

węgiel drzewny, powstające zaś żelazo ciekłe oraz stopiony żużel wypuszczano przez otwór dolny.

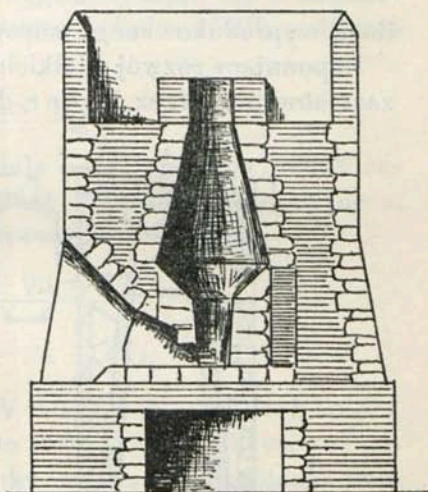
Otrzymywano w ten sposób zamiast żelaza zgrzewnego — surowiec, zatem produkt niekwalny. Surowiec ten poddawano procesowi »świeżenia«, t. j. ponownemu przetopieniu w piecach pudlarskich i otrzymywano żelazo kowalne o własnościach bardziej stałych i jednolitych od żelaza, uzyskiwanego bezpośrednio z rudy. Nadto surowiec ten, po ponownem stopieniu dawał się odlewać w formy. Pod koniec XV stulecia sztuka lania żelaza była już w Niemczech w stadium pełnego rozwoju.

Zastosowanie miechów z pędem wodnym, które doprowadziło do przekształcenia dawnych pieców ogniskowych w piece szybowe (zwane piecami wielkimi), oraz do otrzymywania żelaza lanego, zostało zapoczątkowane w Alpach austriackich, stamtąd zaś rozprzeczniło się wzdłuż dolnego Renu aż do Westfalji, posiadającej olbrzymie pokłady rud żelaznych.

Pierwsze wielkie piece powstały w Westfalji w wieku XIII, a koło r. 1500 robotnicy niemieccy przynieśli ze sobą ten sposób fabrykacji do Anglii.

D. Okres nowożytny. Do XVIII w. stosowano w hutnictwie żelaza wyłącznie węgiel drzewny, jako środek redukcyjny i opały. Wobec tego pierwotne wielkie piece miały niezbyt wielkie wymiary, wysokość ich dosięgała najwyżej 7 metrów. Dopiero w r. 1734 Abraham Darby opracował w Anglii sposób wytapiania surowca przy pomocy koksu, otrzymywanego z węgla kamiennego. Od tej chwili hutnictwo żelaza zaczęło się gwałtownie rozwijać w Anglii, kraju obfitującym zarówno w rudę żelazną, jak i węgiel kamienny.

Pierwsze wielkie piece dostarczały zaledwie kilkaset kilogramów surowca dziennie, podczas gdy współczesne produkują dziennie od 80 do 400 tonn.



Rys. 165.

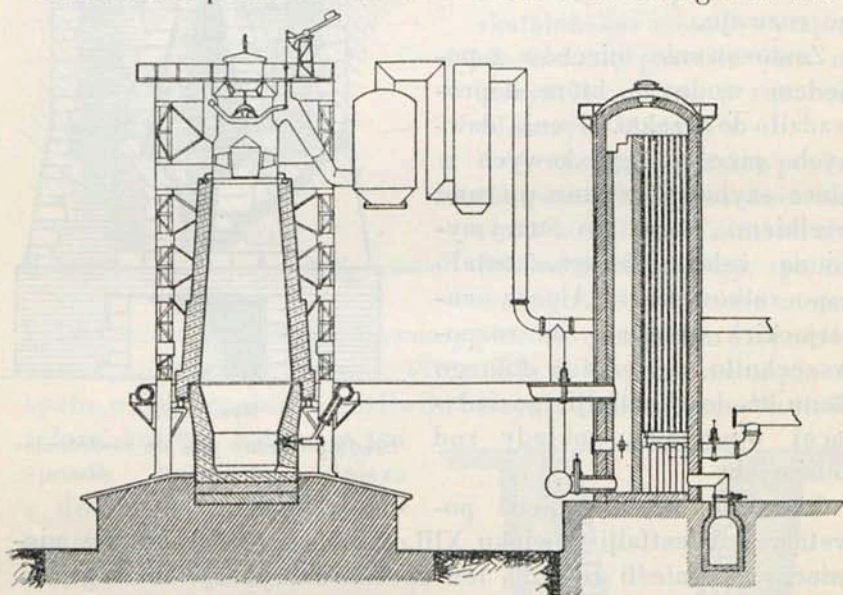
Średniowieczny piec do »świeżenia« żelaza.

Taki nowoczesny wielki piec o produkcji dziennej 400 tonn surowca wyobraża załączony rysunek 166. Piec ten zużywa dziennie 400 tonn koksu, 800 tonn rudy prażonej oraz 2000 tonn powietrza. W ciągu roku pracy zużycie to daje:

rudy surowej	438 000 tonn
„ prażonej	292 000 „
koksu	146 000 „
wiatru	753 000 „

Ilość wyprodukowanego surowca wynosi: 146 000 tonn.

Imponujący rozwój wielkich pieców został umożliwiony dzięki zastosowaniu przez Faber du Faura w r. 1832 gazów wiel-

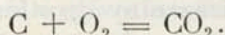


Rys. 166. Przekrój wielkiego pieca.

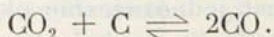
kopiecznych do ogrzewania wdmuchanego powietrza, a następnie dzięki wprowadzeniu w r. 1869 przez Whitwella rekuperatorów, a nieco później przez Cowpera regeneratorów, pozwalających ogrzewać powietrze do temperatury 750-800°.

W ogólności wielki wpływ na rozwój hutnictwa żelaza wywarło wynalezienie maszyny parowej przez Watta w drugiej połowie XVIII stulecia, zbudowanie w r. 1825 pierwszej lokomotywy oraz szybki rozwój sieci kolei żelaznych.

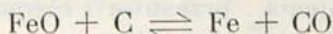
Charakter procesów chemicznych, odbywających się w wielkim piecu, został wyjaśniony poraz pierwszy dzięki badaniom doświadczalnym metalurga angielskiego Bella. Z badań tych wynika, że w najniższej części pieca, w jego gardle, tam gdzie gorące powietrze styka się z ładunkiem pieca, zachodzi naprzód proces spalania węgla na dwutlenek:



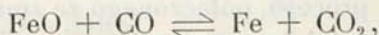
Jednak powstający dwutlenek węgla, stykając się z nadmiarem węgla w wysokiej temperaturze (około 1600°), odtlenia się natychmiast na tlenek:



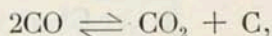
Powstały zaś tlenek węgla działa odleniająco na tlenek żelaza FeO; dzięki czemu w głównej środkowej części pieca, przebiegają jednocześnie dwa procesy redukcyjne:



oraz

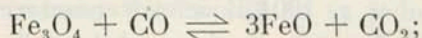


z których ostatni przeważa. W wyższych częściach pieca, w których temperatura spada do 800° i 600° odbywa się natomiast częściowy rozkład tlenku węgla i wydzielanie pyłu węglowego:



odtleniającego częściowo tlenek żelaza i nawęglającego żelazo, stapiające się w dolnej części stożka piecowego.

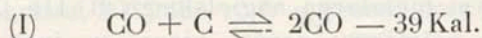
W jeszcze wyższych częściach pieca, w których temperatura spada do 600° i 400°, tlenek węgla redukuje tlenek żelaza, Fe₃O₄ na FeO



wreszcie u wylotu pieca dokonywa się odwodnienie i osuszenie ładunku piecowego, składającego się z rudy i koks.

W wielkim piecu zachodzi przeto szereg odwracalnych procesów chemicznych, których naukowe wytłumaczenie zawdzięczamy Le Chatelierowi. Procesy te przebiegają w wysokich temperaturach, w których szybkość reakcyj jest tak wielka, że równowaga ustala się w bardzo krótkim czasie. Ponieważ wchodzi tu w grę niemal wyłącznie substancje stałe oraz gazowe, więc teoretyczne ujęcie tych procesów jest bar-

dzo uproszczone. Najważniejszym z nich jest niewątpliwie proces redukcji dwutlenku węgla węglem:



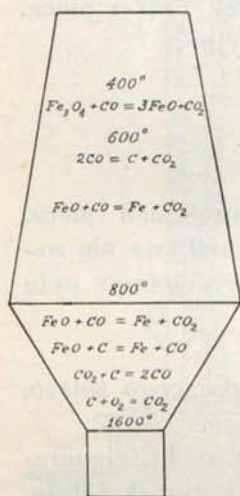
Układ, wytworzony przez dwa składniki: dwutlenek węgla i węgiel, składający się z dwóch faz, stałego węgla oraz fazy gazowej, złożonej z mieszaniny dwutlenku węgla z tlenkiem, jest z punktu widzenia reguły faz układem dwuzmiennym (por. t. I, str. 232). Możemy w nim przeto dowolnie zmieniać temperaturę i ciśnienie. W oznaczonych warunkach ciśnienia i temperatury stan układu, w szczególności skład procentowy jego fazy gazowej, jest jednoznacznie określony.

Proces redukcji dwutlenku węgla jest reakcją endotermiczną; wobec tego wzrost temperatury przesuną jego równowagę na prawo, czyli w kierunku reakcji, połączonej z pochłanianiem ciepła. Natomiast wzrost ciśnienia przesuną równowagę tej reakcji w kierunku odwrotnym, czyli w kierunku procesu, połączonego ze zmniejszeniem objętości fazy gazowej.

Jeśli utrzymywać ciśnienie fazy gazowej na stałym poziomie, wówczas stała równowagi tego procesu, wyrażająca się równaniem

$$\frac{C_{\text{CO}}^2}{C_{\text{CO}_2}} = K,$$

zależać będzie jedynie od temperatury, a zatem skład fazy gazowej będzie także tylko funkcją temperatury. Boudouard wykonał w r. 1901 ilościowe pomiary zmiany składu fazy gazowej w zależności od temperatury pod stałym ciśnieniem 1 atmosfery. Wyniki są przedstawione na załączonym wykresie (rys. 168). Z przebiegu krzywej tego wykresu



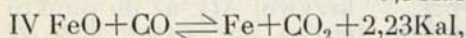
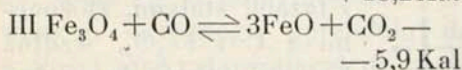
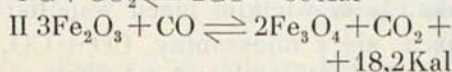
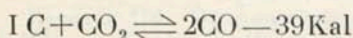
Rys. 167.

Schemat reakcji chemicznych, odbywających się w wielkim piecu.

okazuje się, że działanie redukcyjne węgla na dwutlenek węgla jest bardzo nieznaczne poniżej 400°, poczem szybko wzrasta, tak że w temperaturze 675° faza gazowa zawiera w stanie równowagi zaledwie 50% CO₂, w temperaturze 1000° zaś dwutlenek węgla nie może już współistnieć z wolnym węglem.

Analogiczne stosunki panują również w wielkim piecu, z tą tylko małą różnicą, że wobec mniejszego ciśnienia cząstkowego mieszaniny dwutlenku węgla z tlenkiem, równowaga jest nieco bardziej przesunięta na korzyść tlenku węgla. Wynika stąd, że w dolnych częściach wielkiego pieca, w których panuje temperatura powyżej 1000°, współistnieje z węglem niemal wyłącznie tlenek węgla. Natomiast w górnych częściach pieca, w których temperatura jest niższa, zachodzi reakcja odwrótne, t. j. powstaje dwutlenek węgla kosztem tlenku, dzięki czemu z fazy gazowej wydziela się pył węgla, osiadający na tlenkach żelaza.

Co się tyczy procesu redukcji tlenków żelaza tlenkiem węgla, to w wielkim piecu zachodzą w rzeczywistości następujące trzy reakcje odwracalne:

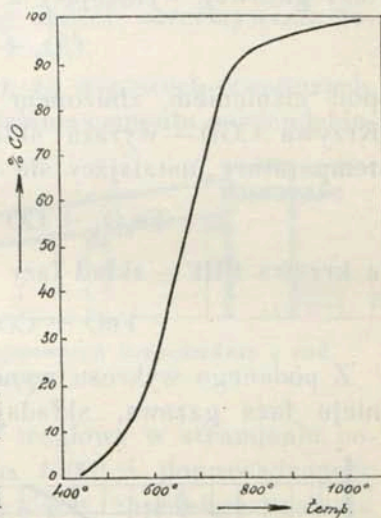


z których najważniejsza jest niewątpliwie ostatnia. Układy, odpowiadające trzem ostatnim reakcjom, są dwuskładnikowe, a zarazem trójfazowe. W myśl reguły faz przeto wszystkie te układy są jednozienne, a zatem skład ich fazy gazowej nie zależy od ciśnienia, a tylko od temperatury. Pod wpływem tych reakcji objętość fazy gazowej nie ulega bowiem zmianie. Stała równowagi wszystkich tych reakcji, wyrażająca się stosunkiem stężeń:

$$\frac{C_{\text{CO}}}{C_{\text{CO}_2}} = K_2,$$

również zależy wyłącznie od temperatury.

Z tych trzech reakcji, reakcja (II), jako najbardziej egzotermiczna, przebiega z łatwością już w temperaturze około

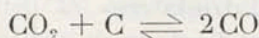


Rys. 168.

Zależność równowagi gazowej pomiędzy CO i CO₂ od temperatury według Boudouarda.

400°. Pozostałe, znacznie ważniejsze pod względem technicznym, odbywają się dopiero w temperaturach powyżej 500°, a nawet 600°. Ze względu na to, że obu tym reakcjom towarzyszą nieznaczne efekty cieplne, wpływ temperatury na ich stany równowagi jest bardzo nieznaczny.

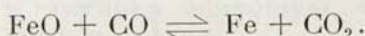
Na załączonym wykresie przedstawiono zapomocą odpowiednich krzywych skład fazy gazowej, w zależności od temperatury, dla reakcji (I), (III) oraz (IV). Krzywa AB wyraża skład fazy gazowej, wynikający z równowagi reakcji



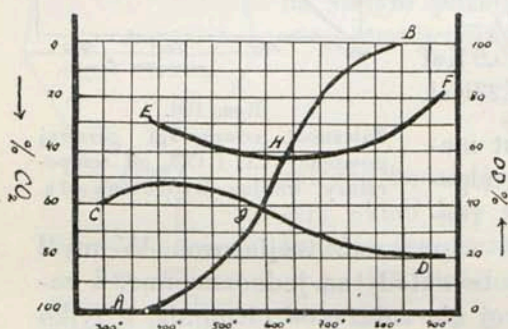
pod ciśnieniem, zbliżonem do panującego w wielkim piecu. Krzywa CGD — wyraża skład fazy gazowej w zależności od temperatury, ustalający się wskutek reakcji



a krzywa EHF — skład fazy gazowej dla reakcji



Z podanego wykresu wynika, że w wielkim piecu współistnieje faza gazowa, składająca się z mieszaniny $\text{CO} + \text{CO}_2$,



Rys. 169.

Wpływ temperatury na zjawiska równowagi w wielkim piecu.

z fazami stałymi, złożone z C i Fe_3O_4 , wzdłuż krzywej AG, aż do punktu G odpowiadającego temperaturze mniej więcej 600°. W punkcie G występuje, jako nowa faza stała, FeO , a wzdłuż krzywej GH faza gazowa znajduje się w równowadze z fazami stałymi FeO i C aż do punktu H, odpowiadającego temperaturze około 640°.

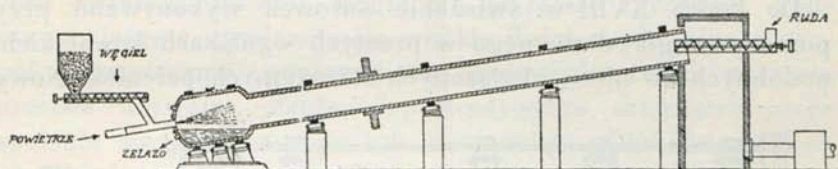
Powyżej punktu H znika FeO jako faza stała, i mieszanina tlenków węgla współistnieje już tylko z fazami, złożonymi z żelaza i węgla.

Ponieważ w wielkim piecu mamy do czynienia z reakcjami, odbywającemu się pomiędzy substancjami stałymi a gazami, przepływającymi ze znaczną szybkością, przeto równowagi te

nie ustalają się natychmiastowo; dzięki temu FeO może współistnieć (jako produkt nietrwały) z tlenkiem węgla w temperaturach, leżących powyżej 680° . W rzeczywistości występuje on też w wielkim piecu powyżej tej temperatury.

E. Bezpośrednie wytapianie żelaza zgrzewnego z rud. Sposób wytapiania surowca z rud w wielkich piecach, praktykowany od lat kilkuset, bezustannie ulepszany i udoskonalany, zdawał się być ostatnim wyrazem współczesnej techniki metalurgicznej. Tymczasem podczas wojny światowej inżynier francuski Busset opracował nowy sposób otrzymywania żelaza kujnego bezpośrednio z rud.

Istota tej metody polega na tem, że w piecach obrotowych, analogicznych do używanych do wypalania cementu portlandzkie-



Rysunek 170. Otrzymywanie żelaza zgrzewnego bezpośrednio z rud według Busseta.

go, spala się w dolnym końcu pył węglowy w strumieniu powietrza, ogrzanego uprzednio do 1000° i doprowadzonego w ilości niewystarczającej do osiągnięcia zupełnego spalania. W tych warunkach węgiel spala się tylko na tlenek węgla, wytwarzając temperaturę płomienia około 2000° .

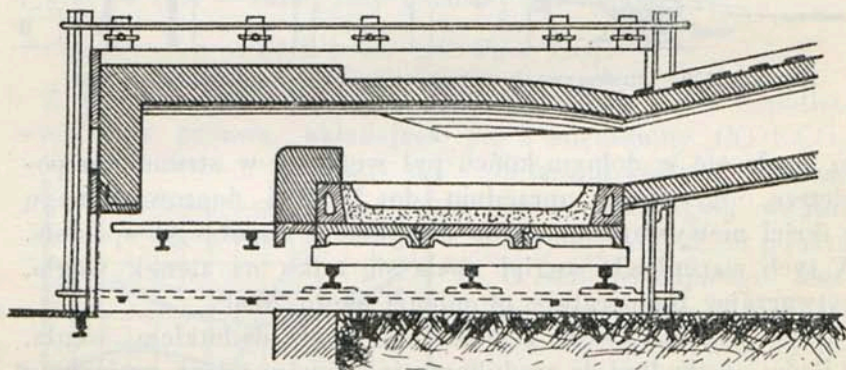
Rudę żelazną, wraz z topnikami oraz dodatkiem węgla, w ilości niezbędnej do zredukowania tlenków żelaza, umieszcza się w górnej części pieca w stanie sproszkowanym. Przebywa ona zatem drogę w prądzie przeciwnym do kierunku strumienia gorących gazów, wytworzonych w płomieniu węglowym. W tych warunkach tlenki żelaza redukują się tlenkiem węgla całkowicie na żelazo metaliczne, które ulega stopieniu. Natomiast występujące w złożu tlenki fosforu, krzemu, siarki, manganu i t. p. nie ulegają redukcji i przechodzą do żużla, nie zanieczyszczając żelaza krzemem, fosforem, siarką, manganem i węglem.

U dolnego wylotu pieca wylewa się ciekłe żelazo miękkie nienawęglone, wolne od szkodliwych domieszek oraz stopiony żużel, oddzielający się mechanicznie.

Metoda jest ekonomiczna, pozwala bowiem na otrzymywanie żelaza zgrzewnego bezpośrednio z rud z wydajnością, dochodzącą do 99%; zużycie zaś paliwa na 1 tonnę wytopionego żelaza ma wynosić zaledwie 600 kg węgla chudego, podczas gdy w wielkich piecach wynosi ono przeciętnie 1100 kg koksu hutniczego na 1 tonnę wytapianego surowca.

F. Rafinowanie surowca. Surowiec, otrzymywany w wielkich piecach, stanowi materiał wyjściowy, służący do wyrobu żelaza zgrzewnego oraz stali. Przeróbka na te produkty polega na częściowym utlenieniu, podczas którego zostają usunięte z surowca różne domieszki, przede wszystkim znaczna część rozpuszczonego w nim węgla. Operacja ta zwie się »świeżeniem« czyli odwęglaniem surowca.

Do końca XVIII w. świeżenie surowca wykonywano przy pomocy węgla drzewnego w prostych ogniskach kowalskich, podobnych do nieco ulepszonych starożytnych palenisk. Nowy



Rys. 171. Piec »puhlarski«.

okres rozwoju »świeżenia« datuje się od wynalezienia przez angiлика Henryka Cort w r. 1784 płomienno-pieca »puhlarskiego«, umożliwiającego zastosowanie węgla kamiennego oraz pozwalającego na przerabianie większych ilości surowca. Metoda ta umożliwiła otrzymywanie taniego żelaza kowalnego w wielkich ilościach. Wynalazek Corta stanowi przeto epokę w rozwoju hutnictwa żelaza, aczkolwiek sam wynalazca zmarł w wielkiej biedzie.

Zapomocą pudlowania otrzymuje się wyłącznie miękkie żelazo zgrzewne, — lecz nie stal. Wyrób stali na skalę fabryczną

rozpoczął zegarmistrz londyński, Benjamin Hüntsman, który w r. 1740 wynalazł sposób otrzymywania stali tyglowej, służącej do wyrobu sprężyn zegarowych. Sposób ten został następnie ulepszony w r. 1811 przez Kruppa z Essen, ale i w tej postaci nie nadawał się do produkcji masowej.

Epoka stali datuje się dopiero od jednego z najśmielszych i najgenialniejszych wynalazków technicznych XIX stulecia, od wynalezienia przez Henryka Bessemera z Scheffield metody wyrobu stali zlewnej, opatentowanej przezeń w r. 1855.

G. Metoda Bessemera. Świeżenie surowca polega w istocie na utlenianiu, podczas którego zostają spalone różne domieszki oraz część samego żelaza. Jak wiadomo, surowiec zawiera od 3 do 5% węgla, który powinien być usunięty podczas procesu świeżenia na stal, względnie na żelazo zgrzewne. Podczas świeżenia wywiązują się wielkie ilości ciepła, ginące naogół bezużytecznie, ponieważ do ogrzewania żelaza w czasie procesu używamy ciepła, doprowadzonego zzewnątrz przez spalanie węgla drzewnego lub kamiennego. Otóż Bessemer wpadł pierwszy na pomysł, że można zaniechać dostarczania ciepła zzewnątrz, jeżeli uprzednio stopimy surowiec i będziemy prowadzili proces świeżenia w stanie ciekłym w strumieniu gorącego powietrza. Wtedy proces ten przebiega bez zewnętrznego ogrzewania, ponieważ podczas utleniania wytwarza się ciepło w takiej ilości, że kompensuje ono całkowicie straty, wywołane promieniowaniem oraz wydzielaniem gazów.

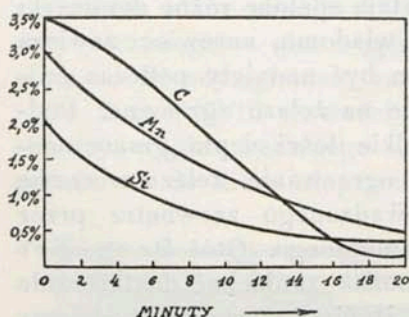
Surowiec zawiera 3 do 5% węgla oraz domieszki innych pierwiastków, których ilość zależy od gatunku rudy. Może on zawierać do 2% krzemu, do 3% fosforu oraz 5% i więcej manganu. Ciepło spalania 1 kg węgla na dwutlenek wynosi 8100 Kal, na tlenek 2387 Kal, ciepło zaś spalania 1 kg krzemu wynosi 7830 Kal, 1 kg fosforu 5960 Kal, 1 kg manganu 1724 Kal, a 1 kg żelaza 1353 Kal. Dzięki temu temperatura ciekłego surowca, wynosząca 1350°, podnosi się przez spalanie 1% domieszek o następującą liczbę stopni (według obliczeń Würtza):

dla	Si	P	Mn	Fe	C
	287°	185°	60°	44°	8,8°

Proces świeżenia w stanie ciekłym udaje się jednak tylko wtedy, gdy przerabia się naraz wielkie ilości surowca. Świe-

zenie prowadzi się przy pomocy potężnych miechów tak gwałtownie, że dokonywa się ono w ciągu bardzo krótkiego przedziału czasu, wynoszącego od 8 do 40 minut. W czasie tym wydzielają się tak wielkie ilości ciepła, że temperatura surowca nie tylko nie spada, lecz przeciwnie podnosi się do 1500° , a nawet do 1600° , czyli powyżej temperatury krzepnięcia czystego żelaza.

W procesie Bessemera siła ludzka została całkowicie zastąpiona siłą pary. Podczas świeżenia ogniskowego 6 ludzi mogło wyrobić dziennie 1200 kg żelaza kutego lub stali, przez



Rys. 172.

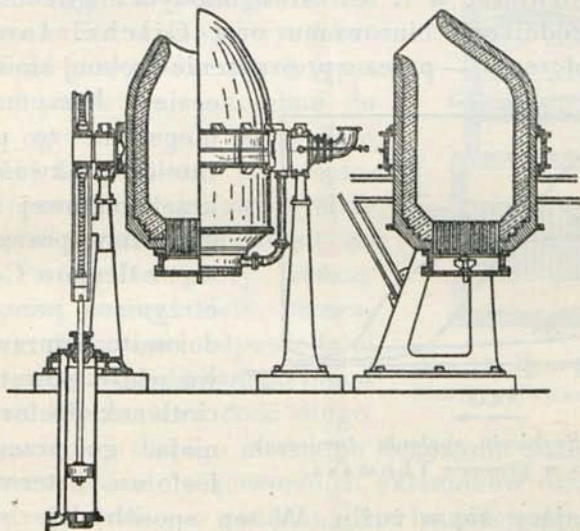
Szybkości spalania domieszek surowca w procesie Bessemera.

zastosowanie metody pudlarskiej — do 2400 kg. Tymczasem zapomocą metody Bessemera ta sama ilość ludzi może wyprodukować w ciągu 12 do 40 minut 5000 do 20000 kg stali zlewnej, co odpowiada produkcji 200 do 400 tonn na dobę.

Metoda Bessemera posiada ponadto jeszcze inną ważną zaletę. Otrzymywanie żelaza i stali metodą ogniskową było naogół sztuką i to sztuką trud-

ną, wymagającą wielkiej wprawy i doświadczenia. Tymczasem metodą Bessemera proces ten wykonywa się z wielką łatwością, niemal automatycznie. Proces Bessemera prowadzi się w naczyniach żelaznych, wyłożonych wewnątrz materiałem ogniotrwałym, zwanych »gruszkami« lub »konwertorami«, pojemności od 5 do 20 tonn. Gruszki te mogą być dowolnie przechylane i w tym celu są one zawieszone na bocznych czopach. Wprawia się je w ruch zapomocą urządzeń hydraulicznych. Sam proces świeżenia odbywa się w ten sposób, że do nachylonej gruszki wlewa się naprzód z wielkiego pieca strumień stopionego surowca, poczem gruszka wraca do pozycji pionowej, a jednocześnie olbrzymie miechy parowe poczynają wtłaczać potężny prąd gorącego powietrza do szeregu »dysz«, znajdujących się w jej dnie. Powietrze to przedostaje się przez stopioną masę surowca, spala rozpuszczone w nim domieszki, zwłaszcza S, P, As, Sb, C, Si, Mn, a częściowo i samo Fe, wyrzucając te tlenki na powierzchnię surowca pod

postacią stopionego żużla. Po kilku minutach świeżenia wyrzucanie żużla ustaje, a wydobywający się z wylotu gruszki płomień zmniejsza się coraz bardziej. Węgiel uległ całkowitemu spalaniu. W celu ponownego nawęglenia wstrzymuje się na chwilę wtłaczanie powietrza, pochyla nieco gruszkę i wrzuca do niej pewną ilość surowca zwierciadlanego, obfitującego w mangan oraz węgiel. Miechy rozpoczynają ponownie swą pracę na krótki przeciąg czasu, potrzebny do dokładnego prze-



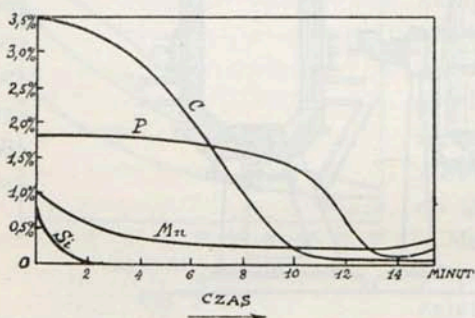
Rys. 173. Gruszka Bessemera.

mieszania zawartości gruszki, poczem gruszka zostaje znów pochylona, a gotowa stal zlewna wylewa się do kadzi żelaznych, wyłożonych gliną.

Wynalazek Bessemera wywarł w owym czasie olbrzymi wpływ na rozwój przemysłu żelaznego: po upływie lat 20 stal zlewna wyparła żelazo pudłowe z wielu zastosowań praktycznych. Jednakże metoda Bessemera posiada również strony ujemne. Można było zapomocą niej przerabiać tylko surowiec, zawierający znaczne ilości krzemu, conajmniej 1,2 do 1,5% i otrzymywany z najczystszych rud żelaznych, zanieczyszczonych tylko drobnymi ilościami fosforu. Wobec użycia do gruszek bessemerowskich, wyprawy »kwaśnej« zawarty w tym surowcu fosfor nie dawał się utlenić i zamienić na fosforany, powstający bowiem w tych warunkach pod koniec procesu pię-

ciotlenek fosforu odtleniał się w obecności żelaza na wolny fosfor, pozostający w roztworze. Tymczasem fosfor jest jednym z największych wrogów żelaza, wzmacnia bowiem jego kruchość. Stal bessemerowska niezawsze mogła zastąpić żelazo pudłowe, w szczególności nie nadawała się ona do konstrukcyj mostów, dachów, wyrobu kotłów i t. p. zastosowań, wymagających żelaza miękkiego.

Sprawę usunięcia fosforu z surowca i stali udało się pomyślnie rozwiązać w r. 1878 dwu młodym anglikom, Thomasowi, urzędnikowi biurowemu, oraz Gilchristowi, chemikowi hutniczemu, — przez wprowadzenie drobnej zmiany w procesie bessemerowskim:



Rys. 174. Szybkość spalania domieszek surowca w procesie Thomasa.

ulepszenie to polega na zamianie »kwaśnej«, t. j. krzemionkowej wyprawy gruszkowej wyprawą »zasadową« z tlenków CaO i MgO , otrzymaną przez prażenie dolomitu. Zaprawa zasadowa wiąże powstający pięciotlenek fosforu, zamieniając go przeważnie na fosforan czterowapniowy, rozpuszczający się w żużlu. W ten sposób daje się jednak przerabiać tylko surowiec ubogi w krzem (do 0,5% Si), i zawierający co najmniej 1,7 do 2% fosforu. Fosfor spala się dopiero po usunięciu znacznej części węgla, zatem w drugim okresie procesu świeżenia, wobec czego temperatura ciekłego surowca wzrasta pod koniec procesu do 1600° (rys. 174). Podczas tego znaczna ilość żelaza (do 15%) również przechodzi do żużla. Sposób Thomasa, poza usunięciem fosforu z surowca, umożliwił otrzymywanie miękkiej stali zlewnej, ubogiej w węgiel, zajmującej stanowisko pośrednie pomiędzy właściwą stalą twardą a żelazem kowalnym. Nadto żużel, otrzymywany w procesie Thomasa i zawierający do 17% soli kwasu fosforowego, rozpuszczalnych w słabych kwasach, okazał się znakomitą środkiem nawozowym (tomasyna), rywalizującym z superfosfatami.

H. Obok metod Bessemera i Thomasa coraz większe zastosowanie znajduje metoda Siemens-Martina.

Została ona wynaleziona w r. 1865 przez dwóch francuskich przemysłowców braci Martin z Sireuil; polega na stapieniu łomu żelaznego z surowcem. W konstrukcji pieców, wytwarzających dostatecznie wysoką temperaturę, zastosowali Martinowie regeneratory ciepłne, zbudowane w r. 1860 przez braci Wilhelma i Fryderyka Siemens'a.

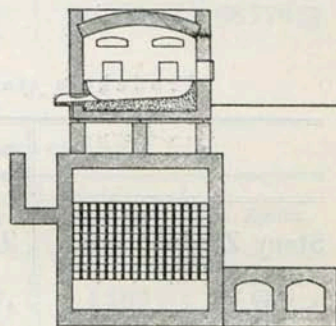
Metoda Martina polega obecnie na tem, że surowiec stapia się w piecu płomiennym, ogrzewanym przez spalanie gazu generatorowego. Zarówno gaz w regeneratorach Siemens'a, wyzyskujących ciepło gazów odlotowych (spalin), jak i powietrze, potrzebne do spalania, ogrzewane są poprzednio do wysokiej temperatury. Do stopionego surowca dodaje się wielkie ilości odpadków stali oraz łomu żelaznego. Proces fabrykacji kończy się zazwyczaj nawęglaniem, osiąganiem przez dodawanie odpowiedniej ilości surowca zwierciadlanego (manganowego). Proces trwa dość długo, około 6 godzin, i dlatego można po dokonaniu analiz chemicznych i przez dodanie odpowiednich składników otrzymać produkt bardzo jednolity o pożądanych własnościach.

Proces Martina prowadzi się w piecach z wyprawą kwaśną lub zasadową; metodą tą można zatem przerabiać na stal zarówno surowiec, obfitujący w krzem, jak i surowiec fosforowy.

Opisane wyżej metody fabrykacji stali metodami Bessemera, Thomasa i Martina uzupełniają się wzajemnie. Metodami Bessemera i Thomasa produkuje się masowo stal zlewną, służącą do wyrobu szyn, podkładów i dźwigarów, metodą Martina przerabia się stare żelaztwo na wyższe gatunki stali narzędziowej i t. p.

1. Statystyka. Obraz rozpowszechnienia tych trzech metod w światowej produkcji stali daje następująca tablica danych statystycznych, dotycząca produkcji stali w r. 1909 w kilku najważniejszych państwach (tabl. 104).

Z zestawienia tego wynika przedewszystkiem, że thomasowski sposób fabrykacji stali rozwinął się najbardziej w Niemczech i we Francji, — w państwach, przerabiających olbrzymie



Rys. 175.
Piec Siemens'a i Martina.

złoża minety lotaryńskiej. Następnie z zestawienia tego wynika, że martinowska metoda fabrykacji stali, aczkolwiek uciążliwa i kosztowniejsza, wzięła jednakże górę nad metodą bessemerowską.

Wreszcie ogólny obraz rozwoju hutnictwa żelaza i stali, a w związku z tem i kolejnictwa w ciągu ubiegłego stulecia, dają nam następujące dane statystyczne (tablice 105, 106, 107, 108, 109).

TABLICA 104.
Produkcja stali w r. 1909 w tysiącach tonn.

	Bessemerowskiej kwaśnej zasad.	Martinowskiej kwaśnej zasad.	Tyglowej	Razem
Stany Zjednoczone .	9 331 —	1 076 13 427	130	23 954
Niemcy	151 7 517	312 3 967	102	12 049
Anglja	1 100 633	4 148	—	5 881
Francja	111 1 853	1 079	26	3 069
Rosja	458	2 156	—	2 614
Austrja	45 237	1 655 —	25	1 962
Belgja	1 070	127	—	1 197
Razem	22 506	27 937	283	50 726

TABLICA 105.
Rozwój światowej produkcji żelaza w tysiącach tonn.

R o k	surowiec	stal	długość linii kolejowych w kilometrach
1800	825	—	—
1850	4 750	8,5	38 568
1860	7 400	200	108 012
1870	11 900	700	209 782
1880	17 950	4 774	372 429
1890	27 150	12 231	617 285
1900	40 088	27 131	790 125
1905	54 984	43 920	905 886
1909	61 000	52 529	—

TABLICA 106.

⊗ Produkcja rudy żelaznej w tysiącach tonn.

R o k	Prod. świat.	Anglja	Niemcy	Francja	St. Zjedn.
1900	90 104	14 253	12 793	5 448	27 994
1913	172 994	16 253	28 608	21 918	62 972
1920	120 091	12 910	6 362	13 846	68 686
1926	154 500	4 160	4 793	39 228	68 776 ⊗

TABLICA 107.

⊗ Produkcja żelaza w tysiącach tonn.

R o k	Prod. świat.	Anglja	Niemcy	Francja	St. Zjedn.
1870	12 150	6 060	1 390	1 180	1 690
1900	41 000	9 050	8 530	2 710	14 090
1910	66 350	10 170	14 790	4 040	27 740
1913	79 900	10 425	16 760	5 207	31 462
1920	63 900	8 163	7 044	3 433	37 517
1925	77 000	6 366	10 174	8 471	37 288
1928	86 500	6 700	11 700	10 000	88 700
1930	80 100	6 300	9 700	11 900	32 300 ⊗

TABLICA 108.

⊗ Produkcja stali w tysiącach tonn.

R o k	Prod. świat.	Anglja	Niemcy	Francja	St. Zjedn.
1870	673	280	170	—	70
1900	28 342	5 130	6 640	1 560	10 350
1910	60 200	6 480	13 700	3 390	26 510
1913	77 500	7 787	17 600	4 687	31 802
1920	73 000	9 212	9 278	3 050	42 807
1925	90 700	7 516	12 200	7 415	46 120
1928	106 000	8 500	14 300	9 300	52 000
1930	95 500	7 700	11 500	11 400	41 400 ⊗

TABLICA 109.

⊗ Produkcja górnicza i hutnicza żelaza w Polsce.

P r o d u k t y	1913	1926	1927	1928	1929	1930	1931
	w t y s i ą c a c h t o n n						
Ruda żelazna. . .	493	317	546	699	660	477	285
Surowiec żelazny .	1 055	327	618	684	704	478	347
Stal	1 677	788	1 244	1 438	1 377	1 238	1 037 ⊗

Zasoby rud żelaznych w Europie, występujące na terenach, dokładniej zbadanych pod względem geologicznym, przedstawiają się w sposób następujący:

Zasoby aktualne rud żelaznych, wyrażone w milionach tonn
żelaza wolnego:

w Niemczech — 1270	w Rosji — 387
w Francji — 1140	w Hiszpanji — 349
w Szwecji — 740	w Austrii — 103
w Anglii — 455	w Polsce — 90

Wynika stąd, że Polska należy do państw najuboższych w rudy żelazne. Posiadamy ponadto tylko rudy niskoprocen-
towe, wymagające dodatku rud wysokoprocenowych, które
możnaby sprowadzać ze Szwecji, albo z Nizy Dnieprowego.

4. STOPY ŻELAZA Z WĘGLEM.

A. *Równowaga fazowa w układach: żelazo + węgiel.* Stopy
żelaza z węglem stanowią podstawę całej metalurgji żelaza
i stali. Chcąc przeto zrozumieć, czym jest właściwie żelazo
kowalne oraz stal zwykła i hartowana, należy zapoznać się
przynajmniej w najogólniejszych zarysach ze stanami równo-
wag fazowych, występujących w tych układach, jak również
z budową mikroskopową tych układów.

Wyniki dotychczasowych badań nad równowagą fazową sto-
pów żelaza z węglem wyraża schematycznie załączony poniżej
wykres (rys. 176). Z wykresu tego wynika, że z ciekłych roztworów
węgla w żelazie, zawierających od 0 do 4% C wydziela się pod-
czas ich krzepnięcia nie czyste żelazo, t. j. γ -ferryt, lecz stałe
roztwory cementytu w γ -ferrycie, czyli kryształy mieszane,