

JÓZEF GAWROŃSKI  
EDWARD JANUSZ  
BERNARD KRAJCZY

## WŁASNOŚCI ŻELIWA SZAREGO Z DODATKIEM MIEDZI

Podano ilościową zależność między mechanicznymi własnościami żeliwa szarego a wielkością dodatku miedzi i grubością ścianki; szczególną uwagę zwrócono na zmniejszenie wrażliwości żeliwa na grubość ścianki. Badania uzupełniono najważniejszymi próbami technologicznymi.

### 1. Wstęp

Bardzo uciążliwą wadą, szczególnie jaskrawo występującą przy odlewaniu żeliwa szarego jest jego wrażliwość na grubość ścianki. Dotychczas stosowane środki pozwalały tylko w bardzo ograniczonej mierze zapobiec temu zjawisku: zmiany konstrukcyjne nie zawsze okazują się możliwe; regulacja składu chemicznego żeliwa /C, Si, Mn/ przesuwają tylko zakres wrażliwości nie zmniejszając zasadniczo jego rozpiętości; wykorzystanie ochładzalników przy grubych ściankach daje wprawdzie oczekiwane rezultaty, ale podnosi znacznie koszt produkcji; stosunkowo najlepsze efekty daje modyfikacja /Fe-Si, grafit, Ca-Si/, szczególnie gdy chodzi o uzyskanie niezabielonej struktury bardzo cienkich ścianek /3-4 mm/ przy stosunkowo korzystnej strukturze ścianek grubszych.

Ekonomicznemu rozwiązaniu tego właśnie zagadnienia poświęcono w ostatnich latach cały szereg badań. Przede wszystkim skoncentrowały się one na wykorzystaniu w tym celu perlitotwórczych pierwiastków /np. Sn, Cu, Cr/. Pełnego opracowania doczekał się zakres ścianek o większej grubości /prowadnice łoż obrabiarek/, gdzie interesujące wyniki dały dodatki miedzi uzupełnione chromem. W zakresie wpływu miedzi na strukturę ścianek cieńszych i o znacznej różnicy grubości, dotychczasowe dane były tylko fragmentaryczne i jeszcze dużo pozostaje do zrośnięcia.

## 2. Badania własne

### 2.1. Cel, założenia i zakres pracy

Badania prowadzono pod kątem możliwości ich wykorzystania w produkcji korpusów silników elektrycznych. Na rys.1 podano maksymalne i



Rys.1. Charakterystyczny fragment korpusu silnika elektrycznego

minimalne wymiary charakterystycznego fragmentu odlewanych korpusów silników; są przeznaczone one do pracy w bardzo ciężkich warunkach /np. w kopalniach/. Uzyskanie w całej objętości odlewu jednolitej struktury perlitycznej podniosłoby jego wytrzymałość i zwiększyłoby żywotność produktu.

Biorąc pod uwagę powyższe wymiary zawarto grubości badanych ścianek w zakresie między 40 a 6 mm; o zachowaniu się cieńszych ścianek można było sądzić z przeprowadzonych prób klinowych.

Ze względów praktycznych kolejne żeliwa wyjściowe miały skład chemiczny zalecany dla żeliw klas: ZL15, ZL20 i ZL25, natomiast zbadanie wpływu miedzi przeprowadzono w zakresie od 0,1 do 4,5 % stopniując jej dodatek według ciągu liczb naturalnych R10.

Na podstawie badań własnych [1] i danych literaturowych [2] równoległe z dodatkiem miedzi oddziaływano złożonymi modyfikatorami na kształt i rozłożenie grafitu w osnowie metalicznej.

### 2.2. Wytapianie żeliwa

Żeliwa klas ZL15 i ZL25 wytąpiono w żeliwiaku z podgrzewanym dmuchem; temperatura spustu metalu wynosiła 1420 - 1380°C/mierzona termoparą zanurzeniową/. Modyfikację przeprowadzano na rynnie spustowej stosując modyfikator złożony w proporcji: 0,3 % Fe Si, 0,05 % Ca Si; 0,05 % Al. Miedź w postaci odpadów drutu nawojowego wprowadzano porcjami do kadzi ręcznej, mieszając kąpiel metalową.

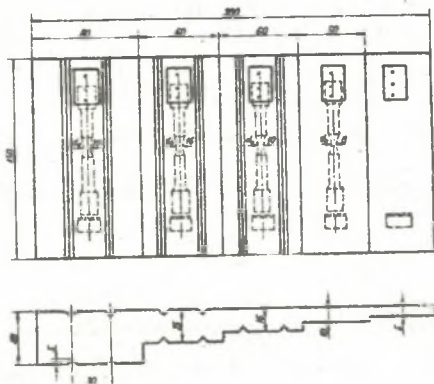
Trzecią serię wytopów /ZL 20/ przeprowadzono w zasadowym piecu indukcyjnym, wprowadzając kawałki miedzi elektrolitycznej pod żużel bezpo-

średnio do pieca. Modyfikację natomiast przeprowadzano w ręcznej kadzi odlewniczej.

### 2.3. Charakterystyka przeprowadzonych prób i sposób ich wykonania

Jako podstawę określenia wrażliwości na grubość ścianki przyjęto zmianę wytrzymałości na rozciąganie w funkcji grubości ścianki. Doceniając jednak praktyczne znaczenie pomiarów twardości /HB/ postanowiono utworzyć porównywalny, syntetyczny wskaźnik wyrażający się stosunkiem twardości ścianek o grubości 40 i 6 mm.

W celu wyznaczenia powyższych zależności odlewano każdorazowo po trzy próby schodkowe, trzy pręty  $\varnothing 30 \times 600$  i próbę klinową /wg PN-61/H-04675/; badania własności technologicznych ograniczono do próby klinowej, do prób lejułości /wg PN-61/H-04677/ i skurczu /pręt  $\varnothing 30$  mm, wykonanych tylko dla żeliw na podstawie Z115 i Z125. Z odlewu próby schodkowej, wycinano w sposób przedstawiony na rys.2 próbki do badań wytrzymałości na rozciąganie /odpowiednio nr 1, 2, 5 i 7/ wg PN-63/H-83106/.



Rys.2. Schematyczne przedstawienie wykorzystania próby schodkowej; A - pomiar twardości, B - próbka wytrzymałościowa, C - zgląd metalograficzny.

Tak jak to pokazuje rys.2 z próby schodkowej korzystano także przy pomiarze twardości /wg PN-57/H-04350/ oraz przy wykonaniu zglądów metalograficznych.

## 2.4. Wyniki badań

Skład chemiczny badanych żeliw podano w tablicy 1. Wartość współczynnika nasycenia eutektycznego wyliczono ze wzoru:

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

Skład chemiczny badanych żeliw

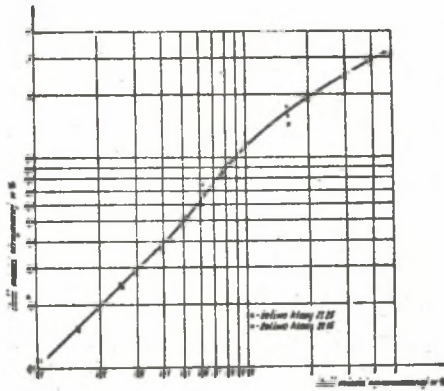
Tablica 1

Żeliwo klasy Zl 15				Żeliwo klasy Zl 25				Żeliwo klasy Zl 20			
Nr wytopu	Sc	% Cu	% C <sub>zw</sub>	Nr wytopu	Sc	% Cu	% C <sub>zw</sub>	Nr wytopu	Sc	% Cu	% C <sub>zw</sub>
101	1,076	0,11	0,64	201	0,923	0,11	0,64	3010	0,856	0,15	0,66
1016	1,075	0,15	0,57	2016	0,905	0,15	0,80	3016	0,895	0,20	0,68
1025	1,060	0,25	0,56	2025	0,877	0,25	0,82	3025	0,866	0,34	0,68
1040	1,025	0,35	0,56	2040	0,923	0,35	0,78	3040	0,865	0,45	0,71
1063	1,025	0,75	0,76	2063	0,867	0,65	0,69	3063	0,844	0,54	0,74
110	1,040	1,30	0,79	210	0,885	1,16	0,59	310	0,783	0,96	0,65
116	1,035	1,57	0,84	216	0,877	1,44	0,94	316	0,900	1,55	0,91
125	1,022	2,20	1,02	225	0,773	2,15	1,03	325	0,849	2,2	0,98
130	1,062	2,75	1,01	230	0,810	2,40	1,01	340	0,873	2,66	1,1
140	1,015	2,7	-	240	0,885	2,96	1,14	363	0,898	4,33	0,86
150	1,043	3,08	1,02	250	0,915	3,21	0,91				
163	1,01	4,39	0,94								

Własności mechaniczne badanych żeliw przedstawiono na załączonych wykresach; rzędna każdego punktu, jest wartością średnią z trzech wyników, /wyniki dla próbek z wewnętrznymi wadami odrzucono/.

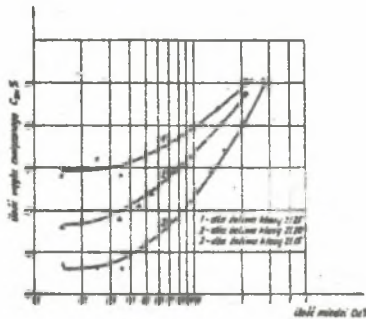
## 3. Analiza wyników badań

Proces otrzymywania żeliwa szarego o ściśle określonej zawartości miedzi nie naraża w praktyce żadnych kłopotów. Jak wynika z wykresu /rys.3/ do zawartości 2 % prawie cała ilość dodanej miedzi przechodzi do żeliwa, wzrost strat miedzi powyżej 2 % jest prawdopodobnie spowodowany zachwianiem równowagi koncentracji Cu na granicy ciekły metal - żużel.



Rys.3. "Przyswajalność" miedzi w żeliwie szarym przy temperaturze metalu w kadzi 1380 - 1400°C

Rys.4 ilustruje wpływ dodatku miedzi na ilość węgla związanego w prętach  $\varnothing 30$ . Jak widać intensywny wpływ miedzi zaczyna się od  $\sim 0,4\%$ ;



Rys.4. Wpływ dodatku miedzi na ilość węgla związanego w żeliwie szarym /  $\varnothing 30$

efekt działania dodatku stopowego jest dużo większy przy żeliwach niższych klas  $\left(\frac{dC}{dCu}\right)_{Z15} > \left(\frac{dC}{dCu}\right)_{Z120} > \left(\frac{dC}{dCu}\right)_{Z125}$ ; ilość

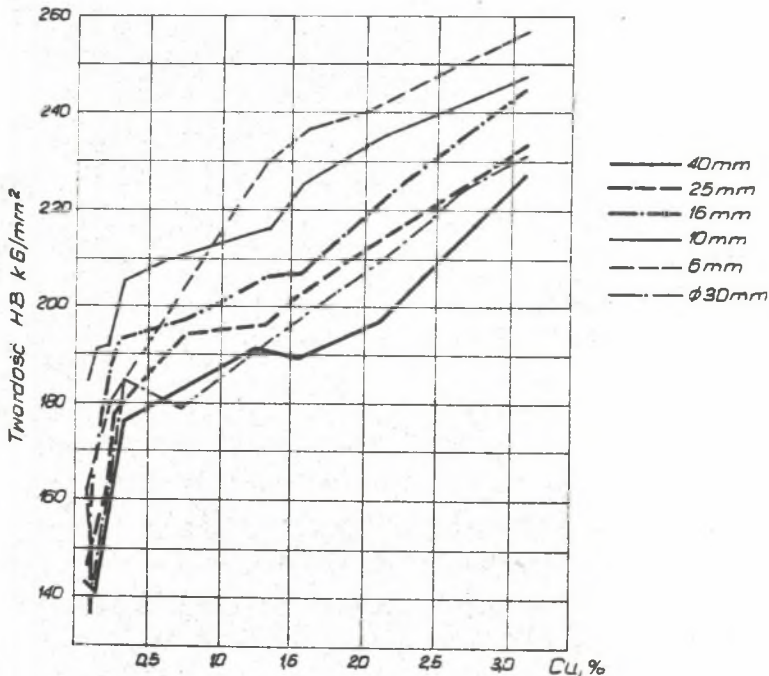
węgla zawartego w perlicie może przekroczyć nawet 1%, co niewątpliwie chroni przed zabieleniami. W sumie można sądzić, że dla ujednorodnienia struktury żeliw wyższych klas wystarczające są mniejsze dodatki miedzi. Poza tym widać, że różnice między klasami żeliw zacieraają się przy zawartości od 2 do 3% Cu.

Obserwując wyniki badań wytrzymałościowych stwierdza się, że wartości wytrzymałości na rozciąganie i zginanie dla żeliw grupy 1 i 2 są

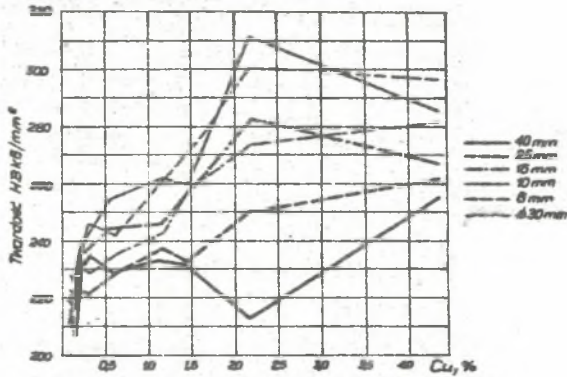
niższe od przewidzianych normami. Jest to konsekwencją przejściowo gorszej jakości żeliwa wyjściowego. Niemniej wnioski wyciągnięte z badań tych żeliw, mimo wymienionych uchybień, są słuszne, ponieważ prawidłowo odzwierciedlają mechanizm działania miedzi.

Niezależnie od klasy żeliwa znaczny wzrost twardości zaznacza się już przy 0,25 - 0,35 % Cu /rys. 5, 6 i 7/; dalsze zwiększanie dodatku miedzi powoduje mniejsze przyrosty twardości. Przy zawartości miedzi około 1,6 % obserwuje się najsilniejszą tendencję do zacierania się różnic twardości ścianek cieńszych i grubszych.

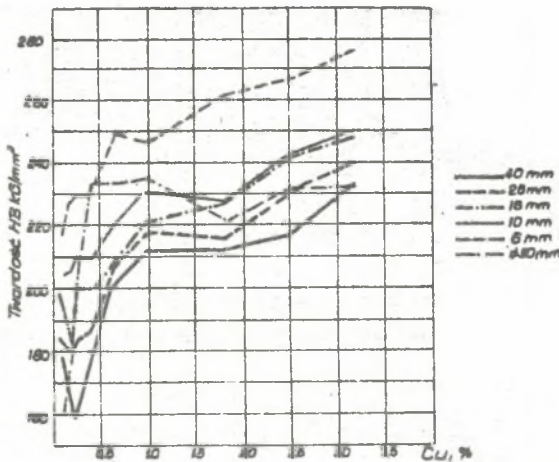
Powyżej tej wartości może dojść do dość znacznego wzrostu twardości ścianek najcieńszych /6 mm/, co grozi utrudnieniem obrabialności. Wymaganą dość często twardość ścianek grubych w granicach 220-240 HB uzyskuje się dopiero przy zawartości miedzi od 2 - 3 %, w tym przypadku przy braku ścianek bardzo cienkich, lepszy wydaje się kompleksowy dodatek miedzi i chromu  $\frac{Cu}{Cr} = \frac{4}{1}$ ; Cr ~ 0,5 % [2].



Rys.5. Twardość żeliwa klasy Zl 15 w zależności od ilości miedzi i grubości ścianek

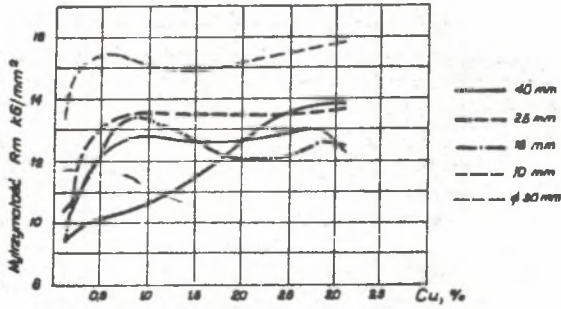


Rys.6. Twardość żeliwa klasy Z1 20 w zależności od ilości miedzi i grubości ścianek

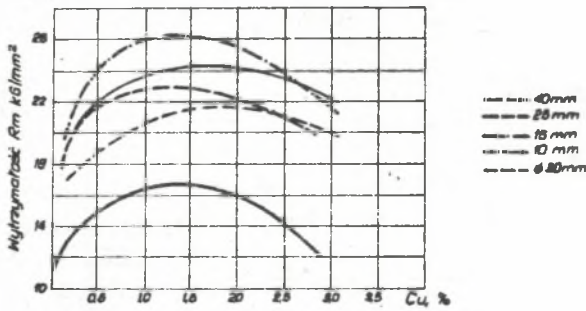


Rys.7. Twardość żeliwa klasy Z1 25 w zależności od ilości miedzi i grubości ścianek

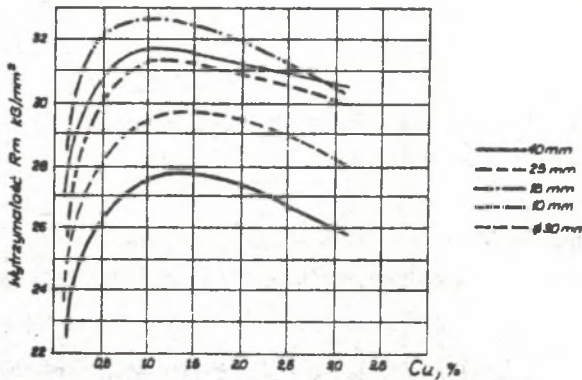
Znaczny wzrost własności wytrzymałościowych powoduje już dodatek miedzi w granicach 0,6 - 0,7 % /rys. 8, 9, 10 i 11/; maksimum wytrzymałości przesuwają się wraz ze wzrostem grubości ścianki ku większym ilościom miedzi. W każdym razie przekraczanie 2 % Cu nie wydaje się uzasadnione, a optimum, wg tego kryterium, znajduje się w pobliżu 1,3 - 1,6 % Cu.



Rys.8. Wytrzymałość na rozciąganie żeliwa klasy Z1 15 w zależności od ilości miedzi i grubości ścianek

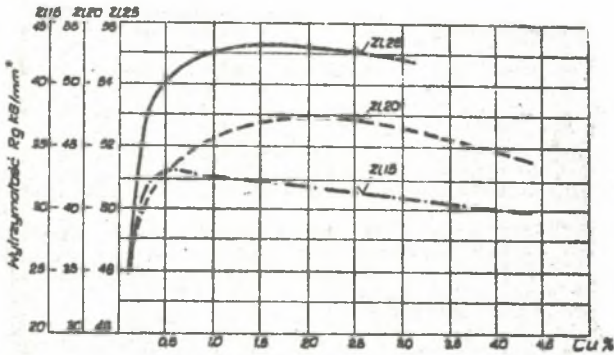


Rys.9. Wytrzymałość na rozciąganie żeliwa klasy Z1 20 w zależności od zawartości miedzi i grubości ścianek



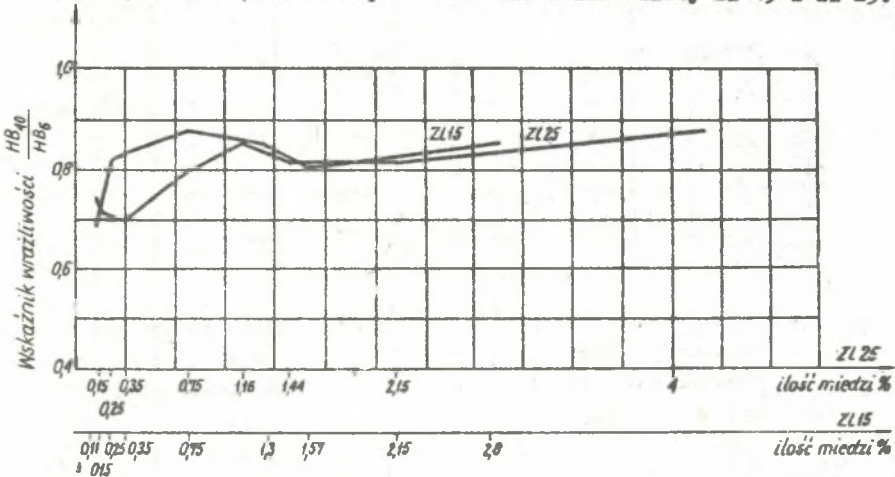
Rys.10. Wytrzymałość na rozciąganie żeliwa klasy Z1 25 w zależności od zawartości miedzi i grubości ścianek





Rys.11. Zależność wytrzymałości na zginanie żelów klas Z1 15, Z1 20 i Z1 25 od ilości miedzi

Rys. 12 przedstawia dla żelów grupy 1 i 2 zależność funkcyjną proponowanego wskaźnika wrażliwości na grubość ścianki od ilości wprowadzonej do żeliwa miedzi. Z tego punktu widzenia wystarczające okazują się dodatki 0,3 % i 0,6 % Cu odpowiednio dla żeliwa klasy Z1 15 i Z1 25.



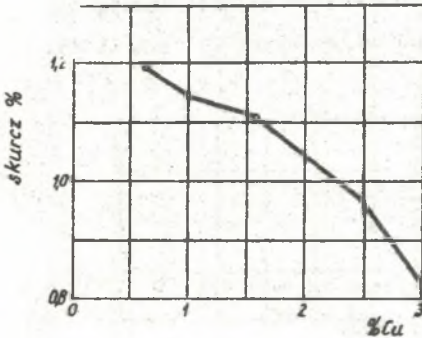
Rys. 12 Zależność wskaźnika wrażliwości na grubość ścianki od ilości miedzi dla żelów grupy 1 i 2.

Przejsięcie do wyższych zawartości miedzi powoduje tylko nieznaczne wahania nabytej jednorodności.

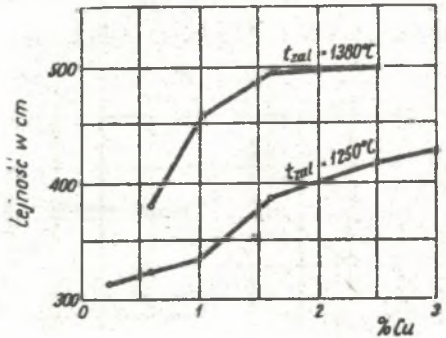
Własności technologiczne żeliwa miedziowego są równie dobre jak żeliwa szarego, a często lepsze.

Wzrost lejućności /Rys.13/ można wytłumaczyć obniżeniem się temperatur krystalizacji pierwotnej; analiza termiczna badanych żeliw pokazała, że zakres temperatur krystalizacji  $t_{lik} - t_{sol}$  pozostaje bez zmian z tym, że ze wzrostem zawartości miedzi obniża się zarówno temperatura likwidusu jak i solidusu. Z tej też przyczyny odlewy z żeliwa miedziowego są mniej narażone na powstawanie naprężeń odlewniczych pochodzenia mechanicznego; ujednorodnienie struktury zmniejsza także niebezpieczeństwo powstania naprężeń fazowych. W sumie lepsze przewodnictwo cieplne tych żeliw / powyżej 1 - 1,5 % Cu/ [3] chroni je zarówno przed znacznymi "naprężeniami na gorąco jak i na zimno".

Mniejszy skurcz żeliwa z dodatkiem miedzi /Rys.14/ jest bardzo korzystny szczególnie dla odlewów rozbudowanych, których konstrukcja powoduje hamowanie skurczu swobodnego /dotyczy to przede wszystkim uźebrowania korpusów silników elektrycznych/.



Rys. 13 Lejućność żeliwa w zależności od temperatury zalewania i zawartości miedzi.



Rys. 14 Skurcz żeliwa szarego w zależności od zawartości miedzi.

Szczególny nacisk położono na badania strukturalne żeliw klasy Zl 15 i Zl 25; dla każdej grubości ścianki i każdej zawartości miedzi dokonano oceny metalicznej osnowy i sklasyfikowano powierzchnię zajęta przez grafit oraz jego kształt, rozmieszczenie i wymiar /PN-64/H-04663/.

Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono, że ze wzrostem dodatku miedzi zacierają się różnice między strukturą ścianek cienkich i grubych. Dla żeliw z grupy 2 /tabl.1/ wystarczy zaledwie około 0,25 % miedzi by uzyskać perlityczną osnowę nawet w najgrubszych ściankach /40 mm/. Ten sam rezultat osiąga się dla żeliw z grupy 1 dopiero przy dodatku  $\sim 1\%$  Cu. Jako górną granicę dodatku stopowego należy przyjąć 3-4 % miedzi, ponieważ powyżej tej wartości pojawia się niebezpieczeństwo zabielenia ostrych naroży najcieńszych ścianek /  $\leq 6$  mm/.

W żeliwach grupy 1 ponad 90 % grafitu miało postać G 10/06 - Gd 6/7 - Gr 5/1/2 - Gp 5/4/2. W grupie 2 zróżnicowanie grafitu było nieco większe, ale około 80 % grafitu można zaliczyć do typu G 10/6 - Gd 6/5 - Gr 5/6/1 - Gp 2/5/4. Uzyskanie takiego grafitu przy odlewaniu do form piaskowych uznać należy za w pełni zadowalające. Szczególną uwagę zwraca bardzo drobnopłytkowa budowa perlitu w żeliwie miedziowym. Tylko wpływ miedzi jest jedynym wytłumaczeniem występowania tego rozdrobnienia w grubych ściankach /40 mm/.

Podsumowując można wyróżnić następujące elementy mechanizmu działania miedzi w żeliwie:

- słabe działanie grafityzujące podczas krystalizacji pierwotnej,
- obniżenie temperatury tej krystalizacji,
- działanie perlitotwórcze,
- rozdrobnienie perlitu dzięki opóźnieniu przemiany eutektoidalnej,
- zwiększenie zawartości węgla w perlicie,
- podniesienie przewodnictwa cieplnego /powyżej 1-1,5 % Cu/,
- zmniejszenie niebezpieczeństwa zabielenia cienkich ścianek /do  $\sim 2\%$  Cu/,
- podniesienie Rm i HB bez obniżenia skrawalności.

#### 4. Wnioski

1. Dodatek miedzi do żeliwa szarego powoduje ujednorodnienie struktury i własności ścianek o różnej grubości; w całej objętości odlewu pojawia się struktura perlityczna. Równocześnie następuje wzrost wytrzymałości i twardości, lecz nie odbija się to ujemnie na obrabialności.

2. Dla żeliw wyjściowych o składzie chemicznym zbliżonym do zalecanego dla klas wyższych /np. Zl 25/ pożądane efekty można uzyskać już przy dodatku 0,25 % Cu.

Zalecany dla tych żeliw dodatek waha się od 0,75 - 1,6 % Cu. Nie bez znaczenia przy tych żeliwach jest zmniejszenie skłonności do zabielenia cienkich ścianek.

3. Dla żeliw opartych o skład niższych klas /np. Zl 15/ wymagane są wyższe dodatki miedzi - w granicach 1,6 - 2,5 %.

4. W praktyce dodatek miedzi może wynosić od 0,25 - 4 %, i przy opracowywaniu produkcji seryjnej wskazane jest dokładne dobranie ilości miedzi do zakresu grubości ścianek odlewu i do stawianych mu wymagań; w tym przypadku dużą pomocą winny być wykresy zamieszczone w tym opracowaniu.

5. Otrzymanie żeliwa miedziowego o ściśle określonym składzie nie następuje z żadnych problemów. Poza tym odznacza się ono wyjątkowo dużym marginesem pewności otrzymania żądanych własności /nawet duże odchyłki składu nie pociągają za sobą poważniejszych konsekwencji/.

#### LITERATURA

- /1/ J. Babiński: Wpływ niskiej zawartości miedzi oraz modyfikatorów Ca-Si i Fe-Si na jednorodność właściwości mechanicznych żeliwa szarego. Niepublikowana praca dyplomowa Inst. Odlewnictwa Pol. Śl. 1967
- /2/ A. De SY: Considérations sur la structure et les propriétés des fontes grises, cas des fontes contenant du cuivre. "Fonderie" r. 1970, nr 286, s. 9-21.
- /3/ J. Foulon, A. De SY: Influence du cuivre sur quelques propriétés des fontes grises, "Fonderie" r. 1954, nr 96, s. 3755.

Свойства серого чугуна с добавкой меди

Р е з ю м е

В статье подана количественная зависимость между механическими свойствами серого чугуна, количеством добавки меди и толщиной стенки отливки. Особое внимание обращено на понижение чувствительности чугуна к толщине стенки отливки. Исследования дополнены главнейшими технологическими испытаниями.

The properties of grey cast iron with  
admixture of copper

S u m m a r y

The paper presents the quantitative relation between the mechanical properties of grey cast iron and the quantity of copper admixture as well as the wall thickness. Special attention has been paid to the decreased susceptibility of cast iron to the thickness of the walls. The investigations were supplemented by the most important technological tests.