CHEMIA z. 46

P.3345/68

JERZY WĘGIEL

BADANIA NAD PRZYDATNOSCIĄ NIEKTÓRYCH SORTYMENTÓW KOKSU DO WIELKICH PIECÓW

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 234 – GLIWICE 1968

SPIS TREŚCI

Str.

I. Wstęp 5

II. Część doświadczalna 11

1. Przebieg rozkruszu różnych sortymentów koksu . . 11

2. Porównawcze badania w skali technicznej nad przydatnością różnych sortymentów koksu do wielkich pieców . . 22

a) Uwagi ogólne 22

b) Charakterystyka technicznych warunków pracy koksowni 24

c) Charakterystyka technicznych warunków pracy wielkiego pieca 30

d) Wyniki badań i ich omówienie 37

3. Wyniki prac wdrożeniowych do produkcji przemysłowej . 45

III. Wnioski 49

IV. Streszczenie 50

V. Literatura 50

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 234

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GLIWICE

P.3345/68

JERZY WĘGIEL

BADANIA NAD PRZYDATNOŚCIĄ NIEKTÓRYCH SORTYMENTÓW KOKSU DO WIELKICH PIECÓW

PRACA HABILITACYJNA Nr 85

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 27. VI. 1968 r.

GLIWICE 1968

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Fryderyk Staub

REDAKTORZY DZIAŁU

Iwo Pollo

SEKRETARZ REDAKCJI

Tadeusz Matula

P J 318/68

Dział Nauki — Sekcja Wydawnictw Naukowych — Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Konarskiego 23

Nakł. 100+190 Ark. wyd. 2,7 Ark. druk. 3,8 Papier offsetowy kl. III, 70x100, 70 g
Oddano do druku 26. 7. 1968 Podpis. do druku 16. 9. 1968 Druk ukoń. we wrześniu 1968
Zam. 1311 26. 7. 1968 K-22 Cena zł 4,—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

OD AUTORA

Przedstawiona praca habilitacyjna była wykonana w latach 1962 do 1968. W okresie tym autor pracował w Katedrze Technologii Chemicznej Węgla Politechniki Śląskiej i korzystał z wszystkich możliwych udogodnień. W szczególności był on otoczony bardzo serdeczną opieką ze strony JM Rektora Politechniki Śląskiej prof. dr inż. Jerzego Szuby i Kierownika Katedry Technologii Chemicznej Węgla prof. dr inż. Józefa Salcewicza. Wyżej wymienieni w czasie całego okresu pracy udzielali autorowi wszelkiej możliwej pomocy oraz bardzo cennych rad i wskazówek.

W części doświadczalnej, przyjaznej pomocy udzielali również Dyrekcja i pracownicy Zjednoczenia Hutnictwa Żelaza i Stali, Huty Pokój i Zakładów Koksowniczych Walenty, a w szczególności mgr inż. Franciszek Izdebski i inż. Stanisław Krasowski.

Wszystkim wyżej wymienionym, którzy w istotny sposób przyczynili się do wykonania obecnej pracy autor składa bardzo serdeczne podziękowania.

I. W S T Ę P

Największą ilość produkowanego w kraju koksu zużywa przemysł hutniczy do procesu wielkopiecowego, a stały wzrost produkcji surówki żelaza powoduje zwiększanie się zapotrzebowania na koks dla tego przemysłu, mimo zmniejszania jego zużycia na wyprodukowanie jednej tony surówki.

Koks posiada podstawowe znaczenie w przebiegu procesu wielkopiecowego. Jest paliwem, reduktorem, a ponadto zapewnia możność przepływu gazów przez wsad wielkiego pieca, ponieważ tylko koks schodzi do dysz w stanie stałym. Na ogół wszystkie metody, przy pomocy których określa się fizyczne własności koksu mają za zadanie orientować nas o tym, jaką gazoprzepuszczalność będzie posiadał koks w procesie wielkopiecowym. Jednak niewątpliwie prace Syskowa [1] mają dla oceny gazoprzepuszczalności koksu znaczenie podstawowe.

Jakość koksu jest tym lepsza, im większa jest jego gazoprzepuszczalność, która z kolei zależy od składu ziarnowego. W pewnym stopniu na gazoprzepuszczalność wpływają naturalnie cechy pozostałych składników wsadu, ale własności koksu odgrywają niewątpliwie zasadniczą rolę. Z powyższych względów uzasadnione są prace badawcze nad rolą koksu w procesie wielkopiecowym. Najbardziej miarodajne byłoby ustalanie gazoprzepuszczalności koksu w samym procesie wielkopiecowym, ale badania takie są bardzo trudne i dlatego stosujemy metody pośrednie, za pomocą których staramy się tak dobierać własności koksu, aby otrzymać optymalne warunki pracy wielkich pieców.

Można stwierdzić, że gazoprzepuszczalność koksu będzie w przybliżeniu tym lepsza, im większa będzie objętość prze-

strzeni międzykawałkowych. Objętość tą można obliczyć z wzoru (2):

$$V_m = (1 - \frac{\rho}{\rho_k}) \cdot 100,$$

gdzie:

V_m - objętość przestrzeni międzykawałkowych, %,
ρ - masa nasypowa, kg/m^3,
ρ_k - gęstość pozorna, kg/m^3.

Z podanego wzoru wynika, że przy stałej gęstości pozornej koksu, wielkość przestrzeni międzykawałkowych zależna jest od masy nasypowej, która z kolei zależy od składu ziarnowego i wielkości kawałków koksu. Masa nasypowa koksu będzie tym mniejsza, im większa będzie średnia wielkość kawałków i ich równomierność pod względem wielkości.

Dla oceny równomierności kawałków koksu stosuje się dość często wzór (3):

$$K = \frac{(40-80)}{(\text{pow. } 80) + (25-40)},$$

gdzie:

(40-80) - procentowa zawartość ziarna koksu 40 do 80 mm,
(pow. 80) - " " " " pow. 80 mm,
(25-40) - " " " " 25 do 40 mm.

Masa nasypowa koksu w zależności od wielkości kawałków wynosi:

dla frakcji 100 do 80 mm - 420 do 440 kg/m^3,
" " 80 do 60 mm - 455 do 475 kg/m^3,
" " 60 do 40 mm - 480 do 510 kg/m^3,
" " 40 do 25 mm - 490 do 515 kg/m^3,

a dla koksu nierozsortowanego na frakcje wynosi 450 kg/m^3 [4]. Może ona jednak wahać się w granicach od 400 do 500 i więcej kg/m^3. We Francji przyjmuje się, że masa nasypowa dobrego koksu wielkopiecowego powinna wynosić 450 do 470 kg/m^3 [5]. Stwierdzono, że istnieje związek między pracą wielkich pieców, a masą nasypową koksu [6], przy czym piece z reguły pracowały lepiej przy zastosowaniu koksu o mniejszej masie nasypowej.

Wyżej przytoczone dane wskazują, że najkorzystniej kształtuje się masa nasypowa koksu dla najgrubszych frakcji ziarnowych. Podkreślić jednak należy, że koks z koksowni do wielkiego pieca ulega znacznemu rozdrobnieniu.

W kraju, prace dla wyjaśnienia przebiegu rozkruszu koksu w układzie koksownia-wielkie piece w obrębie huty, zostały zapoczątkowane przed rokiem 1963 [7]. Sprawa ta była omawiana i przez innych autorów [8, 9]. Oczywiście rozkruszanie koksu zachodzi również i w wielkim piecu. Oznaczenie więc masy nasypowej koksu w koksowni nie jest jednoznaczne z gazoprzepuszczalnością jaką będzie posiadał koks w wielkim piecu tym bardziej, że odporność różnych klas ziarnowych na rozkruszanie jest różna [10, 11], przy czym duże kawałki koksu są mniej wytrzymałe od mniejszych. Z tych też względów nie wydaje się uzasadnione dążenie do stosowania tylko koksu o dużej kawałkowości. Ponieważ działanie na koks sił mechanicznych w czasie transportu i w wielkim piecu powoduje jego rozdrobnienie, istotne znaczenie będzie więc posiadać nie tylko skład ziarnowy, ale również odpowiednia odporność mechaniczna koksu na rozkruszanie. Dlatego parametry wytrzymałości koksu uważane są za podstawową cechę jakości. Koks bardziej odporny na działanie sił mechanicznych nie będzie ulegał znacznemu rozdrobnieniu w czasie transportu i w wielkim piecu, a tym samym będzie zapewniał lepszą przewiewność wsadu wielkopiecowego.

Do oznaczeń parametrów wytrzymałości najczęściej używa się metody wg Micum, Sundgrena i Snatter test [12], które mimo powszechnego ich stosowania nie odtwarzają dostatecznie dokładnie całokształtu przebiegu rozkruszu koksu. Niedoskonałość tych metod badania jakości koksu była przedmiotem krytyki Bruka [13], Sapożnikowa [14], Syskowa i Nikołajewa [15], Byrtusa [16] oraz Chawkina i Głuszczenka [17], i znane są przypadki, kiedy piece źle pracowały na skutek nadmiernego rozkruszenia się koksu o dużym wskaźniku bębnowym wynoszącym wg metody Sundgrena 320 do 330 kg, a nawet więcej [18].

Potrzebę lepszego poznania zjawiska rozkruszania koksu na skutek działania sił mechanicznych docenili Świętosławski

i Chorąży [19], którzy już w 1930 r. przeprowadzili badania dla wyjaśnienia tego zagadnienia. Autorzy opracowali i zastosowali metodę badania mało wytrzymałych koksów. Nadziakiewicz [20] podaje wyniki przebiegu rozkruszania trzech koksów różnego rodzaju w miarę postępowania bębnowania w bębnie Micum aż do 500 obrotów. Kalinowski, Grossman i Janta [21] badali wpływ, który wywierają urządzenia transportowe i sortownicze na jakość koksu. Ginsburg [10] oznaczył różnice w rozkruszalności czterech klas ziarnowych koksu (pow. 80, 80 do 60, 60 do 40 i 40 do 25 mm). Stwierdził, że największą odporność mechaniczną na rozdrabnianie posiadają klasy ziarnowe 60 do 40 i 40 do 25 mm.

Szczegółowe wyniki badań nad przebiegiem rozkruszania różnych gatunków koksów produkowanych w Polsce podaje Salcewicz i współautorzy [7, 11, 22], którzy badali zmiany kawałkowości i parametrów wytrzymałości koksu w zależności od czasu obróbki mechanicznej. Autorzy na podstawie uzyskanych wyników stwierdzili celowość podjęcia systematycznych i wyczerpujących badań w skali technicznej nad stosowaniem w procesie wielkopiecowym sortymentu koksu pow. 25 mm.

Zagadnienie przebiegu rozkruszu koksu było przedmiotem badań i innych autorów [23, 24, 25, 26].

Z przedstawionych wyżej danych wynika, że dla oceny przydatności koksu do wielkich pieców należy brać pod uwagę, jeżeli chodzi o jego cechy fizyczne, masę nasypową, parametry wytrzymałości oraz przebieg rozkruszu koksu. Posługiwanie się tak dużą ilością wskaźników jest utrudnione i dlatego opracowano szereg wskaźników, które ujmują najistotniejsze cechy jakościowe koksu w sposób kompleksowy. W szczególności należy wymienić wskaźniki według Szczukina [27], Thibauta [28, 29], Bruka [30], Syskowa [1, 15], Ilsedera [31], Grafa [31, 32], Byrtusa [23, 33, 34], Havela-Charvata-Rerabeka [35, 36], Ginsburga [10] oraz wzór Syskowa dostosowany przez Byrtusa do badania koksu w urządzeniu Micum [33, 37, 38], Nadziakiewicz i współautorzy [24, 39] oraz Grossman [40] podają ocenę i interpretację sposobów oznaczania odporności mechanicznej koksów.

W ZSRR jest produkowany koks wielkopiecowy ze znacznym udziałem drobniejszych sortymentów (25 do 40 mm) i udział ten wynosi do 20% [9]. W Japonii, gdzie osiąga się najmniejsze zużycie koksu na tonę surówki, w procesie wielkopiecowym używano przeważnie koks łamany stosunkowo drobnokawałkowy, o wielkości ziarn 20 do 70 mm [41]. W hucie Osaka [42] był nawet rozdrabniany koks powyżej 45 mm przy czym do wsadu wielkopiecowego używano koks od 10 do 45 mm, a jego zużycie na 1 tonę surówki było małe i wynosiło poniżej 500 kg. Z przytoczonych przez Radomińskiego danych [43] można wnioskować, że stosowany w procesie wielkopiecowym niesort koksu powyżej 40 mm powinien posiadać możliwie małą ilość podziarna. Stosując jednak równocześnie lepsze przygotowanie wsadu rudnego i sortyment koksu 30 do 50 mm uzyskano wyraźną oszczędność koksu i wzrost produkcji.

Powyższe dane jednak nie były wystarczające aby na ich podstawie uważać, że jest efektywne stosowanie w procesie wielkopiecowym drobniejszych sortymentów koksu w naszych krajowych warunkach surowcowych i technicznych. Badania polskie nie obejmują całości zagadnienia, a badania autorów zagranicznych dotyczą innych warunków surowcowych, a często i technicznych. W szczególności należy zaznaczyć, że stosowane do produkcji koksu krajowe węgle posiadają własne specyficzne cechy, a produkcja odbywa się przy załadunku komór koksowniczych wsadem ubijanym, co stanowi dodatkową naszą specyfikę i ma wpływ na niektóre cechy jakościowe koksu.

Przy ocenie i wyborze koksu dla procesu wielkopiecowego musimy jednak brać pod uwagę naszą bazę surowcową dla przemysłu koksochemicznego, która jest stosunkowo mało korzystna [44, 45, 46, 47]. Posiadamy wprawdzie znaczne zasoby węgla kamiennego wynoszące około 135 miliardów ton [48], a roczne wydobycie wynosiło w roku 1967 124 mln ton [49], jednak na węgle, które mogą być użyte w koksownictwie przypada tylko około 1/5 tego wydobycia. Spowodowane jest to specyfiką naszych zasobów geologicznych, w których przeważają w bardzo znacznym stopniu węgle energetyczne. Podkreślić należy przy tym że we wspomnia-

nych ilościach węgli, które mogą być użyte do produkcji koksochemicznej przeważają węgle gazowe i gazowo-koksowe, które koksowane same dają koks słaby, w najlepszym przypadku przydatny do celów opałowych. Na węgle koksowe i chude przypada bardzo nieznaczny procent wydobycia i węgle te z powyższego względu stosowane są tylko jako składniki uszlachetniające w mieszankach węglowych stosowanych do produkcji koksu hutniczego. Tak więc węglami podstawowymi w naszych mieszankach wsadowych stosowanych do produkcji koksu są węgle typu 33 i 34, a udział węgli koksowych i schudzających jest ograniczony do minimum i wynosi od 0 w przypadku produkcji koksu opałowego do 35% i więcej w przypadku produkcji koksów hutniczych o najwyższych parametrach wytrzymałości. Należy również zaznaczyć, że koszty wydobycia węgli poszczególnych typów nie są jednakowe. Jeżeli przyjmiemy koszty wydobycia węgli typu 33 za 100, to w przypadku górnośląskich węgli typu 34 będą one wynosiły 120, węgli typu 35-250, zaś węgli dolnośląskich typów 34 do 38-400. Powyższe jest spowodowane znacznie gorszymi warunkami zalegania w pokładach węgli bardziej cennych dla przemysłu koksochemicznego.

Obecnie u nas w procesie wielkopiecowym zużywa się w przeważającej części koks gatunku Ia i Ib, a tylko w nieznacznej ilości gatunku II, przy czym dąży się do dalszej poprawy jakości stosowanego koksu.

Z powyższego wynika, iż jednym z podstawowych kierunków prac badawczych i doświadczalnych musi być zadanie bardziej racjonalnego tj. oszczędnego zużywania w produkcji koksu węgli koksowych i schudzających bez pogorszenia jakości produkowanego koksu.

W okresie rozpoczynania obecnej pracy, w procesie wielkopiecowym zużywany był w Polsce koks w sortymencie powyżej 40 mm. Udział jego w produkcji wynosi około 80%, a reszta tj. około 20% przypada na sortymenty drobniejsze, które są tańsze jako mniej wartościowe. Jeżeliby w procesie wielkopiecowym używano przynajmniej część tych drobnych sortymentów, byłoby to równoznaczne z wykorzystaniem do produkcji surówki dodatkowych

ilości koksu przy niezmienionym wsadzie węglowym. Pozwoliłoby to, przy założeniu określonego zapotrzebowania na koks wielkopiecowy, zmniejszyć odpowiednio zużycie drogich i deficytowych węgli koksowych przeznaczając je na eksport lub na wzbogacenie stosowanych obecnie mieszanek w celu poprawy jakości koksu, względnie, zwiększyć produkcję koksu wielkopiecowego przy niezmienionym zużyciu tych węgli.

Celem obecnej pracy było zbadanie na drodze prób przemysłowych znaczenia, jakie posiada dla procesu wielkopiecowego kawałkowość koksu, a w szczególności ustalenie czy jest efektywnym zużywanie w tym procesie drobniejszych (tańszych) sortymentów koksu.

II. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

1. Przebieg rozkruszu różnych sortymentów koksu

Opory jakie stawia wsad wielkopiecowy przechodzącym gazom, w dużej mierze zależą od składu ziarnowego koksu znajdującego się w poszczególnych miejscach wielkiego pieca. Koks na drodze z koksowni do wielkiego pieca, a następnie w samym wielkim piecu podlega obróbce mechanicznej. O ile można dość dokładnie ustalić przebieg obróbki mechanicznej koksu, jaka zachodzi na drodze z komory koksowniczej do wielkiego pieca, to dokładne odtworzenie zmian kawałkowości koksu zachodzących w wielkim piecu jest bardzo trudne. Z tego też względu do oceny tego zjawiska zaproponowano cały szereg metod pośrednich, które polegają na badaniu własności mechanicznych koksu na drodze jego obróbki mechanicznej najczęściej przez bębnowanie. Metody te nie dają całkowicie ścisłej oceny praktycznej wartości różnych koksów dla wielkich pieców, ale na ich podstawie można uzyskać dane porównawcze i orientację odnośnie zachowania się danego koksu w procesie wielkopiecowym. Spośród wielu uprzednio omówionych metod badania koksu odnośnie kształtowania się jego cech mechanicznych wybrano metodę opracowaną

przez Syskowa [1, 15]. Wybierając powyższą metodę do badań kierowano się tym, że pozwala ona na ocenę jakości koksu przy pomocy jednego syntetycznego wskaźnika dobrze charakteryzującego "przewiewność" nasypowej masy koksu i nadaje się do badań również koksu drobniejszego (od 25 mm), a ponadto oznaczenie wykonuje się przy pomocy typowej aparatury stosowanej do określania parametrów wytrzymałości. Za kryterium oceny "przewiewności" koksu w tej metodzie przyjmuje się "współczynnik oporu gazów przepływających przez koks" tj. wskaźnik "h", który oblicza się dla koksu po jego obróbce mechanicznej w bębnie Sundgrena.

Wartość liczbową tego wskaźnika oblicza się ze wzoru:

$$h = 100 \frac{v + 1000}{v} \sqrt[2]{\frac{v + 1000}{v}} \left(2 + \frac{300\ s}{(v + 1000) \sqrt[3]{v^2}}\right),$$

gdzie:

h - współczynnik oporu gazów przepływających przez koks,
v - objętość przestrzeni międzykawałkowej, cm^3/kg,
s - powierzchnia przestrzeni międzykawałkowej, cm^2/kg.

Wielkości s oraz v obliczamy z wzoru.

$$v = 15{,}5\ a_{>80} + 11{,}3\ a_{60-80} + 9{,}1\ a_{40-60} + 7{,}6\ a_{25-40} + 6{,}7\ a_{10-25} + 6{,}3\ a_{0-10},$$

$$s = 6{,}7\ a_{>80} + 8{,}6\ a_{60-80} + 12{,}0\ a_{40-60} + 18{,}5\ a_{25-40} + 34{,}3\ a_{10-25} + 120\ a_{0-10},$$

gdzie:

$a_{>80}$, a_{60-80} itd. - ilości procentowe poszczególnych frakcji koksu uzyskane przy użyciu sit o oczkach kwadratowych.

Wzór na obliczenie wskaźnika "h" podawany jest w uproszczonej formie:

$$h = 100 \cdot \alpha\ (2 + \beta \cdot s),$$

gdzie:

$$\alpha = \frac{v + 1000}{v} \sqrt[3]{\frac{v + 1000}{v}},$$

$$\beta = \frac{300}{(v + 1000) \sqrt[3]{v^2}}.$$

Zaznaczyć należy, że ocena jakości koksu przy pomocy wzoru Syskowa będzie najbardziej miarodajna, jeżeli przebieg rozkruszania koksu w urządzeniu badawczym będzie podobny do rozkruszania jakie zachodzi w praktyce przemysłowej.

Rozkrusz koksu w urządzeniu Sundgrena przebiega głównie na skutek wzajemnego ścierania się kawałków koksu i w pewnym przybliżeniu odtwarza to rozkrusz koksu jaki zachodzi w wielkim piecu. Najczęściej jednak oznaczenie jakości koksu jest dokonywane w koksowni, ponieważ już tam należy zadecydować czy dany koks będzie skierowany do odpowiedniego procesu przemysłowego. Koks z koksowni przed dostaniem się do wielkiego pieca musi przebyć odpowiednią drogę. Na drodze tej ulega on również rozdrobnieniu, przy czym rozkrusza się tu w znacznym stopniu na skutek zrzucania. Przy badaniu jakości koksu w koksowni należałoby zatem badać koks przy użyciu metody rozkruszającej go przez ocieranie i uderzanie. Biorąc powyższe pod uwagę, jakość koksu w obecnej pracy badano również w urządzeniu Micum, gdzie działają siły rozkruszające na skutek uderzania i ocierania. Do obliczenia współczynnika "h" wykorzystano również wzór Syskowa, ale przystosowany przez Byrtusa do badań koksu w urządzeniu Micum [33, 37, 38].

Wykorzystuje się tutaj sposób obliczania "h" podany przez Syskowa, a modyfikacja polega na tym, że objętość przestrzeni międzykawałkowej v oblicza się ze wzoru:

$$v = 10{,}3\ a_{>40} + 7{,}0\ a_{20-40} + 6{,}5\ a_{10-20} + 6{,}2\ a_{0-10} \quad cm^3/kg,$$

a powierzchnię przestrzeni międzykawałkowej ze wzoru:

$$s = 15{,}0\ a_{>40} + 25{,}0\ a_{20-40} + 50{,}0\ a_{10-20} + 150\ a_{0-10} \quad cm^2/kg,$$

gdzie:

$a_{>40}$, a_{20-40} itd. - udziały procentowe poszczególnych frakcji koksu uzyskane przy użyciu sit o oczkach okrągłych.

W celach porównawczych oznaczono również zmiany współczynnika "h" przy rozkruszaniu koksu metodą zrzutową. Do obliczeń zastosowano taki sam sposób, jak podano wyżej dla obliczania "h" w badaniach koksu w urządzeniu Micum. Koks w tym przypadku podlegał wielokrotnemu zrzucaniu, przy wykorzystaniu do tego celu urządzenia Shatter test. Modyfikacja polegała na tym, że do oznaczenia brano 25 kg koksu, a zamiast sit do rozsiewania koksu, stosowanych w metodzie Shatter test wykorzystano sita używane w metodzie Micum.

Do badań wytypowano koksy produkowane w czterech koksowniach, a mianowicie w Koksowni Huty Kościuszko, Z.K. Walenty, Z.K. Jadwiga i Z.K. Makoszowy[x]. Badania koksu o małej wytrzymałości z Z.K. Makoszowy nie miały na celu stwierdzenia czy może on być użyty do procesu wielkopiecowego, ale uzyskania danych przy zastosowaniu omawianej metody, które wskazywałyby jakie różnice istnieją między koksem stosowanym w hutnictwie, a koksem opałowym. Chodziło również o ustalenie czy ewentualnie stwierdzone zależności w trzech koksach hutniczych mają bardziej ogólne znaczenie i dlatego też badano jeszcze dodatkowo koks o znacznie niższych parametrach wytrzymałości tj. opałowy wzmocniony.

Koks z każdej koksowni poddawano badaniom w czterech następujących sortymentach: powyżej 50, 40 i 25 mm oraz 25 do 50 mm. Taki dobór sortymentów do badań wykonano po to, by stwierdzić czy jest możliwym użycie zamiast stosowanego koksu powyżej 40 mm koksu nierozsortowanego powyżej 25 mm, względnie wprowadzenie do procesu wielkopiecowego koksu drobniejszego

---

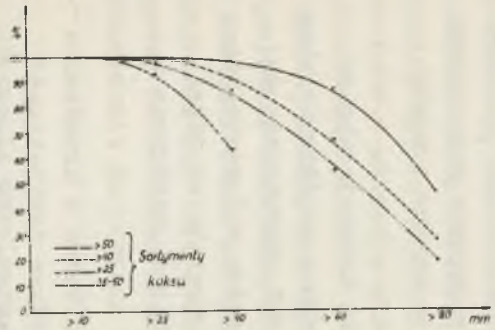
[x] W wykonaniu prac technicznych i zestawieniu wyników pomiarów uczestniczyli dyplomanci Katedry Technologii Chemicznej Węgla K. Makoś i Z. Zakrzewski.

stosując dwie oddzielne frakcje, a mianowicie 25 do 50 i powyżej 50 mm.

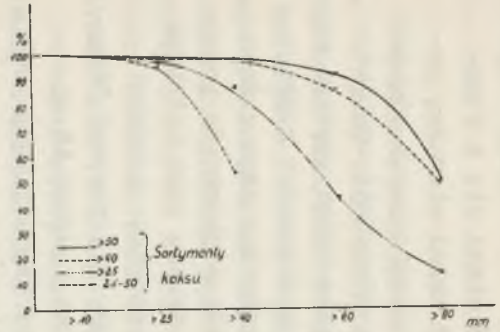
Wprawdzie dodatkowe rozsortowanie koksu wiąże się z kosztami, ale uważano, że bardziej równomierny skład ziarnowy powinien ułatwić wykorzystanie dla celów wielkopiecowych również koksu drobniejszego, a ponadto uzyskano by odpowiedź czy istniejące czasem poglądy o celowości stosowania koksu grubego są uzasadnione. Stwierdzenie znacznie lepszych własności koksu powyżej 50 mm mogło uzasadniać również ewentualne jego wyłączne stosowanie w wielkich piecach. Taki dobór sortymentów pozwalał więc na stwierdzenie czy, i na jakiej drodze jest możliwym wprowadzenie koksu drobniejszego lub na ewentualne uzasadnienie celowości stosowania tylko grubego koksu tj. powyżej 50mm w procesie wielkopiecowym. Badania dla koksu powyżej 40 mm wykonano dla celów porównawczych. Badane sortymenty koksu zestawiono w ten sposób, aby udział w nich ziarn koksu poszczególnych wielkości pokrywał się z analizą sitową odpowiednich sortymentów, gdyby takie były produkowane przez koksownię w skali przemysłowej. Różnica polegała tylko na tym, że próbne sortymenty koksu posiadały stosunkowo małe ilości podzierna za wyjątkiem sortymentu 25 do 50 mm z Z.K. Makoszowy. Analizy sitowe badanych sortymentów koksu zostały wykonane przy użyciu sit potrząsalnych o oczkach kwadratowych, a uzyskane wyniki podają rysunki od 1 do 4.

W celu wyjaśnienia współzależności, jaka istnieje między rozdrabnianiem się różnych sortymentów koksu a współczynnikiem oporu gazów przepływających przez koks - "h" przeprowadzono szereg oznaczeń rozkruszu koksu pod działaniem sił mechanicznych. Przebieg rozkruszu badano przy zastosowaniu urządzeń służących do oznaczania wytrzymałości wg Micum, Sundgrena i Shatter test.

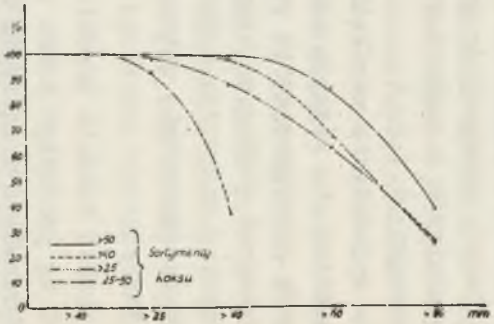
W przypadku badania przebiegu rozkruszu koksu w urządzeniu Micum, 50 kg pobranego koksu poddawano obróbce mechanicznej w znormalizowanym urządzeniu Micum przez 30 min. Co pewien czas w trakcie obróbki mechanicznej przerywano bębnowanie i wykonywano analizę sitową (wg Micum) koksu obrabianego.



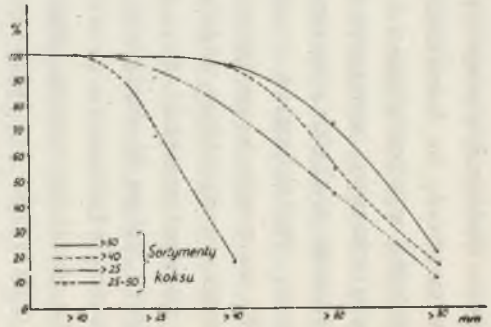
Rys. 1. Analiza sitowa koksu z K.H. Kościuszko



Rys. 2. Analiza sitowa koksu z Z.K.Walenty



Rys. 3. Analiza sitowa koksu z Z.K.Jadwiga



Rys. 4. Analiza sitowa koksu z Z.K. Makoszowy

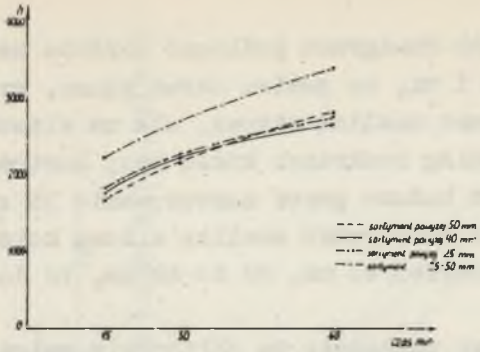
Koks w urządzeniu Sundgrena podlegał obróbce mechanicznej przez 60 min. Również i tu, co pewien okres czasu, przerywano bębnowanie i wykonywano analizę sitową, ale na sitach o oczkach kwadratowych. Przebieg rozkruszu koksu przy zastosowaniu urządzenia Shatter test badano przez zastosowanie 36 zrzutów, przy czym co 4 zrzuty wykonywano analizę sitową koksu oznaczając ilość frakcji powyżej 40 mm, 20 do 40 mm, 10 do 20 mm i 0 do 10 mm.

Otrzymane dane posłużyły do obliczenia zmian współczynnika oporu gazów przepływających przez koks. Obliczone wyniki dla różnych sortymentów koksu z Z.K. Walenty podają rysunki do 5 do 7.

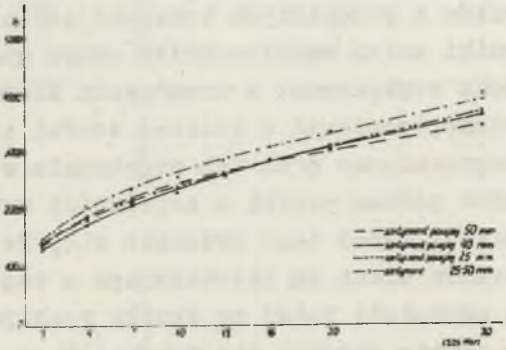
Dla sortymentów z pozostałych koksowni podano w niniejszej pracy tylko wyniki zmian współczynnika oporu gazów przepływających przez koks rozkruszany w urządzeniu Micum. Pozostałych wyników nie podano, ponieważ w dalszej części pracy dla tych koksów nie przeprowadzono prób ich stosowania w skali przemysłowej, a ponadto podane wyniki w zupełności wystarczają dla uogólnień zjawiska. Prócz tego wydawało się, że wyniki rozkruszu w urządzeniu Micum są istotniejsze z tego powodu, że rozkrusz koksu zachodził tutaj na skutek rozbijania i ocierania, a także w czasie obróbki nie usuwano tu powstających ziarn poniżej 25 mm, co jest bardziej zbliżone do warunków, jakie istnieją w czasie zużytkowania koksu w wielkim piecu. Należy również podać że dla koksu z Z.K. Makoszowy nie wykonano oznaczeń jego rozkruszu w urządzeniu Sundgrena.

Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej dla koksu z Koksowni Huty Kościuszko podaje rys. 8, z Z.K. Jadwiga rys. 9 i z Z.K. Makoszowy rys. 10.

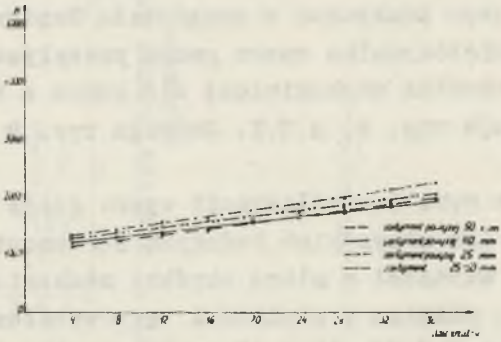
Jak wynika z rys. 5 współczynnik oporu gazów przepływających przez koks "h" dla wszystkich badanych sortymentów koksu z Z.K. Walenty wzrastał w miarę obróbki mechanicznej w urządzeniu Sundgrena. Różnice w wielkości tego współczynnika między sortymentami powyżej 50, 40 i 25 mm były małe, natomiast wyraźnie gorsze własności stwierdzono w przypadku sortymentu



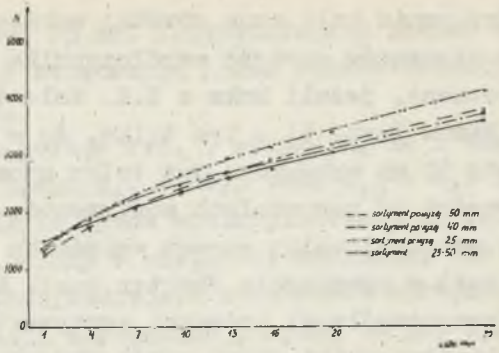
Rys. 5. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Sundgrena Z.K. Walenty



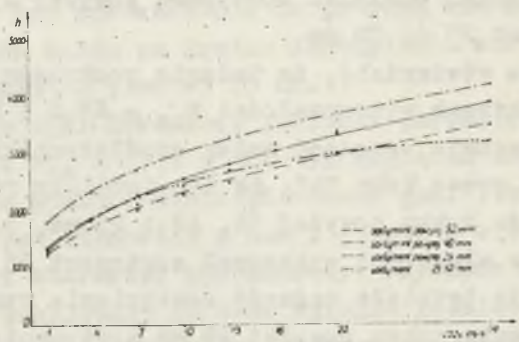
Rys. 6. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Micum Z.K. Walenty



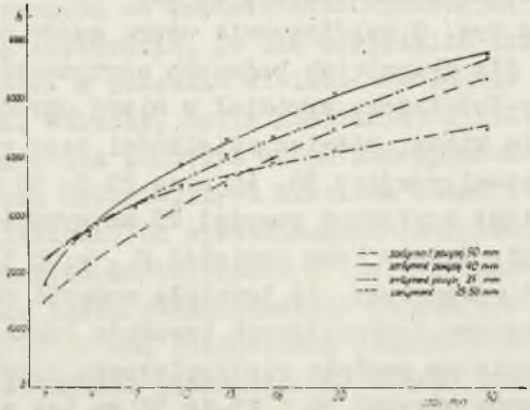
Rys. 7. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Shattertest Z.K. Walenty



Rys. 8. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Micum K. Huty Kościuszko



Rys. 9. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Micum Z.K. Jadwiga



Rys. 10. Zależność współczynnika oporu gazów przepływających przez koks od czasu obróbki mechanicznej w urządzeniu Micum Z.K. Makoszowy

25 do 50 mm, który przez cały czas obróbki wykazywał większą od pozostałych sortymentów wartość współczynnika "h". Podobne zależności obserwowano, jeżeli koks z Z.K. Walenty rozkruszano w urządzeniu Micum (rys. 6) z tym tylko, że w tym przypadku sortyment 25 do 50 mm wykazywał już tylko stosunkowo niedużo gorsze własności od pozostałych sortymentów.

Rys. 7 podaje proporcjonalny wzrost wskaźnika "h" w miarę obróbki mechanicznej w urządzeniu Shatter test. Różnice wskaźnika "h" między poszczególnymi badanymi sortymentami były małe. Najmniejsze współczynniki oporu gazów przepływających przez koks w czasie całej obróbki w tym urządzeniu wykazywały sortymenty powyżej 50 i 40 mm. Nieznacznie większe wartości omawianego wskaźnika posiadał sortyment powyżej 25 mm i nieco większe sortyment 25 do 50 mm.

Ogólnie można stwierdzić, że badania rozkruszu koksu w Z.K. Walenty o parametrach wytrzymałości M_{40} = 65,0 i M_{10} = 9,3 wykazały na podstawie oznaczeń zmian współczynnika oporu gazów przepływających przez koks "h", że nie istniały różnice w jakości sortymentów koksu powyżej 50, 40 i 25 mm, a tylko nieznacznie słabsze własności wykazywał sortyment 25 do 50 mm. Wskazywało to, że istniała możność zastąpienia uprzednio stosowanego sortymentu koksu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm lub koksem rozsortowanym na sortymenty powyżej 50 mm i 25 do 50 mm, przy czym korzystniejsze w zasadzie powinno być stosowanie niesortu koksu powyżej 25 mm.

Jak wynika z rys. 8 współczynnik oporu gazów przepływających przez koks "h" dla wszystkich badanych sortymentów koksu z koksowni Huty Kościuszko wzrastał w miarę obróbki mechanicznej w urządzeniu Micum. Różnice w wielkości tego współczynnika między sortymentami powyżej 50, 40 oraz 25 do 50 mm były nieznaczne, natomiast sortyment powyżej 25 mm wykazywał nieco gorsze własności. Badany koks posiadał M_{40} = 75 i M_{10} = 9,2. Uzyskane wyniki wskazywały, że istniała możność zużywania w procesie wielkopiecowym drobniejszych kawałków badanego koksu przez zastosowanie we wsadzie wielkopiecowym koksu rozsortowanego na sortymenty powyżej 50 i 25 do 50 mm lub nierozsortowa-

nego koksu powyżej 25 mm. Korzystniejsze jednak w tym przypadku powinno być stosowanie koksu rozsortowanego tj, powyżej 50 i 25 do 50 mm.

Wyniki, które podaje rys. 9 wskazują, że i dla koksu z Z.K. Jadwiga posiadającego M_{40} = 68,9 oraz M_{10} = 6,9 istniała możność wprowadzenia do wsadu wielkopiecowego drobniejszych kawałków tego koksu. Zmiany w wielkości wskaźnika "h" wskazywały, iż powinno być korzystniejsze stosowanie sortymentów powyżej 50 i 25 mm, aniżeli sortymentu powyżej 40 mm. Gorsze własności wykazywał natomiast sortyment 25 do 50 mm, który przez cały czas jego rozkruszania w urządzeniu Micum posiadał największą wartość wskaźnika "h". Uzyskane dane uzasadniały, iż korzystniejsze powinno być wprowadzenie do procesu wielkopiecowego drobnych kawałków koksu na drodze zastąpienia sortymentu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm.

Badany koks z Z.K. Makoszowy posiadał parametry wytrzymałości M_{40} = 55,3 i M_{10} = 10,6 i pod tym względem odpowiadał wymaganiom stawianym koksowi wielkopiecowemu gat. IIb. Ten gatunek koksu już nie jest stosowany u nas w procesie wielkopiecowym. Oznaczenia miały charakter porównawczy. Uzyskane wyniki, które podaje rys. 10 wskazywały na dość wyraźne różnice wskaźnika "h" w zależności od sortymentu koksu. Wszystkie jednak badane sortymenty posiadały duże wartości wskaźnika "h" i wobec tego nie wydawało się celowym podjęcie prób stosowania któregokolwiek z badanych sortymentów we wsadzie wielkopiecowym.

Ogólnie można stwierdzić, że dla wszystkich trzech badanych koksów, stosowanych w procesie wielkopiecowym tj. koksów produkowanych w Z.K. Walenty, Hucie Kościuszko i Z.K. Jadwiga istniały wskazania dla podjęcia badań nad wprowadzeniem do wsadu wielkopiecowego drobniejszych kawałków koksu (tj. koksu 25 do 40 mm). W zależności od specyficznych cech każdego koksu bardziej słuszne było zastosowanie w tym celu niesortu koksu powyżej 25 mm lub koksu rozsortowanego na dwa sortymenty tj. powyżej 50 i 25 do 50 mm. Stwierdzone jednak stosunkowo nieduże różnice w wielkości wskaźnika "h" między poszczególnymi badanymi sortymentami pozwalały przypuszczać, że również

w procesie wielkopiecowym nie powinno się stwierdzać dużych różnic w zależności od tego czy stosowanoby koks sortymentu powyżej 50, 40, 25 lub 25 do 50 mm.

Niekorzystnie kształtujący się wskaźnik "h" dla koksu z Z.K. Makoszowy nie uzasadniał celowości użycia żadnego z badanych sortymentów koksu do wsadu wielkopiecowego.

2. Porównawcze badania w skali technicznej nad przydatnością różnych sortymentów koksu do wielkich pieców

a) Uwagi ogólne

Na podstawie uzyskanych wyników zależności współczynnika oporu gazów przepływających przez koks "h" od czasu obróbki mechanicznej uznano za celowe przeprowadzenie odpowiednich prób w skali technicznej. Omawiany wskaźnik "h" nie uwzględniał wprawdzie działania nacisku i temperatury, ale czynniki te nie posiadają dla rozkruszu koksu istotnego znaczenia. W wielkim piecu o wysokości 25 m nacisk wywierany na koks jest mniejszy od $3 \cdot 10^5$ N/m^2, a koksy górnośląskie wykazują wytrzymałość na nacisk od około $120 \cdot 10^5$ N/m^2 do około $170 \cdot 10^5$ N/m^2 [50, 51]. Również przy normalnej pracy wielkiego pieca rozkruszanie koksu o jednorodnej strukturze na skutek działania temperatury jest stosunkowo małe [52].

Do prób wybrano koks produkowany w Z.K. Walenty. Wybór ten był uzasadniony tym, że w koksowni Walenty i Hucie Pokój, która zużywała ten koks, istniały odpowiednie do przeprowadzenia prób warunki techniczne. Również wyniki oznaczeń wskaźnika "h" dla powyższego koksu wskazywały, że można spodziewać się pozytywnych wyników zastosowania we wsadzie wielkopiecowym drobnych kawałków koksu na drodze stosowania niesortu koksu powyżej 25 mm. Próby w skali technicznej zostały podjęte w 1966 r. z inicjatywy prof. dr inż. J. Salcewicza i na podstawie tematu ujętego z NPG do wykonania przez Katedrę Technologii Chemicznej Węgla Politechniki Śląskiej, Hutę Pokój i Z.K. Walenty.

Zakłady Koksownicze Walenty dostarczały w określonych okresach odpowiednie sortymenty koksu, a Huta Pokój przeznaczyła

do prób jeden z wielkich pieców. Koksownia i huta podjęły się również wykonania szeregu dodatkowych analiz i oznaczeń. Dla otrzymania porównywalnych wyników przez cały okres prób zachowano na ogół niezmienione warunki surowcowe i techniczne, zarówno w koksowni produkującej koks do prób, jak i w pracy wielkiego pieca przeznaczonego do wykonania badań. Zmieniano tylko sortyment koksu stosowanego w procesie wielkopiecowym.

W celu otrzymania miarodajnych wyników okresy stosowania poszczególnych sortymentów należało ustalić dostatecznie długie i dlatego przyjęto, że każdy z sortymentów będzie stosowany we wsadzie wielkopiecowym przez okres jednego miesiąca.

Ustalono, że próby porównawcze zostaną wykonane z zastosowaniem we wsadzie wielkopiecowym następujących sortymentów koksu:

powyżej 40 mm,
powyżej 25 mm,
powyżej 60 mm,
od 25 do 60 mm.

Określenie - sortyment koksu powyżej 25 mm (40 mm lub 60 mm) oznacza, iż jest to całość koksu wyprodukowanego w koksowni, z którego odsiano w sortowni mniejsze kawałki koksu na sicie o oczkach kwadratowych o długości boku 25 mm (40 mm lub 60mm). Przy wyborze sortymentów koksu do prób kierowano się wynikami otrzymanymi w poprzednich badaniach, jak również względami odpowiednich możliwości technicznych. W szczególności brano pod uwagę taki dobór sortymentów, który w przypadku pozytywnych wyników mógłby być wprowadzony do produkcji przemysłowej bez konieczności dużych nakładów inwestycyjnych. Zastosowanie w próbach przemysłowych sortymentu koksu powyżej 60 mm zamiast powyżej 50 mm uzasadnione było również i tym, że uprzednio badany sortyment powyżej 50 mm posiadał stosunkowo bardzo małą ilość podziarna i otrzymanie tak czystego sortymentu w warunkach przemysłowych nie było możliwe, a przemysłowy sortyment koksu powyżej 60 mm był w większym stopniu równoważny uprzednio badanemu sortymentowi powyżej 50 mm.

Przed przystąpieniem do pracy należało również wykonać cały szereg prac wstępnych zarówno w koksowni jak i w hucie, ponieważ jednostki produkcyjne w obu zakładach należało przystosować do tego rodzaju badań.

b) Charakterystyka technicznych warunków pracy koksowni

Koks do prób był produkowany w Zakładach Koksowniczych Walenty w Rudzie Śląskiej.

Koksownia miała za zadanie dostarczyć w odpowiednich okresach sortymenty koksu powyżej 25, 40 i 60 mm oraz od 25 do 60 mm.

Ponieważ chodziło o stwierdzenie jakie znaczenie dla pracy wielkiego pieca posiadają odpowiednie sortymenty koksu należało uniknąć innych zmian jakości koksu za wyjątkiem kawałkowości. Z tego też względu koks do prób był produkowany przy zastosowaniu tej samej mieszanki węglowej oraz niezmiennych warunków technologicznych przygotowania wsadu i prowadzenia procesu koksowania.

Skład mieszanki węglowej był następujący: 20% węgla z kopalni Gliwice, 25% węgla z kopalni Dębieńsko i 55% węgla z kopalni Walenty.

Charakterystykę mieszanki węglowej podaje tablica 1. Podane w tablicy liczby są średnimi wynikami uzyskanymi z analiz wykonywanych dla składników mieszanki węglowej około raz na dobę, a dla całej mieszanki węglowej dwa razy na zmianę, tj. sześć razy na dobę.

Jak wynika z tablicy 1, w czasie całego okresu doświadczalnego charakterystyka mieszanki węglowej nie ulegała istotnym zmianom. Sposób jej przygotowania polegał na przemiale węgla w młynie młotkowym, z każdej kopalni oddzielnie. Po dozowaniu mieszanka była w razie potrzeby nawilżana, po czym następowało jej wymieszanie w mieszalniku obrotowym.

Koksowanie wsadu węglowego odbywało się w trzech bateriach koksowniczych.

Charakterystyka mieszanki węglowej

Okres próby od do	Sortyment koksu stosowanego w próbie	typ węgla	Skład i jakość mieszanki węglowej i składników: nazwa kopalni	udział we wsadzie %	zawartość % A^s	V^b	W_o^r	LR	ilość ziarna poniżej 3 mm %	Analiza sitowa mieszanki węglowej: zawartość frakcji mm	%
1.IV. do 30.IV	pow. 40 mm	33	Walenty	55	5,2	32,8	6,6	54,0	89,2	0 - 0,5	39,8
		34	Dębieńsko	25	8,0	37,7	5,4	69,0	78,4	0,5 - 1	22,3
		35	Gliwice	20	7,1	23,8	7,0	77,0	90,4	1 - 2	20,4
			Mieszanka	100	6,5	31,5	8,5	57,0	90,5	2 - 3	8,0
										3 - 5	7,2
										pow. 5	2,3
6.V. do 25.V.	pow. 60 mm	33	Walenty	55	5,5	32,7	6,7	54,0	89,5	0 - 0,5	39,7
		34	Dębieńsko	25	8,6	37,8	5,4	69,0	77,8	0,5 - 1	21,2
		35	Gliwice	20	7,1	23,0	4,1	78,0	91,8	1 - 2	20,5
			Mieszanka	100	6,8	30,7	8,6	58,0	89,4	2 - 3	8,0
										3 - 5	7,8
										pow. 5	2,8
24.VI. do 16.VII	25-60 mm	33	Walenty	55	5,5	32,5	6,4	55,0	93,1	0 - 0,5	41,4
		34	Dębieńsko	25	7,0	36,0	9,1	57,0	80,2	0,5 - 1	22,0
		35	Gliwice	20	7,4	23,2	7,3	74,2	92,1	1 - 2	20,5
			Mieszanka	100	6,6	30,8	8,8	57,0	91,6	2 - 3	7,7
										3 - 5	6,5
										pow. 5	1,9
22.VII do 20.VIII	pow. 25 mm	33	Walenty	55	5,3	33,5	6,5	55,0	90,4	0 - 0,5	39,7
		34	Dębieńsko	25	8,8	37,4	9,3	58,0	82,8	0,5 - 1	21,7
		35	Gliwice	20	7,9	22,9	9,3	71,0	93,5	1 - 2	19,7
			Mieszanka	100	6,8	32,4	8,8	58,0	89,2	2 - 3	8,1
										3 - 5	7,6
										pow. 5	3,2
1.IX. do 30.IX.	pow. 40 mm	33	Walenty	55	5,1	33,1	6,4	57,1	92,0	0 - 0,5	39,5
		34	Dębieńsko	25	8,4	38,0	8,5	59,0	80,1	0,5 - 1	22,0
		35	Gliwice	20	7,5	23,1	8,8	71,1	93,1	1 - 2	20,8
			Mieszanka	100	6,6	31,7	8,9	58,0	90,5	2 - 3	8,2
										3 - 5	7,5
										pow. 5	2,0

Charakterystykę techniczną baterii koksowniczych podaje tablica 2, a charakterystykę ich pracy tablica 3.

Jak wynika z tablicy 3, podstawowe parametry pracy wszystkich baterii koksowniczych nie ulegały istotnym zmianom.

Produkowany koks był kierowany ze zrzutni koksu taśmami do sortowni, gdzie na sitach o oczkach kwadratowych ulegał rozsortowaniu na poszczególne sortymenty, uzyskiwane łącznie z koksu produkowanego we wszystkich bateriach

Sortymenty koksu przeznaczone do prób po załadunku do talbotów były kierowane do Huty Pokój.

Charakterystykę poszczególnych sortymentów koksu dostarczonego przez koksownię do prób w Hucie Pokój podaje tablica 4.

Przedstawione liczby są wynikami średnimi uzyskanymi dla koksu pobieranego w sortowni koksowni z taśmy transportera bezpośrednio przed jego załadunkiem do wagonu. Parametry wytrzymałości koksu, zawartość popiołu, części lotnych i wody oznaczano trzy razy na zmianę. Analizy sitowe wykonywano około 2 razy na tydzień, przy czym analizę sitową na sicie pochyłym wykonywano zgodnie z normą dla oznaczania podziarna, stosując sita o oczkach kwadratowych. Zawartość siarki oznaczano ze średniej próbki miesięcznej.

Jak wynika z tablicy 4 sortowanie koksu nie było zadawalające jeżeli chodzi o sortyment koksu powyżej 60 mm. Ilość podziarna w pozostałych sortymentach nie przekracza ilości dopuszczalnych według Polskich Norm. Jeżeli chodzi o parametry wytrzymałości koksu, zawartość popiołu, części lotnych, to nie stwierdza się istotnych różnic między poszczególnymi sortymentami.

Nieco większa zawartość wody w sortymencie koksu 25 do 60 mm jest wytłumaczalna faktem, że drobniejsze sortymenty koksu wskutek większej powierzchni w stosunku do ciężaru kawałków posiadają zawsze większe zawilgocenie.

Należy zaznaczyć, że koks do prób był produkowany w warunkach normalnej i w pełni poprawnej pracy koksowni.

Tablica 2

Charakterystyka techniczna baterii koksowniczych

Bateria nr	Typ baterii	Rok budowy	Ilość komór	Wymiary komór w mm			Wymiary naboju węglowego mm			Średnia gęstość wsadu w przeliczeniu na węgiel suchy kg/m³	Średnia masa wsadu suchego kg
				długość	wysokość	szerokość	długość	wysokość	szerokość		
1	Otto	1941	55	10590	2600	490-510	9600	2450	439	940	9710
2	Otto	1949	55	10590	2600	490-510	9600	2450	437	940	9676
3	PTU-57	1963	50	13530	3800	460	12550	3550	420	920	17264

Tablica 3

Charakterystyka pracy baterii koksowniczych

Nazwa	Okres pomiarowy	Bateria nr 1 typ Otto	Bateria nr 2 typ Otto	Bateria nr 3 typ PTU-57	U w a g i
Rodzaj gazu, którym opalano baterię	I II III IV V	koksowniczy i wielkopiecowy	koksowniczy i wielkopiecowy	koksowniczy	środek baterii 1 i 2 opalany był przeważnie gazem wielkopiecowym a części skrajne gazem koksowniczym
Średnia temperatura kontrolnych kanałów grzewczych strony maszynowej °C	I II III IV V	1289 1288 1291 1297 1293	1291 1284 1286 1293 1289	1309 1307 1306 1306 1308	
Średnia temperatura kontrolnych kanałów grzewczych strony koksowej °C	I II III IV V	1305 1307 1307 1309 1309	1308 1303 1305 1309 1306	1306 1304 1307 1311 1312	
Średni okres koksowania (cyklu) h	I II III IV V	20,84 20,57 20,40 20,67 19,97	21,07 20,69 20,35 20,42 20,06	20,19 20,13 20,29 20,22 20,28	
Średnie nadciśnienie w odbieralniku N/m^2	I II III IV V	54 54 54 54 54	59 59 59 59 59	74 74 74 74 74	

Uwagi: I – okres pomiarowy trwał od 1.IV. do 30.IV.66 w próbach z koksem powyżej 40 mm,

II – okres pomiarowy trwał od 6.V. do 25.V.66 w próbach z koksem powyżej 60 mm,

III – okres pomiarowy trwał od 24.VI. do 16.VII.66 w próbach z koksem od 25–60 mm

IV – okres pomiarowy trwał od 22.VII. do 20.VIII.66 w próbach z koksem powyżej 25 mm,

V – okres pomiarowy trwał od 1.IX. do 30.IX.66 w próbach z koksem powyżej 40 mm.

Tablica 4

Charakterystyka poszczególnych sortymentów koksu

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortymenty stosowanego koksu oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII.	pow. 40 mm od 1.IX. do 30.IX
Wytrzymałość M_{40}	%	66,3	66,8	66,7	66,7	66,6
Ścieralność M_{10}	%	8,8	8,6	8,8	8,7	8,7
Popiół A^s	%	9,2	9,2	9,3	9,35	9,1
Części lotne V^b	%	1,5	1,4	1,7	1,7	1,9
Wilgoć W_o^r	%	5,9	6,1	10,3	7,5	6,0
Zawartość siarki S_o^s	%	0,70	0,87	0,85	0,84	0,80
Analiza sitowa koksu						
Sita pochyłe:						
ziarno pow. 80 mm	%	38,0	50,3	-	29,5	33,3
ziarno od 60 do 80 mm	%	26,6	28,7	-	26,7	26,1
ziarno od 40 do 60 mm	%	27,1	17,4	68,5	29,1	32,8
ziarno od 20 do 40 mm	%	6,2	1,8	29,1	12,3	5,8
ziarno od 10 do 20 mm	%	0,5	0,8	0,9	0,8	0,8
ziarno od 0 do 10 mm	%	1,6	1,0	1,5	1,6	1,2

c) Charakterystyka technicznych warunków pracy wielkiego pieca

W celu ustalenia wpływu różnych sortymentów koksu na pracę wielkiego pieca ograniczono się jedynie do zmiany sortymentów koksu pozostawiając wszystkie pozostałe warunki techniczne jego pracy niezmienione. Z tego też względu wszystkie próby zostały przeprowadzone przy zastosowaniu tego samego wielkiego pieca "B" Huty Pokój w Rudzie Śląskiej.

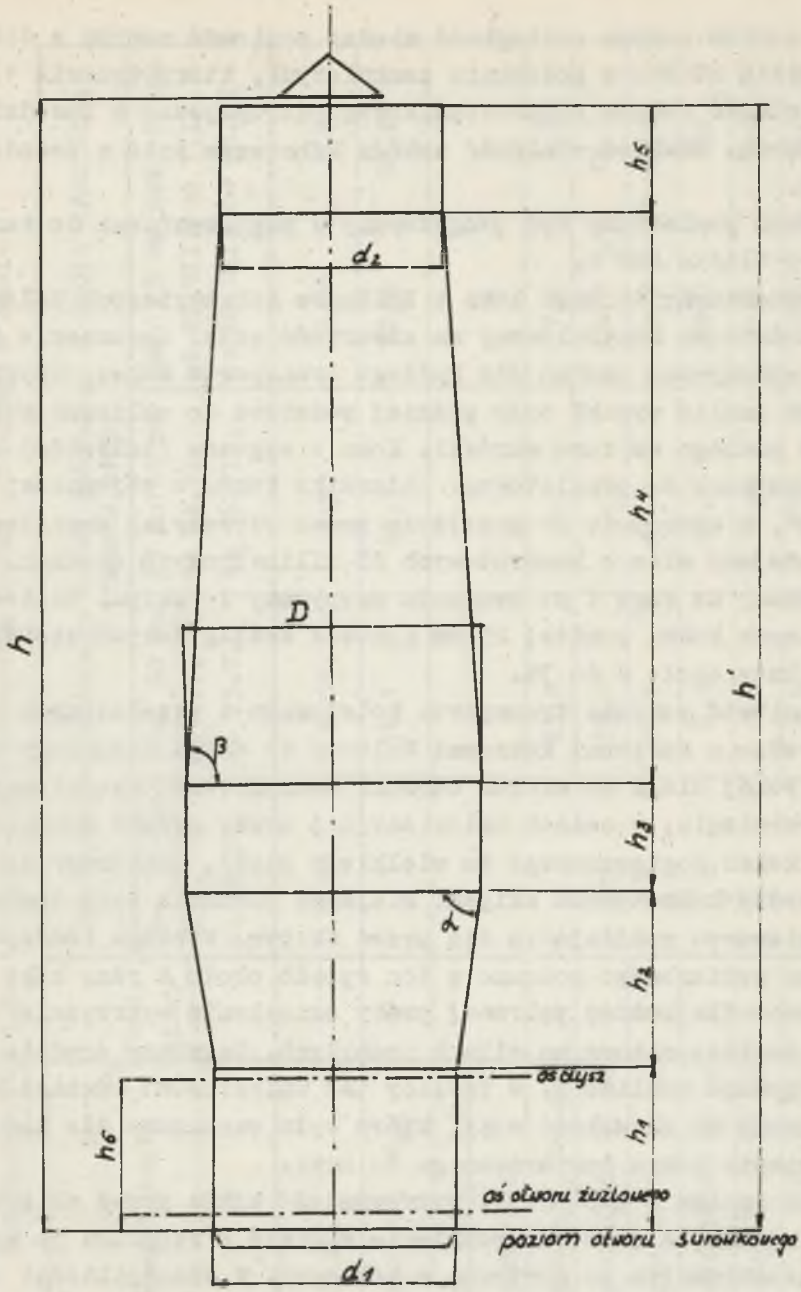
Omawiany wielki piec posiadał objętość użyteczną 396 m^3 oraz zamknięcie gardzieli typu Mc-Kee. Ostatni kapitalny remont był przeprowadzony w czerwcu 1965 r., a zatem piec znajdował się w drugim roku pracy.

Chłodzenie szybu i przestronu odbywało się przy pomocy poziomych, spawanych chłodnic skrzynkowych, a spadki, gar i trzon pieca chłodzone były natryskiem wodnym.

Powietrze o nadciśnieniu około $0,9.10^5$ N/m^2 było doprowadzane do pieca 10 dyszami, które u wylotu posiadały średnicę wynoszącą 150 mm. Profil wielkiego pieca "B" podaje rys. 11, a jego wymiary były następujące:

wysokość całkowita (h)	21 400 mm
wysokość użyteczna (h)	21 060 mm
średnica przestronu (D)	5 800 mm
średnica garu (d_1)	4 700 mm
średnica gardzieli (d_2)	4 200 mm
wysokość garu (h_1)	3 000 mm
wysokość spadków (h_2)	3 300 mm
wysokość przestronu (h_3)	2 100 mm
wysokość szybu (h_4)	10 600 mm
wysokość gardzieli (h_5)	2 060 mm
odległość między osią otworu surówkowego i osią dysz (h_6)	2 600 mm
kąt spadków (α)	1,408 rad
kąt szybu (β)	1,497 rad

Załadunek pieca przez cały okres prób odbywał się według systemu RTK ↑ RK↓, przy czym w czasie pracy utrzymywano jedna-



Rys. 11. Profil wielkiego pieca "B"

kowy poziom zasypu (odległość między poziomem zasypu a dolną krawędzią stożka w położeniu zamkniętym), który wynosił 1,75 m.

Wielkość naboju rudno-topnikowego utrzymywano w zasadzie jednakową. Również wielkość naboju koksowego była w zasadzie stała.

Dmuch powietrzny był podgrzewany w nagrzewnicach do temperatury blisko 800°C.

Dostarczany do prób koks z Zakładów Koksowniczych Walenty był dodatkowo kontrolowany na zawartość wody. Oznaczenie to było wykonywane osobno dla każdego transportu koksu. Uzyskane z tych analiz wyniki były później podstawą do obliczeń zużycia koksu suchego na tonę surówki. Koks z wagonów (talbotów) był wyładowywany do przelotowego zbiornika koksu o pojemności 160 m^3, a następnie po przejściu przez wibracyjny przesiewacz posiadający sita o kwadratowych 25 milimetrowych oczkach, był kierowany na wagę i po zważeniu wsypywany do skipu. Odsiew podziarna koksu poniżej 25 mm wynosił według danych statystycznych huty około 2 do 3%.

Ponieważ podczas transportu kolejowego i przeładunków koks na drodze z sortowni koksowni Walenty do skipu wielkiego pieca Huty Pokój ulega na skutek obróbki mechanicznej częściowemu rozdrobnieniu, w celach orientacyjnej oceny składu sortymentowego koksu dostarczanego do wielkiego pieca, pobierano do analiz próby koksu przed skipem. Miejscem pobrania była taśma po przesiewaczu znajdującym się przed skipem. W ciągu każdego okresu pomiarowego pobrano w ten sposób około 4 razy koks i wykonano dla każdej pobranej próby oznaczenia wytrzymałości oraz analizy sitowe na sitach pochyłych. Uzyskane średnie wyniki podaje tablica 5. W tablicy tej umieszczono również wyniki analiz na zawartość wody, która była oznaczana dla każdego transportu koksu dostarczanego do huty.

Jak wynika z tablicy 5, wytrzymałość koksu przed skipem była wyższa, a jego rozdrobnienie większe w stosunku do wyników uzyskiwanych po sortowni w koksowni. W szczególności odnośnie analizy sitowej koksu sortymentu powyżej 60 mm, stosowanego w okresie od 6.V. do 25.V., należy stwierdzić, że zawartość

Tablica 5

Charakterystyka poszczególnych sortymentów koksu pobranego w hucie

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortyment stosowanego koksu pobranego w hucie oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII	pow. 40 mm od 1.IX. do 30.IX
Wilgoć W_c^r	%	5,81	6,07	9,82	6,61	5,90
Wytrzymałość M_{40}	%		74,1	69,3	72,5	68,6
Analiza sitowa koksu		nie wykonywano oznaczeń				
Sita pochyłe:						
ziarno pow. 80 mm	%		25,2	-	7,2	9,2
ziarno 60 do 80 mm	%		30,2	1,3	24,2	18,7
ziarno 40 do 60 mm	%		35,9	51,8	46,3	67,6
ziarno 20 do 40 mm	%		6,3	44,8	19,0	2,9
ziarno 10 do 20 mm	%		0,6	0,9	1,0	0,8
ziarno 0 do 10 mm	%		1,8	1,2	2,3	0,8

ziarna 40 do 60 mm była znaczna. Należy również zaznaczyć, że ze względu na trudności ruchowe nie udało się przez cały okres od 24.VI. do 16.VII. stosować we wsadzie koks wyłącznie w sortymencie 25 do 60 mm. Niekiedy z powodu braku wyżej wymienionego sortymentu zachodziła konieczność wprowadzenia do wsadu koksu sortymentu powyżej 40 mm. Ilości te jednak nie były znaczne i średnio za cały okres ilość dodanego koksu powyżej 40 mm nie przekroczyła 10%. Również z tych samych względów w okresie od 22.VII. do 20.VIII., tj. gdy stosowano koks sortymentu powyżej 25 mm, częściowo stosowano koks powyżej 40 mm. Ilość jego w tym przypadku była nieco większa i wynosiła za cały okres średnio około 20% całego wsadu koksu. Jednak mimo omówionych wyżej zmian w składzie sortymentów koksu bieg wielkiego pieca był prawidłowy, co wskazuje na znaczną stabilność jego pracy w omówionych warunkach technicznych i surowcowych.

Skład wsadu rudnego i topników oraz zawartości wilgoci i żelaza w poszczególnych składnikach oraz dla całości wsadu rudnego i topników podaje tablica 6. Wszystkie składniki wsadu były ważone, a ich udział wagowy podają przedstawione w tablicy dane. Zawartość wilgoci oraz żelaza w substancji suchej obliczono na podstawie analiz miesięcznych wykonywanych przez laboratorium huty. Na podstawie tych danych obliczono we wsadzie rud i topników zawartość żelaza w przeliczeniu na substację suchą oraz w przeliczeniu na wsad wilgotny.

W celach orientacyjnych wykonano dla każdego okresu pomiarowego jedną analizę sitową poszczególnych składników wsadu rud i topników. Próby do analiz pobierano bezpośrednio przed skipem, a analizy sitowe wykonano na sitach poziomych o oczkach kwadratowych. Uzyskane wyniki podano w tablicy 7 jako średnie dla wszystkich okresów prób. Różnice w kawałkowości składników w poszczególnych okresach pomiarowych nie były znaczne, niemniej jednak ze względu na ograniczoną ilość wykonanych analiz podane w tablicy 7 wyniki mają znaczenie tylko orientacyjne.

Jak wynika z tablicy 6 zawartość żelaza w przeliczeniu na wsad (rud i topników) suchy wahała się między poszczególnymi

Charakterystyka wsadu rudnego i topników

Nr próby i czas jej trwania	Nazwa składnika wsadu	Udział we wsadzie w przeliczeniu na substancję wilgotną %	Udział we wsadzie w przeliczeniu na substancję suchą %	Zawartość wilgoci %	Zawartość Fe w przeliczeniu na substancję suchą %	Zawartość Fe w przeliczeniu na substancję wilgotną %
I 1.IV.- 30.IV.	Conakry	13,12	12,16	10,29	53,66	
	Krzywy Róg OK	21,30	21,48	2,33	46,74	
	Krzywy Róg magn.	19,17	19,48	1,60	51,64	
	Ruda surowa	13,88	14,09	1,69	21,40	
	Żużel martenowski	7,00	7,21	0,30	18,50	
	Aglomerat	2,27	2,34	0,00	51,87	
	Kamień wapienny	20,74	20,79	2,94	0,77	
	Dolomit	2,52	2,45	5,85	2,13	
	Wsad	100,00	100,00	3,17	32,44	31,41
II 6.V.- 25.V.	Conakry	14,46	13,54	9,63	53,80	
	Krzywy Róg OK	23,32	23,46	2,89	46,05	
	Krzywy Róg magnetyczny	17,00	17,47	0,85	50,87	
	Ruda szwedzka	2,76	2,85	0,56	65,50	
	Ruda prażona	9,74	9,56	5,19	44,42	
	Żużel martenowski	4,91	5,07	0,50	15,13	
	Kamień wapienny	23,60	23,89	2,27	0,70	
	Dolomit	4,21	4,16	4,45	2,79	
	Wsad	100,00	100,00	3,47	34,10	32,92
III 24.VI.- 16.VII.	Conakry	14,40	13,30	11,40	53,30	
	Krzywy Róg OK	21,10	21,42	2,53	45,59	
	Krzywy Róg magnetyczny	21,10	21,60	1,70	51,81	
	Ruda prażona	9,60	9,25	7,48	43,59	
	Żużel martenowski	4,90	5,07	0,60	17,06	
	Kamień wapienny	24,50	25,00	2,04	0,72	
	Dolomit	4,40	4,36	4,41	2,73	
	Wsad	100,00	100,00	3,98	33,13	31,81
IV 22.VII. 20.VIII	Conakry	14,39	13,28	11,32	52,71	
	Krzywy Róg OK	21,16	21,48	2,46	46,50	
	Krzywy Róg magnetyczny	21,16	21,62	1,82	52,30	
	Ruda prażona	9,62	9,41	6,04	44,39	
	Żużel martenowski	4,81	4,97	0,66	16,62	
	Kamień wapienny	19,73	20,16	1,76	0,69	
	Dolomit	9,13	9,08	4,40	2,29	
	Wsad	100,00	100,00	3,89	33,66	32,35
V 1.IX.- 30.IX.	Conakry	14,50	13,40	11,39	53,37	
	Krzywy Róg OK	21,20	21,58	2,46	47,06	
	Krzywy Róg magnetyczny	21,20	21,79	1,53	51,00	
	Ruda prażona	9,60	9,32	7,02	42,84	
	Żużel martenowski	4,80	4,97	0,80	12,23	
	Kamień wapienny	21,00	21,30	2,83	0,89	
	Dolomit	7,70	7,64	4,82	3,09	
	Wsad	100,00	100,00	4,16	33,45	32,06

Tablica 7

Analiza sitowa rud i topników

Nazwa rudy lub topnika	Wielkość kawałków			
	pow. 50 mm %	od 30 do 50 mm %	od 10 do 30 mm %	od 0 do 10 mm %
Conakry	35	10	29	26
Krzywy Róg OK	38	21	33	8
Krzywy Róg Magnetyczny	33	20	35	12
Ruda surowa	50	18	29	3
Ruda prażona	46	21	20	13
Ruda szwedzka	21	16	12	51
Aglomerat		powyżej 10 mm - 64%		36
Żużel martenowski	47	14	16	23
Kamień wapienny	61	31	7	1
Dolomit	64	16	12	8

okresami pomiarowymi w niewielkim zakresie. Najniższa zawartość Fe była w I okresie prób 32,44%, a najwyższa w okresie II, gdzie osiągnęła wartość 34,10%. Za wyjątkiem I okresu pomiarowego skład wsadu rud i topników można przyjąć za stały, a nieduże różnice uznać za nieistotne. W I okresie skład wsadu rudnego różni się od składu w pozostałych okresach, głównie na skutek obecności rudy surowej (13,88%), którą w dalszych próbach zastąpiono rudą prażoną. Również tylko w tym okresie był stosowany w niedużym procencie (2,27) aglomerat. Wydaje się, że mimo pewnych różnic w składach wsadu rudnego i topników, w szczególności między okresem I a pozostałymi, charakter jakościowy stosowanego wsadu został we wszystkich okresach w zasadzie zachowany, co daje możność porównania wyników produkcyjnych z dostateczną dokładnością.

d) Wyniki badań i ich omówienie

Jak podano w poprzednich rozdziałach, w badaniach starano się zachować możliwie niezmienione warunki surowcowe i techniczne w pracy wielkiego pieca "B" Huty Pokój, tak aby na podstawie wyników produkcyjnych można było ustalić, jakie znaczenie dla procesu wielkopiecowego posiada kawałkowość koksu. Starano się również, aby każdy okres próbny, w którym stosowano dany sortyment koksu trwał jednakowo długo, tj. jeden miesiąc, ale ze względu na trudności produkcyjne tylko trzy okresy trwały po miesiącu, a pozostałe dwa nieco krócej. Między poszczególnymi okresami pomiarowymi nie przeprowadzano żadnych remontów ani prac, które mogłyby w jakiś sposób wpłynąć na uzyskiwane wyniki produkcyjne.

Zebrane dane liczbowe stanowią charakterystykę warunków normalnej pracy wielkiego pieca i zostały ujęte w tablicach: 8, 9, 10 i 11. Tablica 8 podaje niektóre podstawowe dane produkcyjne, tablica 9 charakterystykę dmuchu i gazu gardzielowego, tablica 10 charakterystykę żużla oraz tablica 11 charakterystykę biegu pieca.

Tablica 8

Niektóre podstawowe dane produkcyjne

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortyment stosowanego koksu oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII	pow.40 mm od 1.IX. do 30.IX.
1. Czas dysponowany	dni	30,0	20,0	23,0	30,0	30,0
2. Postoje	dni	0,69	0,06	0,49	0,09	0,65
3. Rzeczywisty czas pracy	dni	29,31	19,94	22,51	29,91	29,35
4. Średni przewał koksu na czas pracy	t/24 h	359,7	373,6	365,8	371,8	400,7
5. Średnia produkcja surówki na czas pracy	t/24 h	350,8	362,4	362,4	371,4	381,0
6. Zużycie koksu skipowego	kg/t sur.	1025,5	1030,8	1009,4	1001,2	1051,6
7. Zużycie koksu suchego	kg/t sur.	965,9	968,2	910,3	935,0	989,6
8. Średnia zawartość Si w surówce	%	1,13	1,24	1,00	1,07	1,11
9. Średnia zawartość C w surówce	%	4,34	4,40	4,52	4,38	4,39
10. Średnia zawartość Mn w surówce	%	0,98	0,85	0,81	0,82	0,82
11. Średnia zawartość S w surówce	%	0,019	0,023	0,021	0,025	0,026

Tablica 9

Charakterystyka dmuchu i gazu gardzielowego

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortyment stosowanego koksu oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII	pow.40 mm od 1.IX. do 30.IX.
Średnia temperatura dmuchu	^{o}C	780	773	783	793	798
Nadciśnienie dmuchu	10^5 N/m^2	0,84	0,86	0,94	0,92	0,86
Średnia wilgoć dmuchu	g H_2O/nm^3	7,0	12,4	20,3	18,4	16,4
Nadciśnienie gazu gardzielowego	10^2 N/m^2	27	26	28	29	26
Temperatura gazu gardzielowego	^{o}C	228	206	217	200	210
Skład gazu gardzielowego:						
CO_2	% obj.	9,8	9,6	9,6	9,4	9,2
CO	% obj.	31,7	31,9	31,8	31,8	31,9
CH_4	% obj.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
H_2	% obj.	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
O_2	% obj.	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
N_2	% obj.	55,7	55,7	55,8	55,9	56,1

Tablica 10

Charakterystyka żużla

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortyment stosowanego koksu oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII	pow.40 mm od 1.IX. do 30.IX.
Zawartość CaO	%	42,8	42,6	43,3	41,7	41,6
Zawartość SiO_2	%	36,3	36,4	36,7	36,2	36,4
Zawartość MgO	%	7,6	7,1	6,8	8,7	8,8
Zawartość Al_2O_3	%	7,7	9,2	8,6	9,0	8,8
Zasadowość żużla $\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$		1,39	1,37	1,37	1,39	1,38
Ilość żużla w kg/1t sur.	kg/t sur.	1324	1278	1244	1220	1283

Tablica 11

Charakterystyka biegu wielkiego pieca

Wyszczególnienie	Jedn. miary	Sortyment stosowanego koksu oraz czas trwania próby				
		pow. 40 mm od 1.IV. do 30.IV.	pow. 60 mm od 6.V. do 25.V.	25 do 60 mm od 24.VI. do 16.VII.	pow. 25 mm od 22.VII. do 20.VIII	pow. 40 mm od 1.IX. do 30.IX.
Czas biegu równego normalnego	%	46,6	53,4	31,7	77,0	55,7
Czas biegu równego wolnego	%	6,8	8,6	4,8	0,0	5,4
Czas biegu nierównego zarywkowego	%	46,6	38,0	63,5	23,0	38,9
Zarywanie pieca ilość zarwań na 24 h	ilość/24h	1,15	2,41	3,06	0,46	0,77

Przedstawione w powyższych tablicach dane analityczne są średnimi z analiz wykonywanych w ciągu każdej zmiany. Również temperatury i ciśnienie zostały obliczone ze średnich zmianowych, które z kolei ustalono na podstawie wielokrotnych (przeważnie cogodzinnych) odczytów w ciągu każdej zmiany. Podane ilości wagowe ustalono na podstawie ważeń całości danej substancji z wyjątkiem żużla, którego ilość obliczano, mnożąc ilość kadzi napełnionych w danym okresie żużlem przez średnią masę żużla w kadzi. Średnia zawartość żużla w kadzi została podana przez Wydział Wielkich Pieców Huty Pokój. Zastosowany sposób obliczenia ilości żużla nie jest wystarczająco dokładny i z tego też powodu podane wyniki odnośnie ilości żużla w kg na tonę surówki mogą być obarczone pewnym błędem. Podane w tablicy wyniki odnośnie ilości żużla należy więc traktować jako dane orientacyjne.

Jak wynika z tablicy 8 podstawowe parametry jakościowe surówki martenowskiej ulegały w poszczególnych okresach pomiarowych tylko niewielkim wahaniom. Również nie stwierdza się zasadniczych różnic w charakterystykach dmuchu i gazu gardzielowego oraz zasadowości żużla (tablica 10).

W celu dokonania dokładnych porównań zużycia koksu suchego na jedną tonę surówki dla poszczególnych okresów dokonano odpowiednich korekt przyjmując, że:

1) wzrost popiołu w koksie o 1% powoduje wzrost zużycia koksu na tonę surówki o 2,5% (4),

2) wzrost zawartości Fe we wsadzie (rudy + topnik) o 1% powoduje zmniejszenie zużycia koksu na tonę surówki o 2,5%[x)],

3) wzrost temperatury dmuchu o 100°C powoduje zmniejszenie zużycia koksu na tonę surówki o 33 kg (4),

4) wzrost zawartości Si w surówce o 1% powoduje zwiększenie zużycia koksu na tonę surówki o 70 kg (4),

5) wzrost wilgoci dmuchu o 1 g/nm^3 powoduje zwiększenie zużycia koksu na tonę surówki o 2,5 kg (4).

---

x) Wartość przyjmowana przez Zjednoczenie Hutnictwa Żelaza i Stali.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że ze względu na pewne rozbieżności podawanych przez literaturę korekt na zużycie koksu na tonę surówki, powyżej wybrano i podano wielkości, które najczęściej przyjmuje się w naszym przemyśle.

Zużycie koksu suchego na jedną tonę surówki martenowskiej po uwzględnieniu korekt kształtowało się następująco:

965,9 kg	dla okresu pomiarowego	1.IV. do 30.IV. (sortyment pow. 40 mm),
984,9 "	" " "	6.V. do 25.V. (sortyment pow. 60 mm),
900,6 "	" " "	24.VI. do 16.VII. (sortyment 25 do 60 mm),
940,0 "	" " "	22.VII. do 20.VIII (sortyment pow. 25 mm),
1000,9 "	" " "	1.IX. do 30.IX. (sortyment pow. 40 mm),

Jak wynika z tych danych najmniejsze zużycie koksu na 1 tonę surówki martenowskiej po uwzględnieniu odpowiednich korekt występuje przy stosowaniu koksu sortymentu 25 do 60 mm i wynosi 900,6 kg koksu suchego na tonę surówki. Również zużycie koksu suchego (skorygowanego) przy stosowaniu sortymentu powyżej 25 mm jest niższe od zużycia przy stosowaniu sortymentów powyżej 40 i 60 mm.

Na podstawie powyższych danych można wyciągnąć wniosek, że stosowanie drobniejszych sortymentów koksu nie powoduje wzrostu zużycia koksu suchego na 1 tonę surówki martenowskiej.

Dla dokładniejszego porównania ilości produkowanej surówki martenowskiej na dobę w poszczególnych okresach pomiarowych, dokonano podobnie jak dla zużycia koksu odpowiednich korekt, przy czym przyjęto, że:

1) wzrost popiołu w koksie o 1% powoduje zmniejszenie produkcji surówki o 2,5% (4),

2) wzrost zawartości Fe w suchym wsadzie (ruda + topnik) o 1% powoduje wzrost produkcji o 2,5%[x)],

---

x) Wartość przyjmowana przez Zjednoczenie Hutnictwa Żelaza i Stali.

3) wzrost zawartości Si w surówce o 1% powoduje zmniejszenie produkcji surówki o 7%[x],

4) ponieważ wzrostowi wilgoci nie odpowiadał odpowiedni wzrost temperatury dmuchu, nie uwzględniano jej wpływu na intensyfikację procesu [53].

Podobnie jak w przypadku korekt na ilość zużycia koksu na 1 tonę surówki literatura podaje wyniki w dość szerokich granicach. Za podstawę do ustalenia odpowiednich wielkości liczbowych dla dokonania korekty na wielkość produkcji surówki brano pod uwagę wielkości, które najczęściej przyjmuje się w naszym przemyśle.

Produkcja surówki w tonach na 24 godziny rzeczywistej pracy wielkiego pieca po uwzględnieniu odpowiednich korekt kształtowała się następująco:

350,8 t	dla	okresu	pomiar.	1.IV. do 30.IV. (sortyment pow. 40 mm),
350,2 t	"	"	"	6.V. do 25.V. (sortyment pow. 60 mm),
353,8 t	"	"	"	24.VI. do 16.VII (sortyment 25 do 60 mm),
359,9 t	"	"	"	22.VII. do 20.VIII (sortyment pow. 25 mm),
369,9 t	"	"	"	1.IX. do 30.IX. (sortyment pow. 40 mm).

Jak wynika z tych danych skorygowana dobowa ilość produkcji surówki martenowskiej w zasadzie nie zależy od stosowanego w próbach sortymentu koksu. Wprawdzie w okresie września, kiedy po raz drugi był stosowany koks powyżej 40 mm produkcja była największa, ale średnia z dwu okresów stosowania koksu powyżej 40 mm wynosi tylko 360,35 t/24 h. Wielkość ta jest na poziomie produkcji w pozostałych okresach, a biorąc pod uwagę, że okresy były stosunkowo krótkie można przyjąć, iż stosowane sortymenty koksu nie miały istotnego znaczenia na wielkość produkcji surówki. Oczywiście otrzymane wyniki byłyby bardziej

---

x) Przyjęto na podstawie podanego uprzednio zwiększenia zużycia koksu wraz ze wzrostem Si w surówce.

ścisłe, gdyby odpowiednie sortymenty koksu stosowano przez dłuższe okresy czasu.

Uzyskane wyniki potwierdziły przewidywania ustalone na podstawie oznaczeń współczynnika oporu gazów przepływających przez koks "h" dla różnych sortymentów koksu obrabianych mechanicznie.

Jak wynika z tablicy 11 oraz z bezpośrednich obserwacji ruchowych bieg wielkiego pieca był w zasadzie przeciętny przy stosowaniu każdego z sortymentów koksu i nie stwierdzono przy tym specjalnych trudności produkcyjnych. Jednak najlepszy okazał się bieg wielkiego pieca przy stosowaniu sortymentu powyżej 25 mm.

3. Wyniki prac wdrożeniowych do produkcji przemysłowej

Wykonane próby stosowania we wsadzie wielkiego pieca "B" Huty Pokój koksu gat. Ib wyprodukowanego w odrębnych sortymentach powyżej 25, 40, 60 i 25 do 60 mm wykazały możność zastąpienia we wsadzie wielkiego pieca "B" sortymentu koksu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm bez zmniejszenia równomierności biegu i wydajności wielkiego pieca oraz bez zwiększenia zużycia koksu na tonę surówki martenowskiej. Stosowanie niesortu koksu powyżej 25 mm wydawało się być szczególnie korzystne ponieważ sortyment ten był około 20 złotych tańszy za tonę, a ponadto na tej drodze można było zaoszczędzić w mieszankach koksowniczych stosowanych do produkcji koksu wielkopiecowego pewną ilość deficytowych węgli koksowych. Oszczędność tych węgli spowodowana jest faktem, że uzysk koksu powyżej 25 mm z koksu ogółem jest większy aniżeli koksu powyżej 40 mm. Wprawdzie zużywanie koksu powyżej 25 mm powoduje konieczność zmniejszenia dostaw koksu 20 do 40 mm (orzech II) dla celów niehutniczych, ale sortyment ten z powodzeniem może być zastąpiony przez koks przemysłowy produkowany z tańszych mieszanek węglowych tj. mieszanek bez udziału deficytowych węgli koksowych.

Wyniki poprzednich badań oraz podane wyżej korzyści, jakie można uzyskać stosując sortyment koksu powyżej 25 mm zamiast

stosowanego uprzednio sortymentu powyżej 40 mm, uzasadniły decyzję podjęcia prac wdrożeniowych. Miały one za zadanie zastąpienie we wsadzie wszystkich wielkich pieców Huty Pokój koksu sortymentu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm.

W celu szczegółowego i ostatecznego ustalenia wpływu zastąpienia sortymentu koksu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm na przebieg procesu wielkopiecowego zastosowano dwa okresy pomiarowe. W pierwszym 3-miesięcznym okresie pomiarowym (okres porównawczy) wszystkie wielkie piece Huty Pokój zużywały we wsadzie wielkopiecowym koks powyżej 40 mm, a w drugim około 3,5 miesięcznym okresie pomiarowym, koks sortymentu powyżej 25 mm. Dla dokładnego jednak określenia wpływu zmiany sortymentu koksu na przebieg procesu wielkopiecowego do szczegółowych pomiarów wytypowano dla obu okresów wielki piec "C", przy czym za wyjątkiem zmiany sortymentu koksu wszystkie pozostałe warunki surowcowe i techniczne jego pracy w zasadzie nie ulegały zmianie. Omawiany wielki piec posiadał objętość użyteczną 483 m^3 oraz zamknięcie gardzieli typu Mc-Kee. Ostatni kapitalny remont był przeprowadzony w roku 1963, a zatem w czasie prac wdrożeniowych, które były przeprowadzone w 1967 r., piec znajdował się w czwartym roku pracy. Dmuch powietrzny był podgrzewany w nagrzewnicach do temp. około 800°C. Stosowany w obu okresach koks gat.Ib o średnich parametrach wytrzymałości M_{40} = 66 do 67 i M_{10} = 8,4 do 8,8 oraz wilgoci ok. 5%, był przed skipem odsiewany na przesiewaczu wibracyjnym posiadającym sita o kwadratowych 25 milimetrowych oczkach. W obu okresach pomiarowych udział spieku, który wynosił około 50% oraz charakter jakościowy stosowanego wsadu wielkopiecowego (rud i topników) został zachowany, zawartość żelaza w przeliczeniu na wsad (rudno-topnikowy) suchy wynosiła w I okresie 41,3%, a w II okresie 39,2%.

Uzyskane wyniki w pracy wielkiego pieca "C" Huty Pokój wskazywały, że w przypadku stosowania koksu sortymentu powyżej 25 mm zużycie koksu suchego na jedną tonę surówki martenowskiej po uwzględnieniu odpowiednich korekt wynosiło 872,2 kg wobec 888,0 kg w przypadku stosowania sortymentu powyżej 40 mm.

Na podstawie powyższych danych wynika, że stosowanie większego udziału drobniejszych kawałków koksu na skutek obniżenia dolnej granicy kawałkowości koksu do 25 mm nie powoduje wzrostu zużycia koksu suchego na jedną tonę surówki, a nawet uzyskano obniżenie zużycia koksu o 15,8 kg na tonę surówki martenowskiej.

Stwierdzono również, że skorygowana dobowa ilość produkcji surówki martenowskiej nie zależy od stosowanego w próbach sortymentu koksu. W przypadku używania koksu sortymentu powyżej 40 mm ilość tej surówki wynosiła 460,6 ton/24 h, a w przypadku sortymentu powyżej 25 mm 459,8 ton/24 h. Uzyskana więc dobowa produkcja surówki martenowskiej w obu okresach była w zasadzie taka sama (różnica 0,8 ton/24 h, co stanowi około 0,17% i jest w granicach błędów pomiaru).

Należy również podać, iż bieg wielkiego pieca "C" był w zasadzie przeciętny przy stosowaniu obu badanych sortymentów koksu i nie stwierdzono przy tym specjalnych trudności produkcyjnych. Jednak w przypadku stosowania sortymentu koksu powyżej 25 mm praca wielkiego pieca była nieznacznie lepsza, aniżeli w przypadku sortymentu powyżej 40 mm.

Koks sortymentu powyżej 25 mm w okresie jego stosowania we wsadzie wielkiego pieca "C" był również zużywany przez pozostałe wielkie piece. Mimo, iż dokładnej kontroli poddano prace tylko jednego wielkiego pieca "C", to na podstawie danych statystycznych Wydziału Wielkich Pieców oraz obserwacji można stwierdzić, że prawidłowości stwierdzone w prace pieca "C" odnośnie stosowanych sortymentów koksu pokrywają się również w odniesieniu do pracy pozostałych wielkich pieców Huty Pokój.

Część doświadczalna pracy została zakończona 31.VIII.1967 r. ale uzyskane wyniki spowodowały, że Huta Pokój wprowadziła na stałe zużywanie w procesie wielkopiecowym wszystkich swoich wielkich pieców koksu sortymentu powyżej 25 mm, zamiast stosowanego uprzednio sortymentu powyżej 40 mm. Sortyment koksu powyżej 25 mm jest do dnia dzisiejszego stosowany w Hucie Pokój we wsadzie wszystkich wielkich pieców, a uzyskane z tego powodu efekty ekonomiczne obliczone przez Wydział Wielkich Pieców Huty Pokój w przeliczeniu rocznym wynoszą 17,5 milionów złotych.

Zwrócić należy również uwagę, że stosowanie w procesie wielkopiecowym sortymentu koksu powyżej 25 mm zamiast powyżej 40 mm powoduje oszczędność deficytowych węgli koksowych stosowanych w produkcji koksu wielkopiecowego. Oszczędność tych węgli spowodowana jest faktem, że uzysk koksu powyżej 25 mm z koksu ogółem jest większy aniżeli koksu powyżej 40 mm.

W przypadku Z.K. Walenty uzysk koksu suchego sortymentu powyżej 40 mm z koksu suchego ogółem w pierwszym okresie badań (tj. w okresie kiedy stosowano we wsadzie wielkopiecowym koks powyżej 40 mm) wynosił 81,3%. Analogiczny uzysk, ale koksu sortymentu powyżej 25 mm, tj. dla drugiego okresu badań (kiedy stosowano we wsadzie wszystkich wielkich pieców sortyment koksu powyżej 25 mm) wynosił 88,5%, a zatem był większy o 7,2%.

Jeżeli jednak za 100% przyjmiemy wielkość uzysku koksu suchego sortymentu powyżej 40 mm, to uzysk sortymentu powyżej 25 mm był o około 9% większy co było równoważne 9% oszczędności deficytowych węgli koksowych używanych w produkcji koksu hutniczego.

Przebieg prowadzonych dalszych badań zaplanowanych na lata 1968 do 1969 oraz wyniki prac wdrożeniowych do produkcji przemysłowej będą przedmiotem następnych publikacji [54, 55].

Rola autora w wykonanych pracach polegała na opracowaniu sposobu kontroli pracy wielkiego pieca i koksowni, bieżącej analizie uzyskiwanych wyników oraz na ich zestawieniu i opracowaniu.

Prace wdrożeniowe w Hucie Pokój zostały zakończone 31.VIII. 1967 r., a według posiadanych informacji z końcem 1967 r. zostały podjęte w Hucie Bobrek badania nad możnością stosowania sortymentu powyżej 25 mm w procesie wielkopiecowym, i w I kwartale 1968 r. koks ten został wprowadzony do produkcji przemysłowej. Rozważana jest również możność wprowadzenia tego sortymentu koksu do produkcji przemysłowej w pozostałych hutach.

III. W N I O S K I

Na podstawie badań przebiegu rozkruszu w bębnie Micum koksu sortymentów powyżej 25, 40, 50 i 25 do 50 mm, produkowanego w kilku zakładach koksowniczych oraz na podstawie prób stosowania we wsadzie wielkich pieców Huty Pokój w warunkach porównywalnych koksu gatunku Ib, wyprodukowanego w Zakładach Koksowniczych Walenty w odrębnych sortymentach powyżej 25, 40 i 60 mm oraz sortymencie 25 do 60 mm zostały ustalone następujące wnioski.

1. Wyniki prób wielkopiecowych potwierdziły celowość oceny stopnia przydatności różnych sortymentów koksu za pomocą współczynnika "h" określającego według metody Syskowa wielkość oporu gazów przepływających przez koks i obliczonego na podstawie liczb charakteryzujących przebieg rozkruszu koksu. Przy tym powyższy współczynnik "h" został obliczony według wzoru przystosowanego przez Byrtusa do badań koksu w urządzeniu Micum.

2. Stwierdzono możność zastąpienia sortymentu koksu powyżej 40 mm sortymentem koksu powyżej 25 mm bez zmniejszenia wydajności i równomierności pracy wielkiego pieca oraz ze zmniejszeniem o około 1,8% zużycia koksu na tonę surówki martenowskiej.

3. Stosowanie w wielkopiecownictwie niesortu koksu powyżej 25 mm jest korzystne ponieważ cena tego sortymentu jest o około 20 złotych za tonę niższa od ceny sortymentu koksu powyżej 40 mm, a równocześnie na tej drodze zaoszczędza się w mieszankach koksowniczych stosowanych do produkcji koksu wielkopiecowego 9% deficytowych węgli koksowych.

4. Sortyment koksu powyżej 25 mm został na stałe wprowadzony do procesu wielkopiecowego wszystkich czterech pieców Huty Pokój, a uzyskane z tego tytułu oszczędności w przeliczeniu rocznym wynoszą 17,5 milionów złotych.

5. Stosowanie koksu w sortymentach 25 do 60 mm i powyżej 60 mm zamiast koksu w sortymencie powyżej 40 mm na podstawie wstępnych badań doświadczalnych nie spowodowało polepszenia pracy wielkiego pieca.

IV. S T R E S Z C Z E N I E

Wykonano badania przebiegu rozkruszu w bębnie Micum koksu sortymentów powyżej 25, 40 i 50 mm oraz 25 do 50 mm produkowanego w kilku zakładach koksowniczych i na podstawie uzyskanych wyników obliczono zmiany współczynnika oporu gazów przepływających przez koks. Do obliczeń współczynnika wykorzystano metodę Syskowa przystosowaną przez Byrtusa do badań koksu w urządzeniu Micum.

Przeprowadzono próby stosowania we wsadzie wielkich pieców Huty Pokój w warunkach porównywalnych koksu gatunku I b wyprodukowanego w Zakładach Koksowniczych Walenty w odrębnych sortymentach powyżej 25, 40 i 60 mm oraz sortymencie 25 do 60 mm. Uzyskane wyniki potwierdziły celowość oceny stopnia przydatności różnych sortymentów koksu za pomocą wyżej podanego współczynnika. Stwierdzono równocześnie możność zastąpienia sortymentu koksu powyżej 40 mm sortymentem powyżej 25 mm. W przypadku stosowania tego sortymentu wydajność i równomierność pracy wielkiego pieca nie uległy pogorszeniu, natomiast zużycie koksu na tonę surówki martenowskiej zmniejszyło się o ok. 1,8%.

W wyniku przeprowadzonych badań sortyment koksu powyżej 25 mm został na stałe wprowadzony do procesu wielkopiecowego we wszystkich wielkich piecach Huty Pokój, dzięki czemu obniżono koszty koksu wielkopiecowego w produkcji surówki żelaza.

Stosowanie koksu sortymentu powyżej 25 mm pozwoliło na zaoszczędzenie 9% deficytowych węgli koksowych.

V. L I T E R A T U R A

[1] Syskow K.I.: Tieorie powiedienija koksa w domiennom processie, Izdat. Akad. Nauk ZSPR, 1949.

[2] Bazilewicz S.W., Łazariew B.Ł., Starikow M.A., Gołoskow B.W.: Mietody ekspierimientalnogo issledowanija domiennogo processa, Mietałłurgizdat, 1960, s. 13.

[3] Nikołajew I.N., Szczukin P.A.: Koks i chimija, 1938, 8-9.

[4] Sprawocznik domiennoje proizwodstwo. Mietałłurgizdat, 1963; t. I, s. 75, 60, 626.

[5] Burstlein E.: Chaleur et Industrie, 1950, 302.

[6] Sabatier J.: Génie Civil, 1950, 6.

[7] Salcewicz J., Węgiel J.: Hutnik, 1963, 7-8.

[8] Stuchlik V.: Koks-Smoła-Gaz, 1964, 3.

[9] Sprawocznik koksochimika, Mietałłurgija, 1965; t. II, s. 255, 259.

[10] Ginsburg J.E.: Koks i chimija. 1957, 9.

[11] Salcewicz J., Wasilewski P., Węgiel J.: Hutnik, 1963,12.

[12] Roga B. i Wnękowska L.: Analiza paliw stałych, PWT, 1952; s. 474.

[13] Bruk A.S.: Koks i chimija, 1938, 8-9.

[14] Sapożnikow Ł.M.: Kamiennyje ugli i mietałłurgiczeskij koks. Wyd. Akad. Nauk ZSRR, 1941, s. 71.

[15] Syskow K.I., Nikołajew I.N.: Izwiestija Akad. Nauk ZSRR Otdiel. Tiechn. N., 1949, 8; s. 1197.

[16] Byrtus F.: Hutnik, 1950, 7-8.

[17] Chawkin W.I., Głuszczenko I.M.: Koks i chimija, 1967, 3.

[18] Pochwisniew A., Abramow W., Krasawcew N., Leonidow N.: Wielkopiecownictwo. WGH, 1954; s. 183.

[19] Świętosławski W.: Fizykochemia węgli kamiennych i procesu koksowania. Warszawa 1953; s. 169.

[20] Nadziakiewicz J.: Prace GIG, kom. 162, 1954.

[21] Kalinowski B., Grossman A. i Janta F.: Hutnik, 1954, 10.

[22] Salcewicz J., Wasilewski P.: Hutnik, 1963, 10.

[23] Byrtus F.: Niektóre problemy oceny jakości koksu wielkopiecowego. Praca doktorska, Biblioteka AGH w Krakowie.

[24] Nadziakiewicz J., Kaziszyn I., Krause W.: Prace Instytutów Hutniczych 1960, 2.

[25] Liberacki J.: Koks-Smoła-Gaz, 1965, 3.

[26] Iwanow E.B., Kałacz N.I.: Koks i chimija, 1968, 5.

[27] Szczukin P.A.: Koks i chimija, 1940, 6.

[28] Thibaut Ch. G.: Rev. Métallurgie, 1943, 5.

[29] Hoffman H.: Stahl und Eisen, 1944, 21.

[30] Bruk A.S., Gierman M.J., Korobow I.I., Żdanowskij K.T., Libierzon E.A.: Stal, 1947, 2.

[31] Friehmelt E.: Brennstoff Chemie, 1956, 19-20.

[32] Wesemann F., Graf U., Wartmann R.: Stahl und Eisen, 1956, 3.

[33] Byrtus F.: Sprawozdanie nr 568, 1954. Biblioteka IMŻ.

[34] Byrtus F., Węgiel J.: Koks-Smoła-Gaz, 1966, 6.

[35] Havel O., Charvat V.: Paliva, 1956, 4.

[36] Havel O., Rerabek A.: Paliva, 1956, 10.

[37] Byrtus F.: Prace Głównego Instytutu Metalurgii, 1951, 2.

[38] Byrtus F.: Hutnik, 1952, 7-8.

[39] Kozłowski T., Nadziakiewicz J.: Hutnik, 1949, 7-8.

[40] Grossman A.: Hutnik, 1955, 7-8.

[41] Leonidow H.K. i inni: Hutnicke Listy, 1964, 7.

[42] Heynert G.: Stahl und Eisen, 1962, 24.

[43] Radomiński Z.: Krytyczna ocena parametrów jakości koksu z punktu widzenia przydatności dla procesu wielkopiecowego. Referat na międzynarod. konfer. "Koks dla procesu wielkopiecowego", Częstochowa 1965, wydawnictwo SIiTPHut.

[44] Salcewicz J.: Zagadnienie produkcji wysokogatunkowego koksu. Materiały naukowego zjazdu hutników PAN. Kraków 5 do 7.VI.1954 r.

[45] Salcewicz J., Szpilewicz A.: Koks-Smoła-Gaz, 1957, 6.

[46] Miłaszewicz O., Hałgas M.: Koks-Smoła-Gaz, 1957, 6.

[47] Krasnodębski K., Miłaszewicz O., Rosiński S.: Koks-Smoła--Gaz, 1962, 5.

[48] Szpilewicz A., Kalinowski B.: Koksownictwo 1961, s. 21.

[49] Mały rocznik statystyczny 1968; s. 66.

[50] Simmersbach O.: Stahl und Eisen, 1913, 13.

[51] Simmersbach O., i Schneider G.: Grundlagen der Koks-Chemie. Berlin 1930; s. 228.

[52] Wierbickaja O.W., Syskow K.I.: Koks i chimija, 1958, 7.

[53] Holewiński St.: Metalurgia surówki, Katowice, 1954, t. II, s. 266.

[54] Salcewicz J., Węgiel J., Krasowski S., Izdebski F.: w przygotowaniu do druku.

[55] Salcewicz J., Węgiel J., Krasowski S., Izdebski F.: w przygotowaniu do druku.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИГОДНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЗЕРНОВЫХ КЛАССОВ КОКСА ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Р е з ю м е

Предметом исследований являлся процесс дробления в барабане Микум отдельных классов кокса выше 25, 40 и 50 мм, а также класса 25-50 мм, полученных на нескольких коксовых заводах. На основании полученных результатов рассчитано изменения коэффициента сопротивления газов проходящих через кокс. Для расчета этого коэффициента был использован метод Сыскова, модифицированный Быртусом для исследований кокса в установке Микум.

В тождественных условиях были выполнены опыты применения в доменных печах завода Покуй кокса сорта Iб полученного на коксовом заводе Валенты, с раздельным исследованием классов выше 25, 40 и 60 мм, а также класса 25-60 мм. Полученные результаты подтвердили, что оценка степени пригодности отдельных классов кокса при помощи упомянутого выше коэффициента является целесообразной. Одновременно констатировано возможность применения в доменных печах кокса класса выше 25 мм вместо класса выше 40 мм. Применение более мелкого класса кокса не ухудшило производительности и равномерности работы доменной печи, а расход кокса на тонну мартеновского чугуна уменьшился при этом на около 1,8%.

Вследствие произведенных исследований класс кокса выше 25 мм был внедрён в производственный процесс на всех доменных печах завода Покуй, в результате чего снизились расходы на кокс для производства чугуна.

Применение класса выше 25 мм разрешило сэкономить 9% дефицитных коксовых углей.

STUDIES ON THE USABILITY OF SOME COKE ASSORTMENTS IN BLAST FURNACES

S u m m a r y

The crushing behaviour in Micum drum of coke assortments above 25, 40 and 50 mm, as well as 25-50 mm - produced in several coking works - has been investigated. From the results obtained, changes of the flow resistance coefficient of gases flowing through the coke were estimated. The Syskow method as adapted by Byrtus for coke investigations in Micum apparatus was used in calculating the coefficient.

In the Iron Works "Huta Pokój", tests under comparable conditions were carried out on using in the blast-furnace coke of quality Ib - produced by the Coking Works "Walenty" - in separate assortments above 25, 40 and 60 mm, and in the assortment 25-60 mm. The results confirmed that the coefficient in suitable for evaluating the usability of different coke sizes. Moreover, the feasibility to replace coke above 40 mm with coke above 25 mm was shown. With the latter, no unfavourable changes in the output capacity or smooth operation of the blast-furnace were observed, and the coke consumption per ton of pig-iron was reduced by ca. 1,8%.

As a result of the investigations, coke assortment above 25 mm has been permanently applied in all blast-furnaces of the Iron Works "Huta Pokój", giving thus an economy in costs of coke for pig-iron production.

The use of coke assortment above 25 mm yielded a saving of 9% in coking coals which are scarce in this country.

ARCHIWUM

KT
22

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ukazują się w następujących seriach:

A. AUTOMATYKA
B. BUDOWNICTWO
Ch. CHEMIA
E. ELEKTRYKA
En. ENERGETYKA
G. GÓRNICTWO
IS. INŻYNIERIA SANITARNA
MF. MATEMATYKA-FIZYKA
M. MECHANIKA
NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty serii Ch:

Chemia z. 1, 1954 r., s. 87, zł 13,—
Chemia z. 2, 1957 r., s. 140, zł 29,25
Chemia z. 3, 1959 r., s. 110, zł 24,20
Chemia z. 4, 1961 r., s. 30, zł 2,80
Chemia z. 5, 1961 r., s. 165, zł 34,—
Chemia z. 6, 1961 r., s. 33, zł 3,15
Chemia z. 7, 1961 r., s. 62, zł 10,—
Chemia z. 8, 1961 r., s. 58, zł 6,30
Chemia z. 9, 1962 r., s. 119, zł 9,—
Chemia z. 10, 1962 r., s. 58, zł 5,80
Chemia z. 11, 1962 r., s. 110, zł 8,40
Chemia z. 12, 1962 r., s. 148, zł 11,50
Chemia z. 13, 1963 r., s. 82, zł 4,70
Chemia z. 14, 1963 r., s. 73, zł 5,—
Chemia z. 15, 1963 r., s. 81, zł 4,40
Chemia z. 16, 1963 r., s. 92, zł 5,30
Chemia z. 17, 1963 r., s. 119, zł 7,50
Chemia z. 18, 1963 r., s. 118, zł 7,65
Chemia z. 19, 1963 r., s. 96, zł 6,40
Chemia z. 20, 1963 r., s. 148, zł 9,10
Chemia z. 21, 1964 r., s. 72, zł 3,65
Chemia z. 22, 1964 r., s. 75, zł 5,50
Chemia z. 23, 1964 r., s. 116, zł 7,50
Chemia z. 24, 1964 r., s. 302, zł 14,40
Chemia z. 25, 1964 r., s. 113, zł 6,90
Chemia z. 26, 1965 r., s. 95, zł 5,50
Chemia z. 27, 1965 r., s. 137, zł 7,20
Chemia z. 28, 1966 r., s. 90, zł 7,—
Chemia z. 29, 1966 r., s. 100, zł 8.—
Chemia z. 30, 1966 r., s. 144, zł 9,—
Chemia z. 31, 1966 r., s. 69, zł 5,—
Chemia z. 32, 1966 r., s. 60, zł 5,—
Chemia z. 33, 1967 r., s. 75, zł 6,—
Chemia z. 34, 1967 r., s. 155, zł 10,—
Chemia z. 35, 1967 r., s. 105, zł 8,—
Chemia z. 36, 1967 r., s. 75, zł 5,—
Chemia z. 37, 1967 r., s. 107, zł 7,—
Chemia z. 38, 1967 r., s. 90, zł 6,—
Chemia z. 39, 1967 r., s. 180, zł 10,—
Chemia z. 40, 1967 r., s. 132, zł 8,—
Chemia z. 41, 1968 r., s. 54, zł 4,—
Chemia z. 42, 1968 r., s. 86, zł 6,—
Chemia z. 43, 1968 r., s. 62, zł 4,—

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P 3345/68