

Leszek Król, Wiktor Żymka,  
Remigiusz Sosnowski, Jerzy Drozdowski  
Instytut Metalurgii

OKREŚLENIE WPŁYWU ZAWARTOŚCI NIEKTÓRYCH SKŁADNIKÓW  
SURÓWKI I ZASADOWOŚCI ŻUŻLA NA ZAWARTOŚĆ WĘGLA  
I SIARKI W SURÓWCE

Streszczenie. Przy pomocy metod statystycznych ustalono, że istnieje współzależność pomiędzy poszczególnymi składnikami surówek wielkopiecowych.

## 1. Wstęp

Skład chemiczny surówki zależy od składu chemicznego wsadu oraz parametrów procesu wielkopiecowego. W zależności od stosowanej technologii odpowiedni udział danego pierwiastka we wsadzie zabezpiecza pożądaną zawartość tego pierwiastka w surówce.

Możliwość regulacji zawartości poszczególnych pierwiastków w surówce w procesie wielkopiecowym przez zmianę parametrów procesu jest ograniczona.

Zawartość krzemu w surówce reguluje się przez zmianę stanu cieplnego pieca; zawartość manganu i fosforu w surówce zależy od udziału tych składników we wsadzie, przy czym fosfor przechodzi do surówki prawie w całości.

Siarka w surówce zależy od zawartości tego pierwiastka we wsadzie (głównie w koksie) oraz warunków odsiarczających we wielkim piecu. Bez względu na rodzaj produkowanej surówki dąży się do otrzymania surówki z minimalną w danych warunkach zawartością siarki. Wymagania odnośnie jakości surówki na ogół nie dotyczą zawartości węgla. Wiąże się to z brakiem możliwości regulacji tej wielkości w warunkach procesu wielkopiecowego.

Proces nawęglania wieloskładnikowego stopu żelaza, jakim jest surówka wielkopieczowa, zależy od temperatury stężenia poszczególnych składników w stopie oraz od zasięgu strefy utleniającej komór spalania. Zagadnienie nawęglania takiego stopu jest znane w odniesieniu do żeliw (1, 2), natomiast jeśli chodzi o surówki wielkopieczowe to brak jak dotąd dostatecznych opracowań tego tematu. W dotychczasowych pracach stwierdzono występowanie zależności pomiędzy zawartością węgla i zawartością krzemu, manganu oraz zasadowością żużla (3, 4, 5). Stwierdzono również, że zawartość węgla w surówce zależy od jakości wsadu (6).

Zawartość siarki w surówce zależy w decydującej mierze od zasadowości żużla, jego lepkości i temperatury (7). Stwierdzono również występowanie zależności pomiędzy zawartością siarki i krzemu oraz manganu w surówce (8, 9).

## 2. Badania własne

Celem badań własnych było opracowanie zależności pomiędzy zawartością węgla oraz siarki jako zmiennych zależnych a zawartością pozostałych składników w surówce oraz zasadowością żużla traktowanych jako wielkości niezależne. Chodziło o znalezienie tych zależności w szerokim zakresie produkowanych surówek, począwszy od niskokrzemowych surówek przerobczych aż do surówek odlewniczych.

### 2.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono przy pomocy metod statystycznych w oparciu o materiał zebrany w kilku hutach krajowych. Zebrano około 800 wyników analiz składu chemicznego surówek. Średnie składy chemiczne badanych surówek podaje tablica 1. Dla uzyskania zależności charakteryzujących cały zakres produkowanych surówek do badań wybrano: surówki martenowskie o zawartości krzemu około 0,80% i około 0,20% fosforu. Surówki specjalne (na odlewy walców) o zawartości krzemu około 0,80% i podwyższonej zawartości fosforu do około 0,50% oraz surówki odlewnicze z niską i wysoką zawartością fosforu.

Tablica 1

## Średni skład chemiczny badanych surówek

Zbiór	% C	% Si	% Mn	% S	% P	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$
I	4,02	0,75	0,51	0,040	0,46	1,21
II	4,20	0,80	0,55	0,030	0,23	1,20
III	4,34	0,88	0,87	0,034	0,17	1,09
IV	3,75	2,39	0,65	0,020	0,09	0,92
V	3,85	2,79	0,47	0,029	0,86	1,10
VI	3,71	3,30	0,75	0,033	0,30	1,04
VII	3,69	3,40	0,65	0,030	0,80	1,03

## 3. Wyniki badań

## 3.1. Zależność zawartości węgla i innych składników surówki oraz zasadowości żużla

Dla zbiorów od I do VII obejmujących poszczególne gatunki surówek obliczono współczynnikiem korelacji zupełnej  $r_{C-X}$  pomiędzy zawartością węgla i pozostałych składników surówki oraz zasadowością żużla.

Dla zbioru VIII, który obejmuje wszystkie badane surówki obliczono równanie regresji zupełnej dla podanych zależności. Wyniki obliczeń przedstawia tablica 2.

Otrzymane zależności przedstawiono również w formie graficznej na rys. 1-4.

Dla zbioru VIII obliczono również równanie regresji wielokrotnej dla zależności węgla od zawartości pozostałych składników i zasadowości żużla.

Otrzymane równanie uwzględniające zmienne istotne na poziomie  $F - 2,5$  ma postać

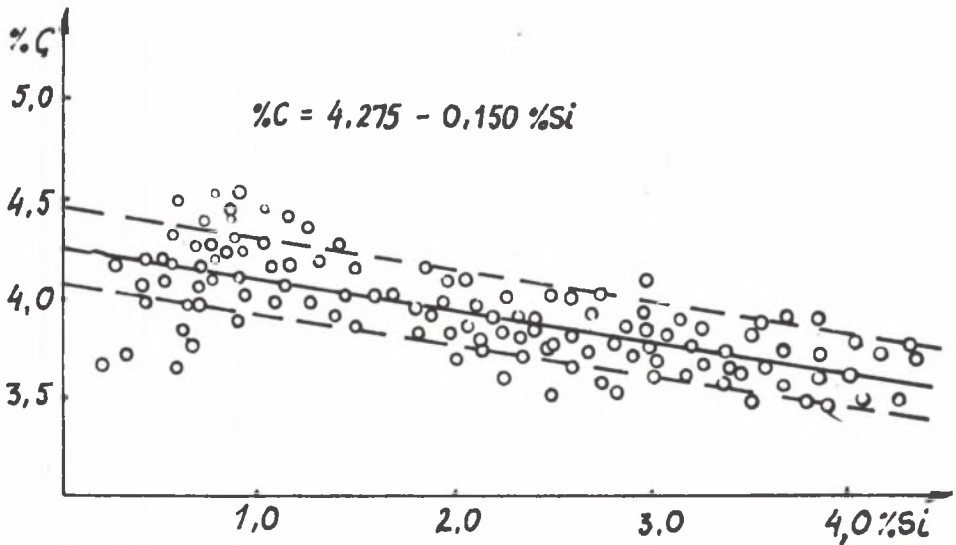
$$\begin{aligned} \% C = & 4,081 - 0,190 \% Si \\ & + 0,546 \% Mn \\ & - 2,818 \% S \\ & \pm 0,217 \end{aligned}$$

współczynnik korelacji wielokrotnej  $R_{C,Si,Mn,S} = 0,729$ .

Tablica 2

Obliczone wartości współczynników korelacji  
dla zależności pomiędzy zawartością węgla  
a zawartością krzemu, manganu, siarki, fosforu  
oraz zasadowością żuźla

Zbiór	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$r_{C-Si}$	0,161	0,025	0,055	-0,168	-0,227	-0,084	-0,048	-0,650
$r_{C-Mn}$	0,330	0,181	0,004	-0,064	0,036	0,071	0,041	0,485
$r_{C-S}$	-0,649	-0,266	-0,096	-0,100	-0,093	0,001	-0,223	0,003
$r_{C-P}$	-0,169	-0,325	-0,101	-0,131	-0,165	-0,518	-0,145	-0,450
$r_{C \frac{CaO}{SiO_2}}$	0,190	-0,012	0,050	-0,080	0,136	0,157	0,026	0,259



Rys. 1. Zależność pomiędzy zawartością węgla i krzemu w surówce

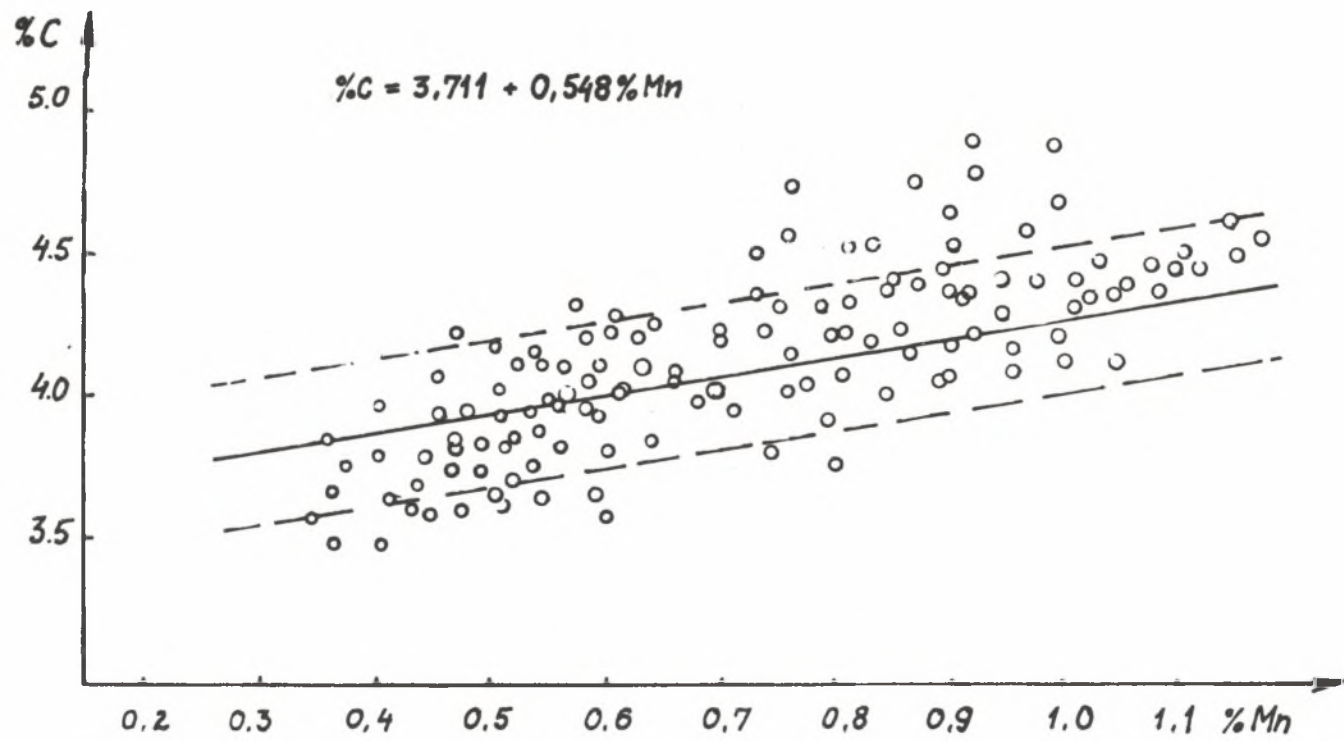
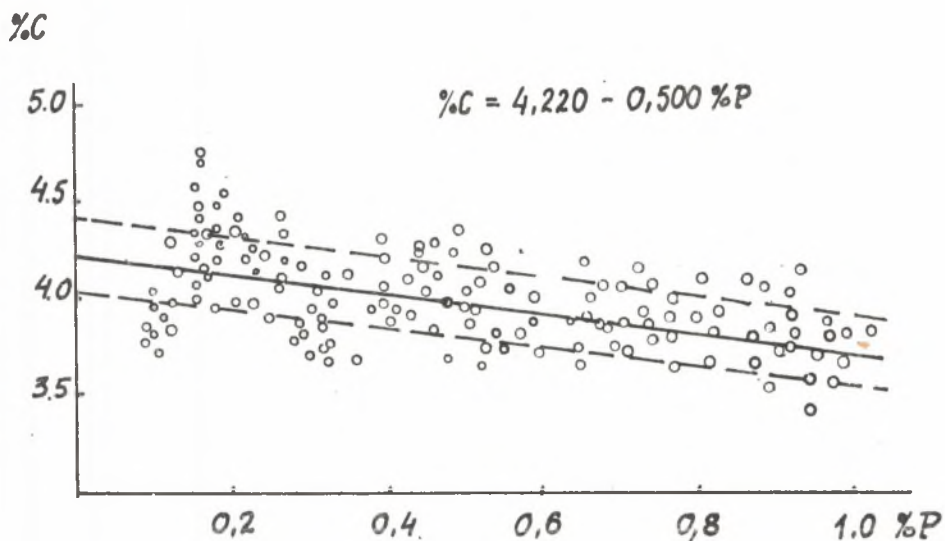


Fig. 2. Zależność pomiędzy zawartością węgla i manganu w surówce



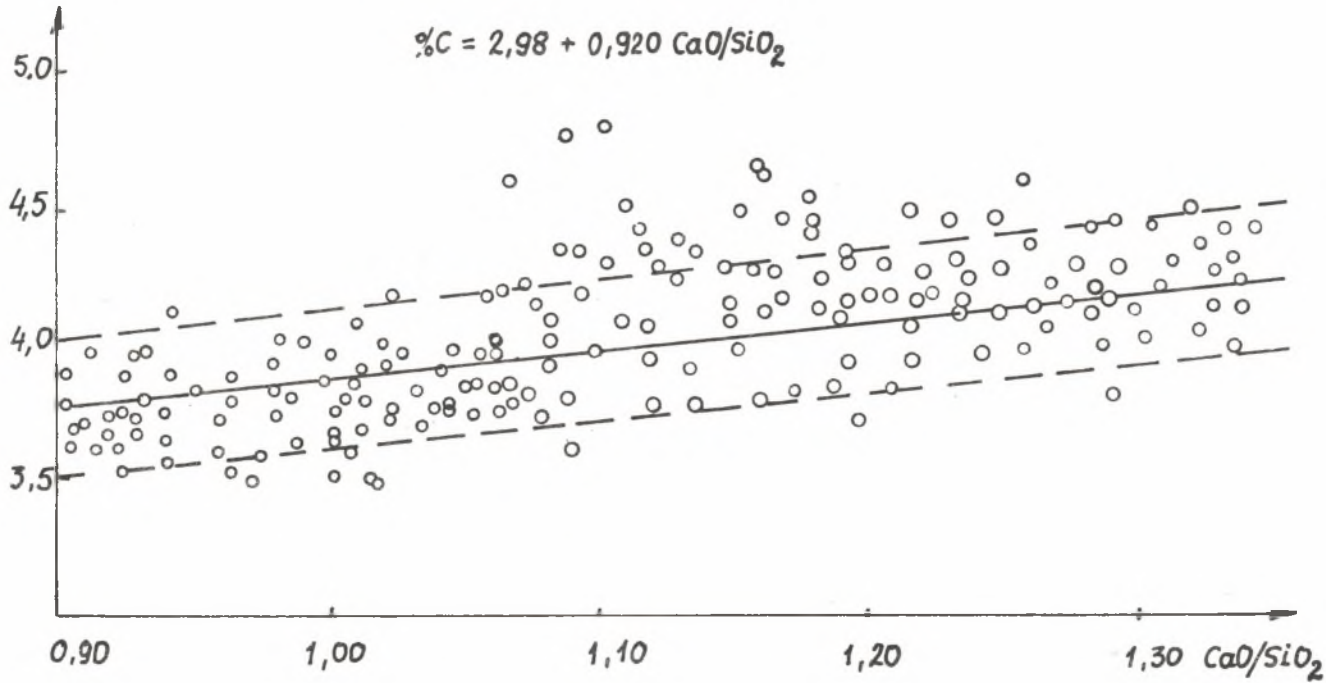
Rys. 3. Zależność pomiędzy zawartością węgla i fosforu w surówce

Z równania tego wynika, że po uwzględnieniu istotnych współzależności pomiędzy poszczególnymi składnikami surówki zawartość węgla jest istotnie skorelowana z zawartością krzemu, manganu i siarki.

Wartość współczynnika korelacji wielokrotnej wskazuje, że obliczone równanie uwzględnia około 50% zmienności zmiennej zależnej to znaczy zawartości węgla w surówce. Pozostałe 50% zmienności należy przypisać głównie takim czynnikom jak temperatura surówki, stopień redukcji pośredniej, stopień przygotowania wsadu i różnica objętości wielkich pieców.

### 3.2. Wpływ objętości wielkiego pieca na zawartość węgla w surówce

Zawartość węgla w surówce zależy w pewnej mierze od wielkości pieca, a więc od stosunku powierzchni stref utleniających komór spalania od całkowitej powierzchni przekroju garu na poziomie dysz. Ze wzrostem średnicy garu wielkiego pieca część utleniająca powierzchni przekroju na poziomie dysz maleje, co zmniejsza kontakt nawęglonej surówki ze

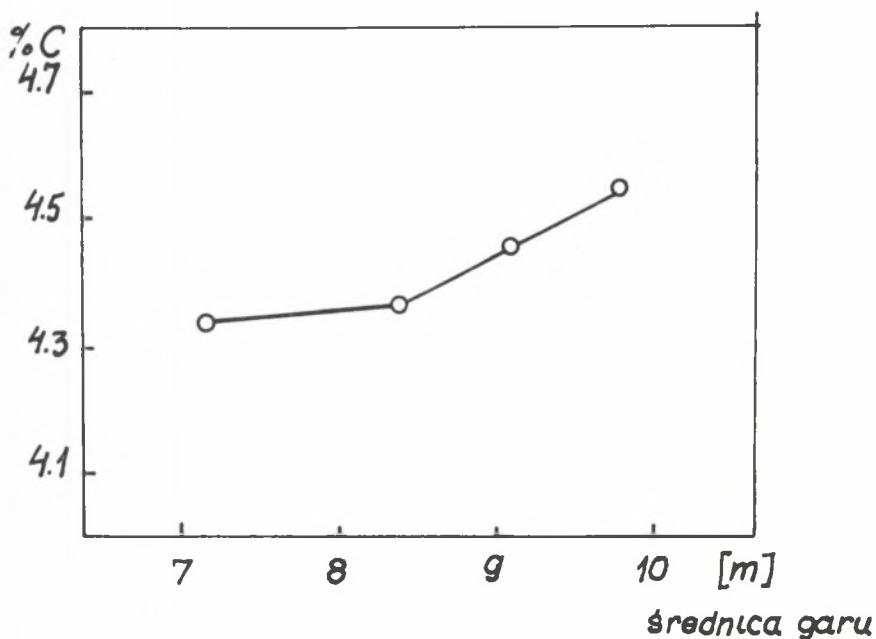


Rys. 4. Zale¿noœæ pomiêdzy zawartoœci¹ wêgla w surówce i zasadowoœci¹ ¿u¿la



strefą o własnościach utleniających. Dzięki temu ilość węgla w surówce utleniona przed dyszami maleje, a końcowa zawartość węgla w surówce rośnie.

W celu określenia zależności zawartości węgla w surówce od objętości (średnicy garu) wielkiego pieca zebrano dane o składzie chemicznym surówek otrzymanych w piecach o różnej objętości.



Rys. 5. Zależność pomiędzy zawartością węgla w surówce i średnicą garu wielkiego pieca

Na rys. 5 przedstawiono zależność pomiędzy średnicą garu wielkiego pieca a zawartością węgla w surówce przerobczej. Naniesione punkty są wartościami średnimi zawartości węgla w surówce otrzymanymi na podstawie średnich analiz miesięcznych. Widoczny jest dość wyraźny wzrost zawartości węgla przy wzroście średnicy garu wielkiego pieca. Surówka



przeróbca o podobnym składzie chemicznym wyprodukowana w piecu o objętości 1000 m<sup>3</sup>, zawiera średnio około 0,2% mniej węgla w porównaniu z surówką otrzymaną w piecu o objętości 2000 m<sup>3</sup>.

### 3.3. Zależność zawartości siarki i pozostałych składników surówki oraz zasadowości żużła

Na podstawie danych o składzie chemicznym różnych surówek obliczono również współczynnik korelacji zupełnej dla zależności zawartości siarki w surówce i zawartości pozostałych składników surówki oraz zasadowości żużła. Obliczone współczynniki podaje tablica 3.

Tablica 3

Obliczone wartości współczynników korelacji dla zależności pomiędzy zawartością siarki a zawartością węgla, krzemu, fosforu, manganu w surówce oraz zasadowością żużła

Zbiór	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$r_{S-C}$	-0,649	-0,266	-0,096	-0,100	-0,093	0,001	-0,223	0,003
$r_{S-Si}$	-0,262	-0,258	-0,134	0,187	-0,083	-0,332	-0,158	-0,275
$r_{S-Mn}$	-0,305	-0,552	-0,400	-0,269	-0,323	-0,333	-0,123	-0,165
$r_{S-P}$	-0,214	0,407	0,036	-0,135	-0,517	-0,128	-0,132	-0,005
$r_{S \frac{CaO}{SiO_2}}$	-0,313	-0,499	-0,503	-0,185	-0,462	-0,453	-0,269	-0,009

Prawie wszystkie obliczone współczynniki korelacji zupełnej mają znak ujemny co oznacza, że ze wzrostem zawartości pozostałych składników surówki zawartość siarki maleje. Największe wartości współczynników korelacji występują dla zależności pomiędzy zawartością siarki i zasadowością żużła. Dla każdego zbioru obliczono także równanie regresji wielokrotnej:

$$S = f(C, Si, Mn, P, \frac{CaO}{SiO_2})$$

Po uwzględnieniu współzależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi w poszczególnych zbiorach istotnie skorelowano z zawartością siarki są następujące zmienne niezależne:

w zbiorze	I	C, Si,	CaO/SiO <sub>2</sub>
	II	Mn, P,	CaO/SiO <sub>2</sub>
	III	Si, Mn,	CaO/SiO <sub>2</sub>
	IV	Mn	
	V	C, P,	CaO/SiO <sub>2</sub>
	VI	Si, P,	CaO/SiO <sub>2</sub>
	VII		CaO/SiO <sub>2</sub>

Zasadowość żużła istotnie wpływa na zawartość siarki w surówce. Jedynie w zbiorze IV to jest dla surówek otrzymywanych na żużlach kwaśnych (0,88-1,00) zasadowość żużła nie wpływa w sposób istotny na zawartość siarki w surówce. Wzrost zasadowości żużła o 0,1% przy produkcji badanych surówek zmniejsza zawartość siarki średnio o około 0,003 - 0,009%.

W trzech zbiorach stwierdzono istotną korelację pomiędzy zawartością siarki i krzemu, manganu oraz fosforu. Wzrost zawartości krzemu o 0,1% zmniejsza zawartość siarki o około 0,001%, co tłumaczy się lepszym odsiarczaniem przy większym nagrzanu garu.

Ciekawym jest stwierdzenie zależności zawartości siarki i zawartości manganu w surówce. Powszechnie uważa się, że zdolność odsiarczająca manganu w warunkach wielkiego pieca jest niewielka, przy czym odsiarczające działanie manganu uwidocznia się bardziej przy niskich temperaturach surówki. Otrzymane dane potwierdzają ten pogląd. Istotną zależność pomiędzy zawartością manganu i siarki stwierdzono w zbiorach II, III i IV.

Wartość współczynników regresji

- 0,0362 w zbiorze II
- 0,0257 w zbiorze III
- 0,0110 w zbiorze IV

wskazuje, że im cieplejsza surówka tym mniejszy wpływ odsiarczający manganu.

### Wnioski

1. Ustalono zależności graficzne i równania regresji pomiędzy zawartością C, a zawartością Si, Mn, P w surówce oraz pomiędzy zawartością C i zasadowością żużla.
2. Stwierdzono, że w surówkach martenowskich (zawartość Si od 0,3% do 1,0%) zawartość C zmienia się w niewielkim zakresie z uwagi na przeciwstawne działanie równoczesnego wzrostu zawartości Si i podwyższenia temperatury surówki.
3. Ustalono zależność zawartości C w surówce od średnicy garu wielkiego pieca dla grupy pieców pracujących w analogicznych warunkach wsadowych i technologicznych. Wraz ze wzrostem objętości wielkiego pieca zawartość węgla w surówce rośnie.
4. Określono wpływ C, Si, Mn, P i zasadowości żużla na zawartość S w surówkach w warunkach pracy wielkich pieców w kraju.

### LITERATURA

1. E. Piwowarsky - Hochvertiges Gusseisen, Heidelberg 1961.
2. F. Neumann, H. Schenck - Archiv. Eisenhüttenwes., t. 30, 1959, nr 8, s. 447-483.
3. A. v. Klitzing - Stahl u. Eisen, t. 86, 1966, nr 13, s. 653-654.
4. W.L. Pokryszkin, P.G. Nietriebko, G.B. Rabinowicz - Stal, 1966, nr 7, s. 110-112.
5. A.G. Paniew, I.N. Krasawcew, S.L. Jaroszewskij, I.N. Popow - Mietałurg 1971, nr 2, s. 7-10.
6. G. Sironi, G. Venier - Boll. Tecn. Finisider 1971, nr 293, s. 489-497.
7. I.I. Bornackij - Desulfuracja mietałła, Moskwa 1970.

8. H.v. Ende, G. Winzer - Stahl u. Eisen t. 84, 1964, nr s. 1366-1381.  
9. E. Schurmann, K. Alsen, W. Domalski - Archiv. Eisenhüttenwes. t. 42, 1971, nr 3, s. 147-155.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ЧУГУНА  
И ОСНОВНОСТИ ШЛАКА НА СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА  
И СЕРЫ В ЧУГУНЕ

Р е з ю м е

Используя методы статистического анализа, определена зависимость между содержанием углерода, серы и содержанием остальных компонентов чугуна, а также основностью шлака.

DETERMINATION OF CORRELATION BETWEEN CONTENTS OF SOME  
PIG IRON INGREDIENTS AND RATIO OF SLAG BASICITY  
AND THE COAL AND SULPHUR CONTENTS IN PIG IRON

S u m m a r y

The main purpose of this work was to determine the interdependence between the content of carbon and sulphur in the pig-iron and other components and the slag ratio.