



AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
im. Stanisława Staszica
w Krakowie



**WYDZIAŁ INŻYNIERII METALI
I INFORMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

Prof. dr hab. inż. Andrzej Łędzki
Dr inż. Andrzej Michaliszyn
Dr inż. Arkadiusz Klimczyk

METALURGIA EKSTRAKCYJNA ŻELAZA

CZĘŚĆ I

/do użytku wewnętrznego AGH/

Kierunek: Metalurgia, Rok: II, Semestr: IV

I. Tworzywa metalurgiczne i ich przygotowanie.

Pod tym pojęciem rozumie się całość materiałów wsadowych, niezbędnie potrzebnych dla przeprowadzenia procesów metalurgicznych. W metalurgii żelaza te procesy to proces wielkopiecowy, w którym produkuje się surowki oraz procesy stalownicze, w których produkuje się różne rodzaje stali.

W procesie wielkopiecowym tworzywami są:

1. Surowce metalodajne tj: rudy żelaza, rudy manganu, namiastki rud, złom a przede wszystkim na obecnym poziomie technologii spiek rudny i grudki wypalane. Spiek i grudki nazywamy wsadem przygotowanym natomiast rudy wsadem surowym.
2. Topniki tj. tworzywa dodawane w celu uzyskania żużli w ilości i o składzie niezbędnym do prawidłowego przebiegu procesu i otrzymania surowki o odpowiedniej jakości.
3. Paliwa tj. koks, gaz ziemny, pył węglowy czy olej opałowy służą głównie do otrzymania z nich niezbędnej ilości ciepła – przy ich spalaniu – dla prawidłowego przebiegu procesu w odpowiednich temperaturach.

Rudy żelaza.

Obecnie nowoczesna technologia nie dopuszcza we wsadzie wielkopiecowym dużych ilości (więcej niż 20%) surowych rud żelaza. Jeśli są stosowane w stanie surowym to muszą być przesiane i mieć odpowiedni skład chemiczny tj. Fe co najmniej większe niż 50%, CaO/SiO₂ od 0,5 do 1,1 oraz znikome ilości siarki, alkaliów i fosforu. Rudy surowe są aktualnie w większej części używane do produkcji wsadu przygotowanego tj. spieku rudnego i grudek.

Do minerałów żelazonośnych wchodzących w skład rud żelaza zalicza się:

1. Hematyt – zwany żelaziakiem czerwonym o wzorze Fe₂O₃; jest on niemagnetyczny i krystalizuje w układzie heksagonalnym; w stanie czystym zawiera 70% Fe.
2. Magnetyt – zwany żelaziakiem magnetycznym o wzorze Fe₃O₄; jest on magnetyczny, krystalizuje w układzie regularnym a w stanie czystym zawiera 72,4% Fe,

3. Uwodnione tlenki żelaza – występują w postaci limonitu $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ zwane są czasami żelaziakiem brunatnym lub w postaciach $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Rudy te zwane są brunatnymi i zawierają od 52,2 – 66,1%Fe, krystalizują w układzie rombowym.
4. Syderyt – o wzorze $\text{FeCO}_3 = \text{FeO} \cdot \text{CO}_2$ najczęściej występuje w postaci syderytu ilastego; zawiera w stanie czystym ok. 48,3% Fe.

Do celów metalurgii żelaza największe znaczenie mają jednak rudy hematytowe i magnetytowe.

Rudy hematytowe występują:

- a) Krzywy Róg Ukraina i zawierają od 48-56% Fe,
- b) Kursk i Ural Ukraina i Rosja,
- c) Brazylia-Minas-Gerais 62-67% - najbogatsze na świecie,
- d) Indie – 60-66%.

Rudy magnetytowe występują:

- a) Krzywy Róg, Kursk, Połtawa,
- b) Szwecja – Kirunawara i Geliwara; Fe 58-70%,
- c) USA – Jezioro Górne ok.51% Fe,
- d) Chiny,
- e) Australia.

Rudy brunatne występują:

- ❖ Kuba – 42-48% Fe,
- ❖ Lotaryngia-Francja 30% Fe (nie są wydobywane),
- ❖ Hiszpania – Bilbao 60% Fe.

Syderyty

- Polska – Częstochowa, Kielce, Łęczycza od 25-42% Fe małe złoża, nie wydobywa się aktualnie.

Rudy manganowe dzielą się na:

- Typowo manganowe zawierające ponad 35% Mn występujące w Afryce Południowej, Gabonie, RPA, Ukraina Nikopol, Brazylia, Gruzja,

- Manganowo-żelaziste zawierające od 10-35% Mn występują Gruzja, Cziatura i Nikopol,
- Rudy żelazistomanganowe (o małej wartości metalurgicznej) zawierają od 5-10%Mn i towarzyszą rudom żelaza.

Poza minerałami zawierającymi żelazo czy mangan w rudach występują minerały nie zawierające Fe i Mn. Związki te dzieli się na dwie grupy:

- a) domieszki – wprowadzające inne składniki do metalu,
- b) skała płonna – są to inne związki rud nie zawierające żelaza i Mn.

Ad a). Zawartość domieszek w rudzie nie przekracza 1-3%. Stosując kryterium przydatności danego pierwiastka dla wytapianej surówki domieszki dzielimy na 3 grupy:

- pożyteczne (np. Mn w rudach żelaza),
- szkodliwe – wprowadzające pierwiastki obniżające jakość surówki jak: S, As, Zn, Pb, Na i K,
- pośrednie – np. P, który w surówce przerobczej jest szkodliwy (surówka z której wytwarza się stal) a w surówkach odlewniczych pożyteczny.

Ad b). Skała płonna rud to minerały złożone z szeregu tlenków powiązanych między sobą oraz z tlenkami Fe i Mn. Skała płonna rud oceniana jest dodatnio pod względem metalurgicznym jeśli zawierają dużo CaO, MgO, Al₂O₃, a mało zawiera SiO₂ i alkaliów.

Topniki – w wielkopiecownictwie znaczenie mają tylko topniki zasadowe w postaci kamienia wapiennego CaCO₃ (biały do szarego o zawartości CaO powyżej 50%, minimalnej zawartości SiO₂ poniżej 1,5 i S) oraz dolomitu CaCO₃*MgCO₃.

Namiastki rud żelaza i manganu.

Przy coraz to większej oszczędności i deficycie rud, z konieczności wykorzystuje się produkty odpadowe procesów metalurgicznych takie jak:

- pył wielkopiecowy (44-55 % Fe),
- żużel martenowski i konwertorowy (CaO ok. 20 %, Fe 10-24 %, Mn 7-10 %),
- żużel z pieców grzewczych walcowni (Fe 45-50 % oraz SiO₂ niekorzystne 28-35 %),
- żużel żelazomanganowy – (Mn do 20 %),
- zgorzelina (z walcowiny i młotowni) – (Fe ok. 70 %),

- wypałki pirytowe – (Fe 40-65 % i niekorzystna S - 50%).

Paliwa

W procesie spiekania, grudkowania (wypalanie) a przede wszystkim w procesie wielkopieczowym głównymi paliwami są:

- koks jako podstawowe paliwo powstaje w bateriach koksowniczych przez suchą destylację węgla. Koks powinien zawierać jak najmniej popiołu i H₂O. (Popiół 8-11%, H₂O 0,3-7%, cz. l. 0,5 -1,5%). Koks powinien być wytrzymały na rozkruszanie (<M₄₀ ok. 75-85) i ścieranie (M₁₀ ok. 5-7%).
- Paliwa gazowe:
 - Gaz ziemny 96% CH₄,
 - Gaz ziemny zaazotowany 70% CH₄ i ok. 28% N₂,
 - Gaz koksowniczy H₂ = 50 i CO ok. 25%.
- Paliwa płynne – to głównie olej opałowy zwany mazutem zawiera 96% węglowodanów ciężkich, oraz smoła pogazowa,
- Paliwa stałe zastępcze – to pył węglowy.

II. Spiekanie rud.

Celem przygotowania wsadu dla wielkiego pieca w postaci spieku (rudnego) lub grudek jest wytworzenie materiału, który spełnia odpowiednie własności chemiczne i fizyczne.

Do własności chemicznych należą:

- Żelazo; Fe w granicach 51-60%.
- Stosunek CaO/SiO₂ zwany zasadowością zawiera się w zakresach od 1,07-1,3 lub 1,8-2,3.
- Zawiera minimalne ilości S, P, alkaliów, Zn i Pb.
- Zawiera wystarczające ilości MgO i Al₂O₃, tak aby powstały w piecu żużel zawierał ich w granicach: 6-10% MgO, 6-12 % Al₂O₃.

Do własności fizycznych należy zaliczyć:

- Wysoką odporność na ścieranie i kruszenie.
- Wysoką porowatość wyrobu.

- Dużą redukcyjność czyli zdolność do oddawania tlenu.
- Wysoką temperaturę topnienia i mały zakres mięknięcia.
- Duży stopień utleniania czyli $\frac{O[kgatO]}{Fe[kgatFe]}$.

Surowce do produkcji spieku, grudek i surówki żelaza.

Surowce używane do produkcji spieku to:

- Rudy żelaza zwane aglorudami.
- Koncentraty rud żelaza.
- Rudy manganu.
- Topniki.
- Namiastki rud.
- Paliwa.

Rudy żelaza w zależności od występującego w nich związku żelaza nazywamy:

1. Hematytowe – gdzie podstawowym składnikiem jest Fe_2O_3 , barwy czerwonej.
2. Magnetytowe - gdzie podstawowym składnikiem jest Fe_3O_4 , barwy czarnej i są magnetyczne.

Te w/w rodzaje rud są podstawowymi tworzywami metalodajnymi w metalurgii żelaza, bowiem zawierają od 50-67% Fe. Oprócz tego istnieją : syderyty $FeCO_3$, limonity $mFe_2O_3 \cdot nH_2O$, piryty FeS , które obecnie ze względu na małą zawartość Fe mają małe znaczenie.

Technologia procesu spiekania.

Technologia ta obejmuje czynności konieczne do wytworzenia spieku. Można te czynności podzielić na wstępne i zasadnicze.

Do wstępnych czynności należą:

- a) rozładowanie surowców w hucie,
- b) składowanie surowców,
- c) sortowanie i kruszenie surowców.

Do czynności zasadniczych należą:

- d). namiarowanie surowców,
- e). mieszanie, nawilżanie i podawanie mieszanki na taśmę spiekalniczą.

- f). spiekanie na taśmie spiekalniczej,
- g). wstępne kruszenie i sortowanie gorącego spieku,
- h). chłodzenie i sortowanie gorącego spieku.

Wszystkie ww. czynności obojętnie czy zaliczamy je do wstępnych czy zasadniczych muszą być prawidłowo wykonane. Praktycznie oznacza to, że każda z nich wpływa na: jakość spieku, ekonomikę procesu, wielkość produkcji a pośrednio na emisję szkodliwych składników do otoczenia.

Ad a).

Rozładowanie surowców powinno być tanie i szybkie. Odbywa się więc za pomocą wywrotnic wagonów. Wypróżniają cały wagon w przeciągu ok. 2-ch minut. W zimie zamrożone surowce przed podaniem na wywrotnice odmraża się (w wagonach) w tzw. odmrażalniach wagonów.

Ad. b).

Składuje się surowce na składowisku w taki sposób, że każdy z nich ułożony jest w oddzielną pryzmę lub wytworzoną mieszankę. Składowisko pełni trzy funkcje tj.

- Zapasu rud.
- Uśredniania rud.
- Sezonowania rud.

Zapas rud powinien być taki aby nawet w okresie ostrych mrozów zapewnić ciągłość pracy huty.

Uśrednianie odbywa się na składowisku poprzez usypywanie pryzm cienkimi warstwami oraz rozbieraniu pryzm od razu z całej powierzchni czołowej. Uśrednianie ma na celu wyrównanie składu chemicznego w zakresie jednej rudy lub topnika.

Sezonowanie to proces odbywający się na składowisku, który ma na celu skoagulowanie pylastych frakcji a przez to:

- zmniejszenie zapylenia,
- obniżenie strat rudy a zatem i produkcji,
- podwyższenie przewiewności (gazoprzepuszczalności przyszłej mieszanki, przez co zmniejsza się zapylenie, wzrasta szybkość produkcji i obniża się zużycie paliwa).

Sezonowanie polega na posypywaniu każdej warstwy rudy w pryzmie wapnem, które wchłaniając wilgoć powoduje łączenie pyłów w granulki siłami napięcia powierzchniowego wody. Sezonowanie trwa ok. 14 dni, czyli tyle czasu rudy przebywają na składowisku.

Ad. c).

Sortowanie i kruszenie polega na przesiewaniu i kruszeniu rud. Rudy do procesu spiekania powinny być ziarniste o wymiarach 6-8 mm, bez frakcji pylastej i grubej powyżej 15 mm. Topniki i koksik powinny mieć wymiary do 3 mm bez frakcji poniżej 0,5 mm. Szczególnie nie powinno być koksiku poniżej 0,5 mm, gdyż powoduje to wzrost CO w spalinach a więc emisję tego szkodliwego związku do środowiska.

Ad. d).

Namiarowanie polega na dokładnym dozowaniu (czyli również ważeniu) poszczególnych składników celem wytworzenia mieszanki spiekalniczej, która zapewni odpowiedni skład chemiczny produkowanego z mieszanki spieku. Nastawy dozujące (masa tworzyw) są określane przez tzw. recepturę do wykonania mieszanki i są wykonywane automatycznie poprzez komputerowe sterowanie wypływu składników z zasobników. Oprócz rud, topników i koksiku w skład mieszanki spiekalniczej wchodzi odpady stałe procesów hutniczych takie jak:

- żużel konwertorowy (z produkcji stali),
- żużel i szlam wielkopiecowy i konwertorowy,
- zendra i zendra mułek (z procesów walcowniczych),
- żużel z pieców grzewczych (walcowni).

Spiekalnia pełni zatem rolę utylizatora odpadów stałych, które gdyby były składowane na hałdach powodowałyby przenikanie do gleby i wód składników szkodliwych np. metali, metali ciężkich, siarki itp.

Ad. e).

Po dozowaniu na taśmę zbiorczą składników mieszanki spiekalniczej ulegają one przed podaniem na taśmę spiekającą - zmieszaniu i nawilżeniu w mieszalniku i grudkowniku wstępnym. Czynności te mają na celu wyrównanie składu i związanie drobnych pylastych frakcji w skoagulowane ziarna. Mieszanka jest podawana na taśmę spiekającą za pomocą stołów wibracyjnych lub wózków rozładowniczych. Urządzenia te muszą tak pracować aby zapewnić stałą wysokość warstwy mieszanki na taśmie i wyeliminować segregację ziarn.

Ad. f).

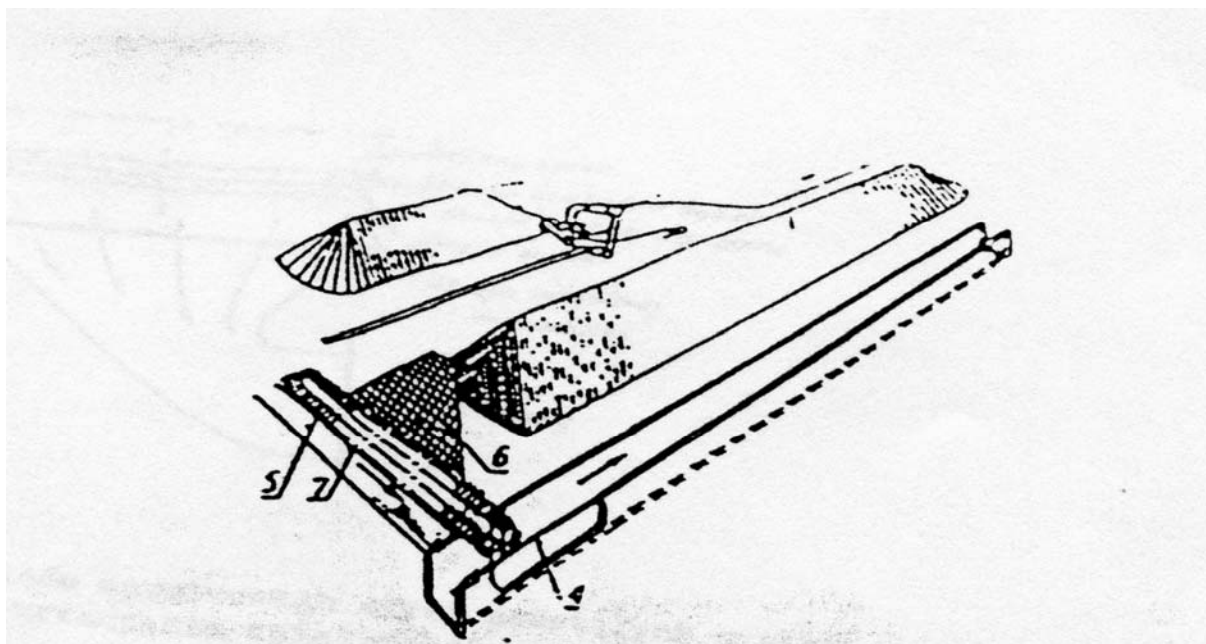
Zasadniczy proces produkcji spieku rudnego odbywa się na taśmie spiekalniczej. Jest to taśma bez końca złożona z wózków posiadających jedynie burty boczne, których dnem jest ruszt posiadający prześwity (szczeliny) o szerokości ok 0,11mm. Taśmy charakteryzuje się ich powierzchnią spiekania rzędu od 50 (stare) do 600m² (nowe). Nad taśmą, za urządzeniem zasypowym jest palnik obejmujący taśmę na całej jej szerokości. Do palnika doprowadzany jest gaz (koksowo-wielkopieczowy), który spalając się zapala powierzchniowo koksik w mieszance. Pod taśmą zainstalowane są ssawy do przesysania powietrza przez mieszankę. Powietrze to spala koksik znajdujący się w mieszance. W warstwie, w której koksik się spala „warstwa żaru” występuje wysoka temperatura rzędu 1200-1260°C. Spaliny przy tej temperaturze nadtapiają ziarna rud, topników i odpadów (nie mogą ich topić, gdyż zaleją ruszt), które jakby „spawają się” ze sobą powierzchniowo. Powstaje zatem jednolity materiał zwany spiekami o stałych właściwościach chemicznych i fizycznych.

Ad. g).

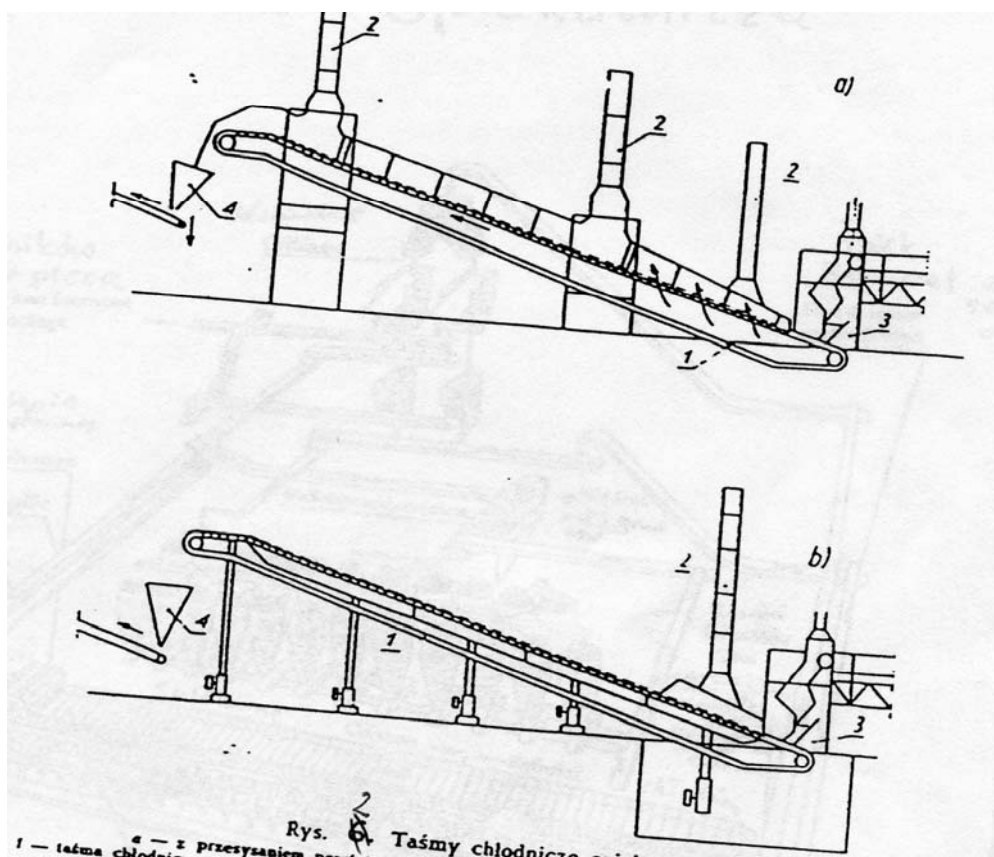
Spiek zsypując się z taśmy jest wstępnie kruszony na łamaczu i sortowany. Drobne kawałki poniżej 15 mm powracają jako spiek zwrotny do urządzenia zasypowego taśmy.

Ad. h).

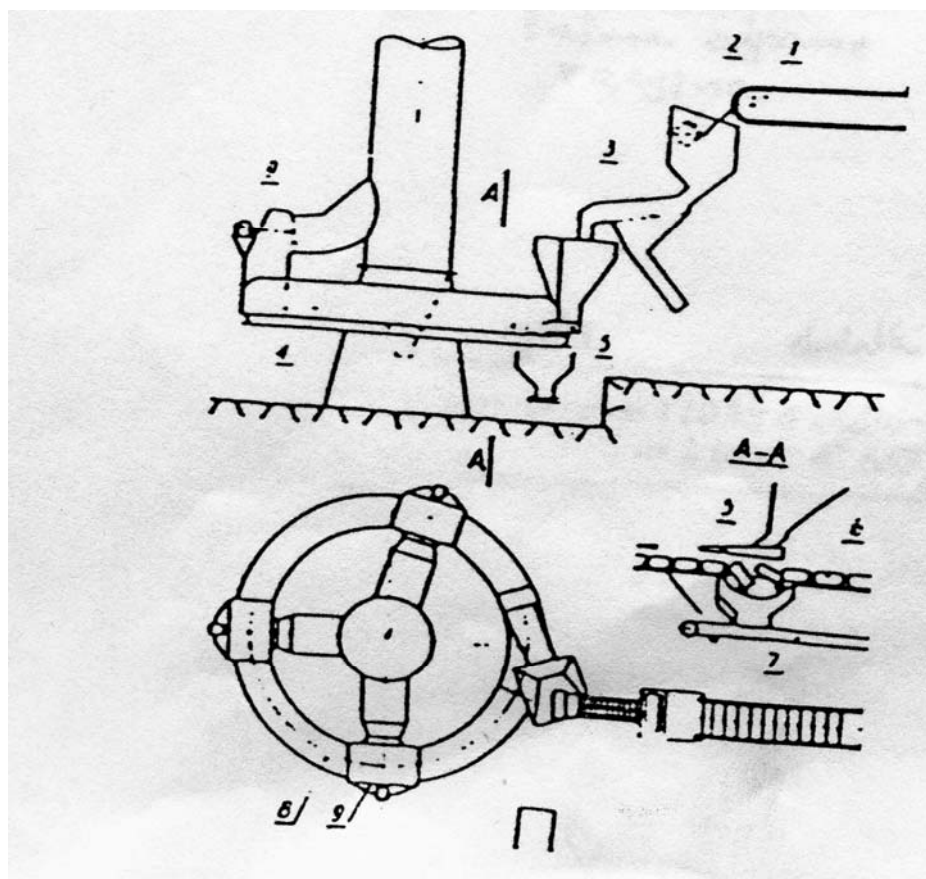
Kawałki spieku powyżej 15 mm są podawane na chłodnie spieku, które mogą być płaskie lub obrotowe z nawiewem lub przesysaniem powietrza. Spiek należy chłodzić wolno, aby nie powodować jego nadmiernego kruszenia (naprężenia cieplne) i aby mogły się wykrystalizować ziarna nowych minerałów. Te nowe minerały i ich krystalizacja powodują, że spiek wychłodzony staje się odporny na kruszenie, ścieranie oraz jest porowaty i łatwo oddaje tlen (redukcja) ze związków żelaza w procesie wielkopieczowym. Ze spiekalni spiek jest transportowany do zasobników wielkiego pieca taśmociągiem gumowym (t spieku poniżej 120°C).



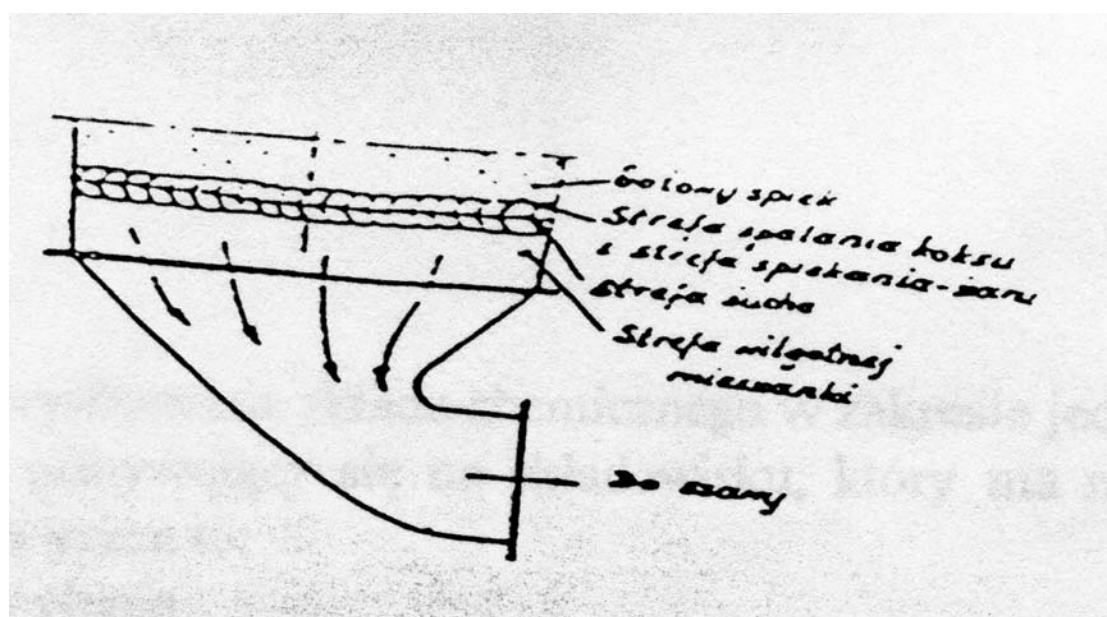
Rys. 1. Widok ogólny urządzeń do uśredniania rudy (1 – zwały rudy, 2 – przenośnik taśmowy dostarczający rudę na skład, 3 – przenośnik rudy na zwały, 4 – przenośnik taśmowy odwożący rudę ze składowiska, 5 – urządzenie mieszające, 6 – brona, 7 – przenośnik zgrzeblowy).



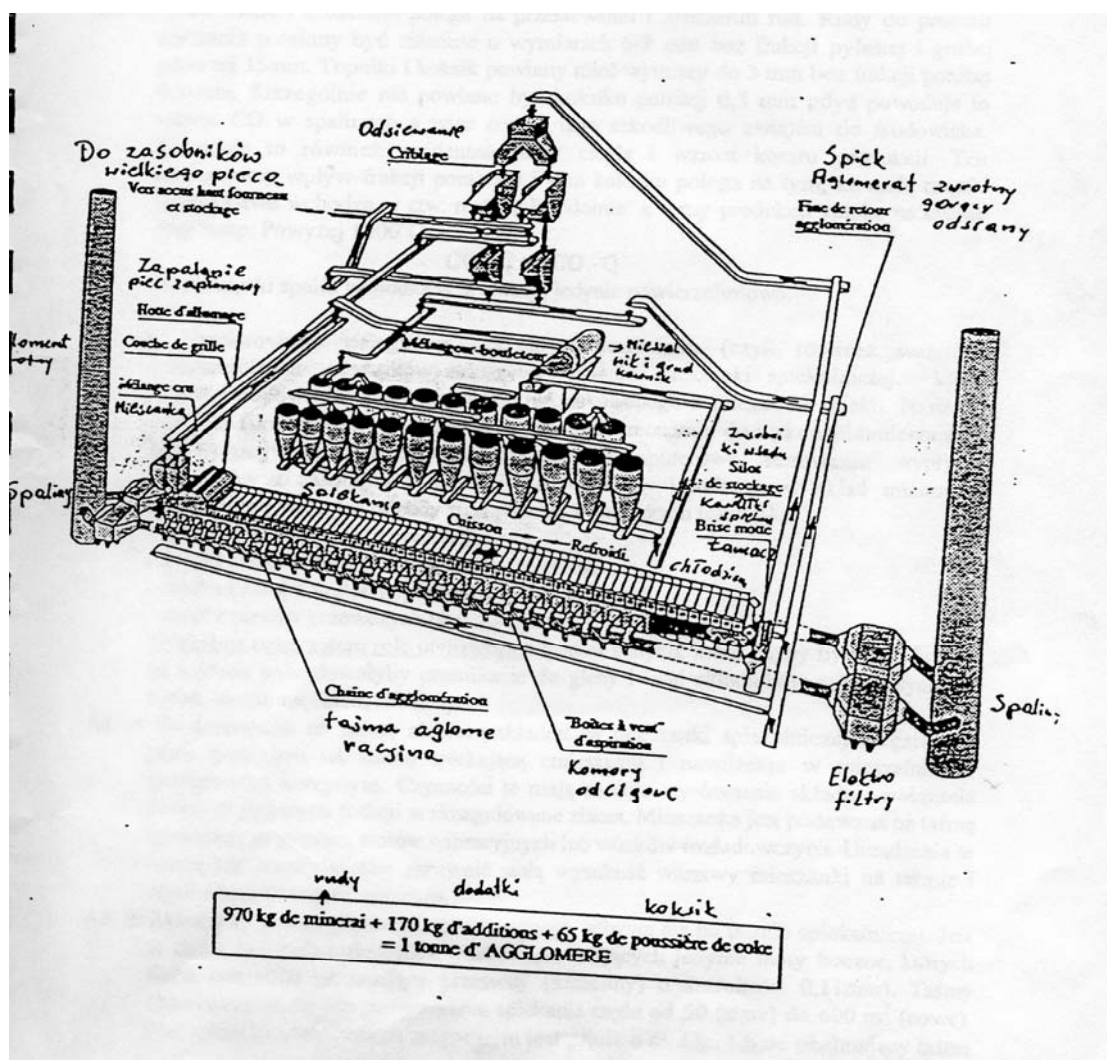
Rys. 2. Taśmy chłodnicze spieku. (a – z przesylaniem powietrza przez spiek, b – z przedmuchiwanym spiekem), (1 – taśma chłodnicza, 2 – odciągi kominowe, 3 – zsyp spieku gorącego, 4 – zbiornik spieku zimnego)



Rys. 3. Schemat obrotowego stołu chłodniczego z wymuszonym przesysaniem powietrza w Hucie Appleby-Frodingham. (1 – taśma spiekalnica, 2 – łamacz spieku, 3 – sito wibracyjne, 4 – stół chłodniczy, 5 – zasilacz wibracyjny, 6 – wózki stołu chłodniczego, 7 – przenośnik do ochłodzonego spieku, 8 – stała pokrywa nad stołem chłodniczym, 9 – wentylator).



Rys. 4. Schemat rozkładu warstwowego stref powstałych w mieszance spiekalniczej na ruszcie urządzenia spiekającego.



Rys. 5. Taśma spiekalnicza

III. Przygotowanie wsadu przez grudkowanie

Wiadomości ogólne.

Grudkowanie jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod przygotowania wsadu wielkopieczowego. Nie jest to sposób konkurencyjny do procesu spiekania z uwagi na to, że spieka się materiały ziarniste, natomiast grudkuje się materiały pylaste (koncentraty bardzo drobne). Bardzo drobne pylaste cząstki mieszanki spiekającej zmniejszają przewodność mieszanki, a tym samym zmniejszają również wydajność produkcji spieku. Dlatego przed spiekaniem powinny być odsiewane. W przypadku produkcji grudek, właśnie te najbardziej drobne frakcje (około 0,06 mm i drobniejsze) decydują o powodzeniu procesu produkcji grudek. Oznacza to, że im więcej drobnych frakcji poniżej 0,06, a nawet 0,05 mm jest

użytych do grudkowania, tym powstałe grudki są trwalsze i w tym większym stopniu nadają się do dalszej obróbki, mającej na celu zwiększenie ich wytrzymałości. Urządzeniami do produkcji grudek surowych są talerze lub bębny grudkujące, a praktycznie całe zespoły bębnowe oraz talerzy ewentualnie kombinacji bębnowe i talerzy o różnych średnicach i prędkościach obrotowych. Wielkość grudek (średnica), a także wydajność urządzeń grudkujących zależy od ustawienia ich kąta pochylenia i stosowanych prędkości obrotowych tych urządzeń. Na ogół wielkość grudek i wydajność są do siebie odwrotnie proporcjonalne.

Technologia produkcji grudek.

Technologię produkcji grudek, jak i urządzenia w których ta produkcja się odbywa przedstawiono tylko skrótowo. Technologię produkcji grudek najogólniej można podzielić na dwa następujące etapy:

- Przygotowanie wsadu do procesu produkcji grudek surowych i produkcja grudek surowych.
- Utwardzanie grudek celem zwiększenia ich wytrzymałości.

W pierwszym etapie przed przystąpieniem do wytwarzania grudek surowych należy dokładnie przygotować mieszankę do grudkowania. Na ogół podstawowym składnikiem tej mieszanki są koncentraty rudne, które są bardzo drobne, co wynika ze sposobu ich wytwarzania w procesach wzbogacania rud. Są więc odpowiednim tworzywem do wytwarzania grudek surowych. Jako inne składniki stosuje się niekiedy bentonit, wapno palone i składniki podwyższające napięcie powierzchniowe wody. Wymaga się, aby skład drobnoziarnistej mieszanki był następujący:

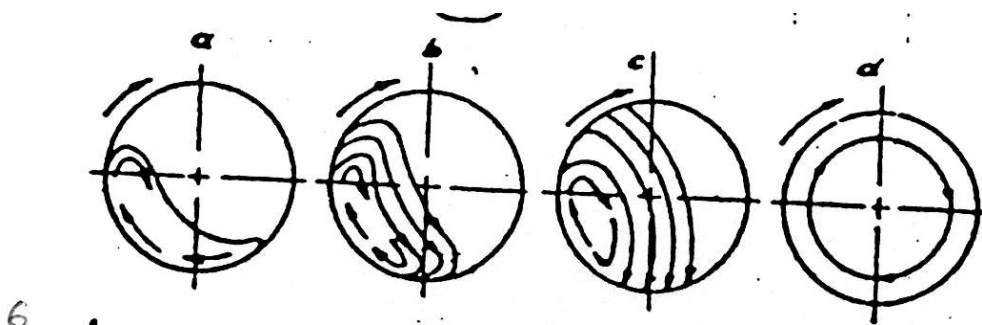
- 100% frakcji poniżej 0,05 mm,
- 80% frakcji poniżej 0,04 mm, a 20% między 0,04 – 0,06.

Taki skład ziarnowy mieszanki uzyskuje się poprzez jej przesiewanie selektywne na sitach o koniecznych wymiarach oczek 0,04 – 0,06 mm. Po uzyskaniu odpowiedniego składu ziarnowego niekiedy stosuje się dodatki. Celem stosowania dodatków jest:

- Zwiększenie napięcia powierzchniowego wody lub tzw. napięcia koloidalnego.
- Uzyskania grudek o odpowiednim składzie chemicznym.

Należy jednak stwierdzić, że stosowanie dodatków do korekty składu chemicznego występuje w praktyce przemysłowej rzadko, ze względu na trudności technologiczne występujące przy

wypalaniu grudek. Po skomponowaniu mieszanki do grudkowania w opisany powyżej sposób, podaje się ją odpowiednimi porcjami do urządzenia grudkującego. Bęben lub talerz ustawione pod wybranym kątem, obracając się z regulowaną szybkością obrotową, pokrywają drobną mieszankę i unoszą ku górze urządzenia grudkujące (schemat przedstawiony na rys. 6). Do bębna lub na talerz wtryskiwana jest woda. Ilość dodawanej wody musi być odpowiednio dobrana dla każdej mieszanki. Gdy woda występuje w zbyt małej ilości, grudki opornie się tworzą, gdy jest jej za dużo, są słabe i rozlatują się w czasie transportu do pieców wypalających. Grudki surowe są na ogół przesiewane na końcu urządzenia grudkującego i dzielone wg wymiarów na odpowiednie frakcje. Dalej są one transportowane do wypalenia. Tylko grudki o wytrzymałości powyżej 20 N/grudkę gwarantują, że nie rozleczą się w transporcie. Wynika stąd problem, że niektóre rodzaje grudek po wypaleniu zawierają dużo drobnej frakcji, powstałej z rozpadu grudek surowych.



Rys. 6. Schematyczne przedstawienie ruchu materiałów na grudkowniku talerzowym. Oznaczenia; n_1 – ilość obrotów, a- n_1 obrotów, b- $n_2 > n_1$ obrotów, c- $n_3 > n_2 > n_1$ obrotów, d- $n_4 > n_{kr}$ (grudka opuszcza urządzenie).

Drugim etapem produkcji grudek jest ich utwardzanie. Istnieje bardzo wiele chemicznych sposobów utwardzania grudek. Najczęściej przyjętym sposobem jest utwardzanie ich przez wypalanie w specjalnie służących do tego celu urządzeniach (piece szybowe, taśmy, krótkie taśmy i inne), których schematy i sposoby wypalania grudek dokładnie przedstawiono w różnych pracach. Celem wypalania grudek jest nadanie im wytrzymałości zdolnej znieść trudne warunki wielkopieczowe tj. naciski, ścieranie i inne. Wypalanie grudek prowadzi się w warunkach utleniających w temperaturach 1350°C (1623K) w przypadku grudek kwaśnych, 1250°C (1523K) w przypadku zasadowych.

IV. Brykietowanie tworzyw.

Jest to rzadko używany sposób przygotowania wsadu do wielkiego pieca lub stalowni. Brykiety najczęściej wykonuje się z namiastek rud z innymi komponentami. Zatem jest to sposób na utylizację m.in. odpadów hutniczych. Brykietowanie odbywa się w prasach wysoko ciśnieniowych, gdzie formuje się brykiety w różne kształty. Przed brykietowaniem następuje przygotowanie mieszanki, z której wykonuje się brykiety. Do mieszanki dodaje się dodatkowo składników utwardzających brykiety. Brykiety mogą być wypalane lub nie wypalane.

V. Proces redukcji - proces wielkopicowy

Ogólne zasady

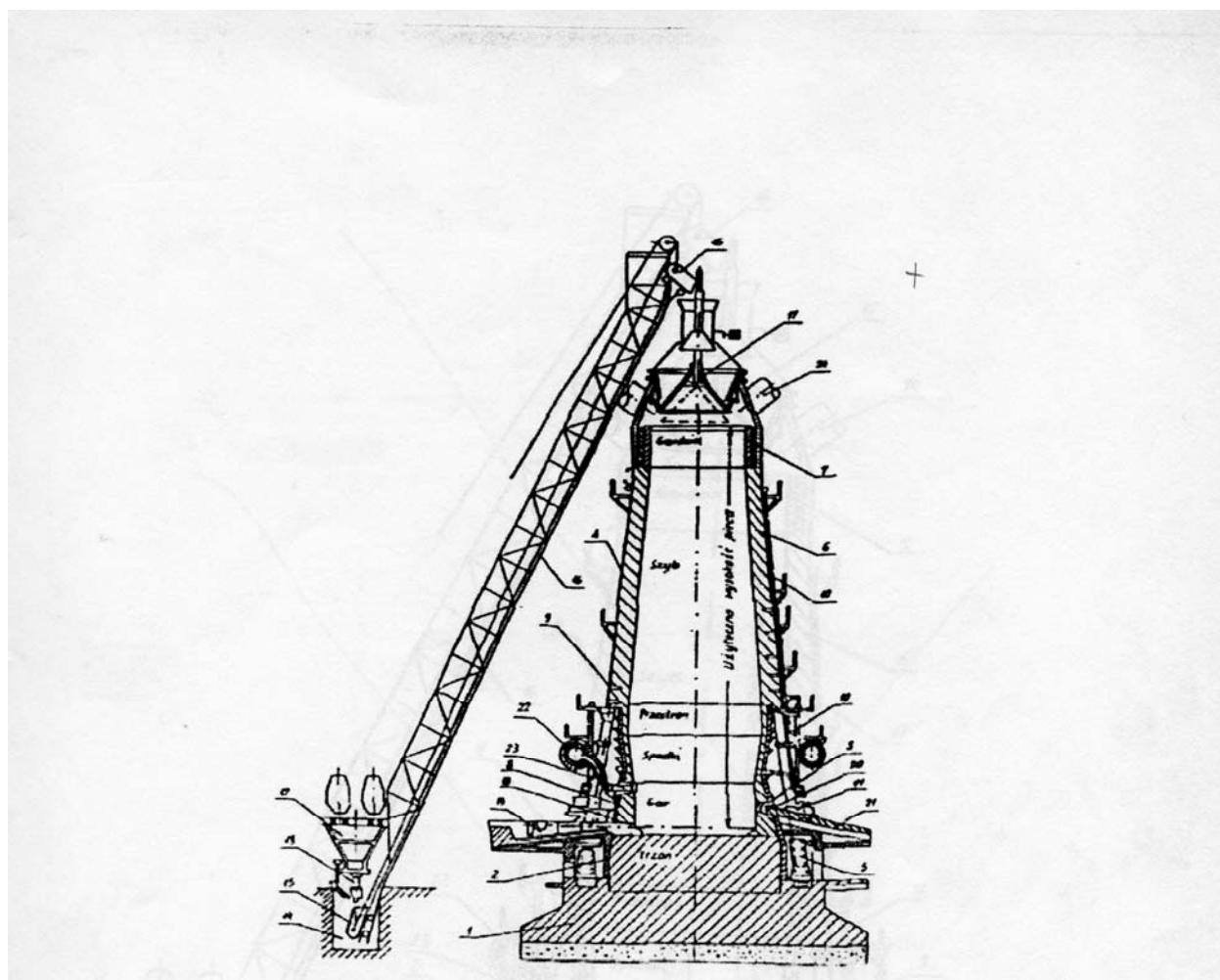
Proces produkcji surówki żelaza odbywa się w wielkich piecach. W urządzeniach tych produkuje się surówki przeróbcze (służą do wytwarzania stali), surówki odlewnicze (służą na odlewy cz. maszyn i armatury) oraz żelazomangan (używany jako odtleniacz i dodatek stopowy przy produkcji stali). Surówką lub żeliwem nazywamy stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, w którym zawartość węgla wynosi więcej od 2,11% (wg wykresu Fe-C) a w praktyce wielkopicowej od 3,8% dla surówek odlewniczych do 4,8% dla surówek przeróbczych. Surówki są kruche i małoplastyczne stąd nie nadają się do procesów przeróbki plastycznej, w której powstają gotowe wyroby hutnicze jak blachy, pręty, rury, kształtowniki itp.

V.1. Urządzenia do procesu wielkopicowego

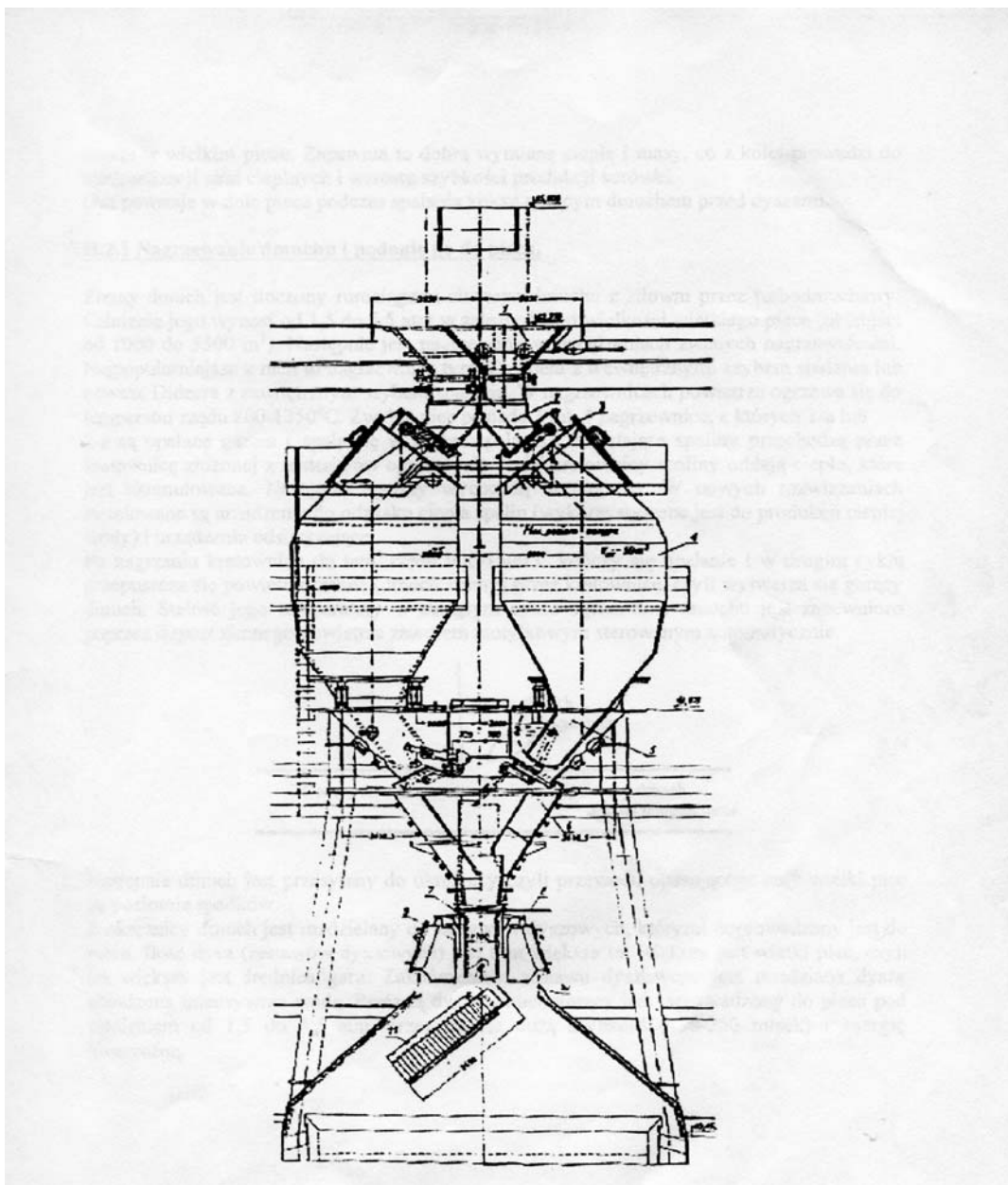
Podstawowym agregatem jest wielki piec, którego profil przedstawia rys. 7. Urządzeniami towarzyszącymi są:

- urządzenia do załadunku wsadu a w tym urządzenia zasypowe,
- nagrzewnice dmuchu wraz z zestawami doprowadzającymi dmuch,
- urządzenia hali spustowej,
- urządzenia odpylające i oczyszczające gaz w najbardziej nowoczesnych technologiach,

- urządzenia do wdmuchiwania pyłu węglowego,
- urządzenia do odzysku ciepła spalin z nagrzewnic,
- turbiny rozprężne do produkcji energii elektrycznej,
- kadzie typu torpeda do transportu surówki.



Rys. 7. Wielki piec z zespołem urządzeń załadunkowych. 1 – fundament, 2 – pancierz trzonu, 3 – pancierza garu i spadków, 4 – pancierz szybu i gardzieli, 5 – kolumny podszybowe, 6 – obmurze z materiałów ogniotrwałych, 7 – płyty stalowe dla ochrony gardzieli, 8 – chłodnice zewnętrzne, 9 – chłodnice wewnętrzne, 10 – rury wodne zasilające, 11 – zbiorniki wody z chłodnic, 12 – zasobniki tworzyw, 13 – wagon-waga, 14 – jama skipowa, 15 – skip (wózek skipowy), 16 – wyciąg skipowy, 17 – urządzenie zasypowe, 18 – otwór spustowy, 19 – rynna do surówki, 20 – otwór żuźlowy, 21 – rynna do żuźla, 22 – okrężnica doprowadzająca dmuch, 23 – zestaw dyszowy, 24 – przewody odprowadzające gaz

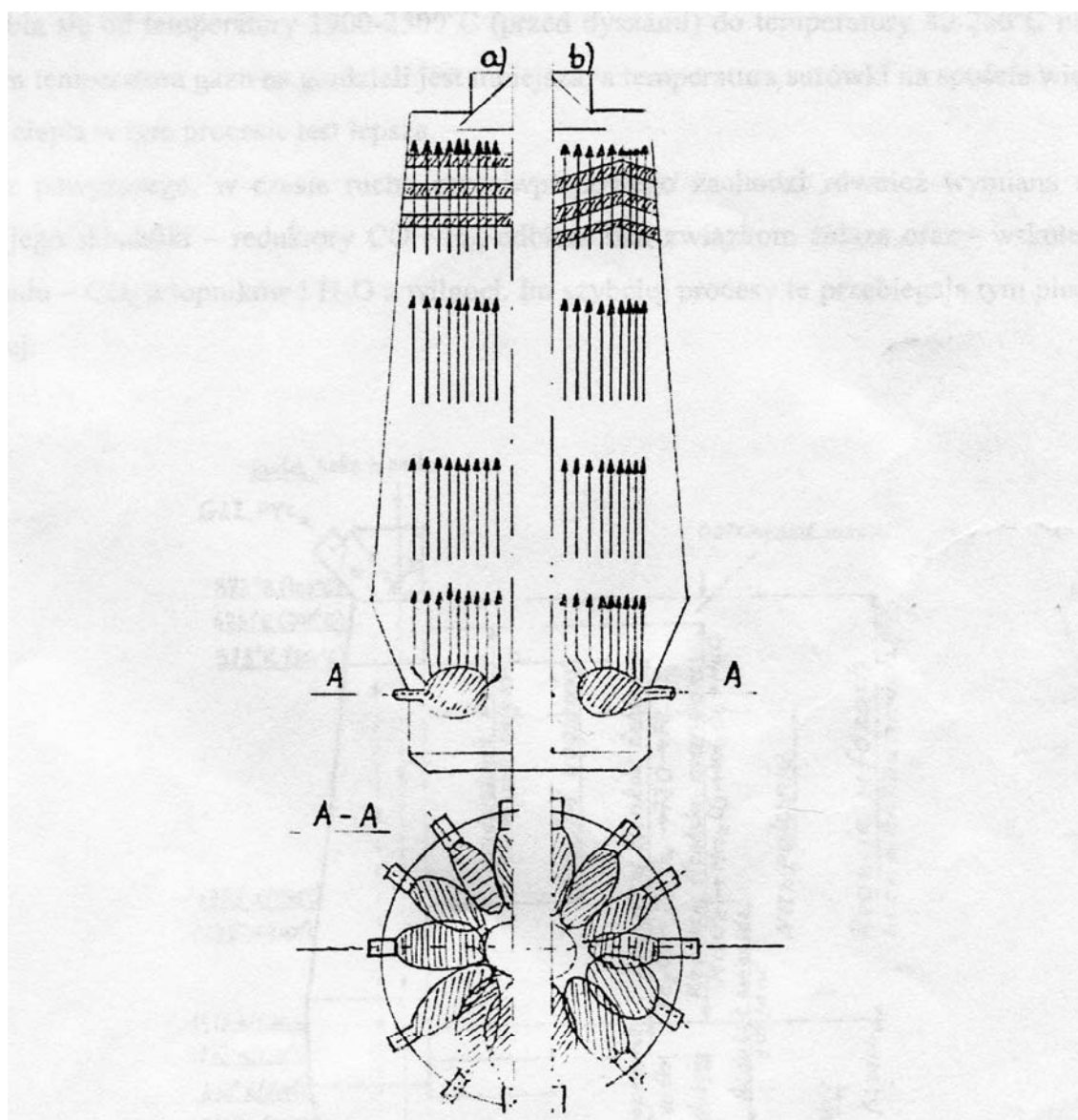


Rys.8. Bezstożkowe urządzenie zasypowe typu P.Wurth (PW). 1 – lej przyjmujący, 2 – rynna stała, 3 – górny zawór uszczelniający, 4 – zbiornik wsadowy, 5 – zasuwa materiałowa, 6 – dolny zawór uszczelniający, 7 – kompensator, 8 – zasuwa okularowa, 9 – lej wylotowy, 10 – korpus rynny zasypowej, 11 – rynna zasypowa

V.2. Zasada przeciwprądowa pracy WP.

Wielki piec należy do grupy pieców szybowych, których proces technologiczny odbywa się w tzw. przeciwprądzie. Przeciwprądowa zasada pracy wielkiego pieca sprowadza się do ruchu w przeciwnych kierunkach a to:

- Wsadu – z góry pieca w jego dół.
- Gazu – z dołu pieca (od dysz) do jego góry.



Rys. 9. Przepływ gazu przez wielki piec

Wsad ładowany jest urządzeniem zasypowym do gardzieli (górnicy). Wsad ten składa się z materiałów żelazodajnych, koksu i ewentualnie topników.

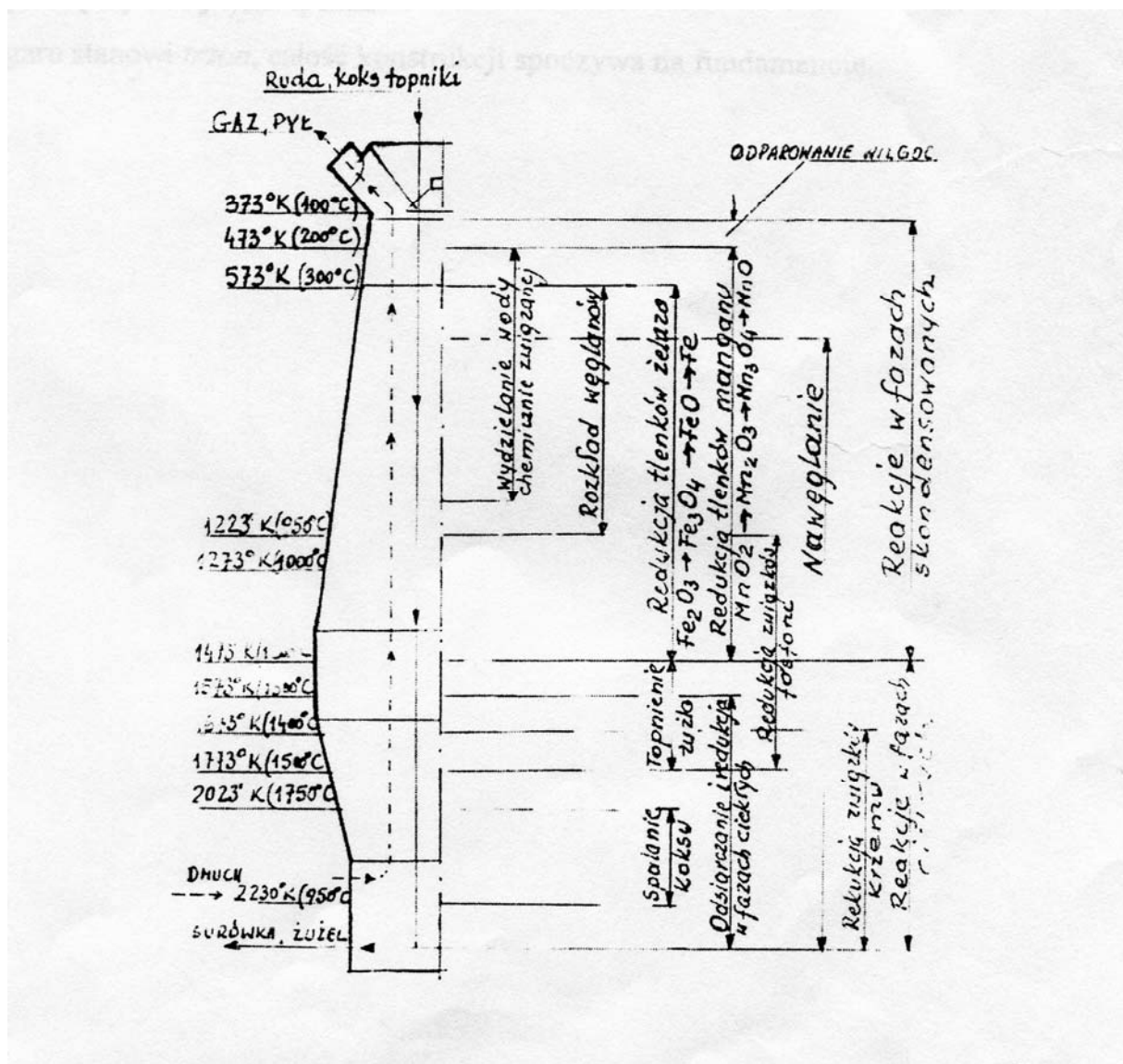
Dmuch (obecnie gorący) wdmuchiwany jest do pieca w jego dole (prawie górny poziom garu) przez dysze, przed którymi spala się przemieszczający z góry koks.

To palenie się koksu oraz topienie wsadu na surówkę i żużel, a także wypuszczanie z pieca płynnych produktów wytopu powoduje zwalnianie się (opróżnianie) pewnej objętości pieca, czyli możliwość obniżania się wsadu („schodzenie” wsadu) w dół.

Dmuch przed dyszami spala koks, następuje redukcja powstałego CO_2 w CO , i powstały gaz porusza się do góry pieca. Zatem jednocześnie gaz przepływa do góry pieca, a

wsad schodzi w dół (przeciwprąd). Podczas tego wzajemnego przemieszczania wsad pobiera ciepło od gazu i tym samym ogrzewając się aż do temperatury płynnych produktów wytopu. W tym czasie gaz przekazując ciepło wsadowi oziębia się od temperatury 1900-2500°C (przed dyszami) do temperatury 80-250°C w gardzieli pieca. Im temperatura gazu na gardzieli jest mniejsza, a temperatura surówki na spuście większa, tym wymiana ciepła w tym procesie jest lepsza.

Oprócz powyższego, w czasie ruchu przeciwprądowego zachodzi również wymiana masy. Gaz, a ściślej jego składniki – reduktory CO i H₂, odbierają tlen związkom żelaza oraz – wskutek nagrzewania wsadu – CO₂ z topników i H₂O z wilgoci. Im szybciej procesy te przebiegają tym piec produkuje szybciej.



Rys.10. Reakcje fizykochemiczne zachodzące w wielkim piecu.

Profil wielkiego pieca.

Częściami wielkiego pieca w jego zamkniętej objętości są gardziel, szyb, przestron, spadki i gar. Ich geometria jest następująca:

- a. gardziel ma kształt walca, kształt ten sprzyja symetryczności ułożenia wsadu przy załadunku;
- b. szyb ma kształt ściętego stożka, uwzględnia to zwiększenie objętości materiałów wsadowych wskutek ich nagrzewania podczas schodzenia w dół pieca;
- c. przestron ma kształt walca, ponieważ materiały się nie rozszerzają przechodząc w stan plastyczny i płynny. Brak zmian objętości, a raczej skurcz, jest spowodowany zajmowaniem wolnych przestrzeni między kawałkami wsadu przez ciecz,
- d. spadki mają kształt odwróconego stożka ściętego – ułatwia to spływanie płynnych produktów do garu;
- e. gar ma kształt walca i służy do magazynowania płynnych produktów wytopu w okresach pomiędzy kolejnymi spustami.

Dno garu stanowi trzon, całość konstrukcji spoczywa na fundamencie.

VI. Technologia procesu wielkopieczowego

Wielki piec jest urządzeniem, w którym poruszając się w przeciwnym kierunku wsad (z góry na dół) i gaz (z dołu pieca do góry) wymieniają ciepło i masę.

Wsad zasypywany jest z góry pieca urządzeniem zasypowym. Najnowszym urządzeniem zasypowym jest urządzenie bezstożkowe typu Paula Wurtha. Urządzenie to pełni również rolę zamknięcia hermetycznego wielkiego pieca a zatem nie zezwala na wypływ gazów i pyłu do atmosfery (eliminując emisję CO, SiO₂ i pyłu gazu wielkopieczowego). Głównym zadaniem urządzenia zasypowego jest takie ułożenie wsadu w gardzieli, które pozwala na swobodny i równomierny przepływ gazów (z dołu pieca do góry) na wszystkich przekrojach i całej wysokości pieca. Gwarantuje to wtedy optymalną wymianę ciepła i odbieranie tlenu z tlenków żelaza.

Wsad do procesu wielkopieczowego aktualnie składa się ze:

- spieku rudnego,

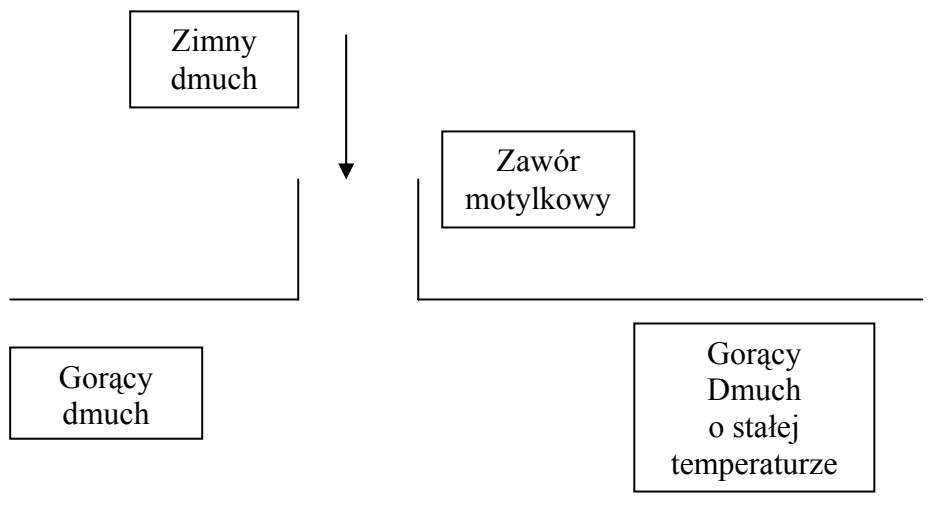
- grudek,
- koksu,
- niewielkich dodatków topników w postaci kamienia wapiennego (CaCO_2) lub dolomitu (CaCO_3 i MgCO_3).

Wykorzystując gazoprzepuszczalność tworzyw – z których najbardziej przewiewny i przepuszczalny jest koks – tak rozsypuje się wsad aby stworzyć optymalną przewiewność wsadu w wielkim piecu. Zapewnia to dobrą wymianę ciepła i masy, co z kolei prowadzi do minimalizacji strat cieplnych i wzrostu szybkości produkcji surówki.

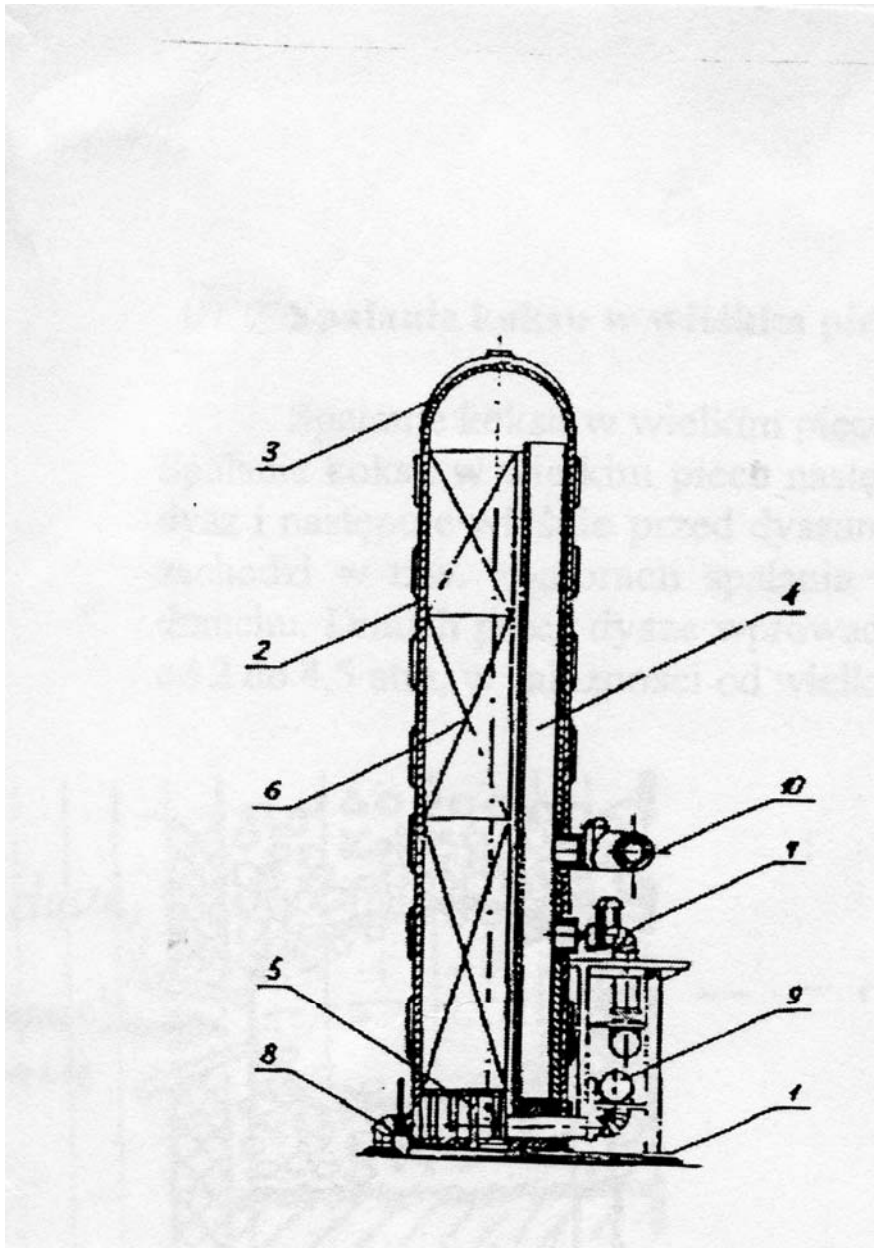
Gaz powstaje w dole pieca podczas spalania koksu i paliw zastępczych gorącym dmuchem przed dyszami.

VI.1 Nagrzewanie dmuchu i podanie go do pieca.

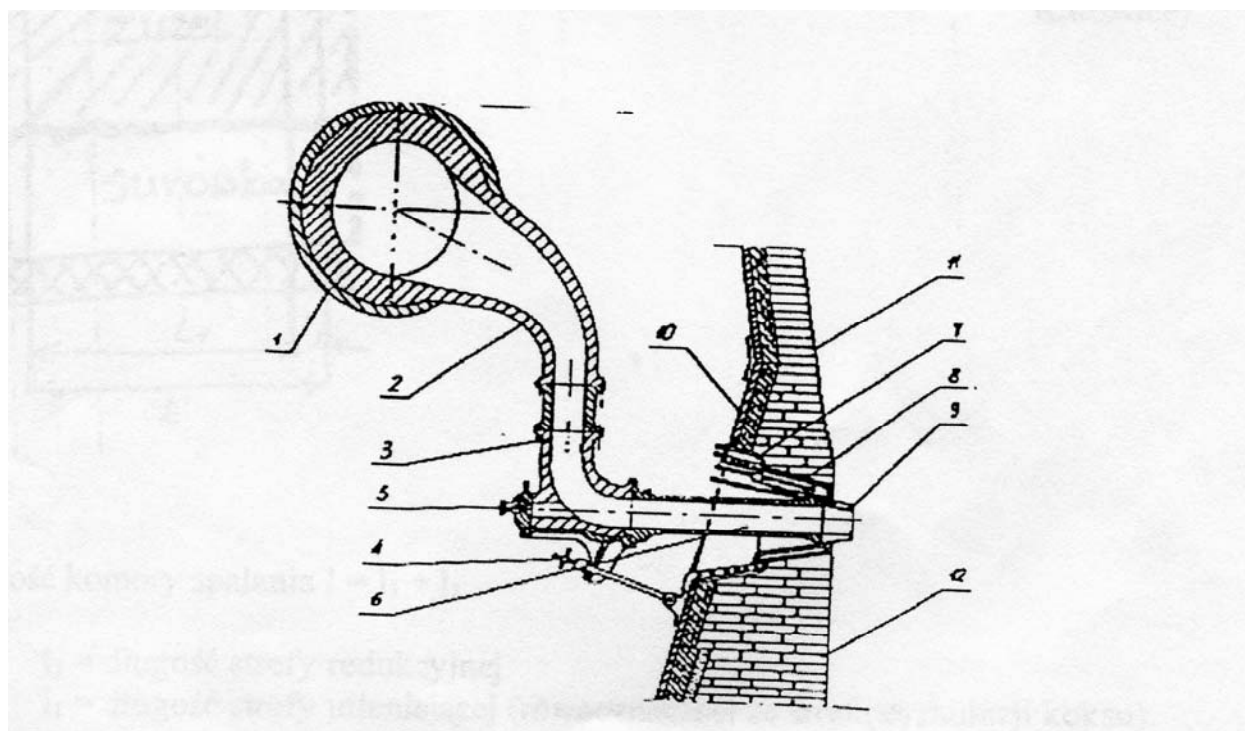
Zimny dmuch jest tłoczony rurociągami zimnego dmuchu z siłowni przez turbodmuchawy. Ciśnienie jego wynosi od 1,5 do 5,5 atm w zależności od wielkości wielkiego pieca (objętości od 1000 do 5500 m³). Następnie jest nagrzewany w urządzeniach zwanych nagrzewnicami. Najpopularniejsze z nich to nagrzewnice typu Cowpera z wewnętrznymi szybem spalania lub nowsze Dideera z zewnętrznym szybem spalania. W nagrzewnicach powietrze ogrzewa się do temperatur rzędu 800-1350°C. Zwykle piec posiada 3 lub 4 nagrzewnice, z których 1-a lub 2-e są opalane gazem (spala się w szybie spalania). Powstające spaliny przechodzą przez kratownicę złożoną z materiałów ogniotrwałych. W kratownicy spaliny oddają ciepło, które jest w niej akumulowane. Następnie spaliny wychodzą do komina. W nowych rozwiązaniach instalowane są urządzenia do odzysku ciepła spalin (wykorzystywane jest do produkcji ciepłej wody) i urządzenia odsiarczające. Po nagraniu kratownicy do tem. rzędu 900-1500°C kończy się opalanie i w drugim cyklu przepuszcza się powietrze zimne (dmuch zimny) przez kratownicę, czyli wytwarza się gorący dmuch. Stałość jego temperatury w całym cyklu ogrzewania dmuchu jest zapewniona poprzez dopust zimnego powietrza zaworem motylkowym sterowanym automatycznie.



Następnie dmuch jest przesyłany do okrężnicy czyli przewodu opasującego cały wielki piec na poziomie spadków. Z okrężnicy dmuch jest rozdzielany do zestawów dyszowych, którymi doprowadzany jest do pieca. Ilość dysz (zestawów dyszowych) jest tym większa im większy jest wielki piec, czyli im większa jest średnica garu. Zakończeniem zestawu dyszowego jest miedziana dysza chłodzona intensywnie wodą. Przez tą dyszę dmuch gorący jest wprowadzony do pieca pod ciśnieniem od 1,5 do 5,5 atm, przez co ma dużą szybkość (130-250 m/sek) i energię kinetyczną.



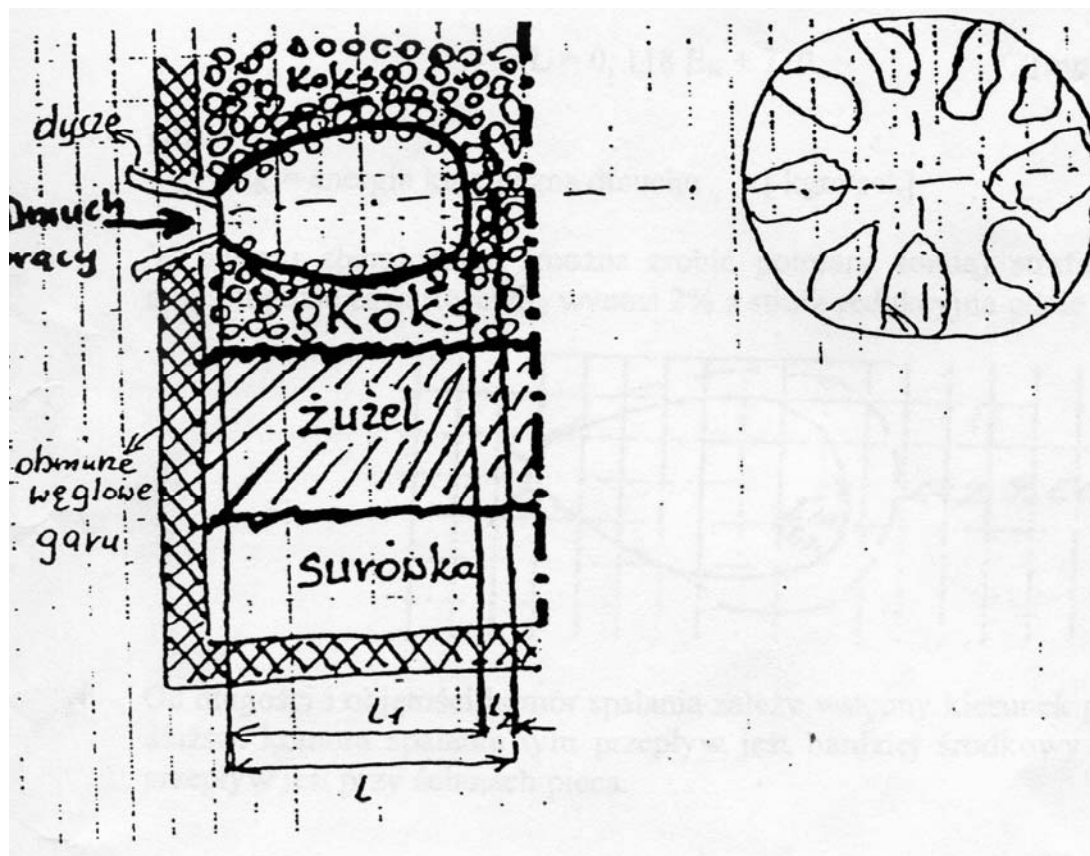
Rys. 11. Nagrzewnica Coopera (zw. Kauperem) dla podgrzewania dmuchu. (1 – fundament, 2 – płaszcze nagrzewnicy z wyłożeniem ogniotrwałym, 4 – szyb spalania, 5 – kolumny podtrzymujące kratę, 6 – wielokanałowa kratownica z szamoty, 7 przewód i palnik gazowy, 8 – odprowadzenie spalin, 9 – przewód doprowadzający zimny dmuch, 10 – przewód odprowadzający gorący dmuch).



Rys. 12. Przewody doprowadzające dmuch do wielkiego pieca. (1 – okrężnica dmuchu (przewód zbiorczy), 2 – kolano stałe z króćcem wylotowym z okrężnicy, 3 – kolano ruchome dyszowe (połączone przegubowo), 4 – cięgno sprężynowe dla połączenia kolana z dyszakiem, 5 – wziernik z pokrywą wziernikową, 6 – dyszak zwykły lub izolowany (azbestem), 7 – obsada dyszownicy z rurkami dla chłodzenia wodnego, 8 – dyszownica (z brązu) z chłodzeniem wodnym, 9 – miedziana dysza z chłodzeniem wodnym, 10 – pancierz garu z ramami stalowymi dla osadzenia obsad dyszownic, 11 – ogniotrwałe obmurze szamotowe spadków, 12 – ogniotrwałe obmurze garu (na poziomie dysz – szamotowe, a poniżej – węglowe). UWAGA!!! a). przewody wymienione pod poz 1-3 są wyłożone kształtkami szamotowymi; b). części wymienione pod poz. 7-9 stanowią tzw. Zestaw dyszowy.

VI.2. Spalanie koksu w wielkim piecu.

Spalanie koksu w wielkim piecu jest głównym źródłem ciepła. Spalanie koksu w wielkim piecu następuje dopiero po jego zejściu od gardzieli aż do strefy dysz i następuje właśnie przed dyszami doprowadzającymi dmuch do pieca. Proces spalania zachodzi w tzw. komorach spalania wytworzonych energią kinetyczną i dużą szybkością dmuchu. Dmuch przez dysze wprowadzony jest do pieca z dużą szybkością i pod ciśnieniem od 2 do 4,5 atm, w zależności od wielkości i objętości wielkiego pieca (średnicy garu).



W przekroju komora spalania przed dyszami WP. Ilość dysz zależy od średnicy garu pieca i wynosi np.32 dla pieca o ϕ garu 12m. i objętości 3200 m^3 (Huta Katowice).

Długość komory spalania $l = l_1 + l_2$

gdzie:

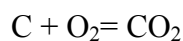
l_2 = długość strefy redukcyjnej

l_1 = długość strefy utleniającej (równoznacznej ze strefą cyrkulacji koksu).

Długość i objętość komór spalania zależy od energii kinetycznej dmuchu oraz własności fizycznych koksu. Te własności koksu to: reakcyjność, kawałkowość, porowatość, zawartość węgla.

Reakcja spalania koksu przed dyszami przebiega w dwu etapach.

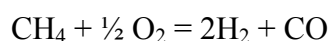
W pierwszym etapie przy wylocie dyszy znajduje się strefa utleniająca (l_1) prawie równoznaczna ze strefą cyrkulacji koksu. W tej strefie tlen dmuchu zostaje zużyty na powierzchniowe spalenie kawałków koksu w myśl reakcji:



W drugim etapie w tzw strefie redukcyjnej (I_2) powstały CO_2 reaguje z nieruchomym koksem w myśl reakcji



Gaz opuszczający komorę spalania składa się zatem z : CO , H_2 i N_2 , gdyż azot nie reaguje w piecu a H_2 powstaje bądź z rozkładu pary wodnej (wilgoci) dmuchu bądź pochodzi ze spalin wprowadzonych przez dyszę paliw zastępczych (gazu ziemnego, oleju itp.) w myśl reakcji



W wyniku spalania koksu i paliwa zastępczego ustala się w komorze spalania temperatura (od 1800 do 2500°C), której maximum przypada w strefie utleniającej w miejscu gdzie występuje maximum CO_2 .

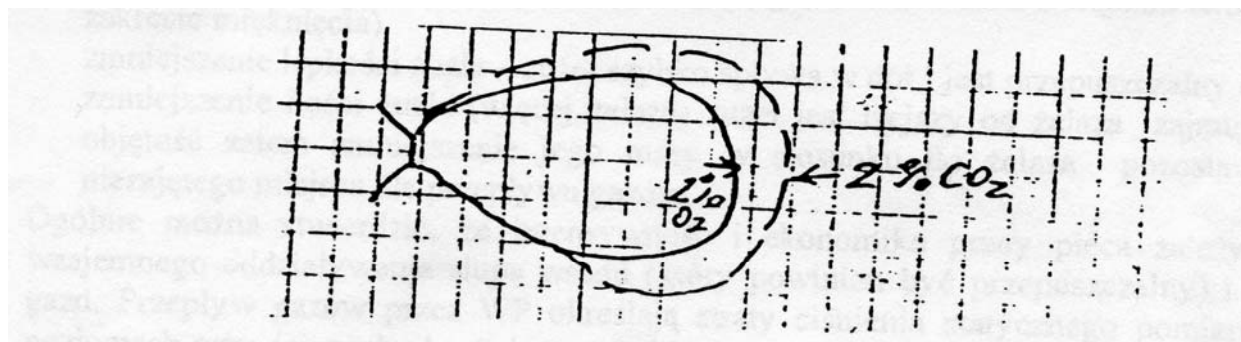
Chodak podał wzór na długość komory spalania:

$$L = 0,118 E_K + 770 \quad [mm]$$

gdzie:

$$E_K = \text{energia kinetyczna dmuchu} \quad [kgm/sek]$$

W pojęciu chemicznym (można zrobić pomiary sondą) strefa utleniająca kończy się w miejscu gdzie zawartości O_2 wynosi 2% a strefa redukcyjna gdzie zawartość CO_2 wynosi 2%.



Od długości i objętości komór spalania zależy wstępny kierunek gazów przez wielki piec. Im dłuższa komora spalania tym przepływ jest bardziej środkowy a im krótsza tym bardziej przepływ jest przy ścianach pieca.

VI.3. Przepływ gazów przez wielki piec.

Po opuszczeniu strefy dysz gazy powstałe w komorach spalania przemieszczają się w górę pieca. Naturalną tendencją gazów jest ich przepływ przy ścianach ze względu na mniejsze opory spowodowane rozluźnieniem wsadu ze względu na rozszerzenie się w dole szybu wielkiego pieca. Ta tendencja może być zniwelowana wydłużeniem komór spalania i np. zasypaniem mniej przewiewnej od koksu rudy przy ścianie. Ogólnie można stwierdzić, że gazy płyną zawsze tam gdzie są mniejsze opory przepływu.

W strefie ponad dyszami (spadki, przestron) gdzie oprócz koksu stałego inne tworzywa są w postaci płynnego żelazistego żużla lub kropel metalu, przepływ gazów zależy od:

- ziarnistości koksu – (mała i nierównomierna ziarnistość zawęży wolne przestrzenie służące do spływania żużla do garu i jednoczesnego przepływu gazów w górę pieca),
- lepkości żużla (im gęstszy żużel tym wolniej ścieka i jest mniej przepuszczalny dla gazów poruszających się w górę),
- ilości żużla (im większa masa spływającego w dół żużla tym mniej miejsca – w wolnych przestrzeniach pomiędzy kawałkami koksu – do przepływu w górę pieca gazów).

W strefie tzw. kohezji – mięknięcia materiałów – warstwa plastyczna jest prawie nieprzepuszczalna dla gazów i gaz może wydobywać się z tej strefy jedynie oknami koksowymi. Jest to strefa najbardziej nieprzepuszczalna i im grubsza (zależy od stopnia przygotowania wsadu) tym przepływ gazów w górę pieca jest mniejszy i bardziej nieregularny.

W strefie materiałów stałych przepływ gazów uwarunkowany jest składem ziarnowym i ułożeniem materiałów w gardzieli pieca. Im równiejszy skład ziarnowy tym większe średnice hydrauliczne (wolne przestrzenie pomiędzy kawałkami wszystkich tworzyw) i tym lepszy (łatwiejszy) przepływ gazów.

Generalną zasadą aerodynamiki przepływu gazów przez wielki piec w przeciwnym kierunku do wsadu jest jego równomierny przepływ na każdym przekroju i każdej wysokości pieca. Zapewnia to równomierne obmywanie wszystkich kawałków wsadu a przez to, szybką wymianę ciepła (gaz przekazuje ciepło wsadowi) i masy (gaz odbiera tlen z tlenków żelaza i innych metali).

Ten równomierny (lub lekko nierównomierny ale ściśle kontrolowany i zamierzony) przepływ gazu osiąga się przez:

- uśrednienie składu ziarnowego wsadu (odsiewane przed załadunkiem do pieca), przez co średnice wolnych przestrzeni są największe,
- zmniejszenie grubości strefy mięknięcia (przygotowanie wsadu o wąskim temperaturowo zakresie mięknięcia),
- zmniejszenie lepkości żużla – żużel szybko spływa w dół i jest przepuszczalny dla gazów,
- zmniejszenie ilości żużla (więcej żelaza) żużel jest lżejszy od żelaza zajmuje większą objętość zatem zmniejszenie jego masy w stosunku do żelaza pozostawia więcej niezajętego miejsca dla przepływu gazów.

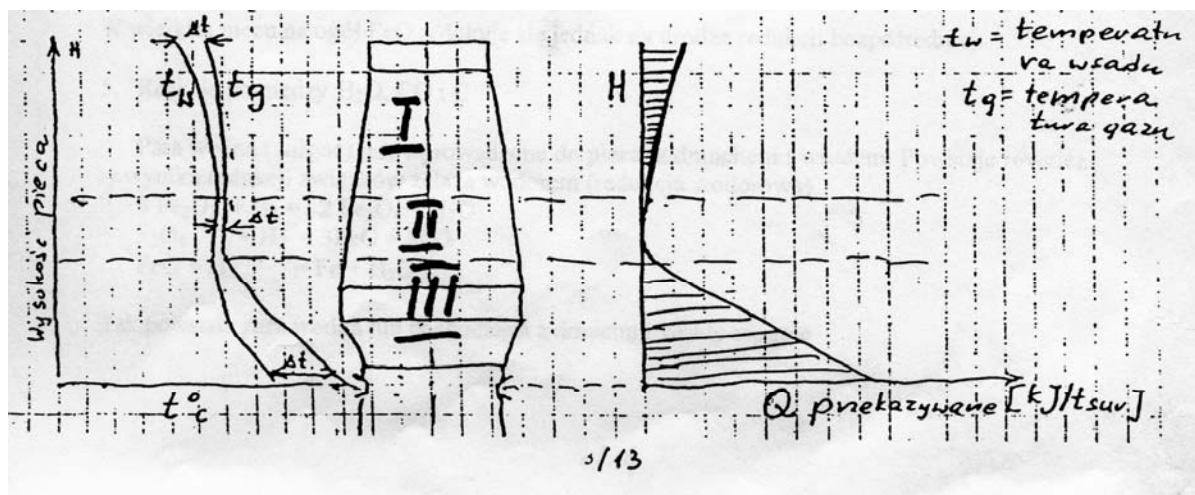
Ogólnie można stwierdzić, że intensywność i ekonomika pracy pieca zależy m.in. od wzajemnego oddziaływania słupa wsadu (który powinien być przepuszczalny) i strumienia gazu. Przepływ gazów przez WP określają straty ciśnienia statycznego pomiaru na kilku poziomach przy ścianach określające największe straty ciśnienia a zatem i opory przepływu. Ponadto gaz podtrzymuje 50-60% masy wsadu wpływając na zmniejszenie tarcia wsadu o wsad a przez to na mniejsze wydmuchy pyłu.

VI. 4. Wymiana ciepła w wielkim piecu

Wymiana ciepła w wielkim piecu zachodzi między gazem i wsadem. Polega zatem na przekazywaniu ciepła przez gaz wsadowi. Obecnie przyjmuje się, że wielki piec może być podzielony pod względem wymiany ciepła na trzy strefy tj.:

1. Górną strefę wymiany ciepła **I**
2. Strefę rezerwy cieplnej **II**
3. Dolną strefę wymiany ciepła **III**

Przedstawia to schemat



Z schematu tego wynika, że największą ilość ciepła przekazuje się wsadowi w dolnej strefie tj. III. Wynika to z faktu, że temperatura gazu przed dyszami wynosi średnia 2250°C a wsadu (żużla i surówki) ok. 1500°C . Ten duży gradient temperatury jest czynnikiem intensywnej wymiany cieplnej w tej strefie. Na skutek zachodzącej szybko wymiany ciepła oraz szerokiego przebiegowi endotermicznych reakcji redukcji i topnienia gradient temperatury zmniejsza się do ok. 30° w temperaturze wsadu ok. 1000°C . Z tego powodu w strefie nr II (strefie rezerwy) wymiana ciepła prawie nie zachodzi. W strefie I następuje zanik endotermicznych reakcji i topnienia a zatem mniejsze zapotrzebowanie ciepła przez wsad stąd (idąc od strefy II do I) następuje powolny wzrost gradientu temperatury i wymiany ciepła, która jest największa w gardzieli gdzie wsad ma temperaturę otoczenia (30°) a gaz od 80 do 250°C . Idealnie pracujący wielki piec to taki, który ma zbilansowane przychody i rozchody ciepła, strefę rezerwy niezależną od wysokości pieca oraz wypuszczał będzie gaz wielkopieczowy o niskiej rzędu $80^{\circ} - 100^{\circ}$ temperaturze.

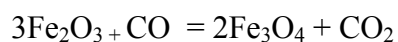
VII. Reakcje zachodzące w wielkim piecu - od gardzieli (po załadunku wsadu) do trzonu stanowiącego dno garu WP.

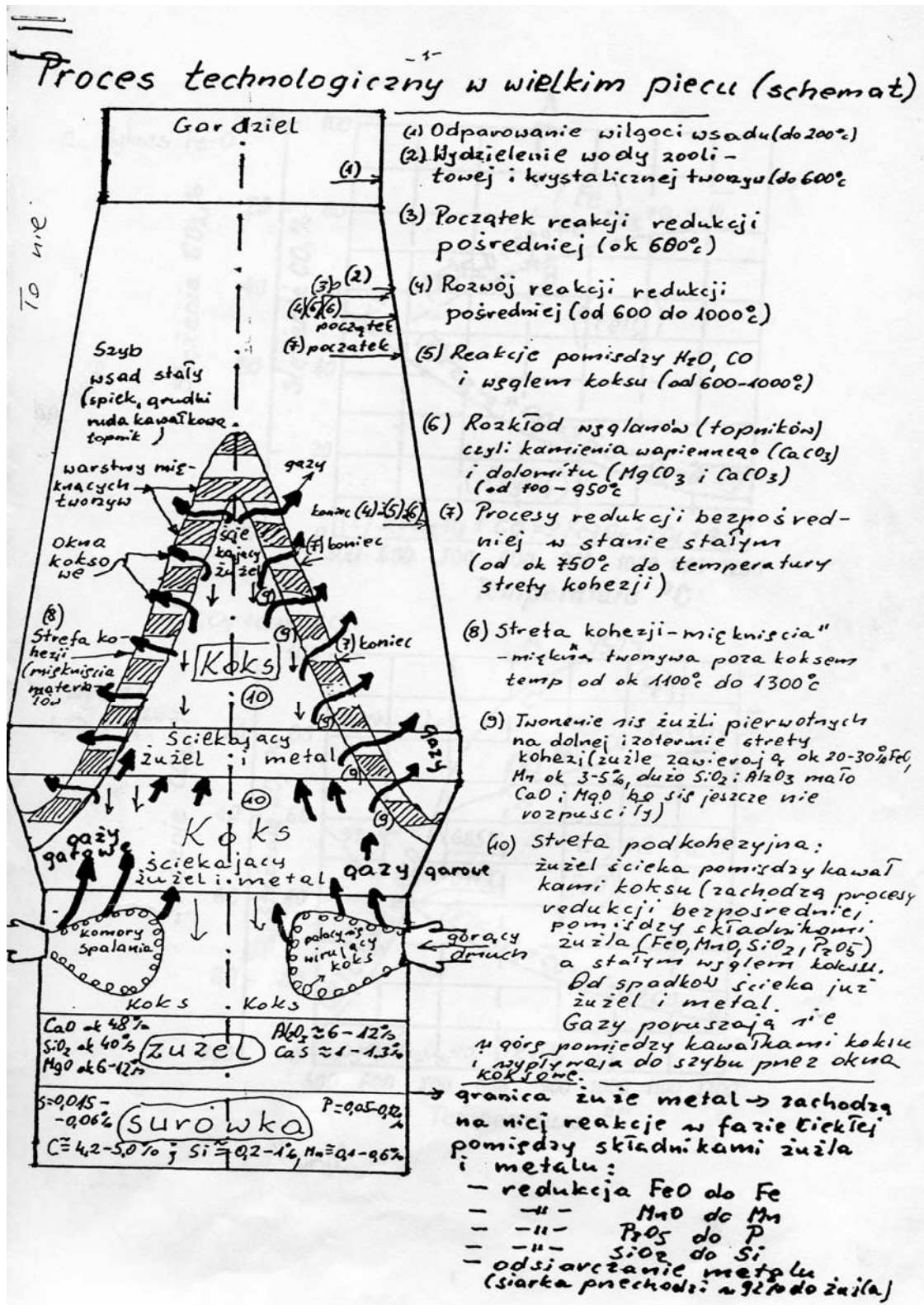
1. Już w gardzieli następuje w tem. od 100 do 200°C odparowanie wilgoci nabytej – związanej z wsadem tylko siłami napięcia powierzchniowego.
2. Już od gardzieli rozpoczyna się a kończy w górnej części szybu wydzielanie wody zoolitowej i krystalicznej, która jest związana z tworzywem jako kopalina typu np. $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (uwodnione tlenki żelaza – limonity). Rozpad tej sieci następuje do 600°C . Jest to reakcja endotermiczna zatem takich surowych rud nie warto używać.

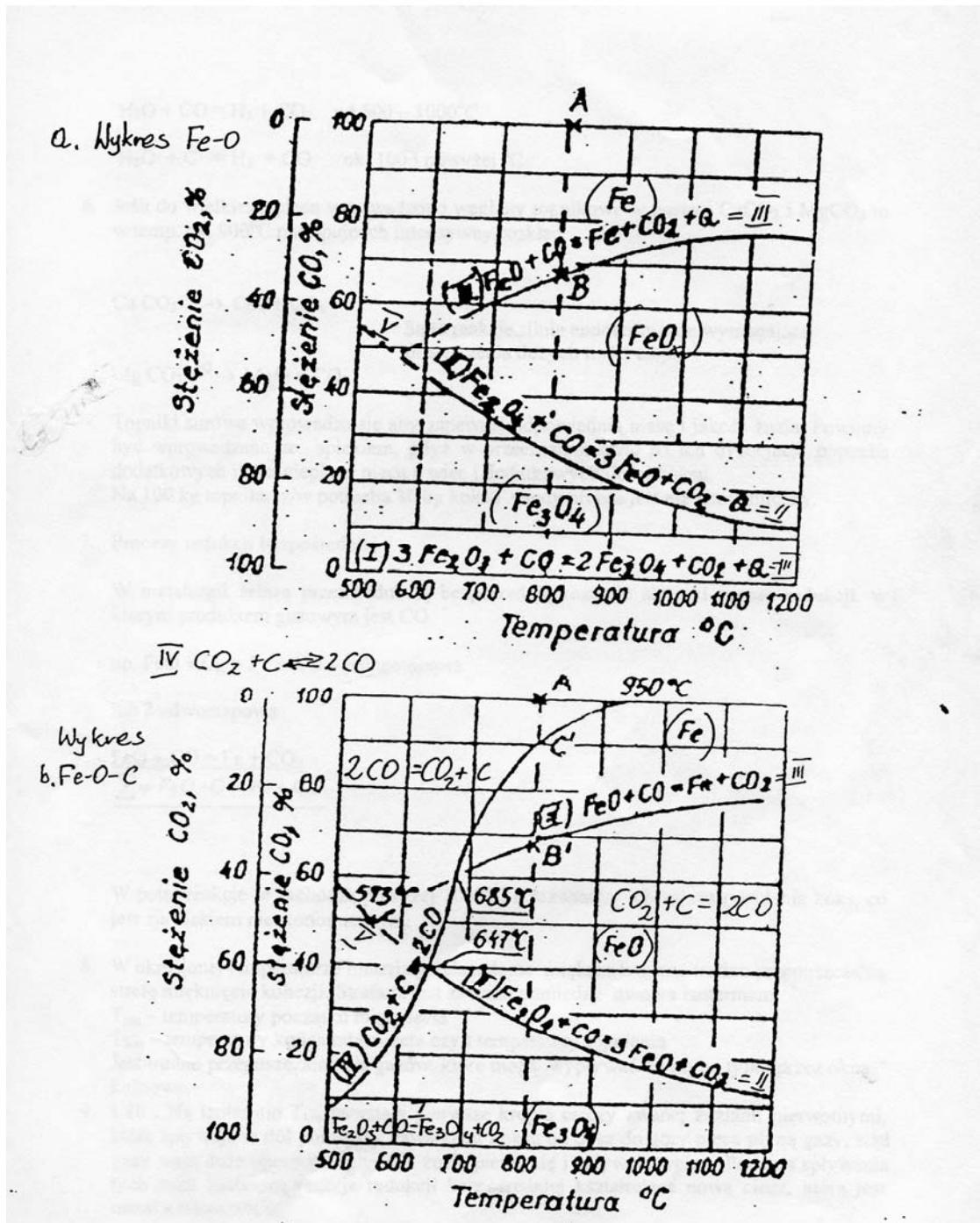
3 i 4 Redukcja pośrednia

Dygresja !

- a) Przez procesy redukcji w metalurgii rozumie się takie reakcje w których następuje odbieranie tlenu z tlenków metali.
- b) W metalurgii żelaza to oznacza odbieranie tlenu z tlenków żelaza
- c) Reduktorem jest ten pierwiastek lub związek chemiczny, który w danych warunkach ciśnienia i temperatury ma większe powinowactwo do tlenu niż metal w tlenku redukowanym
- d) W stosunku do żelaza np. w wielkopieczowych warunkach reduktorami są: CO, H₂ i C.
- e) Redukcja pośrednia występuje wtedy kiedy produktem gazowym reakcji jest CO₂



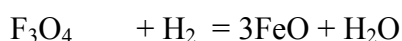
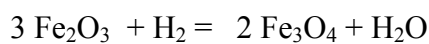




W wielkim piecu na ogół FeO redukuje się jednak na drodze redukcji bezpośredniej.

5. Reakcje pomiędzy H_2O , CO i C

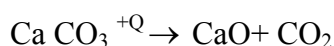
Para wodna (wilgoć) jest wprowadzona do pieca z dmuchem i wsadem. Powstaje również w wyniku redukcji związków żelaza wodorem (redukcja wodorowa)



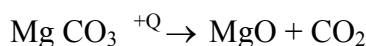
Tak powstała para wodna lub pochodząca z dmuchu i wsadu reaguje



6. Jeśli do wielkiego pieca wprowadzono węglany topnikowe w postaci CaCO_3 i MgCO_3 to w temp. ok. 900°C następuje ich intensywny rozkład.



Są to reakcje silnie endotermiczne wymagające dostarczenia dużych ilości ciepła

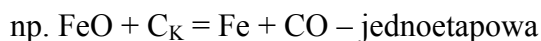


Topniki surowe wprowadza się aby zapewnić odpowiednią masę i jakość żużła. Powinny być wprowadzane jednak ze spiekami, gdyż w przeciwnym razie na ich dysocjację potrzeba dodatkowych ilości ciepła w piecu a więc i dodatkowych ilości koksu.

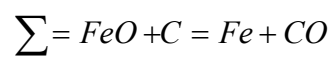
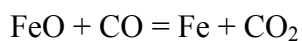
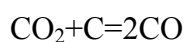
Na 100 kg topnika w/w potrzeba 30 kg koksu a wtedy proces jest nie ekonomiczny.

7. Procesy redukcji bezpośredniej.

W metalurgii żelaza przez redukcję bezpośrednią rozumie się taki proces redukcji, w którym produktem gazowym jest CO;



lub 2 –dwuetapowa



W pełni reakcje te zachodzą powyżej 1000°C a rozwinięty ich zakres pochłaniania koks, co jest zjawiskiem nieekonomicznym.

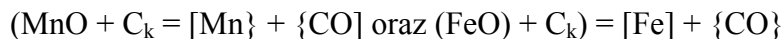
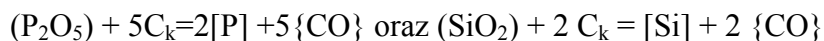
8. W określonej temperaturze materiały żelazodajne mięknią tworząc trudno przepuszczalną strefę mięknięcia tzw. kohezji. Strefa ta jest zawarta pomiędzy dwoma izotermami

T_{pm} – temperatury początku mięknięcia

T_{km} – temperatury końca mięknięcia czyli temperatury topnienia

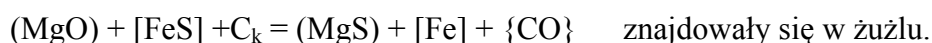
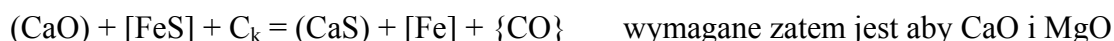
Jest trudno przepuszczalna dla gazów, które mogą wypływać do szybu tylko przez okna koksowe.

9. Na izotermie T_{km} powstają pierwsze krople cieczy zwanej żużłami pierwotnymi, które spływają w dół pomiędzy kawałkami koksu od dysz do góry pieca płyną gazy, stąd gazy mają duże opory przepływu a żużle pienia się i spływają wolno. Podczas spływania tych żużli zachodzą reakcje redukcji bezpośredniej kształtujące nową ciecz, którą jest metal a mianowicie:

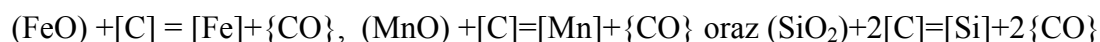


() – żużel, [] – metal, { } – gaz.

Częściowo zachodzi również reakcja odsiarczania



W garze zbiera się żużel i metal a na granicy ich podziału zachodzą reakcje w fazach ciekłych a mianowicie:



Tu zachodzi główne odsiarczanie wg w/w reakcji z CaO i MgO. Warunkiem dobrego odsiarczania jest istnienie wolnego CaO i MgO w żużlu nie związanego z SiO₂. Jeśli

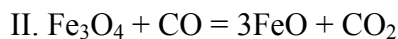
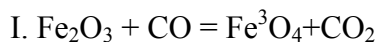
zasadowość czyli $\frac{CaO}{SiO_2} > 1.0$ a w rzeczywistości $> 1,05$ to odsiarczanie zachodzi. Ok.

93% siarki jest wyprowadzane z żużłem, 5% przechodzi do surówki a ok. 3% uchodzi z gazami. Dobra surówka przeróbca to taka, że ma mało $< 0,025S$, $< 0,1P$, mało Si = 0,2-

0,5, mało Mn = 0,1-0,4 a dużo C = 4,5 – 5,0%. Surówki odlewnicze mają dużo Si > 1,75%, P > 0,5% mniej C ok. 4,2% .

Rozwinięcie pkt.3, 4 i 7 – procesy redukcji

Reakcje redukcji pośredniej nr I, II, III zachodzą powyżej 572°C



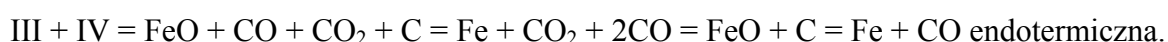
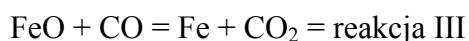
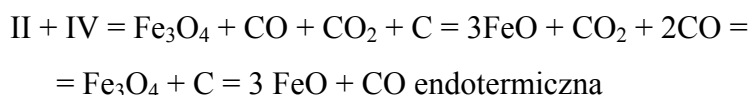
IV. $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4 \text{CO} = 3\text{Fe} + \text{CO}_2$ zachodzi poniżej 572°C – wyłącznie. Reakcja I zachodzi poniżej i powyżej 572°C

(Fe) = pole Fe

(FeO_x) – pole FeO

(Fe₃O₄) – pole Fe₃O₄

Wykres „b” jest charakterystyczny dla redukcji bezpośredniej, gdyż pojawił się węgiel w układzie. Zwykle reakcja nr I (redukcja hematytu Fe₂O₃) zachodzi wyłącznie drogą pośrednią, gdyż wystarczy minimalne stężenie aby reakcja ta zaszła. Dla innych reakcji II i III schemat 2-etapowej redukcji pośredniej jest następujący:



Jak z powyższego wynika obie te reakcje redukcji bezpośredniej zużywają w efekcie węgiel. Węgiel ten już nie dojdzie w dół pieca do komór spalania. Zatem z niego przy braku spalania nie otrzymamy ciepła. Oprócz tego w/w reakcje jako endotermiczne również pochłaniają ciepło (ze spalania koksu).

Z powyższego wynika, że rozwój redukcji bezpośredniej prowadzi do wzrostu zapotrzebowania na ciepło, czyli w efekcie powoduje wzrost zużycia paliwa koksowego i wzrost kosztu produkcji surówki.

VIII. Żużle wielkopieczowe.

W procesie wielkopieczowym uczestniczą m.in. dwie nie mieszające się ze sobą fazy ciekłe o różnych masach właściwych. Są to surówka (stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, w którym zawartość węgla wynosi powyżej 2%, a w praktyce powyżej 4%) oraz żużle (ciekłe związki krzemianowe tlenków metali nie redukujących się w wielkim piecu w ogóle lub w ograniczonym stopniu).

W zależności od różnego składu skały płonnej rud, spieków i grudek oraz różnych metod prowadzenia wielkiego pieca otrzymywane żużle wykazują znaczne różnice tak pod względem chemicznym jak i pod względem własności fizycznych.

Skład chemiczny żużli wielkopieczowych.

Podstawowymi składnikami żużli są dla surówek przeróbczych:

Żużle spustowe	Żużel pierwotny
SiO ₂ 36-40%	FeO – 30%
CaO 36-48%	MnO – 8 – 10%
Al ₂ O ₃ 5-10%	Mało CaO ok. 8-10 MgO ok. 2%
oraz CaS 1,5 – 3%	SiO ₂ 36 – 40%
MnO do 1,0	Al ₂ O ₃ 8 – 12
FeO do 1,0	Potem rozpuszcza się CaO i MgO w miarę schodzenia żużla w dół, gdy FeO, MnO się redukują

Z wymienionych tlenków redukują się z żużla do surówki jedynie w większym stopniu MnO, SiO₂ i reszta FeO. Natomiast CaO, MgO i Al₂O₃ nie redukują się w wielkim piecu w ogóle.

Lepkość żużli.

Def. ogólna.

Lepkością lub wiskożą nazywamy tę właściwość ciała (gazowego, ciekłego lub stałego), która sprawia, że przy zmianie kształtu występują w ciele naprężenia ścinające, wykazujące proporcjonalność do prędkości zmian kształtu.

Def. II.

W węższym zakresie ujmowania zjawiska:

Lepkość jest własnością cieczy lub gazu, polegającą na stawianiu oporu przy przesuwaniu laminarnym (uwarstwionym) i nie przyspieszonym dwóch graniczących ze sobą warstewek cieczy lub gazu.

Dla żuźli lepkość jest rzeczywistą stałą zależną jedynie od temperatury i ciśnienia

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx} \quad \text{gdzie:}$$

τ - naprężenie ścinające [$m^{-1}kg s^{-2}$]

$\frac{dv}{dx}$ - spadek (gradient) prędkości, prostopadły do kierunku przepływu [s^{-1}]

v – pr. przepływu [ms^{-1}]

$$\left[\frac{Ns}{m^2} \right]$$

podwielokrotność

$$1 \text{ puaz} = 1 \text{ p.} = \left[10^{-1} \frac{Ns}{m^2} \right] = \text{Pa sek}$$

$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}$$

Zależność lepkości dynamicznej od temperatury jest następująca:

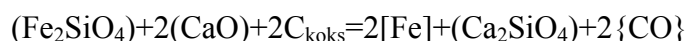
$$\eta = A_o * \exp \frac{\Delta E \eta}{RT}$$

Lepkość żuźli zarówno pierwotnych jak i końcowych ma duże znaczenie dla pracy pieca wpływając na rozkład strumieni gazów w spadkach oraz przebieg reakcji redukcji Si, Mn i odsiarczania surówki. Gęste żuźle wolno spływając między kawałkami koksu blokują drogę gazom powodując zawisy i tworzenia narostów. Ważne w praktyce jest ustalenie takiego wsadu, z którego powstały żużel miałby małą lepkość.

IX. Reakcje zachodzące pomiędzy żużlem a metalem.

a). Redukcja tlenków żelaza z fazy ciekłej.

Żelazo w ciekłej fazie żuźlowej znajduje się w postaci krzemianów żelaza lub eutektyk tych związków. Między strefą topnienia a poziomem dysz zawartość FeO w żuźlu zmienia się od 8 do 3%. **Bogate w żelazo są powstające żuźle pierwotne,** które ściekają w dół przesączają się pomiędzy kawałkami koksu. **Redukcja tlenków żelaza w tej strefie z fazy ciekłej zachodzi więc węglem koksu. Obecność tlenku wapnia ułatwia przebieg redukcji poprzez rozkład soli krzemianowych.**



Zachodzi ta reakcja na drodze ściekania żużła do garu z pochłonięciem ciepła (endotermiczne). Ostateczna redukcja ciekłych tlenków żelaza do zawartości w żużlu (FeO) poniżej 1% zachodzi w garze pomiędzy metalem i żużlem.

Zbyt gwałtowne ściekanie żużła posiadającego niezredukowane tlenki żelaza powoduje zbyt nie rozwinięcie endotermicznych procesów w garze, co prowadzi do oziębienia garu i wpływa niekorzystnie na skład surówki. Informację o przebiegu redukcji tlenków żelaza z żużła uzyskuje się przez kontrolę analizy składu żużła i przez jego obserwację na spuście. Żużel taki po ostygnięciu jest czarny a w czasie spustu jest gęsty o ciemnej barwie.

b). Redukcja tlenku krzemu w wielkim piecu.

Źródłem krzemu w surówce jest krzemionka, która występuje w skale płonnej materiałów żelazodajnych. W fazie stałej przebieg redukcji krzemionki jest minimalny z uwagi na mały kontakt rud z koksem. W temp. powyżej 1300°C związki krzemionki wraz z innymi tlenkami przechodzą w stan ciekły, co powoduje rozwój reakcji w układach żużel-metal-węgiel koksu oraz żużel-metal nasycony C. Ilość fazy żużlowej, jej skład chemiczny i własności fizykochemiczna ma istotne znaczenie na przebieg redukcji SiO₂ a więc i na końcową zawartość Si w surówce. Duży wpływ na redukcję SiO₂ i przejście krzemu z żużła do metalu mają warunki cieplne panujące w garze.

Reakcja redukcji Si w WP wymaga dla swojego przebiegu wysokiej temperatury i dużych ilości ciepła. Wahania zawartości Si w surówce na spuście stanowią wskaźnik mówiący o stanie cieplnym garu. Ilość zredukowanego Si zależy również od zasadowości żużła, im większa zasadowość żużła tym trudniej zredukować SiO₂ a tym samym zawartość Si w metalu jest mniejsza.

Przykład reakcji:

$(\text{SiO}_2) + 2[\text{C}] = [\text{Si}] + 2\{\text{CO}\}$ silnie endotermiczna.

c). Redukcja tlenku manganu w wielkim piecu w fazach ciekłych

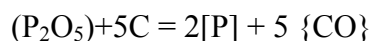
Redukcja tlenku manganowego z żużła zachodzi w garze WP węglem koksu i metalu.

Przykład reakcji:

$(\text{MnO}) + [\text{C}] = [\text{Mn}] + \{\text{C}\}$

Reakcja przebiega ze znacznym pochłonięciem ciepła, duży jej rozwój następuje w wysokich temperaturach i przy wysokiej zasadowości żużła. Współczynnik podziału wynosi ok. 60% i jest tym większy im wyższa zasadowość i im mniejsza masa żużła.

d). Redukcja pięciotlenku fosforu

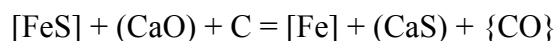


Redukcja fosforu zachodzi stopniowo w miarę obniżania się FeO w żużlu i praktycznie jest zakończona na poziomie dysz. Cały fosfor przechodzi z żużla do metalu a sposób w jaki możemy oddziaływać na jego zawartości w surówce to tylko odpowiednie dobranie wsadu wielkopiecowego.

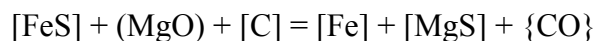
e). Reakcja odsiarczania.

Jest jedną z najważniejszych reakcji wpływających na jakość surówki. Zachodzi już wstępnie przy ściekaniu żużla w spadkach a największy jej rozwój następuje w garze wielkiego pieca. W garze reakcja ta zachodzi na granicy podziału faz metal-żużel. Im mniejsza lepkość (ułatwiony transport), większa ciepłota garu i zasadowość żużla tym przebieg przejścia siarki z metalu do żużla lepszy i proces odsiarczania przebiega wydajniej.

Przykład reakcji.



w bardziej ograniczonym stopniu:



Warunki najlepszego przebiegu technologicznego i ekonomicznego.

1. Dobra ciepłota garu (osiąga się ją przez równomierny bieg pieca a zmiany ciepłoty wtedy nie są duże i można je regulować temp. dmuchu lub H₂O dmuchu)
2. Zasadowość żużla rzędu 1,05 – 1,15. Wtedy również jest niska lepkość żużla (osiąga się przez odpowiedni dobór składników wsadu namiarowanych do WP). Najlepiej jest stosować sam spiek o odpowiedniej zasadowości.

X. Produkty wytopu

1. surówki przeróbcze	2. surówki odlewnicze	Surówki zwierciadliste do produkcji żeliwa
Si – 0,3 – 1,2	1,5 – 4,0	Max 2%
Mn – 0,2 – 1	Max 1%	10-25%
P – 0,05 – 0,2	0,1 – 1,2%	Max. 0,3

S – 0,01 – 0,035	Max 0,05	Max 0,3
C – 4 – 5%	3,4 – 4,2	Ok. 4

2. Żelazomangan

S, max 1,5, Mn 60 – 85%, $P_{\max} = 0,5$, $S_{\max} = 0,02$

3. Gaz wielkopiecowy

CO – 21-30

CO₂ - 22 – 10

H₂ – 68 – 50

4. Pył WP

Fe – do 40%

C – do 15%

$\frac{CaO}{SiO_2} = 0,5 - 1.$ i to jest niekorzystne

UWAGA. Urządzenia hali lejniczej wielkiego pieca oraz sama hala lejnicza są zamieszczone osobno w postaci prezentacji

XI. Intensyfikacja procesu wielkopiecowego

Podstawą współczesnej technologii wielkopiecowej jest stałość wszystkich parametrów, które mają wpływ na pracę wielkiego pieca, jego wydajność i jakość produkcji. Dotyczy to zarówno warunków wsadowych, jak i parametrów dmuchu, a więc jego ilości, ciśnienia (spadku) i temperatury, zawartości w nim H₂O, dodatku paliw zastępczych i tlenu do dmuchu. Tak określona równomierność ma szczególnie duże znaczenie dla wielkich pieców pracujących szybko i mało stabilnych cieplnie. Obecnie stosuje się szereg elementów intensyfikujących proces wielkopiecowy, poprawiających jego ekonomikę przez obniżenie zużycia koksu. Do pierwszej grupy należy zaliczyć podwyższenie ciśnienia w gardzieli oraz dodatek pary wodnej i tlenu do dmuchu. Czynnikiem obniżającym zużycie koksu są wysoka temperatura dmuchu i dodatek paliw zastępczych. Niektóre z wymienionych czynników

wpływają na rozwinięcie biegu obrzeżnego, inne znowu – środkowego. Jedne z nich powodują koncentrację „żaru” w garze, drugie natomiast przesuwają strefę wysokich temperatur ku górze pieca. Z tych też względów, obok zasady poprawy przewodności wsadu wraz z intensyfikowaniem procesu, przyjęto stosować równocześnie dwa lub trzy czynniki intensyfikujące, których działanie wzajemnie się dopełnia. Zespół warunków wsadowych oraz parametrów technologicznych określa maksymalną przewodność, to jest maksymalną ilość gazów przepływających przez piec, bez naruszenia płynności schodzenia wsadu. Przekroczenie tej granicznej wartości powoduje zawisanie wsadu i zarywkowy bieg pieca z tendencją do tworzenia się kanałów. Równocześnie ta wartość graniczna określa maksymalną wydajność pieca. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym pracę pieca w warunkach wysokiej temperatury dmuchu jest obniżenie zużycia koksu na tonę surówki, podniesienie obciążenia (R:K), a więc niekorzystne obniżenie przewodności w wyniku zastąpienia części dobrze przewodnego koksu rudą lub spiekami o znacznie gorszej przewodności. Podnoszenie temperatury dmuchu wymaga:

- wprowadzenia dodatku pary wodnej lub odpowiedniej ilości paliw zastępczych, które obniżają temperaturę komory spalania, dochowując tym samym niezmienną objętość gazów przepływających przez piec,
- poprawy przewodności wsadu, odsiewanie miału, pracę na wsadach o wąskich zakresach kawałkowatości, zbliżenie rozmiarów kawałków wsadu rudnego (spieku lub grudek) do rozmiarów kawałków koksu,
- przejścia na bardziej obrzeżny bieg pieca przez zmianę poziomu i systemu załadunku.

Wysokie ciśnienie w gardzieli przynosi stosunkowo większe efekty przy wsadach miałkich i surowych niż przy wsadach dobrze przewodnych i przygotowanych. Wynika to z faktu poprawienia przewodności, przy podwyższonym ciśnieniu w gardzieli, co daje większe efekty przy nie przewodnych wsadach.

- Wprowadzenie paliw zastępczych obniża bardzo temperaturę komory spalania i zwiększa ilość gazów w wielkim piecu. Z tych względów wprowadzenie paliw związane jest z równoczesnym poważnym podwyższeniem temperatury dmuchu lub obniżeniem jego wilgotności.

XII. Alternatywne procesy produkcji żelaza

Dla hut o wielomilionowych zdolnościach produkcyjnych nie ma dziś zbyt szerokiej i konkretnej alternatywy. Ich linia technologiczna bazuje na wysokowydajnych wielkich piecach i konwertorach tlenowych stąd konieczność istnienia i eksploatacji koksowni oraz spiekalni rud.

Znacznie korzystniej i wielowariantowo przedstawiają się możliwości konfiguracji metalurgicznej w hutach o wydajności 1-1,5 mln ton stali rocznie. Tam coraz częściej znajdują zastosowanie alternatywne technologie w zakresie produkcji wsadu dla stalowni, tak surówki żelaza jak i innych materiałów zastępujących bądź uzupełniających złom stalowy. Jeszcze do niedawna technologie te ograniczały się do procesów redukcji bezpośredniej rud i produkcji żelaza gąbczastego, które w formie gąbki lub brykietów jest stosowane w piecach stalowniczych, gł. piecach elektrycznych. Dominujące w tym zakresie technologie: Midrex, HyL, Fior, Ironcarbide, Circofer prowadzone są w piecach szybowych w złożu stałym lub w warstwie fluidyzowanej gdzie reduktorem jest gaz. W innej grupie metod, takich jak SI/RN, DRC, Fastment, Inmetco itp. stosuje się reduktor stały w postaci węgla.

Dominują zdecydowanie metody redukcji gazem, przy stosowaniu których wytwarza się ponad 90% światowej produkcji żelaza gąbczastego. Jeszcze do końca lat 70-tych przewidywano, że do końca XX wieku światowe zdolności produkcyjne instalacji redukcji bezpośredniej osiągną poziom 100 mln ton rocznie. Taki rozwój jednak nie nastąpił z dwóch podstawowych przyczyn:

- sytuacji energetycznej które pozwala na ekonomiczną produkcję żelaza gąbczastego tylko w rejonach gdzie SA tanie nośniki energii,
- nastąpił rozwój rynku złomowego oraz technik jego przerobu i przygotowania.

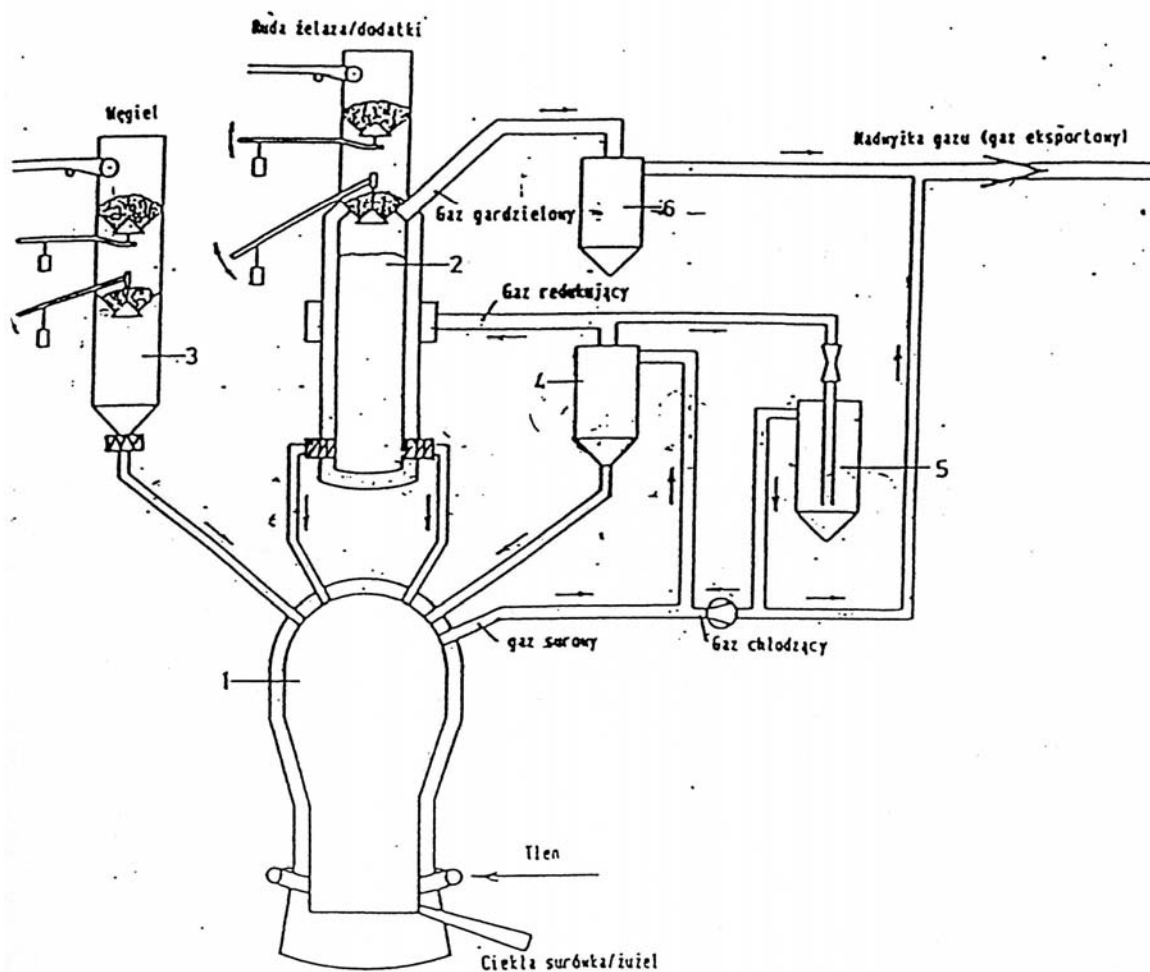
Obecnie opinie są już prawie zgodne, że produkcja żelaza gąbczastego nie jest alternatywą lecz uzupełnieniem dla produkcji surówki żelaza. W roku 2000 zdolności produkcyjne wszystkich instalacji redukcji bezpośredniej wynosiły 44 mln ton a produkcja 21 mln ton, co oznacza że wykorzystywano tylko 60% zdolności urządzeń. Jednakże pojedyncze instalacje pracowały z wydajnością 100% i do roku 2008 przewidywano przyrost zdolności produkcyjnych o kolejne 12 mln ton co autentycznie nastąpiło. W Europie zachodniej produkcja żelaza gąbczastego w skali globalnej nie ma żadnego znaczenia przemysłowego.

W procesach stalowniczych zastosowanie żelaza gąbczastego może mieć wielkie znaczenie przy produkcji wysokojakościowych stali, szczególnie na wyroby płaskie wytwarzanej na bazie złomu stalowego. Poza redukcją bezpośrednią rud, inną obecnie już dojrzała i technologicznie sprawdzoną drogą pozyskiwania wsadu dla stalowni – jest produkcja surówki żelaza poza wielkim piecem. Proces COREX wyszedł poza instalacje pilotową w Pretorii. Dwukrotnie większej wydajności instalacja pracuje od października 95 w hucie Pohang koncernu pocu w Korei Południowej. Dalsze budowane instalacje są często projektowane jako kompleksy zespolone z obiektami redukcji bezpośredniej wykorzystującymi gaz z Corexu. Przedstawione zestawienie ukazuje stan w zakresie pracujących i budowanych instalacji COREX.

miejsce	stan obiektu	wielkość jednostki	produkcja roczna [tys.t]
ISCOR	pracuje	C-1000	350
SALDANHA	budowa	C-2000 + DRI	650
JINDAL	budowa	2 x C-2000	1530
HANBO	budowa	2 x C-2000 +DRI	1500
POSCO	pracuje	C-2000	700

Innymi poza Corexem procesami produkcji surówki poza wielkim piecem są :
Hlsmelt - instalacja pilotowa uruchomiona w 1993 roku w Kwinana w Australii,
Dios - technologia tworzona w Japonii oraz CCF firmy Hugoovens w Holandii.
Jednakże z w/w żaden poza Corexem procesów nie ma znaczenia przemysłowego.

Rosnące wymagania w zakresie ochrony środowiska naturalnego, wysokie koszty modernizacji i remontów odtworzeniowych istniejących mocy produkcyjnych w klasycznych częściach surowcowych hut, tj. koksowniach, spiekalniach i wielkich piecach oraz coraz mniejsza atrakcyjność pracy w tych wydziałach - będą często czynnikiem decydującym o wyborze rozwiązań alternatywnych w stosunku do tych, które uznawane są obecnie za klasyczne.



Rys. 7. Schemat procesu COREX. [11]

1. Reaktor do topienia i zgazowania,
2. Reaktor wstępnej redukcji,
3. Zasobnik węgla,
4. Odpylnik cyklonowy gazu gorącego,
5. Płuczka wodna gazu chłodzącego,
6. Płuczka wodna gazu gazdzielowego

