



PRACE INSTYTUTU METALURGII ŻELAZA

TRANSACTIONS OF THE INSTYTUT METALURGII ŻELAZA

MONOGRAFIE

Marian Niesler

ROLA ZIARNISTOŚCI KOKSU W PROCESIE WIELKOPIECOWYM



ISBN 978-83-916893-4-9

Monografia Nr 2, 2012

Monografie

Marian Niesler

**ROLA ZIARNISTOŚCI KOKSU
W PROCESIE WIELKOPIECOWYM**

Gliwice 2012

RECENZENCI

Prof. dr hab. inż. Kazimierz MAMRO

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

KOMITET NAUKOWY SERII MONOGRAFIE

Prof. dr hab. inż. Leszek BLACHA

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz DERDA

Prof. dr hab. inż. Henryk DYJA, Dr h.c.

Prof. dr hab. Roman KUZIAK

Prof. dr hab. inż. Andrzej ŁĘDZKI

Prof. dr hab. inż. Kazimierz MAMRO

Prof. dr hab. Józef PADUCH

ISBN: 978-83-916893-4-9

Wydawca: Instytut Metalurgii Żelaza, ul. K. Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

ZESPÓŁ REDAKCYJNY

redaktor naczelny – prof. dr Tadeusz BOLD

zastępca redaktora naczelnego – prof. dr hab. Józef PADUCH

redaktorzy tematyczni – prof. dr hab. Roman KUZIAK, dr Grażyna STANKIEWICZ,

prof. dr hab. Jerzy WIEDERMANN,

redaktorzy techniczni – mgr inż. Ewa PACZOSKA, dr inż. Joanna FURMANEK

Skład i łamanie: AKAPIT – Gliwice, tel. 32 230 77 19

Druk: D&D Sp. z o.o. – Gliwice, tel. 32 230 84 24

Autor składa hołd Wielkopiecownikom, którzy ukształtowali jego sylwetkę naukową i swym oddziaływaniem przesądzili o wyborze przez niego życiowej drogi naukowej w wielkopiecownictwie, a wśród nich nieżyjącym już: Prof. Janowi Buzkowi, Dr. inż. Tomaszowi Misiunowi oraz nadal najbliżej współpracującym z autorem od wielu lat: Prof. Kazimierzowi Mamro, Prof. Andrzejowi Łędzkiemu, Prof. Władysławowi Sabeli, Prof. Janowi Mrozowi, Prof. Ryszardowi Budzikowi i Dr. inż. Tadeuszowi Olkowi.

Spis treści

1. WPROWADZENIE	9
2. ROLA KOKSU W PROCESIE WIELKOPIECOWYM.....	13
2.1. OPTYMALNA KAWAŁKOWOŚĆ KOKSU W PROCESIE WIELKOPIECOWYM	13
2.2. WYMAGANIA DOTYCZĄCE JAKOŚCI KOKSU WIELKOPIECOWEGO	22
2.3. WPŁYW REAKTYWNOŚCI KOKSU NA PRZEBIEG PROCESU WIELKOPIECOWEGO	30
3. OGÓLNE ASPEKTY STOSOWANIA KOKSU O OBNIŻONEJ ZIARNISTOŚCI JAKO ZAMIENNIKA CZĘŚCI KOKSU PODSTAWOWEGO W ŚWIELE DOŚWIADCZEŃ ŚWIATOWYCH I KRAJOWYCH	39
3.1. SELEKTYWNY ZASYP DO WIELKIEGO PIECA RÓŻNYCH KLAS ZIARNOWYCH KOKSU WIELKOPIECOWEGO	43
3.2. SYSTEMY ZAŁADUNKU MIESZANIN DROBNOZIARNISTYCH SORTYMENTÓW KOKSU I TWORZYW ŻELAZONOŚNYCH ..	45
3.3. MOŻLIWOŚĆ STOSOWANIA KOKSIKU WE WSADZIE WIELKOPIECOWYM	49
4. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY.....	53
5. DOŚWIADCZALNE OKREŚLENIE WPŁYWU ZIARNISTOŚCI KOKSU NA PRACĘ WIELKICH PIECÓW – BADANIA WŁASNE	55
5.1. MATERIAŁY DO BADAŃ.....	55
5.2. METODYKA BADAŃ I APARATURA BADAWCZA.....	56
5.2.1. Badania wpływu uziarnienia koksu na stopień redukcji różnych tworzyw żelazonośnych	56
5.2.2. Badania przewodności wsadu wielkopiecowego	63
5.2.3. Badania rozpadu spieku.....	63
5.2.4. Badania właściwości termoplastycznych spieku.....	64
5.2.5. Analiza fazowa spieku	65
5.2.6. Badania reaktywności koksu	65

5.2.7. Program do obliczania bilansu ciepłno-materiałowego wielkiego pieca z uwzględnieniem stosowania w procesie drobnoziarnistych sortymentów koksu	68
5.3. WYNIKI BADAŃ	69
5.3.1. Wpływ uziarnienia koksu na redukcyjność i przewiewność spieku	69
5.3.2. Wpływ uziarnienia koksu na redukcyjność i przewiewność odsiewu spieku	70
5.3.3. Wpływ uziarnienia koksu na redukcyjność i przewiewność rudy magnetytowej i grudek poławskich	70
5.3.4. Wpływ zmian udziału wybranych sortymentów koksu we wsadzie na redukcyjność i przewiewność spieku	70
5.3.5. Rozpad spieku po redukcji statycznej	83
5.3.6. Właściwości termoplastyczne spieku	84
5.3.7. Skład fazowy spieku	85
5.3.8. Reaktywność różnych sortymentów koksu i koksiku	85
6. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ	87
6.1. WPŁYW UZIARNIENIA I SPOSOBU WPROWADZANIA RÓŻNYCH SORTYMENTÓW KOKSU NA REDUKCYJNOŚĆ I PRZEWIEWNOŚĆ WYBRANYCH MATERIAŁÓW ŻELAZONOŚNYCH	87
6.2. WPŁYW UZIARNIENIA I SPOSOBU WPROWADZANIA RÓŻNYCH SORTYMENTÓW KOKSU NA REDUKCYJNOŚĆ, PRZEWIEWNOŚĆ I WŁAŚCIWOŚCI TERMOPLASTYCZNE SPIEKU	90
6.3. WPŁYW WIELKOŚCI ZIARNA RÓŻNYCH SORTYMENTÓW KOKSU NA ICH REAKTYWNOŚĆ	96
6.4. WYNIKI OBLICZEŃ BILANSU CIEPLNO-MATERIAŁOWEGO WIELKIEGO PIECA PRZY WYKORZYSTANIU PROGRAMU „BILANS” Z UWZGLĘDNIENIEM STOSOWANIA W PROCESIE DROBNOZIARNISTYCH SORTYMENTÓW KOKSU	102
6.3.1. Działanie programu <i>BILANS</i>	103
6.3.2. Wyniki testów praktycznych programu <i>BILANS</i>	106

7. WERYFIKACJA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH ARCELORMITTAL POLAND S.A.	109
7.1. BADANIA WARUNKÓW PRZEWIEWNOŚCI WSADU Z UDZIAŁEM KOKSIKU	109
7.2. BADANIA REAKTYWNOŚCI STOSOWANYCH W ARCELORMITTAL POLAND S.A. SORTYMENTÓW KOKSU I KOKSIKU	119
7.3. PROPOZYCJA ZMIAN TECHNOLOGICZNYCH DOTYCZĄCYCH WPROWADZENIA WYBRANYCH SORTYMENTÓW KOKSU DO PROCESU WIELKOPIECOWEGO	122
7.4. WYNIKI PRZEMYSŁOWYCH BADAŃ WERYFIKACYJNYCH .	123
7.5. ANALIZA EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA KOKSIKU W WIELKIM PIECU	130
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	134
STRESZCZENIE	146

1. WPROWADZENIE

Wielki piec jest piecem szybowym, w którym na drodze redukcji tlenków żelaza zawartych w spieku lub grudkach żelaza, uzyskuje się dzięki spalaniu koksu, ciekłą surówkę żelaza. Wsad żelazonośny i koks jest ładowany w sposób ciągły do gardzieli wielkiego pieca. Materiały wsadowe opuszczają się stopniowo w dół pieca dzięki temu, że w garze koks jest spalany za pomocą powietrza wdmuchiwanego przez dysze. Gorące gazy powstające ze spalania koksu, zawierające m.in. tlenek węgla i wodór, płynąc w górę pieca, nagrzewają w przeciwnym kierunku wsad schodzący w dół i równocześnie redukują zawarte we wsadzie tlenki metali. Koks zapewnia również gazom odpowiednią przewodność w poszczególnych partiach wielkiego pieca.

Proces wielkopiecowy jest najbardziej energochłonnym procesem spośród wszystkich procesów produkcji surówki żelaza i stali. Wielkie piece wykorzystują około 60% energii zużywanej w całej hucie zintegrowanej. W wielkim piecu stosowany jest tzw. koks wielkopiecowy o ziarnistości 80–25 mm i wartości opałowej $27,5 \div 29,5$ MJ/kg. Proces wielkopiecowy o wysokiej wydajności i niskim zużyciu paliwa, wymaga bardzo dobrej jakości koksu, co wiąże się z wysoką jego ceną [1÷4].

Odnutowywany w ostatnich latach wzrost cen surowców żelazonośnych i paliw przekłada się na znaczny wzrost kosztów produkcji surówki, pociąga za sobą wzrost kosztów produkcji stali i w dalszej kolejności wyrobów gotowych. Koszt zużycia koksu wielkopiecowego jest jednym z najważniejszych czynników oddziałujących na efektywność ekonomiczną tego procesu. Zastosowanie w wielkim piecu tańszych sortymentów koksu, np. o obniżonej ziarnistości, jest istotnym czynnikiem umożliwiającym obniżenie kosztów produkcji surówki.

Trzeba jednak pamiętać, że zbyt duża ilość podziarna, wprowadzanego do wielkiego pieca ze spiekiem żelaza lub paliwem, pogarsza przewodność materiałów wsadowych, zwiększa jednostkowe zużycie koksu i obniża wydajność produkcyjną wielkiego pieca. Dzieje się tak dlatego, że drobne frakcje spieku lub koksu, wprowadzanego w całej jego masie, powodują obniżenie średniej wielkości ziarna oraz zasypywanie wolnych przestrzeni utworzonych przez grubsze kawałki tego materiału. To ostatnie pogarsza w sposób znaczący tzw. przewodność wsadu. Z tego też powodu w rozwoju procesu wielkopiecowego występowały wyraźne trendy podwyższania dolnej, dopuszczalnej granicy wielkości ziarna wsadu, zwłaszcza koksu, przeznaczonego do wielkiego pieca. To z kolei powodowało pogarszanie się uzysku koksu, produkowanego dla potrzeb procesu wielkopiecowego, co zmusiło wielkopiecowników do szukania kompromisu w tym zakresie. Obniżono więc dolną granicę ziarna dla koksu wprowadzanego do wielkiego pieca do ok. 25 mm, koncentrując się na poprawie właściwości wytrzymałościowych koksu wielkopiecowego. Przed podaniem do wielkiego pieca z koksu wielkopiecowego odsiewane jest więc

podziarno poniżej 25 mm (tzw. koks skipowy). Odsiewana jest także najdrobniejsza frakcja (poniżej 4 mm) ze wsadu żelazonośnego (ze spieku i grudek). Przy ocenie poszczególnych klas koksu i wyborze najlepszej wielkości ziarna, duże znaczenie ma ustalenie kryteriów oceny, uwzględniających rolę koksu w procesie wielkopiecowym. Wybór optymalnej wielkości kawałków koksu uzależnia się czasem tylko od stosunku wielkości kawałków spieku, rud żelaza i koksu, znajdujących się w mieszaninie wsadu. Takie uzależnienie jest nieprawidłowe, ponieważ w suchej strefie pieca rudy żelaza i koks rozkładają się głównie warstwami, a w dolnej części pieca tworzywa żelazonośne nie występują już w stanie stałym. Ze zwiększeniem intensywności procesu wielkopiecowego zwiększa się obciążenie przenoszone na koks w dolnej części pieca. Dlatego też rola koksu w procesie sprowadza się przede wszystkim, do zapewnienia optymalnej przewiewności gazów wzdłuż wysokości wielkiego pieca.

W ostatnich latach w światowym wielkopiecownictwie obserwuje się intensywny rozwój nowych technologii zasypu wsadu żelazonośnego i koksu do wielkiego pieca. Technologie te polegają głównie na selektywnym wprowadzaniu do wielkiego pieca określonych ilości drobnoziarnistych i gruboziarnistych frakcji danego tworzywa żelazonośnego lub koksu. Umożliwia to zużywanie części drobnoziarnistych frakcji materiałów wsadowych w wielkim piecu bez pogorszenia się warunków pracy pieca, a często wpływa na nie korzystnie. Dzieje się tak dlatego, że drobne frakcje koksu, jako bardziej reaktywne (reaktywność koksu – podatność koksu na utlenianie dwutlenkiem węgla) ze względu na większą powierzchnię właściwą, wpływają na wzrost udziału redukcji pośredniej w wielkim piecu, ograniczając udział endotermicznej reakcji redukcji bezpośredniej. Ulegając zgazowaniu przed zejściem w dolne strefy wielkiego pieca, nie zwiększają tam ilości drobnego koksu i tym samym nie pogarszają przewiewności wsadu w tym rejonie. Stopień wykorzystania zdolności redukcyjnej gazu w wielkim piecu zwiększa się przez natychmiastowe wykorzystanie CO, powstającego dzięki szybszemu zgazowaniu koksu drobnoziarnistego, będącego w bezpośrednim kontakcie z rudą. Wskutek lepszego wykorzystania CO, współczynnik zamiany koksu kawałkowego koksem drobnoziarnistym może być korzystniejszy, niż wynikałoby to z porównania właściwości obu sortymentów koksu.

Mimo bardzo wielu badań nie uzgodniono jednoznacznej konkluzji z której wynika, jakie i w jakich ilościach drobnoziarniste sortymenty koksu należy stosować, aby uzyskać właściwy przebieg procesu wielkopiecowego i pożądane efekty ekonomiczne [5÷10].

Bazując na doświadczeniach światowego, a głównie japońskiego wielkopiecownictwa można stwierdzić, że uzasadnione jest stosowanie w procesie koksu będącego odsiewem z koksu wielkopiecowego (koksu – orzecha II o ziarnistości 40÷20 mm, koksu – groszku o ziarnistości 25÷10 mm, a nawet tzw. koksiku o ziarnistości 10÷0 mm), jako paliwa zastępczego – zamiennika części koksu wielkopiecowego. Badania zjawisk zachodzących w procesie wiel-

kopiecowym, w wyniku stosowania drobnoziarnistych sortymentów koksu, prowadzone są w wielu laboratoriach naukowo-badawczych i przemysłowych w świecie [11÷27].

Również Instytut Metalurgii Żelaza prowadzi od wielu lat badania nad wykorzystaniem drobnoziarnistych materiałów wsadowych w procesie wielkopiecowym. W wyniku tych prac zostały wdrożone technologie stosowania w wielkim piecu koksu orzech II, koksu groszku i odsiewu spieku (odsiana frakcja spieku poniżej 4 mm) w hutach ArcelorMittal Oddział w Dąbrowie Górniczej i Krakowie (dawniej huta Katowice i huta im. T. Sendzimira), Częstochowie oraz w Zakładach Metalurgicznych (dawniej Huta Bobrek) w Bytomiu [28÷73].

Technologie te polegają na wprowadzaniu w określony sposób do wielkiego pieca danej ilości mieszaniny drobnoziarnistych sortymentów koksu z odpowiednio dobranym pod względem uziarnienia wsadem żelazonośnym. W wyniku wdrożenia opracowanych technologii nie nastąpiło pogorszenie warunków pracy wielkich pieców, uzyskano ponadto niezwykle korzystne współczynniki zamiany, wynoszące 1,1 kg koksu wielkopiecowego za 1 kg koksu – groszku lub koksu – orzecha II. Tak korzystne współczynniki zamiany są rezultatem poprawy stopnia wykorzystania energii cieplnej i chemicznej gazu wielkopiecowego, dzięki rozszerzeniu strefy redukcji pośredniej z ograniczeniem stopnia reakcji redukcji bezpośredniej. Wynika to z zastosowania części koksu bardziej reakcyjnego (większa powierzchnia reakcji drobnoziarnistych sortymentów koksu) oraz mieszanej warstwy tej części koksu z bardziej redukcyjnym, drobnoziarnistym wsadem żelazonośnym. Stworzyło to lepsze warunki kontaktu, a więc i reakcji pomiędzy gazem powstającym ze zgazowania drobnego koksu i drobnymi ziarnami tworzyw żelazonośnych.

Opracowane technologie przewidują stosowanie koksu – groszku w ilości ok. 40 kg/Mg surówki, koksu – orzecha II w ilości ok. 40 kg/Mg surówki oraz odsiewu spieku, w ilości ok. 50 kg/Mg surówki. Pozwoliło to nie tylko na zastąpienie części koksu wielkopiecowego tańszymi sortymentami koksu, lecz także na obniżenie jednostkowego zużycia koksu wielkopiecowego, wynikającego z określonego wcześniej, korzystnego współczynnika zamiany.

W warunkach konkurencyjności rynkowej istnieje potrzeba ciągłego dążenia do obniżania kosztów wytwarzania wyrobów hutniczych. Duże potrzeby inwestycyjne w zakresie wyposażenia do produkcji hutniczych wyrobów gotowych w krajowych hutach, przy ograniczonych środkach inwestycyjnych, ograniczają obecnie możliwości rozwoju technicznego wydziałów surowcowych. W związku z tym konieczne jest skoncentrowanie się na doskonaleniu takich rozwiązań technologicznych, których bezinwestycyjne wdrożenie do praktyki przemysłowej pozwala na szybkie uzyskanie efektów w postaci poprawy wskaźników techniczno-ekonomicznych procesów surowcowych, a więc w konsekwencji obniżenia kosztów wytwarzania surówki.

Jednym z takich rozwiązań może być zastosowanie bezpośrednio w wielkim piecu najtańszego sortymentu odsianego z koksu wielkopiecowego jakim jest koksik, jako zamiennik części stosowanych obecnie droższych sortymentów koksu. Zastosowanie koksiku w wielkim piecu nie może odbywać się kosztem pogorszenia warunków jego pracy, co mogłoby prowadzić do obniżenia, a nawet zniweczenia efektywności ekonomicznej, wynikającej z zastosowania tańszego paliwa.

Niniejsza monografia przedstawia wyniki badań wpływu stosowania drobnoziarnistych frakcji koksu, jako zamiennika części koksu wielkopiecowego, na parametry procesu. Ponadto przeprowadzono weryfikację badań laboratoryjnych w warunkach przemysłowych ArcelorMittal Poland S.A., poprzez zastosowanie koksiku w wielkim piecu.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Proces wielkopiecowy jest najbardziej energochłonnym procesem spośród wszystkich procesów produkcji żelaza i stali i wymaga bardzo dobrej jakości koksu wielkopiecowego, co wiąże się z wysoką jego ceną. Cena koksu jest jednym z najważniejszych czynników oddziałujących na efektywność ekonomiczną tego procesu. Zastosowanie więc w wielkim piecu tańszych sortymentów koksu, jest istotnym czynnikiem umożliwiającym obniżenie kosztów produkcji surówki. Uzasadnione jest stosowanie w procesie koksu, będącego odsiewem z koksu wielkopiecowego (koksu – orzecha II o ziarnistości 40–20 mm, koksu – groszku o ziarnistości 25–10 mm, a nawet tzw. koksiku o ziarnistości 10–0 mm), jako zamiennika części koksu wielkopiecowego. Polega to na wprowadzaniu w określony sposób do wielkiego pieca drobnoziarnistych sortymentów koksu z odpowiednio dobranym pod względem uziarnienia wsadem żelazonośnym.

Identyfikacja zjawisk zachodzących w wielkim piecu przy stosowaniu tych sortymentów koksu jest problemem o dużym stopniu złożoności i trudności. Dotychczasowe badania przybliżają prawdopodobny mechanizm tych procesów i pozwalają na określenie pewnych związków praktycznych.

W tej sytuacji autor jako cel pracy przyjął określenie wpływu zastosowania drobnoziarnistych sortymentów koksu w różnych systemach załadunku, jako zamiennika części koksu wielkopiecowego, na parametry procesu wielkopiecowego. Jako punkt wyjścia przyjęty został opis procesu stosowania drobnoziarnistych sortymentów koksu, sporządzony w oparciu o prezentowane w literaturze wyniki badań i poglądy, a także na podstawie wyników wstępnych badań autora.

Dla określenia wpływu stosowania drobnoziarnistych sortymentów koksu na parametry procesu wielkopiecowego przeprowadzono badania: wpływu uziarnienia koksu na stopień redukcji różnych tworzyw żelazonośnych, reaktywności koksu, przewodności wsadu wielkopiecowego, rozpadu spieku, właściwości termoplastycznych spieku oraz analizę fazową spieku. Opracowano również program BILANS do obliczania bilansu ciepłno materiałowego wielkiego pieca z uwzględnieniem stosowania w procesie drobnoziarnistych sortymentów koksu.

Końcowym etapem była weryfikacja badań laboratoryjnych w warunkach przemysłowych ArcelorMittal Poland S.A., poprzez zastosowanie koksiku, jako zamiennika części stosowanych obecnie sortymentów koksu.

W oparciu o wyniki badań o raz ich weryfikację w warunkach przemysłowych, sformułowano poniższe wnioski o roli ziarnistości koksu w procesie wielkopiecowym:

1. Selektywny zasyp do wielkiego pieca zawężonych klas ziarnowych koksu (koks – orzech II, koks – groszek, koksik) może wpływać pozytywnie na przebieg procesu. Ze względu na lepszą przewodność i redukcyjność wsad-

du teoretycznie skuteczniejsze jest stosowanie osobnej warstwy jednego ściśle określonego sortymentu koksu z danym tworzywem żelazonośnym, niż stosowanie mieszanej warstwy tych tworzyw. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że w warunkach wielkiego pieca nie stosuje się w 100% drobnopięknych sortymentów koksu (dotyczy to przede wszystkim koksu grozku i koksiku), ze względu na drastyczne pogorszenie przewodności wsadu, a co za tym idzie obniżenie wydajności wielkiego pieca.

2. W przypadku stosowaniu jednocześnie dwóch sortymentów koksu (np. koks – orzech i koksik) możliwe jest uzyskanie lepszego stopnia redukcji tworzywa żelazonośnego przy zastosowaniu mieszanej warstwy, ale trzeba wziąć pod uwagę pogorszenie przewodności wsadu. Dla ograniczenia spadku przewodności w tym przypadku, należy zmniejszyć zakres ziarnistości koksiku np. poprzez odsianie podziarna. Pogorszenie przewodności w „strefie suchej” wielkiego pieca może być korzystne dla pełnego wykorzystania CO zawartego w gazie wielkopiecowym. Nie musi to oznaczać pogorszenia ogólnej przewodności wsadu, bo w strefie kohezji gdzie jest najgorsza przewodność, zmniejsza się ilość drobnopięknych koksu, który ulega wcześniejszemu zgazowaniu.
3. Z obniżeniem wielkości ziarna koksu użytego do redukcji wzrasta ilość tlenków żelaza na niższym stopniu utlenienia, co sugeruje lepsze wykorzystanie energii chemicznej zawartej w badanych sortymentach koksu. Oznacza to, że im mniejsza wielkość ziarna sortymentu koksu, a co za tym idzie, większe jego pole powierzchni, tym lepszy kontakt koks – tworzywo żelazonośne, co zwiększa możliwość dyfuzji gazu redukcyjnego w głąb ziarna tworzywa i umożliwia lepsze warunki redukcji.
4. Przy stosowaniu jednego sortymentu koksu właściwości wytrzymałościowe spieku zarówno przy wykorzystaniu osobnej warstwy jak i mieszanej warstwy są porównywalne. Właściwości te pogarszają się jednak ze wzrostem stopnia redukcji. Im drobniejszy sortyment koksu został zastosowany w procesie, tym lepiej redukował się spiek, ale jednocześnie powodował spadek jego właściwości wytrzymałościowych. Zastosowanie natomiast dwóch sortymentów koksu powodował bardzo wyraźny spadek wytrzymałości spieku po redukcji objawiający się wzrostem ilości frakcji spieku poniżej 0,5 mm. Taka drobna frakcja może powodować wzrost oporów dla przepływu gazu w szybie wielkiego pieca.
5. Badania reaktywności różnych sortymentów koksu wykazały, że ze wzrostem średniej wielkości ziarna koksu zmniejsza się jego reaktywność. Można więc przypuszczać, że w warunkach wielkiego pieca koksik zacznie w pierwszej kolejności ulegać reakcji zgazowania, jako najbardziej reaktywny w niższych temperaturach, w porównaniu do grubszych sortymentów koksu. Przy małych ilościach koksiku we wsadzie może więc nastąpić całkowite jego zgazowanie przed zejściem do rejonu wysokich temperatur w wielkim piecu.

6. Opracowany program BILANS, wykorzystujący bilans cieplny wielkiego pieca, ujmujący stosowanie różnych sortymentów koksu, został przetestowany praktycznie z wykorzystaniem bazy danych czterech polskich wielkich pieców produkujących surówkę przeróbczą, hematytową surówkę odlewniczą, surówkę specjalną oraz żelazomangan wielkopiecowy. Wyniki obliczeń dobrze korelowały z rzeczywistymi parametrami i wskaźnikami procesu wielkopiecowego, Przewidziano możliwość jego wzbogacenia o nowe bloki tematyczne dotyczące to aerodynamiki procesu, optymalizacji cieplnej i chemicznej oraz roli np. pierwiastków szkodliwych. Program jest programem komercyjnych, udostępnianym zainteresowanym hutom po zakupie licencji w IMŻ.
7. Weryfikacja wyników badań laboratoryjnych w warunkach wielkich pieców ArcelorMittal Poland S.A. wykazała, że można stosować koksik o naturalnym uziarnieniu w ilości do ok. 15 kg/Mg surówki, bez pogorszenia warunków pracy wielkiego pieca. Wdrożona i stosowana na co dzień technologia pozwoliła na uzyskanie wysokiego efektu ekonomicznego, wynikającego z różnicy cen pomiędzy koksikiem a koksem wielkopiecowym oraz z korzystnego współczynnika zamiany tych paliw. Każdy kilogram koksiku zastępuje średnio 1,16 kg pozostałych sortymentów koksu.

ROLA ZIARNISTOŚCI KOKSU W PROCESIE WIELKOPIECOWYM

STRESZCZENIE

Przedmiotem pracy były badania wpływu stosowania drobnoziarnistych frakcji koksu, jako zamiennika części koksu wielkopieczowego, na pracę wielkiego pieca.

Dla określenia wpływu stosowania drobnoziarnistych sortymentów koksu na parametry procesu wielkopieczowego przeprowadzono szczegółowe badania: wpływu uziarnienia koksu na stopień redukcji różnych tworzyw żelazonośnych w różnych systemach załadunku, reaktywności koksu, przewiewności wsadu wielkopieczowego, rozpadu spieku, właściwości termoplastycznych spieku oraz analizę fazową spieku. Opracowano również program BILANS do obliczania bilansu ciepłno-materiałowego wielkiego pieca z uwzględnieniem stosowania w procesie drobnoziarnistych sortymentów koksu.

Stwierdzono, że selektywny zasyp do wielkiego pieca zawężonych klas ziarnowych koksu (koks – orzech II, koks – groszek, koksik) może wpływać pozytywnie na przebieg redukcji wsadu wielkopieczowego. W przypadku stosowania dwóch sortymentów koksu (np. koks – orzech i koksik) lepszy stopień redukcji tworzywa żelazonośnego uzyskuje się przy zastosowaniu mieszanego systemu załadunku, ale przy gorszej przewiewności wsadu. Aby temu zapobiegać należy zmniejszyć zakres ziarnistości koksiku np. poprzez odsianie podziarna. Z obniżeniem wielkości ziarna koksu użytego do redukcji wzrasta ilość tlenków żelaza na niższym stopniu utlenienia, co sugeruje lepsze wykorzystanie energii chemicznej zawartej w stosowanym koksie. Oznacza to, że im mniejsza wielkość ziarna koksu, tym lepszy kontakt koks – tworzywo żelazonośne, co zwiększa możliwość dyfuzji gazu redukcyjnego w głąb ziarna tworzywa i umożliwia lepsze warunki redukcji.

Końcowym etapem pracy była weryfikacja badań laboratoryjnych w warunkach przemysłowych ArcelorMittal Poland S.A., poprzez zastosowanie koksiku, jako zamiennika części stosowanych obecnie sortymentów koksu. Weryfikacja wyników wykazała, że można stosować koksik w ilości do ok. 15 kg/Mg surówki, bez pogorszenia warunków pracy wielkiego pieca. Wdrożona i stosowana na co dzień technologia pozwoliła na uzyskanie wysokiego efektu ekonomicznego, wynikającego z różnicy cen pomiędzy koksikiem a koksem wielkopieczowym oraz z korzystnego współczynnika zamiany tych paliw. Każdy kilogram koksiku zastępuje średnio 1,16 kg pozostałych sortymentów koksu.

THE ROLE OF COKE GRAIN SIZE IN BLAST FURNACE PROCESS

ABSTRACT

The research work focused on examination of the impact of application of fine-grained coke fractions as partial replacement of bf coke, on blast furnace operations.

In order to define the impact of fine-grained coke fractions application on the parameters of blast furnace process, the following detailed examinations were conducted: examination of the impact of coke grain size on the degree of reduction of various iron-bearing materials in different charging systems, reactivity of coke, permeability of blast furnace charge, disintegration of sinter, thermo-plastic properties of sinter and phase analysis of sinter. Additionally, BILANS software was developed for calculation of thermal and material balance of blast furnace with consideration of use of fine-grained coke ranges in the process.

It was ascertained that selective charge of limited grain class of coke (nut coke II, pea coke, coke breeze) may have a positive impact on reduction of blast furnace charge. Should two types of coke be used (e.g. nut coke and coke breeze), improved reduction of iron-bearing material is achieved during application of the combined loading system, however with worse charge permeability. In order to prevent this, coke breeze grain size should be reduced, e.g. by screening mesh pass. Along with reduction in the grain size of coke used for reduction, the volume of iron oxides at lower oxidation level increases, which suggests improved utilization of chemical energy contained in the used coke. This means – the smaller coke grain size, the better the contact between the coke and iron bearing material, which increases the possibility of reduction gas diffusion into material grain and ensures improved reduction conditions

The final stage of works included verification of laboratory tests in industrial conditions of ArcelorMittal Poland S.A., by application of coke breeze as replacement of the coke fractions used at present. Verification of the results has shown that coke breeze may be used in the volume up to ca. 15 kg/Mg of hot metal without deterioration of blast furnace operational parameters. The implemented technology used on daily basis allowed to obtain significant economic effect which stemmed from the difference in the price of coke breeze and blast furnace coke as well as favourable replacement ratio for the said fuels. Each kilogram of coke breeze replaces on average 1.16 kg of other types of coke.

