

Marian NIESLER, Piotr RÓŻAŃSKI, Janusz STECKO

Instytut Metalurgii Żelaza

## MOŻLIWOŚCI BADAWCZE I ZASTOSOWANIA LINII DO PÓŁPRZEMYSŁOWEJ SYMULACJI PROCESU SPIEKANIA SUROWCÓW I ODPADÓW

*Przedstawiono laboratoryjną linię do symulacji procesu spiekania wraz z urządzeniami do oceny właściwości spieków. Pierwotnie linia wykorzystywana była na potrzeby krajowych spiekalni rud żelaza oraz do prowadzenia własnych prac badawczych Instytutu. Obecnie badania realizowane są także na zamówienia z zagranicy. Oprócz prób spiekania mieszanek rud żelaza i odpadów żelazonośnych wykonywane są badania spiekania materiałów zawierających inne metale jak np. nikiel, molibden czy chrom oraz materiałów mineralnych jak np. łupki węglowe oraz badania z udziałem alternatywnych paliw stałych. Bardziej szczegółowo przedstawiono przebieg i wyniki pracy badawczej dotyczącej wykorzystania antracytu jako paliwa w procesie spiekania.*

*Słowa kluczowe:* spiekanie wsadu hutniczego, misa spiekalnicza, spiek, właściwości fizyko-chemiczne, zastosowanie

## RESEARCH CAPABILITIES AND APPLICATIONS OF SEMI-INDUSTRIAL LINE FOR THE PHYSICAL SIMULATION OF SINTERING PROCESSES OF RAW AND WASTE MATERIALS

*The laboratory installation to simulate of sintering process together with the devices used to evaluate of sinters properties is presented. Originally the line was used for the needs of domestic iron ore sinter plants and to carry out own researches in IMZ. Currently, the researches ordered by firms from abroad are also carried out. Besides of the researches concerned with sintering of iron ores and iron bearing waste materials mixtures there are carried out sintering tests using materials containing other metals like nickel, molybdenum or chromium, as well mineral materials with participation of alternative solid fuels. More detailed the course and the results of the research on the use of anthracite as fuel in the sintering process are presented.*

*Key words:* metallurgical charge sintering, sinter pan, sinter, physical and chemical properties, application

### 1. WPROWADZENIE

Spiek rud żelaza jest podstawowym składnikiem wsadu wielkopieczowego. Wytwarzany jest z mieszanki drobnych rud i ich koncentratów, topników (kamienia wapiennego i/lub dolomitu) z udziałem spieku zwrotnego i koksiku spełniającego rolę paliwa, dokładnie nawilżonej, uśrednionej i poddanej granulacji. W skali przemysłowej proces spiekania rud żelaza realizowany jest w sposób ciągły z wykorzystaniem taśm spiekalniczych (Rys. 1a). Do spiekania odpadów metalonośnych i mineralnych wykorzystuje się proces półciągły realizowany z wykorzystaniem szeregu skrzyń umieszczonych na obrotowym stole (Rys. 1b). Instalacje tego typu charakteryzują się znaczną elastycznością, pozwalając na ekonomiczną utylizację mniejszych ilości, wielu rodzajów bardzo drobnych odpadów.

Do badania procesu spiekania w skali laboratoryjnej wykorzystuje się instalację spiekania na misie, aby za ich pomocą proces spiekania zbliżyć do warunków przemysłowych. Instalacja do spiekania w warunkach laboratoryjnych umożliwia ocenę wpływu:

- zmian warunków wsadowych,
- zmian rodzaju i udziału paliw,

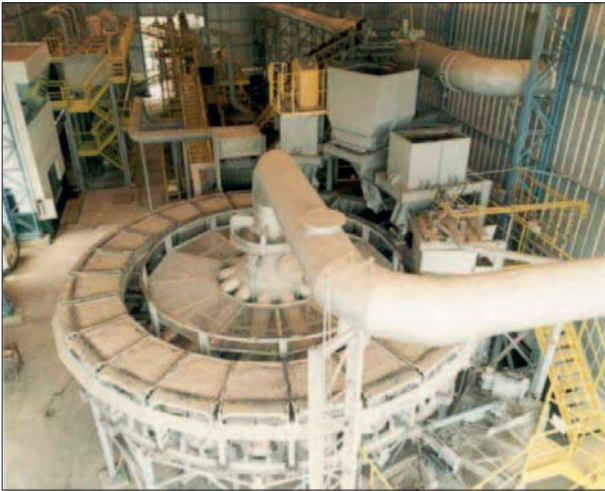
– dodatku odpadów żelazonośnych, na parametry procesu spiekania i właściwości fizyko-chemiczne spieku oraz na skład gazów odlotowych.

Konieczność stałej realizacji prac badawczych z tego zakresu wiąże się między innymi z wykorzystaniem nowych złóż rud, paliw alternatywnych i materiałów



Rys. 1a. Taśma spiekalnicza w jednej ze współczesnych hut zintegrowanych [1]

Fig. 1a. Sinter strand in one of the modern integrated mills [1]



Rys. 1b. Minispiekarnia opracowana przez MINITEC – Minitecnologias Ltda. [2]

Fig. 1b. Mini sintering plant developed by MINITEC – Minitecnologias Ltda. [2]

mineralnych, czyli z koniecznością stosowania nowych mieszanek wsadowych, także uwzględniających recykling odpadów żelazonośnych, jak i związanych z potrzebą utylizacji odpadów metalonośnych i mineralnych, co wynika z przepisów o ochronie środowiska.

## 2. LINIA DO SYMULACJI FIZYCZNEJ PROCESU SPIEKANIA RUD ŻELAZA ORAZ INNYCH MATERIAŁÓW W INSTYTUCIE METALURGII ŻELAZA

Tradycja badań procesu spiekania w IMŻ jest bardzo długa. Już w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku w ówczesnym Hutniczym Instytucie Badawczym wykorzystywano szereg urządzeń do grudkowania rud miałkich oraz doświadczalne skrzynki do spiekania rud. W latach sześćdziesiątych dwudziestego wieku Instytut dysponował urządzeniami do badań procesu spiekania, które w miarę upływu czasu modernizowano lub wymieniano na nowe:

- urządzeniami do przygotowania mieszanek spiekalniczych: mieszalnikiem, grudkownikiem bębnowym i talerzowym,
- urządzeniami do badań przewodności mieszanki spiekalniczej w temperaturze otoczenia i w temperaturze podwyższonej,
- zespołem urządzeń do spiekania rud żelaza (misą spiekalniczą o średnicy 0,2 m i 0,5 m z układem wentylatorów),
- aparaturą do oznaczania właściwości redukcyjnych spieków i rud,
- aparaturą do badania właściwości termoplastycznych spieków i rud,
- urządzeniami do badania własności wytrzymałościowych tworzyw wielkopiecowych w tym spieku, jak: urządzenie do oznaczania wytrzymałości zrzutowej i metodą ISO,
- aparaturą optyczną do badań mineralogicznych w świetle przechodzącym i odbitym,
- aparaturą do analizy termicznej.

Obecnie wykorzystywana w Instytucie linia do symulacji fizycznej procesu spiekania przeszła gruntowną modernizację na przełomie lat 2012/2013 i obejmuje:

- urządzenia do przygotowania mieszanek spiekalniczych w postaci: talerza grudkującego i wysoko-intensywnego mieszalnika (mieszarka turbinowa),
- stanowisko spiekania w misie (wymienne misy) z możliwością zawracania spalin,
- analizator spalin do ciągłego pomiaru  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , i  $CH_4$ ,
- dwa niezależne układy oczyszczania gazów odlotowych, z których jeden stanowi filtr ceramiczny, a drugi bazuje na chronionej zgłoszeniem patentowym metodzie MOS (Microwave Oxidation System) i skutecznie oczyszcza gazy procesowe z zanieczyszczeń organicznych (LZO – lotne związki organiczne,  $CO$ ,  $NO_x$ ), przez neutralizację szkodliwych substancji i dopalanie węglowodorów w wysokich temperaturach, co umożliwi badania aglomeracji z użyciem odpadów niebezpiecznych w bezpiecznych warunkach dla środowiska,
- urządzeń do oceny właściwości spieków w postaci wieży zrzutowej, bębna Micum, oraz urządzeń do znormalizowanych prób oznaczeń wskaźników RI i RDI,
- aparatury do oznaczania stężeń pyłów w gazach odlotowych (urządzenie firmy Zambelli do izokinetycznego poboru próbek gazów z rurociągu).

W skład mieszanki spiekalniczej w przypadku wytwarzania spieku wielkopiecowego wchodzi drobne rudy kawałkowe (o uziarnieniu poniżej 8÷10 mm), koncentraty rudne charakteryzujące się jeszcze drobniejszym uziarnieniem, zwykle poniżej 1 mm, topniki (zwykle w postaci kamienia wapiennego i dolomitu), spiek zwrotny o uziarnieniu poniżej 5 mm, a także surowce odpadowe, jak pyły i żużle wielkopiecowe i/lub konwertorowe.

Dobór tych materiałów pod względem udziału, uziarnienia a także ich odpowiednie nawilżenie wodą



Rys. 2. Obrotowy rozdzielacz próbek do uśredniania materiałów

Fig. 2. The rotary sample divider for averaging of materials



Rys. 3. Hermetycznie zamknięte pojemniki z materiałami wsadowymi

Fig. 3. The hermetically sealed containers with raw materials

i zgrudkowanie musi zapewnić odpowiednią przewiewność warstwy spiekanej, a w konsekwencji odpowiednią prędkość pionową spiekania i dobrą jakość spieku.

Uśrednienie surowców (pod względem składu chemicznego oraz zawartości wody niezwiązanej) do prób spiekania realizuje się w wyniku mieszania mechanicznego (przy pomocy wózka widłowego wyposażonego w łyżkę), z następnym rozdzielaniem, przy użyciu obrotowego rozdzielacza próbek (Rys. 2) i zapakowaniem do pojemników z tworzywa sztucznego o pojemności około 12 litrów (Rys. 3). Szczelnie zamknięte pojemniki składowane są na paletach w budynku magazynowym, zapewniając stosowanie komponentów o stałym składzie chemicznym i ze stałym udziałem wody niezwiązanej.

Kolejnym bardzo istotnym etapem jest przygotowanie mieszanki spiekalniczej o wymaganym składzie, wyrażonym udziałem rud i innych nośników żelaza, topników i paliwa stałego o wymaganej zawartości wody, wysokiej jednorodności i granulacji. Mieszankę spiekalniczą sporządza się odważając poszczególne składniki, które następnie, przy użyciu specjalnego zasobnika załadowniczego (Rys. 4), zasypywane są do mieszarki turbinowej (Rys. 5). Urządzenie to ma możliwość regulacji obrotów misy i mieszadła. Przeznaczone jest do mieszania i grudkowania do 200 kg materiałów drobnoziarnistych, tj. pyłów, mułów, żużli, rud, itp.



Rys. 4. Zasobnik załadowny

Fig. 4. Loading hopper



Rys. 5. Mieszarka turbinowa

Fig. 5. Turbine mixer

w szerokim zakresie ziarnowym. Mieszarka składa się z: nachylonej obrotowej misy, pojedynczego wymiennego obrotowego mieszadła, pompy umożliwiającej automatyczne dozowanie wymaganej ilości środka zwilżającego oraz zdzieraka zapobiegającego narastaniu i gromadzeniu się materiału na ściankach i dnie misy. Posiada niezależne napędy misy i mieszadła, umożliwiające płynną regulację ich obrotów (misy od 18 do 80 obr/min, mieszadła od 60 do 300 obr/min). Napęd mieszadła umożliwia dwukierunkowe jego obroty. Zastosowane rozwiązanie zapewnia mechaniczny rozładunek misy. Mieszarka wyposażona jest w automatyczny system sterowania, zrealizowany w oparciu o sterownik programowalny SIEMENS S7-1200.

Do oceny przewiewności zgranulowanej mieszanki metodą porównawczą wykorzystuje się proste urządzenie z wymuszonym przepływem powietrza przez koszyk z analizowaną mieszanką. Za jego pomocą wyznacza się czas przepływu określonej – zawsze tej samej ilości powietrza przez warstwę mieszanki (Rys. 6).



Rys. 6. Urządzenie do oznaczania przewiewności mieszanki

Fig. 6. The device for determining the mix permeability

Stanowisko przeznaczone do wykonywania prób spiekania w misie rud żelaza oraz innych materiałów zostało gruntownie zmodernizowane w roku 2013 (Rys. 7) i obecnie może współpracować wymiennie z misami spiekalniczymi o wysokości całkowitej do 760 mm. Aktualnie na wyposażeniu są dwie misy o wysokościach roboczych 550 mm i 300 mm. Stanowisko wyposażone jest w zapłonowy palnik gazowo-powietrzny o mocy 250 kW, umieszczony na obrotowej kolumnie z możliwością ruchu także w pionie i instalację umożliwiającą recyrkulację spalin, a ponadto w układ odciągu i oczyszczania gazów odlotowych z misy z podłączonym układem automatycznej analizy spalin do ciągłego pomiaru stężenia:

- CO – w zakresie od 0 do 10% objętości (pomiar w podczerwieni),
- CO<sub>2</sub> – w zakresie od 0 do 25% objętości (pomiar w podczerwieni),
- O<sub>2</sub> – w zakresie od 0 do 25% objętości (pomiar paramagnetyczny),
- SO<sub>2</sub> – w zakresie od 0 do 4 000 ppm (pomiar w podczerwieni),
- CH<sub>4</sub> – w zakresie od 0 do 1 000 ppm (pomiar w podczerwieni),
- NO<sub>x</sub> – w zakresie od 0 do 5 000 ppm (pomiar w podczerwieni) (Rys. 7c).

Układ odciągu zapewnia pracę z podciśnieniem w zakresie do około 18 kPa. Sterowanie urządzeniami me-

chanicznymi z napędem elektrycznym może odbywać się przyciskami z kasety sterowniczej, bezpośrednio przy stanowisku lub z kabiny sterowniczej (Rys. 7d). Stanowisko jest po części zautomatyzowane. Praca palnika, operacja przejazdu palnika ze stanowiska wygrzewania na stanowisko spiekania i z powrotem po zakończeniu etapu zapalania mieszanki, może odbywać się automatycznie lub w wyniku sterowania ręcznego. Podstawowy podzespół sterujący i nadzorujący prace stanowiska spiekania stanowi sterownik programowalny S7-1200 firmy Siemens połączony z komputerem stacjonarnym odpowiedzialnym za wizualizację procesu spiekania. Monitor komputera umożliwia operatorowi prowadzenie procesu technologicznego, a także nadzór oraz obserwację wszystkich zdarzeń w obrębie stanowiska.

Instalacja spiekania współpracuje z instalacją do odciągu i oczyszczania gazów poreakcyjnych, która także może być wykorzystywana do odprowadzania i odpylania gazów oraz zapyłonego powietrza, powstających nad innymi urządzeniami i stanowiskami badawczymi zlokalizowanymi w hali.

Instalacja ta składa się z:

- dwóch wentylatorów wyciągowych z silnikami o mocy po 30 kW i dyspozycyjnym ciśnieniu sprężania 10 kPa każdy,
- rurociągów z przepustnicami i czujnikami ciśnienia i temperatury,



Rys. 7a. Stanowisko spiekania przed ostatnią modernizacją

Fig. 7a. Sintering stand before the last modernization



Rys. 7b. Stanowisko spiekania w misie po ostatniej modernizacji

Fig. 7b. Sintering stand after last modernization



Rys. 7c. Stacjonarny system do ciągłej analizy składu gazów odlotowych produkcji firmy ABB

Fig. 7c. Stationary system for continuous analysis of the exhaust gases composition



Rys. 7d. Kabina sterownicza stanowiska spiekania

Fig. 7d. Control room of sintering stand

- modułowego, pionowego filtra ceramicznego (typ VXSS-00118/1,9/2,0/1,5/60/PSN) z wkładami (typu Cerafil TopKat1500) z regeneracją sprężonym powietrzem w systemie on-line (Rys. 8),



Rys. 8. Instalacja odciągu i odpylania gazów poreakcyjnych

Fig. 8. The exhaust gas dedusting system

- układu zasilania i sterowania urządzeń wykonawczych wyposażonym w niezbędny zestaw blokad i zabezpieczeń, z panelem operatorskim służącym do sterowania urządzeniami filtra,
- układu dozowania sorbentu,
- układu odbioru pyłu,
- dodatkowego kanału do odpylania pieców laboratoryjnych i innych urządzeń – stanowisk badawczych.

Układ odciągu i oczyszczania gazów poreakcyjnych umożliwia neutralizację zanieczyszczeń organicznych (LZO – lotne związki organiczne, CO, NO<sub>x</sub>) i dopalanie węglowodorów w wysokich temperaturach. Do tego celu służy instalacja ATON MOS wykorzystująca technologię bazującą na chronionej zgłoszeniem patentowym metodzie MOS (Microwave Oxidation System), dzięki czemu sama nie jest źródłem emisji gazów cieplarnianych (Rys. 9).



Rys. 9. Instalacja ATON MOS do neutralizacji gazów odlotowych z linii spiekania

Fig. 9. ATON MOS system to neutralize the waste gases from the sintering stand

Składa się ona z:

- trzech trójsegmentowych reaktorów:
  - wypełnionych złożem ceramicznym o właściwościach katalitycznych i o dużej zdolności pochłaniania mikrofal, ogrzewania się i transmitowania energii w postaci ciepła do oczyszczania gazów odlotowych,
  - uzbrojonych w generatory mikrofalowe oraz palniki gazowe (po jednym dla każdego reaktora) do wstępnego podgrzania złoża ceramicznego,
- dwóch kolektorów: doprowadzającego i odprowadzającego gazy poddawane neutralizacji,
- wymiennika ciepła typu spaliny-spaliny, typu płaszczowo-rurowego,
- szafy zasilająco-sterowniczej.

W ramach ostatniej modernizacji stare urządzenie zrzutowe z napędem pneumatycznym do badań wytrzymałości zrzutowej spieków i utwardzonych grudek zastąpiono nowym z napędami elektromechanicznymi (Rys. 10). Urządzenie składa się z trzech podstawowych podzespołów: komory zrzutowej, umożliwiającej zrzut materiału z wysokości 2 m, wraz z dwoma zasobnikami, podstawy – konstrukcji nośnej z napędem oraz barierami bezpieczeństwa i wózkiem załadowniczym. Urządzenie jest zmechanizowane, wyposażone w napędy elektryczne. Zapadnie w komorze zrzutowej wyposażone są w zamki elektromagnetyczne. Zwalnianie zapadni odbywa się przy pomocy rygli napędzanych elektrycznie poprzez motoreduktory z czujnikami zbliżeniowymi. Wyposażenie urządzenia pozwala na pracę w cyklu automatycznym i stwarza możliwość zaprogramowania wymaganej liczby zrzutów.



Rys. 10. Urządzenie zrzutowe do oceny wytrzymałości spieku

Fig. 10. Dump device for the sinter strength determination

Rutynowo wytrzymałość spieku wielkopieczowego oceniana jest także metodą ISO z wykorzystaniem znormalizowanego urządzenia (Rys. 11) do oznaczania wytrzymałości spieku na zimno (Cold Strength) i odporności na ścieranie (Abrasion). Oznaczane są również właściwości redukcyjne spieków (RDI i RI).

Rozkład ziarnowy spieku po wymaganej liczbie zrzutów ocenia się z wykorzystaniem przesiewacza wie-



Rys. 11. Bęben do oznaczania wytrzymałości spieku metodą ISO

Fig. 11. Drum for the sinter strength determination by the ISO method

lopokładowego o budowie skrzynkowej, zamkniętej z elektromechanicznym wzbudzeniem drgań (w tym przypadku pięciopokładowego – Rys. 12) oraz małego przesiewacza wibracyjnego (Rys. 13) ze wzbudzeniem mechanicznym drgań.



Rys. 12. Elektrowibracyjny przesiewacz pięciopokładowy do rozsiewania spieków wielkopieczowych

Fig. 12. Electro-vibrating multidec sieve



Rys. 13. Laboratoryjny przesiewacz z mechanicznym wzbudzeniem drgań do rozsiewania spieków

Fig. 13. Laboratory screen with mechanical vibration excitation for sinters screening

Surowce wykorzystywane w próbach spiekania w misie, jak i spieki analizowane są:

- pod kątem składu chemicznego,
- pod kątem składu fazowego metodami dyfrakcji rentgenowskiej,
- analizy termicznej z wykorzystaniem zestawu do symultanicznej analizy TG/DTA lub TG/DSC z analizą wydzielanych gazów przy pomocy kwadрупolowego spektrometru masowego QMS (zestaw stanowią urządzenia firmy NETZCH: analizator STA 449 F3 Jupiter i spektrometr 403 Aëolos).

### 3. WYKORZYSTANIE LINII DO PRÓB SPIEKANIA W MISIE

Próby spiekania na misie spiekalniczej w Instytucie Metalurgii Żelaza prowadzono głównie na zlecenie lub też na potrzeby krajowych spiekalni. Od kilku lat badania te są także wykonywane na zamówienia zagraniczne, w tym ośrodka badawczo-rozwojowego ArcelorMittal z siedzibą w Maizières we Francji oraz huty ArcelorMittal w Ostrawie.

Na przestrzeni ostatnich lat IMŻ zrealizował także szereg własnych prac badawczo-rozwojowych, lub na zlecenie, z wykorzystaniem prób spiekania. Spośród tych wykonanych w ostatnich dziesięciu latach wymienić należy:

- próby spiekania mieszanek rud żelaza z wykorzystaniem Oliflux-u (oliwinu) z Norwegii jako nośnika tlenku magnezu,
- badania wpływu dozowania wapna palonego bezpośrednio do grudkowników na wydajność procesu spiekania,
- próby spiekania podwójnej warstwy, gdzie na tradycyjnej warstwie rud żelaza umieszcza się warstwę odpadów żelazonośnych zanieczyszczonych olejem,
- próby spiekania odpadów metalonośnych w postaci pyłów i szlamów z zawartością molibdenu, chromu i/lub niklu,
- zastosowanie paliw alternatywnych w procesie spiekania poprzez zastosowanie odpadowej biomasy jako zamiennika części koksiku,
- zwiększenie wydajności procesu spiekania z wykorzystaniem pionowych elementów spulchniających na rusztach taśmy spiekalniczej o dużej powierzchni,
- wpływ dozowania wapna palonego bezpośrednio do grudkowników na wydajność procesu spiekania w warunkach Spiekalni ArcelorMittal Poland S.A. Oddział w Dąbrowie Górniczej,
- poprawę efektywności ekonomicznej procesu spiekania metodą zastąpienia części koksiku tańszymi nośnikami energii [3], przykładowo opisane bardziej szczegółowo w poniższym rozdziale.

### 4. WYKORZYSTANIE ANTRACYTU JAKO PALIWA W PROCESIE SPIEKANIA

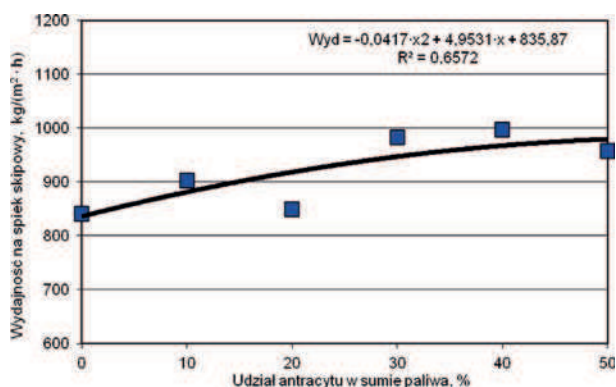
Jednym z wielu przykładów wykorzystania laboratoryjnej linii spiekania do opracowania technologii wytwarzania spieku wielkopieczowego jest praca badawcza związana z określeniem możliwości zastąpienia koksiku antracytem.

Zastąpienie części koksiku tańszym antracytem daje potencjalne możliwości poprawy efektywności ekonomicznej procesu spiekania. Użycie antracytu może jednakże skutkować efektami niekorzystnymi, jak wzrostem emisji gazowych związków organicznych i substancji smolistych w pyłach zbieranych w instalacjach odpylających. Celem pracy badawczej było określenie wpływu antracytu zastosowanego jako paliwa na podstawowe parametry procesu spiekania (wydajność), jakość spieku i emisje gazowe oraz pyłowe. Badania w skali przemysłowej poprzedzono badaniami w warunkach laboratoryjnych. Do prób wybrano antracyt o charakterystyce maksymalnie zbliżonej do koksiku: o porównywalnej zawartości węgla pierwiastkowego i wartości opałowej, a także zbliżonej zawartości części lotnych i popiołu. Antracyt zawiera większe ilości siarki całkowitej w porównaniu z koksikiem, co może skutkować wzrostem koncentracji związków siarki w gazach procesowych. Korzystnymi cechami antracytu w porównaniu z koksikiem są niższe zawartości alkaliów ( $K_2O + Na_2O$ ) i pięciotlenku fosforu ( $P_2O_5$ ). Struktura ziarnowa antracytu po domieleniu jest także bardziej korzystna w porównaniu z koksikiem (zawiera mniej ziaren poniżej 1 mm, a znacznie więcej grubszych frakcji).

Próby spiekania na misie przeprowadzono ze zmiennym udziałem antracytu w paliwie od 10 do 50% masy, z wykorzystaniem misy o średnicy 490 mm, przy stałej wysokości spiekanej warstwy 550 mm. W czasie prób spiekania prowadzono ciągły pomiar składu gazów procesowych, oznaczając zawartości:  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$  oraz  $SO_2$ , przy pomocy analizatorów spalin. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), lotne związki organiczne z grupy BTEX oraz substancje smoliste wydzielano z gazów metodą adsorpcji, stosując odpowiednio dobrane sorbenty.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że antracyt stosowany jako zamiennik części koksiku w procesie spiekania może powodować:

- poprawę przewodności mieszanki, co przyczynia się do skrócenia czasu spiekania, a tym samym wzrostu pionowej prędkości procesu, wpływa to korzystnie na jego wydajność (Rys. 14),



Rys. 14. Zmiana wydajności procesu spiekania w funkcji udziału antracytu jako zamiennika części koksiku [3]

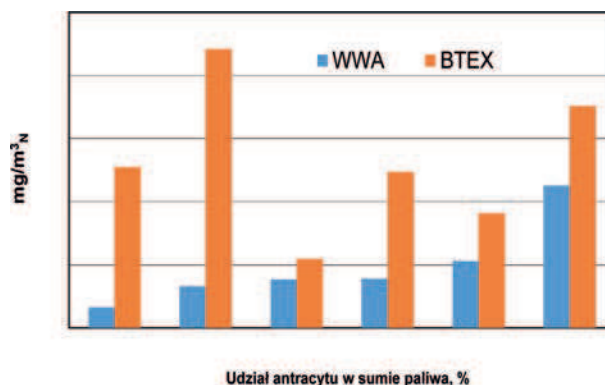
Fig. 14. Sintering process productivity changes depending on the anthracite share which replacing the part of coke breeze [3]

- obniżenie sumarycznej ilości paliwa zużywanego w procesie (koksik + antracyt),
- wzrost wytrzymałości bębnowej ISO wytwarzanego spieku.

Nie stwierdzono natomiast znaczących zmian właściwości redukcyjnych spieku.

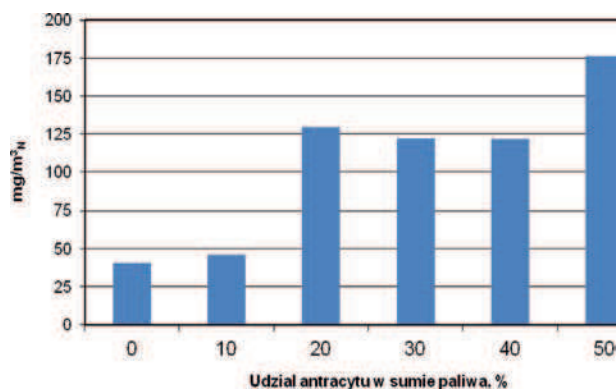
Parametry powstających w procesie gazów procesowych pozwalają stwierdzić, że wpływ antracytu był zróżnicowany:

- obniża się zawartość  $NO_x$ ,
- wzrasta zawartość  $SO_2$ , spowodowana większą zawartością siarki w antracycie,
- zwiększa się stężenie substancji smolistych i WWA, przy czym znaczny ich wzrost odnotowano dopiero po przekroczeniu 30% udziału antracytu w sumie paliwa (Rys. 15 i 16).



Rys. 15. Zmiana stężenia związków WWA i BTEX w spalinach w zależności od różnego udziału antracytu jako zamiennika części koksiku [3]

Fig. 15. Change in concentration of PAHs and BTEX compounds in the exhaust gas depending on the share of anthracite replacing the part of coke breeze [3]



Rys. 16. Zmiana stężenia substancji smolistych w spalinach w zależności od różnego udziału antracytu jako zamiennika części koksiku [3]

Fig. 16. Concentration changes of tar substances in the exhaust gas depending on share of anthracite replacing the part of coke breeze [3]

Na podstawie badań laboratoryjnych ustalono, że udział antracytu w paliwie nie powinien przekraczać zakresu 20÷30% mas.

Próby przemysłowe przeprowadzono zgodnie z wytycznymi określonymi na podstawie wyników testów laboratoryjnych. Stopniowo zwiększano udział antracytu w paliwie do 30% masy, monitorując zarówno parametry technologiczne, jak i środowiskowe, w tym stężenie  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , substancji smolistych, WWA i BTEX w spalinach, a także emisji gazów i pyłów do powietrza z instalacji spiekalniczej. Na bieżąco pobierano pył z lejów pyłowych pod elektrofiltrem i oznacza-

no w nich zawartość substancji oleistych, które mogą być źródłem pożarów żarowych.

Wyniki badań przemysłowych potwierdziły główne wnioski sformułowane na podstawie badań laboratoryjnych:

- Stosowanie antracytu może wpływać korzystnie na wzrost wydajności, zmniejszenie udziału spieku zwrotnego oraz na zmniejszenie ilości fosforu i alkaliów w spieku.
- Zwiększenie udziału antracytu w sumie paliwa do poziomu 30% masy nie wpływa na wzrost zawartości oleju w pyłach z elektrofiltru, jak też nie powoduje wzrostu stężeń związków z grupy BTEX, WWA i substancji smolistych w gazach odlotowych.
- Stosowanie antracytu nie wpływa na zmianę składu gazów odlotowych oprócz zwiększenia zawartości w nich  $\text{SO}_2$ .
- W czasie trwania prób przemysłowych spiekania z udziałem antracytu jako paliwa nie stwierdzono

przekroczenia standardów emisyjnych gazów powyżej wartości ustalonych w decyzji właściwego urzędu wojewódzkiego.

W trakcie prób przemysłowych trwających siedem miesięcy zużyto w sumie na wszystkich taśmach około 22 tys. ton antracytu, co przyniosło efekt ekonomiczny wynoszący ok. 2,4 mln zł. Obliczenia ekonomiczne wykazały, że przy założeniu 30% mas. udziału antracytu w sumie paliwa na wszystkich taśmach spiekalniczych, efekt ekonomiczny może wynieść około 7 mln zł w skali roku, przy cenach paliw z okresu prób. Począwszy od kolejnego roku kalendarzowego po zakończeniu prac badawczych antracyt stał się standardowym paliwem stosowanym w procesie spiekania. W drugim roku jego stosowania efekt ekonomiczny wyniósł około 5 mln zł. Efekt ten jest zróżnicowany ze względu na kształtowanie się różnic cen pomiędzy koksikiem a antracytem w czasie.

#### LITERATURA

1. Remus R., Aguado Monsonet M.A., Roudier S., Delgado Sancho L.: JRC Reference Report, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013 [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS\\_Adopted\\_03\\_2012.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf)
2. Materiały reklamowe brazylijskiej firmy MINITEC – Minitecnologias Ltda.: MINI SINTERING PLANT, SKP® PROCESS
3. Stecko J., Niesler M., Skowronek R.: Poprawa efektywności ekonomicznej procesu spiekania poprzez zastąpienie części koksiku antracytem, Hutnik Wiadomości Hutnicze, nr 9/2010, s. 445-447