardość, niezależnie od grubości ścianki odlewu.

Uwagi te dotyczą normalnie stosowanych składów chemicznych żeliw odlewanych w kokilach, dla których wartość współczynnika Sc waha się w granicach 0,75 - 1,00.

Analizując wyniki badań prób technologicznych można zauważyć prawidłową zależność pomiędzy stopniem nasycenia a głębokością zabielenia klina. Nachylenie prostej 1 /rys. 9/ w stosunku do prostej 2 jest większe, co świadczy o jednoczesnym wpływie na głębokość zabielenia nie tylko składu chemicznego żeliwa, ale i większej intensywności stygnięcia w stosunku do formy płaskowej.

6. Wnioski

Na podstawie wykonanych badań można wyciągnąć następujące wnioski.

6.1. Skład chemiczny żeliwa odlewane go do kokil ma istotny wpływ na własności mechaniczne odlewów.

6.2. W zakresie badanych składów chemicznych wyrażonych stopniem nasycenia $Sc = 0,7 - 1,081$ stwierdzono, że ze wzrostem stopnia nasycenia, maleje jego wpływ na własności mechaniczne niezależnie od grubości ścianki odlewu.

6.3. Obróbka cieplna odlewów wykonanych w kokilach w zakresie stopnia nasycenia $Sc = 0,8 - 1,0$ ujednorodnia twardość w szerokim zakresie grubości ścianek.

6.4. Próba technologiczna klina odlewane go w kokili jest miarodajna do przybliżone go określenia możliwości wykorzystania żeliwa dla różnych grubości ścianek odlewów.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa - Kokilnoje litje, Moskwa 1967
2. A.M. Petriczenko- Praktika litja w metaliczeskije formy, Moskwa, 1952
3. Kolulenguss - Gisseritec. ik, Nr 9, 1969
4. Cokołow N. - Borba s odbielom w usłowjach kokilnowo litja, Moskwa, 1950 r.
5. Praca dyplomowa wykonana w Instytucie Odlewnictwa Pol.Śl. przez T.Trójce i Z.Ośnickiego.
6. A.I.Wiejnik - Tieplowyje osnovy litja, Meszgiz Moskwa, 1952 r.

Влияние химического состава и толщины стенки
на свойства отливок, изготовленных в кокилях

Резюме

В статье представлены результаты исследований влияния химического состава на механические свойства и структуру кокильных чугуновых отливок до и после термической обработки.

Химический состав исследуемого чугуна регулировался путём изменения углерода в пределах 3,0 - 3,6%, кремния 1,6 - 2,8% и марганца 0,4-0,8%.

Исследования проводились на отливках со стенками толщиной 6-60 мм с круговым и прямоугольным сечением, в которых, пропорционально по отношению к размерам, менялась толщина стенки кокилей.

The influence of the chemical composition
and wall thickness upon the properties
of castings accomplished in moulds

S u m m a r y

The article discusses the results of investigations concerning the influence of the chemical composition upon the mechanical properties and structure of chill-castings before and after their heat treatment. The chemical composition of the investigated kinds of cast iron being controlled by changing the carbon in the range of 3,0 to 3,6%, silicon in the range of 1,6 to 2,8% and manganese in the range of 0,4 to 0,8%. The tests have been carried out on circular and rectangular castings, whose walls were 6 to 60 mm thick, the thickness of the mould walls having been changed proportionally to the size of the castings.