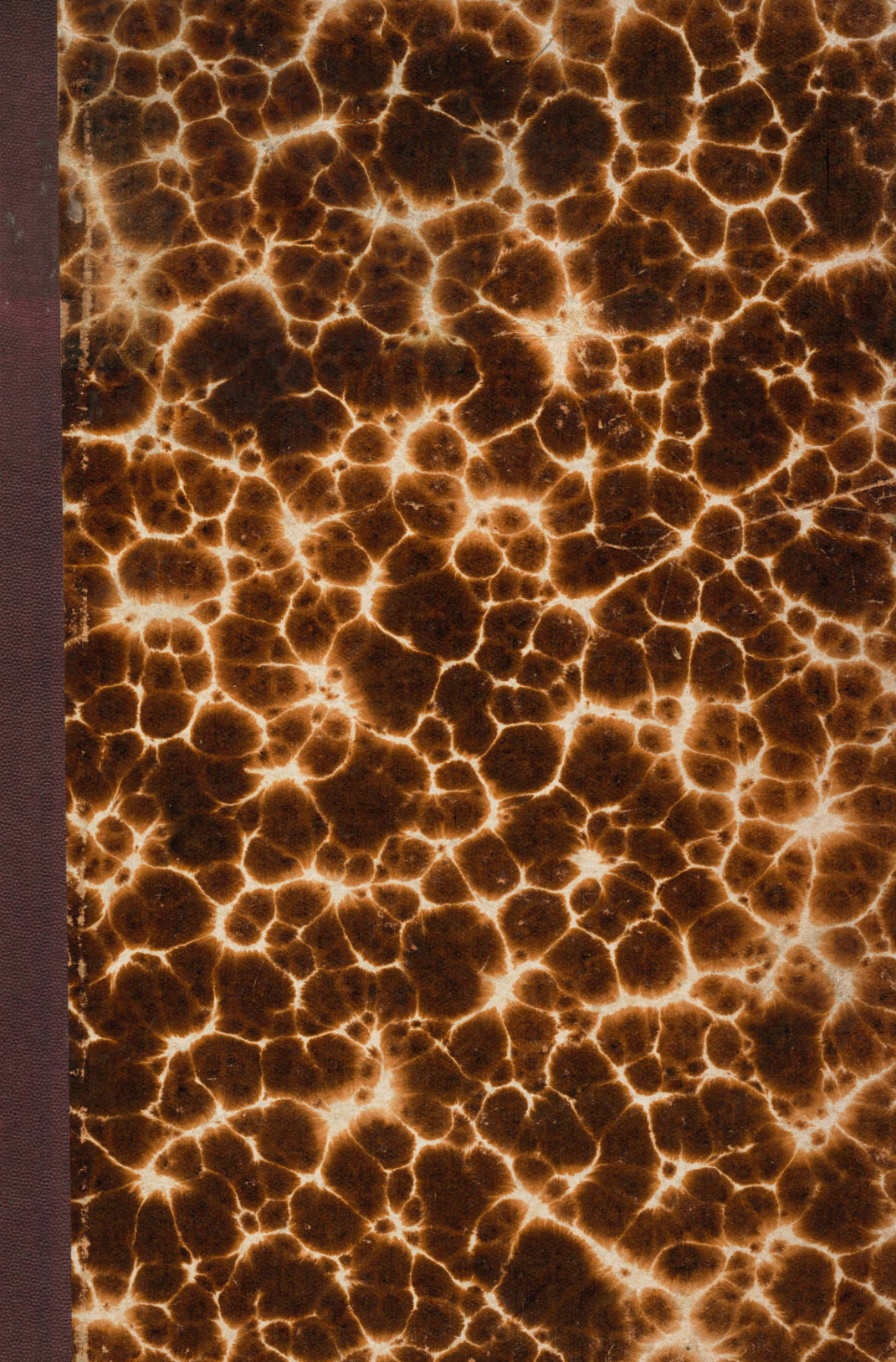




TERMIN ZWROTU

10 WRZ. 1997

Mod 306988

116984

105 - T

WSTĘP

1013

HISTORIA ŻELAZA.

u kpowy karcie 39916 A 103

BIBLIOTEKA DZIEŁ TECHNICZNYCH. TOM II.

KOMITET REDAKCYJNY P. P.: H. CZOPOWSKI, K. DREWNOWSKI,
H. KORWIN-KRUKOWSKI, F. KUCHARZEWSKI, S. MANDUK,
S. TWARDOWSKI i C. WITOSZYŃSKI

HENRYK KORWIN-KRUKOWSKI,
INŻYNIER GÓRNICZY, DOCENT POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ.

XII.3 -

W S T Ę P

DO

HUTNICTWA ŻELAZA.

Z ZAPOMOGI KASY POMOCY DLA OSÓB PRACUJĄCYCH
NA POLU NAUKOWEM IM. D-ra JÓZEFA MIANOWSKIEGO,
WYDALI W IM. KOMITETU S. MANDUK I S. TWARDOWSKI.

WARSZAWA.
DRUK RUBIESZEWSKIEGO I WROTNOWSKIEGO.
1918.

*Zapisano do inwentarza
st. 41 poz. 18.*

„Geprüft und auch für die Ausfuhr freigegeben“,
Warschau den. 19. 2. 1918. T. № 9095. Dr. № 455.



II 115519 / N2B 18789

BIBLIOTEKA GŁÓWNA AGH



1000158255

SPIS RZECZY.

Słowo wstępne.

	<i>Str.</i>
Zamiast przedmowy.	1
Rodzaje żelaza.	2
Historia.	5

1. Wyrób surowca.

Skład chemiczny surowca i jego własności	15
Wielki piec	21
Paliwo	24
Rudy żelazne.	31
Przygotowanie rudy	36
Procesy chemiczne, zachodzące w wielkim piecu	42
Żuźle wielkopiecowe	49
Powietrze	56
Ogrzewanie powietrza	57
Osuszanie powietrza	60
Gazy wylotowe wielkiego pieca	61
Oczyszczanie gazów	64
Zasilanie pieca i chwytywanie gazów	69
Budowa wielkiego pieca	77
Wymiary wielkiego pieca	83
Prowadzenie wielkiego pieca	87
Zaburzenia w wielkim piecu	93
Bilans wielkiego pieca	96

2. Wyrób żelaza kowalnego.

Własności żelaza kowalnego	103
Świeżenie surowca	108
Sposób pudlarski	109
Stal	115
Sposób bessemerowski otrzymywania stali	118

	<i>Str.</i>
Metoda tomasowska	125
Sposób martenowski	128
Generatory	130
Piece martenowskie	133
Procesy chemiczne, zachodzące w piecu martenowskim . .	138
Prowadzenie pieców martenowskich	143
Odlewanie stali w bloki	148
Mieszalnik.	154
Bilans pieca martenowskiego	157
Stal tyglowa	160
Stal elektryczna	164

3. Walcownictwo.

Zasady ogólne	175
Walcarki	180
Kalibrowanie walców	187
Walcownia	192
Piece grzewcze	199

SPIS RYSUNKÓW.

	<i>Str.</i>
1. Dymarka katalońska	7
2. Dymarka na Madagaskarze	7
3. Dymarka bergamska.	8
4. Fryszerka.	9
5. Kształty wewnętrzne wielkich pieców	22
6. Wielkie piece współczesne	23
7. Oddział wielkopiecowy w przekroju	tablica
8. Piec koksowy ulowy	28
9. Piec koksowy systemu Dr. Otta	30
10. Łamacz Blake'a	37
11. Piec do prażenia rudy, opalany gazem wielkopiecowym	38
12. Piec do prażenia rudy, opalany miałem węglowym	39
13. Sortownik magnetyczny Gröndalla	40
14. Sortownik do magnetycznego zubożania rudy na mokro	40
15. Piec obrotowy do aglomerowania rudy	41
16. Widok ogólny pieca obrotowego do aglomerowania rudy.	42
17. Ogrzewacz powietrza Cowpera	58
18. Połączenie przewodów powietrznych	60
19. Oddzielacz pyłu	65
20. Płuczka-chłodnica dla gazów	65
21. Przegrody z listew syst. Zschocke	66
22. Oddzielacz pyłu ślimakowy	66
23. Dezynegrator-płuczka Theisena	67
24. Filtrowy do gazów syst. Halberger-Betha	68
25. Plan fabryki wielkopiecowej	70
26. Zasięki do rudy i koksu	72
27. Stożek Parry'ego	73
28. Dzwon Langena	74
29. Przyrząd Van Hoffa	75
30. Podwójny stożek Parry'ego	76
31. Kosz zasilający.	76
32. Chłodzenie spadku	79
33. Dolna część wielkiego pieca.	79
34. Gar w przekrojach: pionowym, poziomym oraz jego widok z przodu	80
35. Skrzynie chłodzące	81

36. Dysza	82
37. Oprawa formy powietrznej i żuźlowej	83
38. Maszyna Uehlinga do odlewania gęsi	90
39. Maszyna niemiecka do odlewania gęsi.	91 i 92
40. Kryształ żelaza	104
41. Budowa żelaza dendrytyczna	105
42. Budowa żelaza: włóknista, ziarnista i muszlowa	105
43. Piec pudlarski	110
44. Fabryka pudlarska	114
45. Żelazo pudlarskie pod mikroskopem	114
46. Blok stali z jamą usadową	116
47. Przekrój szyny.	116
48. Przekrój bloka z pęcherzami.	117
49. Konwertor Bessemera	119
50. Przekrój konwertora bessemerowskiego	120
51. Przekrój oddziału bessemerowskiego	125
52. Generator z rusztem obrotowym	132
53. Piec Siemens'a	134
54. Zasłona pieca martenowskiego	135
55. Zawór rozdzielczy	136
56. Piec martenowski przechylny	137
57. Maszyna do ładowania żelaza	144
58. Elektromagnes do żelaztwa	144
59. Plan stalowni martenowskiej	146
60. Przekrój stalowni martenowskiej	147
61. Widok stalowni martenowskiej.	148
62. Formy do bloków.	149
63. Czop w kadzi rozlewniczej	150
64. Płyta z formami	150
65. Forma wyłożona u góry masą	151
66. Forma z nadstawą	151
67. Forma z nadstawą, ogrzewana	152
68. Kokile szwedzkie	152
69. Prasa Harmet'a	153
70. Mieszalnik cylindryczny	155
71. Mieszalnik płaskoogniskowy	156
72. Tygiel	161
73. Ognisko z ciągiem kominowym	162
74. Piec Siemens'a do tygli	162
75. Piec Siemens'a do tygli, bez przedziałów	163
76. Piec Stassano	166
77. Piec Héroult'a	167
78. Piec Girod'a	168
79. Piec Nathusiusa	168
80. Piec Kjellina	170
81. Piec Röchlinga-Rodenhausena	171
82. Rozkład sił przy walcowaniu	175
83. Para, trójka i para podwójna walców	179

	<i>Str.</i>
84. Walcarka wstępna o ruchu zwrotnym	181
85. Walcarka średniowalcująca	182
86. Druciarka	183
87. Walec	183
88. Walce zębate	184
89. Pochwa łącznikowa	184
90. Stojak	184
91. Pazur	185
92. Walcarka uniwersalna	186
93. Wykroje otwarte	187
94. Wykroje zamknięte	187
95. Wykroje do żelaza okrągłego	188
96. Wykroje do żelaza handlowego różnych kształtów	189
97. Wykroje do walcowania szyn tramwajowych	190
98. Wytaczanie bruzd	191
99. Przenośnik bębnowy	192
100. Przenośnik przesuwany	193
101. Piła wahadłowa	194
102. Plan nowoczesnej walcowni amerykańskiej	195
103. Sposób mannesmanowski walcowania rur	198
104. Piec zgrzewny	199
105. Piec żarowy o biegu ciągłym	200
106. Piec podgrzewczy Morgana	201
107. Jamy grzewcze Gjersa	203

OMYŁKI W DRUKU.

<i>Str.</i>	<i>Wiersz</i>	<i>Zamiast</i>	<i>Winno być</i>
20	4 od góry	a № 1	a № 5
44	7 od dołu	w gazie	w garze
46	18 „ „	w górze	w garze
48	17 „ „	topnienia	topienia
110	6 „ „	rys. 52	rys. 53
124	4 „ „	rys. 50	rys. 51
125	5 od góry	rys. 50	rys. 51
139	16 od dołu	teoretycznie tlenu	tlenu, teoretycznie
140	5 „ „	wapna	wapnia
141	1 od góry	przechodzi	CaS przechodzi
158	6 od dołu	73	79
158	5 „ „	1 kg	1 m ³
158	5 „ „	m ³	kg
161	10 od góry	na węgla	nawęgla
176	8 „ „	30'	30 ^o
179	3 od dołu	większą	mniejszą
181	10 „ „	85	84

SŁOWO WSTĘPNE.

Zamiast przedmowy. Hutnictwo, albo metalurgia jestto umiejętność otrzymywania metali z ciał kopalnych lub innych sposobem fabrycznym.

Hutnictwo stanowi dział technologii, która uczy, jak przerabiać materiały małej wartości na bardziej cenne, i jest częścią technologii chemicznej, ponieważ w przeróbce hutniczej przeważną rolę odgrywają procesy chemiczne.

Hutnictwo pokrewne jest chemii, zajmującej się dożywaniem różnych pierwiastków ze związków, lecz tem się od niej różni, że gdy celem chemii jest otrzymywanie ciał w stanie jak najczystszym, hutnictwo dąży do korzystnego wydobywania metali sposobem fabrycznym, oddzielając jedynie ich składniki szkodliwe, ujemnie wpływające na właściwości fizyczne metalu.

Hutnictwo składa się z części ogólnej i działów specjalnych. Ogólna część obejmuje podstawy naukowe i metody praktyczne, stosowane do otrzymywania wszelkich metali, a przede wszystkim technikę wytwarzania i wyzyskiwania ciepła, materiały opałowe, ogniotrwałe, urządzenia mechaniczne i t. d. Hutnictwo specjalne zajmuje się sposobami otrzymywania poszczególnych metali.

Hutnictwo żelaza, inaczej zwane syderurgią, stanowi dział metalurgii specjalnej.

Praca niniejsza została nazwana wstępem do hutnictwa żelaza, ponieważ nie ma na celu wyczerpującego wykładu tego obszernego przedmiotu, lecz treściwe wyłożenie najważniejszych wiadomości i zapoznanie ogólne czytelnika z zasadami i rozwojem metalurgii żelaza w taki sposób, ażeby ułatwić dalsze kształcenie się tym, którzy zechcą się hutnictwu żelaza specjalnie poświęcić. Obszerność przedmiotu wywołuje konieczność daleko idącej specjalizacji. Trudno dziś być specjalistą w całym zakresie hutnictwa żelaznego; możemy więc tylko mieć specjalistów w poszczególnych działach. Tych wszakże obowiązuje poznanie w głównych

zarysach całej umiejętności. Postęp wiedzy metalurgicznej jest tak szybki, że specjalista zmuszony jest nieustannie dopełniać swe wiadomości, udając się do monografii i prac ogłaszanych w fachowych czasopismach peryodycznych. Mam nadzieję, że książka moja potrafi przygotować czytelnika do korzystania z tych źródeł.

Ogólne wiadomości z metalurgii żelaza są niezbędne dla inżynierów mechaników, mających do czynienia z obróbką tego najważniejszego z metali, gdyż dokładna znajomość materiałów wymaga poznania sposobów ich otrzymywania.

Hutnictwo żelaza postępuje naprzód w dwóch kierunkach: przez poznawanie istoty procesów chemicznych, zachodzących przy różnych sposobach postępowania i przez udoskonalenie konstrukcyi hutniczych, obejmujących budowę pieców, maszyn i urządzeń pomocniczych. Pomimo, że od obydwóch kierunków zależą w równym stopniu pomyślnie wyniki gospodarcze w przemyśle metalurgicznym, poświęcam w pracy swojej więcej uwagi stronie chemicznej, aniżeli mechaniczno-technicznej; bardziej szczegółowo omawiam procesy, niż urządzenia i zajmuję się więcej pomysłami, niż szczegółami ich wykonania.

Dzieła traktujące wyczerpująco o hutnictwie żelaza w językach obcych są liczne. Wymieniam tu zaledwie kilka:

Wedding, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde.

Ledebur, Handbuch der Eisenhüttenkunde.

Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute.

Le Verrier, Métallurgie de la fonte.

Gages, Traité de métallurgie du fer.

Lipin, Metalurgia czuguna, żeleza i stali.

W języku polskim mamy tylko trzy dzieła:

1) Osiński Józef Herman ks., Nauka o gatunkach i szukaniu rudy żelaznej, topieniu jej w piecach wielkich, dymarkach i t. d. 1782.

2) Gurtl, Górnictwo i hutnictwo (tłomaczenie), 1883.

3) Anczyc St. prof., Zarys hutnictwa żelaza, stanowiący część dzieła: Wykład technologii metali, 1913.

Rodzaje żelaza. Żelazem w chemii zowie się pierwiastek, oznaczony symbolem Fe, a w mowie potocznej różny materiał, składający się przeważnie z tego pierwiastku, lecz zawierający w sobie rozmaite domieszki, nadające mu szczególne własności, dla których jest cenionym w technice.

Żelazo chemicznie czyste nie ma żadnego zastosowania w przemyśle, a to nie tylko dlatego, że otrzymywanie jego byłoby zbyt kosztownem, lecz również z powodu, iż nie posiada pożądanych zalet mechanicznych: jest bardzo miękkie, mało wytrzymałe i nadzwyczaj trudno topliwe. Wszelkie żelazo używane w przemyśle jest żelazem węglistem, choć może zawierać prócz węgla i inne domieszki.

Z żelaza węglistego wykonać można zarówno garnek lub blachę kuchenną, jak i blachę do krycia dachów lub podkowę, pomimo że w pierwszych dwóch przedmiotach mamy materiał kruchy, mogący być łatwo uszkodzony przez uderzenie, a w ostatnich materiał mniej lub więcej giętki. Z pierwszego materiału możemy wyrabiać różne rzeczy przez roztopienie i odlewanie w formach, z drugiego — za pomocą prasowania lub kucia na gorąco. Pod względem chemicznym różnią się obydwa materiały przede wszystkim mniejszą lub większą zawartością węgla. Stąd mamy pierwszy podział żelaza węglistego na dwa rodzaje: surowiec i żelazo kowalne.

Surowcem nazywa się materiał otrzymywany bezpośrednio z rud żelaznych i służący do wyrobu wszystkich innych gatunków żelaza. Zawiera on w sobie węgla powyżej 2% i prócz tego w mniejszej lub większej ilości inne domieszki, szkodliwe lub pożyteczne. Jest kruchy i łatwo topliwy. Ta ostatnia cecha czyni surowiec materiałem, nadającym się do celów odlewniczych. Ten sam materiał nosi jeszcze nazwę żeliwa, odlewu żelaznego lub żelaza lanego, o ile mu przez odlewanie w formach została nadana pewna postać użyteczna.

Żelazo kowalne (kujne, kowalskie) zawiera w sobie węgla od 0,04 do 1,5%, innych domieszek również znacznie mniej niż surowiec. Topi się ono trudniej, a roztopione ma postać gęstego płynu, jest więc trudniejsze do odlewania w formach. Żelazo kowalne posiada tę własność, że przy wysokiej temperaturze przed roztopieniem przechodzi w stan ciastowaty o wysokiej plastyczności, która czyni je doskonale kowalnym na gorąco. Żelazo kowalne jest spawalne (zgrzewalne), to jest kawałki jego w stanie silnego rozgrzania mogą łączyć się ze sobą pod wpływem ściskania lub uderzania młotem w jedną całość.

Żelazo z zawartością 1,5—2% węgla nie ma zastosowania w przemyśle, gdyż nie posiada żadnych zalet technicznych, cechujących powyższe dwa rodzaje żelaza węglistego. Póki istniał tylko sposób otrzymywania żelaza kowalnego z rud i następnie, kiedy

je otrzymywano z surowca w ogniskach fryszerskich i piecach pudlarskich w stanie ciastowatym, nazywano gatunek miękki wprost żelazem, a gatunek twardy, któremu przez hartowanie można było nadawać jeszcze większą twardość — stalą. Cechami dodatkowymi stali były: znaczna sprężystość, zdolność zatrzymywania w sobie przez czas dłuższy raz wzbudzonych własności magnetycznych i trudniejsza spawalność.

Pod względem chemicznym żelazo było gatunkiem mało węglistym z zawartością od 0,05 do 0,5% węgla, stal zaś posiadała 0,5—1,5% węgla. W ten sposób żelazo węgliste dzielono na trzy rodzaje: surowiec, stal i żelazo.

Po wynalezieniu sposobów otrzymywania żelaza kowalnego w stanie płynnym, inaczej żelaza zlewnego, pierwsze wytwory przedstawiały materiał twardy, źle spawalny, który odpowiednio do dawnej klasyfikacji nazywano stalą, a miejsce wyrobu — stalownią. Obecnie otrzymywać można żelazo zlewne z najmniejszą zawartością węgla, a zatem miększe niż kiedykolwiek, otrzymywane dawnymi sposobami. Materiał ten wyrabiają stalownie.

Utrzymać dawniejszy podział żelaza kowalnego na stal i żelazo, pomimo czynionych z różnych stron usiłowań, okazuje się niemożliwem wobec trudności ustalenia między niemi ilościowej granicy jakiegokolwiek cechy. Każda z własności żelaza kowalnego, jak: wytrzymałość, rozciągliwość, twardość lub hartowność, zmienia się w sposób ciągły, są więc pośrednie gatunki, które tak dobrze można nazwać żelazem twardem, jak stalą miękką. Podział na zasadzie mniejszej lub większej zawartości węgla chyba celu, gdyż od czasu wprowadzenia do żelaza innych prócz węgla pierwiastków, jak: mangan, wolfram, chrom i inne, można otrzymać żelazo mało węgliste, posiadające wszelkie własności, które cechują stal. Twardość, wytrzymałość i rozciągliwość tego samego materiału mogą się zmieniać wskutek obróbki termicznej lub mechanicznej. Tak żelazo ciągnięte, na przykład drut, posiada wytrzymałość większą, aniżeli to samo żelazo w grubej sztabie. Żelazo wyżarzone traci na wytrzymałości, lecz zwiększa swą rozciągliwość, hartowanie zaś działa odwrotnie.

Obecnie nazwa stali, bez bliższego określenia jakimś przymiotnikiem, oznacza żelazo kowalne, otrzymane w stanie płynnym i jest synonimem żelaza zlewnego. Zależnie od sposobu fabrykacji żelaza zlewnego mamy stal bessemerowską, tomasowską, martenowską, tyglową lub elektryczną.

Żelazo kowalne, otrzymywane w stanie ciastowatym, nosi nazwę zgrzewnego i może być fryszerskiem lub pudlarskiem. Żelazem kutolanem nazywa się odlew z surowca, który następnie w postaci gotowego wyrobu, podlegał wyżarzaniu oraz częściowemu odwęgłaniu i przez to nabrał własności, zbliżających go do żelaza kowalnego.

Stal cementowa jestto twardy materiał kowalny, otrzymywany przez nawęglanie miękkiego żelaza kowalnego w stanie stałym.

Stal lana jestto odlew z żelaza kowalnego, posiadającego wytrzymałość większą, aniżeli odlewy z surowca, noszące nazwę żelaza lanego.

Historya. Używanie żelaza sięga czasów najdawniejszych. Najstarsze pomniki piśmiennictwa, jak kroniki Hindusów, Biblia i Homer zawierają wzmianki o żelazie. Wbrew dawnemu mniemaniu, że cywilizacya ludzkości przechodziła kolejno przez okresy: kamienny, bronzowy i żelazny, ustala się coraz bardziej przekonanie, iż żelazo musiało być znane przed bronzem. Że przy poszukiwaniach archeologicznych nie znajdowano zabytków żelaznych, tłumaczy się tem, iż żelazo łatwo się utlenia i, tworząc związki rozpuszczalne, zostaje wchłonięte przez ziemię. Wystarczy paru wieków, aby rdza mogła doszczętnie zniszczyć złe przechowywane żelazo, wiek zaś wykopalisk przedhistorycznych oblicza się na lat tysiące.

Łatwiej możnaby się zgodzić na przypuszczenie, że użycie miedzi poprzedzało poznanie żelaza, gdyż miedź w wielu miejscach występuje w stanie rodzimym, posiada nęcący połysk, ludy więc pierwotne mogły z niej robić użytek. Bronz jest stopem miedzi z cyną. Cyna nie spotyka się w stanie rodzimym. Rudy miedzi i miedź rodzima prawie nigdy nie zawierają domieszek cyny. Ludy więc wytwarzające bronz powinnyby były stać na pewnym stopniu rozwoju, aby móżdż stosować złożone sposoby, jakich wymaga wyrób przedmiotów z bronzu. Zresztą i obecnie spotykamy u ludów pierwotnych w Afryce i w Indyach Wschodnich umiejętność wyrobu żelaza, nigdy zaś bronzu.

Mniemaniem narodów starożytnych żelazem obdarzali ludzkość bogowie, a więc Egipcyanie przypisywali ten dar Ozyrysowi, Grecy — Prometeuszowi, Rzymianie — Wulkanowi, Germanowie — Odynowi, i nie jest wykluczonem, że naprawdę pierwsze żelazo, jakie ludzkość poznać mogła, spadło na ziemię z zaświatów, gdyż rodzime żelazo, z małą domieszką niklu, spotyka się tylko w me-

teorytach. Zawartość niklu w żelazie narzędzia, znalezione go w r. 1837 w piramidzie Cheopsa, pozwala przypuszczać, iż materiały użyte do wyrobu był pochodzenia meteorycznego.

Przypuszczają, iż umiejętność otrzymywania żelaza wprowadzili do Europy Celtowie z Azji, podczas wędrówki narodów na 1600 lat przed Chrystusem, w której umiejętność ta istniała u Hindusów na 5000 lat przed naszą erą i że pierwszymi ogniskami przemysłu żelaznego były osady celtyckie w teraźniejszej Belgii i Anglii

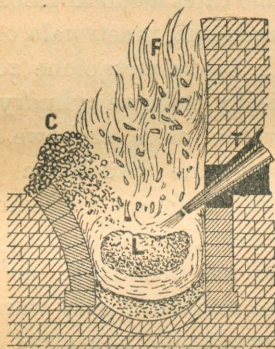
Pierwotny niezłożony sposób otrzymywania żelaza z małemi zmianami przechował się do naszych czasów. Niegdyś w dolach ocembrowanych kamieniem układano rudę na stosach drzewa, albo mieszano ją z węglem drzewnym. Stos zapalano, i ruda pod wpływem wiatru naturalnego lub doprowadzanego za pomocą miechów wydawała z siebie produkt kowalny, którego wartość tylko w małym stopniu zależała od woli wykonawcy. Otrzymywany materiał przedstawiał masę gąbczastą, przepojoną żużlem, którą należało kuć, aby usunąć żużel i nadać jej odpowiednią ścisłość. Przez ponowne zagrzanie i kucie materiały ten stawał się lepszym. Z biegiem czasu dół został zastąpiony przez piec, zwany dymarką.

Rys. 1 przedstawia dymarkę, spotykaną jeszcze w końcu w. XIX w Pirynejach i w niektórych innych krajach, obfitujących w lasy i posiadających czystą i łatwo topliwą rudę. Ognisko, mające około 1 m w boku kwadratu i głębokość od dyszy *T* do trzonu 0,5 m, zasypywano całkowicie węglem i zapalano. Następnie, gdy węgiel dobrze się rozpałił, w miejscu *C* układano rudę, która powoli zsuwała się do ogniska. Pod wpływem redukcyjnego działania tlenku węgla ruda się odtleniała i tworzyła żelazo, które zbierało się na spodzie. Znaczna część tlenku żelaza rudy łączyła się z piaskiem i gliną, zawartemi w rudzie, tworząc żużel. Z chwilą, gdy zebrala się dostateczna ilość żelaza, przystępowano za pomocą drągów i haków żelaznych do zbijania oddzielnych grudek żelaza w jedną całość, zwaną lupą lub wilkiem. Po wyjęciu z ogniska przekuwano lupę pod młotem, poruszanym wodą. Proces trwał około 6 godzin. Jednorazowo otrzymywano do 100 kg żelaza, przyczem zużywano 300 kg węgla. Strata żelaza w żużlu wynosiła 30%.

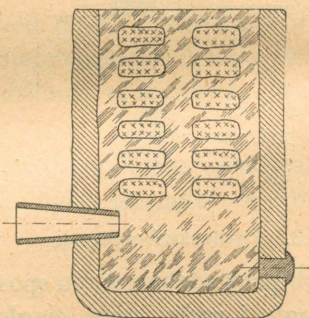
Dymarki pierwotne były niewątpliwie mniej doskonałe. Miechy i młoty były ręczne, rozchód węgla i strata żelaza w żużlu były większe. Tak zwane żużle pogańskie (crajets de Sarrasins), napotykanne w Belgii, nagromadziły się przy procesie dymarskim

w ciągu wieków w tak wielkiej ilości, że w okresie lat 1860—1885 przetopiono je w ilości powyżej miliona tonn w wielkich piecach. Zawartość żelaza w tych żużlach wynosiła, jak w dobrej rudzie, 40 do 60%.

Dotychczas zachował się pierwotny sposób otrzymywania żelaza kowalnego z rudy na Madagaskarze. Piec (rys. 2) przedstawia garnek z gliny o wysokości 75 *cm* i średnicy 45 *cm*. Dysza zrobiona jest z łupka mikowego. Miechy składają się z dwóch walców pionowych o średnicy 22,5 *cm* z prostymi klapkami. Tłoki są poruszane ręcznie z szybkością 20—25 obrotów na minutę. Przewód powietrzny stanowią dwie trzciny bambusowe, po 4 *cm* średnicy. Wypłukana ruda układa się na węglu w pewnej odległości od ścianek. Proces trwa $3\frac{1}{2}$ do 6 godzin. Żużel wypuszcza się przez



Rys. 1. Dymarka katalońska.



Rys. 2. Dymarka na Madagaskarze.

otwór zrobiony przy dnie garnka. Po zatrzymaniu wiatru i ostygnięciu, garnek rozbijają, wyjętą lupe dzielą na dwie części i przekuwają na gotowy wyrób w ognisku kowalskiem. Strata żelaza wynosi 40—50%. Ponieważienne utrzymanie robotnika kosztuje 4 kop., wyroby z tego żelaza sprzedają się tanio.

Już w starożytności otrzymywano w dymarkach prócz żelaza zwykłego wyborowy materiał twardy i hartowny, zwany stalą. Egipcyanie musieli posiadać narzędzia stalowe niezbędne do obróbki granitu. Ludy wschodnie, zwłaszcza Hindusi, wyrabiali stal, znaną pod nazwą damasceńską, i przerabianą na słynną broń. W wiekach średnich poza Hiszpanią, z kąd pochodziły rozgłosne wyroby maurytańskie, Europa otrzymywała niemal całą stal ze Wschodu. Dopiero w w. XII powstaje wyrób stali w Anglii.

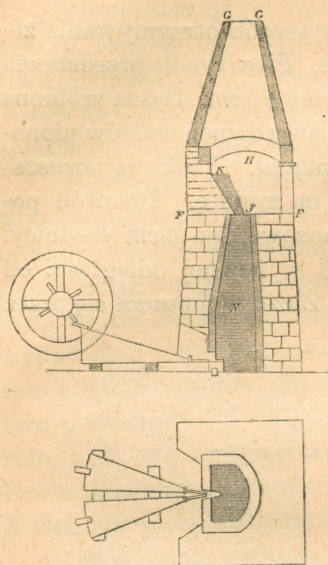
Przez szereg wieków postęp w urządzeniu i prowadzeniu dymarek był nieznaczny. Około w. IX zaczęto budować dymarki wyższe najpierw w Styryi (Noricum rzymskie), a potem w innych

krajach, stopniowo dochodząc do pieców szybowych, czyli takich, u których wysokość znacznie przewyższała wymiary poprzeczne. W XIII stuleciu zaczęto stosować siłę wodną do poruszania miechów i osiągnięto możność dostarczania do dymarek większej ilości powietrza, niezbędnej przy piecach szybowych.

Pomimo całej niedoskonałości takiego urządzenia, przetrwało ono do w. XVIII, kiedy zastąpione zostało przez miechy tłokowe cylindryczne.

Pierwotne piece szybowe, rozmaicie nazywane (Stückofen, fourneau à loup, w Polsce — dymarkami bergamskimi), przedstawia rys. 3.

Wysokość ich dochodziła do 3 m.



Rys. 3. Dymarka bergamska.

Wyrób prowadzono w ten sposób, że piec zasilało z góry warstwami węgla i rudy, przy ciągłym doprowadzaniu powietrza przez dyszę z dołu. Gdy zebrała się dostateczna ilość na spodzie, dyszę odejmowano i przez otwór w piecu wyłamywano lupę. Dzięki dłuższej drodze, jaką przebywała ruda w piecu, oraz dzięki szybowi koncentrującemu ciepło i mniejszej stracie przez promieniowanie zyskiwano znaczną oszczędność na opale, a wskutek zupełnej redukcji otrzymywano większą wydajność żelaza z rud. Dziennie otrzymywano 3 lupy każda po 200 — 300 kg.

Przy sprzyjających warunkach wydatek węgla często nie przewyższał ilości, którą następnie po zaprowadzeniu wielkich pieców zużywano na wytapianie i przeróbkę surowca na żelazo metodą fryszerską. Tem się tłumaczy, dlaczego piece te przetrwać mogły, obok doskonalszych sposobów, w Styryi, Karyntyi i innych krajach aż do wieku XIX.

Prawdopodobnie przypadek i nieumiejętność miarkowania powietrza doprowadziły do tego, że zamiast żelaza kowalnego otrzymywano w tych piecach płynny surowiec. Materyał ten,

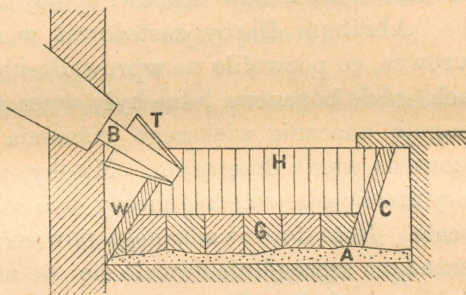
kruchy po zastygnięciu, uważany był za wytwór nieudany i odrzucano go wraz z żużlem jako nieużyteczny. Świadczy o tem stara nazwa niemiecka — Dreckstein i dotychczas zachowana w języku angielskim nazwa dla surowca pig-iron.

Wkrótce jednak zauważono, że wytwór ten, powtórnie przez piec przepuszczony, dawał żelazo lepsze, aniżeli otrzymywane z rudy, i zaczęto prowadzić piec w taki sposób, ażeby naprzemian otrzymywać z rudy surowiec, a następnie z mniejszym niż przedtem dodatkiem węgla przerabiać go na żelazo kowalne.

Przerabianie surowca na żelazo kowalne, zwane świeżeniem, polegało, jak to dziś rozumiemy, na usuwaniu domieszek, zawartych w surowcu przez działanie płomienia utleniającego i wcale nie wymagało tak wysokich pieców, jak przetapianie rudy na surowiec.

Stąd był tylko krok jeden naprzód do zaprowadzenia wielkich pieców, to jest takich, z których nieprzerwanie otrzymywano surowiec, przerabiany następnie w ogniskach fryszerskich, krótko fryszerkami zwanych.

Fryszerki, przedstawiające coś pośredniego między dawnymi dymarkami i ogniskami kowalskimi, były jedynym środkiem świeżenia, aż do wynalezienia metody pudlarskiej; przetrwały one do końca w. XIX w okolicach lesistych Uralu, Szwecyi, Styryi, służąc do wyrobu wyborowego materiału, i gdzieśniedzie zachowały się w drobnym przemyśle dotychczas.



Rys. 4. Fryszerka.

Fryszerka, której jedną z licznych odmian podaje rys. 4, ma kształt skrzyni, wyłożonej płytami z żelaza lanego *W* i *C*. W jednej ze ścian bocznych jest umieszczona dysza *B*, doprowadzająca powietrze. Kotlina *H* zapęlnia się węglem drzewnym. Surowiec umieszczony wyżej topi się i, spadając kroplami przy jednoczesnem utleniającem działaniu powietrza i tlenku żelazowego, zawartego w żużlach, traci krzem i węgiel i zamienia się na żelazo kowalne. Ziarna wyświe-

żonego żelaza, zebrane na spodzie kotliny, zbijają się żelaznymi drągami w bryły, które po wyjęciu przekuwa się, aby oddzielić żużel i nadać im kształt. Na dobę można wyrobić 500—700 kg żelaza, zużywając taką ilość węgla. Strata żelaza w żużlu wynosi 15—25%.

Wielkie piece powstały w w. XV, i od tego czasu przemysł ludowy i rzemieślniczy w zastosowaniu, do otrzymywania żelaza, ustępuje powoli produkcji fabrycznej, którą w porównaniu do produkcji dawnej można nazwać masową. Następuje znaczny wzrost spożycia żelaza, przytem nie tylko kowalnego, jak dotąd, lecz i lannego, gdyż surowiec okazał się doskonałym materiałem odlewniczym, zastępującym w wielu razach dawniej znany lecz kosztowny bronz. Wielki wpływ na rozwój przemysłu żelaznego aż do naszych czasów miały potrzeby wojenne. Działa i pociski zaczęto odlewać już w w. XV. Do użytku prywatnego służyły piece, kotły, garnki, płyty grobowe i t. d.

W przeciągu następnych paru wieków poza rozpowszechnieniem wielkich pieców, wprowadzano różne niezasadnicze udoskonalenia, mające na celu zmniejszenie kosztów produkcji. Dopiero w XVIII stuleciu powstają odkrycia wielkiej wagi, które popchnęły przemysł żelazny na nowe tory. Każdy z następujących po sobie wynalazków stanowi epokę w hutnictwie żelaza.

Abraham Darby zastosował w r. 1730 koks do wytapiania surowca, co pozwoliło na wprowadzenie i rozwój przemysłu w krajach, gdzie bogactwa leśne były wyczerpane. Piece koksowe wymagają znacznie większego ciśnienia powietrza, aniżeli prowadzone na węglu drzewnym. Miechy, poruszane siłą wodną, z natury rzeczy nie wszędzie mogły być stosowane, a innych nie było wcale. Ilość doprowadzanego powietrza zazwyczaj była niedostateczna, co szczególnie dawało się we znaki w porze letniej, kiedy rzeki wysychały. Prowadzenie pieców na koksie początkowo dawało małe korzyści, i wytapiany surowiec był w znacznie gorszym gatunku, co prawdopodobnie było przyczyną, że pierwsze próby wytapiania surowca na koksie, przeprowadzone przez Dudley'a na sto lat przed Darby'm, nie miały praktycznego znaczenia.

W r. 1769 Watt wynalazł maszynę parową, która, zastosowana w r. 1776 do poruszania miechów, mogła dostarczać powietrze pod ciśnieniem niezbędnem dla koksu, niezależnie od warunków miejscowych i pór roku. Pozwoliło to na dowolne zwiększa-

nie wysokości i produkcji wielkich pieców, z czego nieustannie korzystano, aż do ostatnich czasów, wytwarzając produkcję masową, odpowiednią do wzrastającego zapotrzebowania surowca.

Postęp w wyrobie żelaza kowalnego nie szedł równolegle z wyrobem surowca. Ogniska fryszerskie o niezmiernie małej produkcji mogły pracować tylko na węglu drzewnym, którego zużywały wielką ilość. Kształt użytkowy żelaza otrzymywanego z tych pieców był nadawany przez wielokrotne nagrzewanie i kucie. Koszt wyrabianego żelaza sztabowego i blachy, pomimo stosowania młotów poruszanych wodą, był bardzo znaczny, a o masowym wyrobie żelaza, w postaci dzisiejszych kształtowników, nawet marzyć nie było można.

W r. 1784 Henry Cort wynalazł metodę pudlarską świeżenia surowca w piecach płomiennych, do których za opał mógł służyć zarówno węgiel kamienny, jak drzewo. Wytwórczość pieców pudlarskich, aczkolwiek mała w porównaniu do obecnie stosowanych sposobów, wielokrotnie przewyższała dawniejszą. Przy tem postępowaniu otrzymywano mniejszą stratę żelaza w żużlach i dużą oszczędność sił roboczych.

Ten sam wynalazca Cort podał w r. 1792 sposób, polegający na zastąpieniu kucia walcowaniem, przy którym siła ręczna była zamieniona przez siłę mechaniczną. Dzięki temu sposobowi robotnik może dziś więcej wywalcować w ciągu jednej godziny, aniżeli dawniej wykuć w ciągu całego roku.

Wraz z postępem techniki zaznacza się wiek XVIII pogłębieniem wiedzy hutniczej.

Dawniejsza technika gromadziła przepisy, oparte na doświadczeniu. Tradycyjne przekazywanie z pokolenia na pokolenie tajemnic praktycznych stanowiło ogólną podstawę rzemiosł i wszelkiej sztuki technicznej. Majstrowie zazdrośnie strzegli i przechowywali w pamięci znane im sposoby. Starzy w najgłębszej tajemnicy dzielili się posiadaną wiedzą z synami lub ukochanymi uczniami.

W wieku XVI zjawia się literatura hutnicza. Student paryski Nicolas Bourbon, syn właściciela huty, wydaje w r. 1517 poemat łaciński, w którym opisuje wypalanie węgla, przygotowanie rudy, konstrukcję wielkiego pieca i miechów, ładowanie i prowadzenie pieca, przerabianie surowca w innym piecu na żelazo kowalne, posługiwanie się młotem wodnym i t. d. Opis wszelkich czynności przemysłu żelaznego jest dokonany z taką dokładnością

techniczną, że skłoniło to redakcyę *Annales des mines* do ogłoszenia całkowitego tłumaczenia w tomie XII seryi III.

W tymże wieku wyszły: *De la pyrotechnia*, wydana przez włoskiego metalurga-praktyka Vannoccio-Biringuccio w r. 1540 i ostatnio w r. 1914, zaopatrzona uwagami przez prof. Aldo Mieli. *De re metallica*, napisana przez Agricolę (Jerzego Bauera), niemieckiego lekarza i przyrodnika, i wydana po jego śmierci w r. 1557. Agricola jest uważany za ojca umiejętności hutniczej. Praca jego wielokrotnie przedrukowywana i tłumaczona, ostatnio wyszła w tłumaczeniu angielskiem w r. 1912.

Do w. XVIII słaby rozwój chemii, a szczególnie chemii hutniczej nie wystarczał do wyjaśnienia zjawisk złożonych, jakie zachodzą przy procesach wyrobu żelaza. Nie znano składu chemicznego surowca, a więc i zależności cech fizycznych od tego składu. Ważna sprawa istoty żużli nie była poruszana. Panowała dziecinna dla nas dziś teoria flogistonu, według której palenie było wydzielaniem flogistonu z ciała, a redukcya była łączeniem się tegoż z ciałem. Dopiero w drugiej połowie XVIII stulecia szereg chemików z Lavoisier'em na czele stworzyli chemię nowożytną i dali podstawę do naukowego tłumaczenia zjawisk chemicznych, zachodzących w procesach hutniczych.

W chaos niepowiązanych ze sobą przepisów wdała się nauka w celu przeszacowania ich wartości. Oddzielano rzeczy ważne i zasadnicze od niemających żadnego lub drugorzędne znaczenie. Zastosowano do badań metodę naukową i każde rozumowanie starano się stwierdzić ścisłemi doświadczeniami. Teoria palenia, wynalazek pirometrów, odkrycia nowych pierwiastków wywołały przewrót w nauce i technice hutniczej. Empiryzm ustąpił miejsce metodom, zabezpieczającym powodzenie niezależnie od przypadkowych i miejscowych warunków, różnicy używanych materiałów i t. d.

Połączenie genialnych odkryć uczonych, przeważnie francuskich i wynalazców-praktyków mechaników, najczęściej angielskich, postawiło technikę przemysłu żelaznego na początku XIX wieku na poziomie, o jakim nie marzono w wiekach ubiegłych, i popchnęło dalszy rozwój z ogromnym rozpędem, który nie ustaje aż do chwili obecnej.

W XIX stuleciu zapotrzebowanie żelaza wskutek rozwoju budowy maszyn, dróg żelaznych, żeglugi parowej i potrzeb wojskowych wzrasta w sposób nadzwyczajny, wywołując nowe od-

krycia, mające na celu jednoczesne podniesienie ilości, jakości i taniości wszelkich wytwarzanych materiałów żelaznych.

Wytwórczość żelaza w Anglii, która do końca niemal ubiegłego wieku stała na czele produkcji wszechświatowej, ilustrują liczby następujące:

Wytopiono surowca w r.	1740	17,000 tonn
"	"	"
"	1770	32 000 "
"	"	"
"	1800	156 000 "
"	"	"
"	1913	10 646 000 "
"	"	"

Już jednak w końcu ósmego dziesiątka lat wieku zeszłego Anglia ustąpiła ze swego pierwszeństwa i dziś zajmuje trzecie miejsce po Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

Wynalazki XIX wieku należą do rzeczy, o których obszernej będzie mowa w dalszym ciągu. Tu przytaczamy główniejsze w porządku chronologicznym:

1809. Oberteau we Francji wykazał możność korzystania z ciepła gazów wielkopieczowych. Szerokie zastosowanie tego odkrycia rozpoczęło się od r. 1832 po doświadczeniach Niemca Fabra du Faur'a.
1828. Neilson wprowadza ogrzewane powietrze do wielkich pieców.
1842. Zjawia się pierwszy młot parowy Nasmyth'a.
1855. Sposób Bessemera wyrobu stali.
1856. Piec Siemens'a z regeneracją.
1865. Sposób Martin'a wyrobu stali.
1860. Ogrzewacze Cowpera, dające możność ogrzewania powietrza do 900°.
1879. Sposób Thomasa i Gilchrista defosforyzacji żelaza.
1897. Silnik spalinowy Diesela, pierwszy odpowiadający wymaganiom praktyki.
1898. Elektrometalurgia żelaza. Piec Stassano.

Literatura: Beck L. Die Geschichte des Eisens in technischer und kultur-geschichtlicher Beziehung.

Bielski Zygmunt, inż. Historia żelaza w starożytności. Przegl. Techn. 1904, №№ 31—49.

Łabęcki Hieronim. Górnictwo w Polsce. Warszawa, 1840.

1. Wyrób surowca.

Skład chemiczny surowca i jego własności.

Surowiec jest materiałem żelaznym, zawierającym najwięcej domieszek obcych. Główną domieszką jest węgiel, po nim następuje krzem, mangan, fosfor, siarka i inne.

Węgiel, znajdujący się w surowcu, może być połączony z żelazem chemicznie, tworząc *węglik żelaza* Fe_3C (karbid), rozpuszczalny w żelazie, lub też może stanowić domieszkę mechaniczną. Jeżeli cały węgiel jest połączony chemicznie, mamy surowiec biały. Domieszka mechaniczna węgla nadaje surowcowi barwę mniej lub więcej szarą. Ilość węgla w białym i szarym surowcu może być jednakowa.

To, co w dalszym ciągu powiedziane będzie o surowcu, stosuje się w równej mierze do *żeliwa*, czyli *żelaza lanego*, gdyż nazwy te oznaczają ten sam materiał, tylko w zastosowaniu do celów odlewniczych. Dawniej otrzymywano odlewy wprost z wielkiego pieca, obecnie zaś, po powtórnym przetopieniu surowca, w piecach specjalnych.

W roztopionym surowcu węglik żelaza rozpuszcza się tem lepiej, im wyższą jest temperatura surowca. Przy obniżeniu temperatury część karbidu wydziela się z roztworu nasyconego i wydzielony węglik rozpada się na części składowe: żelazo i węgiel w postaci krystalicznej grafitu, podług wzoru $\text{Fe}_3\text{C} = 3\text{Fe} + \text{C}$. Zjawisko to zachodzić może tak przed skrzepnięciem surowca, jak i po stężeniu. W pierwszym wypadku grafit, jako gatunkowo lżejszy, wypływa na powierzchnię i natychmiast się spala, co daje się łatwo obserwować przy wypuszczaniu surowca z wielkiego pieca: na powierzchni bowiem powstają i giną charakterystyczne desenie przez cały czas, dopóki surowiec nie skrzepnie. Gdy wspomniane wydzielanie grafitu odbywa się bez zetknięcia z powietrzem, na przykład pod warstwą żużla, otrzymujemy powierzchnię pokrytą pianą, albo śniedzią, lub też ciemne płatki grafitu, niekiedy

w znacznej ilości. Spostrzega się to również przy zetknięciu przesyconego węglem surowca z zimnemi ściankami form, do których się odlewa. Takie wydzielanie grafitu zachodzi przy zawartości węgla w roztopionym surowcu powyżej 4,2%; jeżeli zaś surowiec zawiera krzem, to i przy mniejszej zawartości węgla powstaje to samo zjawisko.

W chwili skrzepnięcia surowca (1130° C.) karbid pozostaje rozpuszczonym w żelazie, tworząc tak zwany roztwór stały. Największa ilość węgla, jaką zawierać może surowiec w stanie stałym, wynosi 4,2%, gdy w stanie płynnym zawartość węgla dochodzić może do 6,7%. Przy dalszem oziębieniu surowca, już po skrzepnięciu, węgiel wydziela się w dalszym ciągu z roztworu stałego i rozkłada się na żelazo i grafit. Grafit, nie mogąc wypłynąć na powierzchnię, rozmieszcza się między cząsteczkami żelaza w postaci różnej wielkości kryształów i zabarwia surowiec na szaro. Przyczyną rozkładu karbidu jest wysoka temperatura. Karbid w stanie wolnym, to jest nierozpuszczony w żelazie, istnieć może tylko przy stosunkowo niskiej temperaturze (poniżej 900° C.).

Powolne oziębienie sprzyja wydzielaniu grafitu z roztworu stałego, a więc otrzymywaniu *surowca szarego*. Jeżeli zaś surowiec będzie ochładzany raptownie przez polewanie wodą, lub przez odlewanie do formy metalowej, stanowiącej dobry przewodnik ciepła, wtedy karbid nie zdąży się rozłożyć i powstaje surowiec biały. Niekiedy w ten sposób otrzymuje się surowiec szary, pokryty mniej lub więcej cienką białą skórka na powierzchni; jest to tak zwany odlew żelazny zahartowany, zewnątrz twardy, w środku miękki.

W żelazie węglistym znajdować się mogą trzy składniki: żelazo czyste, karbid i węgiel. Przekonać się można o tem naocznie za pomocą badań metalograficznych. Metoda metalograficzna polega na doskonałem wygładzaniu powierzchni metalowej i trawieniu jej zapomocą rozmaitych odczynników, które działają na każdy składnik inaczej, wskutek czego na powierzchni powstaje rysunek, ujawniający te składniki. Zastosowanie do badań mikroskopu i fotografii pozwoliło poznać strukturę żelaza węglistego ¹⁾.

Żelazo czyste, jako składnik w żelazie węglistem, noszące nazwę ferrytu, jest ciałem miękkim. Karbid, inaczej cementyt,

¹⁾ Patrz: Anczyk Stanisław, dr. „Badania metalograficzne w zastosowaniu fabrycznem”. Warszawa, 1917.

jest składnikiem o wielkiej twardości. Cechą główną węgla jest jego kruchość. Pamiętając o tem, łatwo sobie wytłumaczyć różne właściwości żelaza węglistego i zjawiska, jakie zachodzą w surowcu przy zmianie w jego składnikach pod wpływem termicznym lub przez obecność innych prócz węgla domieszek.

Wytrzymałość surowca zależy od postaci, w jakiej znajduje się w nim węgiel. Surowiec szary jest mniej wytrzymały od białego, gdyż w nim cząsteczki wisnego żelaza są przedzielone kruchym grafitem. Im większa jest zawartość grafitu, tem wytrzymałość jest mniejsza. Surowiec biały jest twardszy i trudniej obrabialny od szarego.

Surowiec szary posiada własność szczególną zwiększania swej objętości przy krzepnięciu. Przyczyną tego jest wydzielanie węgla z karbidu. Wskutek tego surowiec w stanie stałym pływa na surowcu roztopionym, jak lód na wodzie. Ta własność połączona z rzadkością czyni surowiec szary doskonałym materiałem odlewniczym, dokładnie wypełniającym formy. Skurcz jego, czyli zmniejszenie linijne wymiarów, od chwili, kiedy tężeje, aż do czasu wyjęcia z formy wynosi 0,96 — 1,2%.

Surowiec biały w skutek swej gęstości, dużego skurczu (około 2%) i trudnej obróbki mechanicznej nie nadaje się do odlewów i służy przeważnie do przeróbki na inne rodzaje żelaza.

Jeżeli surowiec biały o pewnym składzie będzie żarzony przez czas dłuższy bez dostępu powietrza przy temperaturze 700 — 1000°, nastąpi rozkład karbidu, lecz powstający w tym wypadku węgiel wystąpi nie w postaci grafitu krystalicznego, lecz bezpostaciowo w ziarnkach i proszku, otoczony czystym żelazem. Ten węgiel nazywa się *węgłem żarzenia*. Surowiec po wydzieleniu go nabiera pewnych cech, zbliżających go do żelaza kowalnego. Wyrób zaś taki nosi nazwę *żelaza kutolanego*.

Punkt topliwości surowca szarego i białego jest mniej więcej jednakowy i zależy od ilości zawartego w nim węgla i innych domieszek (1000 — 1300° C.). Surowiec biały topi się jednak łatwiej, gdyż posiada ciepło właściwe mniejsze niż szary i przed roztopieniem surowiec szary powinien przejść w biały. Jeżeli przetapiać będziemy surowiec biały razem z szarym, pierwszy prędzej przechodzi w stan płynny i często spływa do kotliny, niezmieszany z drugim.

Surowcem *pstrym*, albo *połowicznym*, nazywamy gatunek pośredni między szarym i białym. W złomie jego możemy wy-



rażnie odróżnić obydwaj rodzaje surowca, w różny sposób zmieszane ze sobą.

Następną po węglu, stałą i ważną przymieszką w surowcu jest *krzem*, który wchodzi w połączenie z żelazem, tworząc krzemek żelaza FeSi . Krzem wpływa na rozkład karbidu, i przy zawartości krzemu około 2% nie można wcale otrzymać surowca białego, nawet przy nagłym ostudzeniu. Ze wzrostem zawartości krzemu od 1% do 4% surowiec staje się w złomie coraz bardziej ciemnym i gruboziarnistym. Gdy zawartość krzemu przekroczy 4%, barwa staje się jaśniejszą, budowa zaś drobnoziarnistą. Surowiec z zawartością 5% krzemu jest już w złomie białym, z połyskiem atlasowym. Krzem powoduje zmniejszenie skurczu i utrudnia wydzielenie gazów, rozpuszczonych w surowcu, przez co daje odlew ściślejszy. Zwiększenie zawartości krzemu ponad 1% wywołuje zmniejszenie wytrzymałości; powyżej 3% czyni surowiec bardzo kruchym. Krzem chroni surowiec od wypalania w nim węgla przy powtórnej przetapianiu, gdyż sam łatwiej i przed węglem się utlenia. W surowcu więc odlewniczym domieszka ta jest niezbędną. Surowiec z zawartością krzemu około 2% służyć może do wyrobu stali sposobem *bessemerowskim*. Krzem, spalając się w takim surowcu roztopionym, wytwarza ciepło w ilości dostatecznej do przeprowadzenia procesu. Wobec cennych zalet tej domieszki w wielu wypadkach dążą do otrzymania surowców krzemowych: *odlewniczego* z zawartością do 3,5% i *żelazo-krzemu* około 16%. W ostatnich czasach otrzymuje się żelazo-krzem w piecach elektrycznych z zawartością około 80%.

Mangan występuje w surowcu w związku chemicznym z węglem jako węglik manganu Mn_3C . Działanie jego jest wręcz przeciwne, aniżeli krzemu. Wpływa na tworzenie podwójnego karbidu żelaza i manganu, powodując powstawanie surowca białego. Przy zawartości manganu do 1% wytrzymałość surowca wzrasta, przy większej — surowiec staje się kruchym. Z powodu wielkiego powinowactwa z siarką, mangan służy za środek odsiarczający. Powstaje siarczek manganu MnS , mało rozpuszczalny w żelazie i wskutek tego wypływający na powierzchnię, skąd może być zgarnięty wraz z żużłem. Z tego względu surowce manganowe są bardzo cenione. Surowiec z zawartością 1,5—5% manganu nosi nazwę *promienistego*, gdyż ma w złomie strukturę promienistą, przy 5%—20% nazywa się *zwierciadlistym*, a powyżej tej zawartości do 85% — *żelazo-manganem*.

Fosfor tworzy z żelazem związek chemiczny Fe_3P , rozpuszczalny w żelazie. Przy zawartości 1,25% obniża punkt topliwości surowca do 950°C . i czyni go rzadko płynnym, doskonale nadającym się do odlewów cienkich i artystycznych. Jednocześnie czyni surowiec gruboziarnistym i mało wytrzymałym, szczególnie na uderzenia. Surowiec fosforowy nie nadaje się do odlewu części maszyn i przedmiotów podlegających silnemu rozgrzaniu. Zawartość jego jest szkodliwa w surowcu, przeznaczonym do przeróbki na żelazo kowalne, wszystkimi sposobami, z wyjątkiem metody tomasowskiej. Podobnie jak surowiec ze znaczną zawartością krzemu, stosuje się przy wyrobie stali sposobem Bessemera, surowiec z zawartością fosforu około 2% może być przerabiany na stal sposobem Thomasa.

Siarka w postaci siarczku żelaza FeS rozpuszcza się w żelazie. Czyni surowiec gęsto płynnym już przy zawartości 0,1%, a przy 0,3% — niezdolnym do dokładnego zapełnienia form. Utrudnia wydzielanie grafitu i powoduje powstawanie surowca białego. Zmniejsza wytrzymałość. Ponieważ siarka ma wpływ ujemny i na inne gatunki żelaza, wyrabiane z surowca, domieszka ta jest bezwzględnie szkodliwą. Obecność w surowcu manganu zmniejsza szkodliwe znaczenie siarki.

Arsen wpływa ujemnie na własności surowca, a jest tem szkodliwszy od siarki, że dotychczas nie posiadamy skutecznych sposobów, ażeby go usunąć. Domieszka ta jednak spotyka się w rudach rzadko, więc nie ma takiego znaczenia, jak siarka.

Miedź uważaną była do niedawna za domieszkę szkodliwą, działającą na podobieństwo siarki, tylko w mniejszym stopniu. Obecnie powstało przekonanie, że mała ilość miedzi w surowcu przerabianym na żelazo kowalne jest domieszką pożądaną, gdyż chroni żelazo od szybkiego rdzewienia i zwiększa wytrzymałość. Większe zawartości miedzi w rudzie spotykają się rzadko, więc i surowiec ich nie posiada.

Podział surowca na gatunki bywa rozmaity, zależnie od przyjętej cechy klasyfikacyjnej, którą może być: wygląd złomu, przeznaczenie surowca, sposób wytapiania, czystość ze względu na domieszki szkodliwe i t. d.

Ze względu na wygląd złomu surowiec bywa biały, szary i pstry. Biały może pochodzić z zimnego biegu wielkiego pieca i wtedy jest zanieczyszczony siarką lub przedstawiać wartościowy surowiec promienisty i zwierciadlisty. W surowcu szarym roz-

różniamy pięć numerów: № 1 ma barwę najciemniejszą i ziarno najgrubsze. Z każdym następnym numerem barwa jest jaśniejsza i ziarna drobniejsze. Jednocześnie zmniejsza się zawartość krzemu, którego № 1 posiada powyżej 3%, a № 1 mniej niż 1%.

Ze względu na przeznaczenie surowiec bywa: odlewniczy, bessemerowski, tomasowski, martenowski i specjalny: dla odsiarczania i rozkładu tlenku żelazawego przy wyrobie stali, zawierający znaczną ilość pożytecznych składników, jak mangan, krzem i t. d.

Rozróżniamy surowce wytopione na węglu drzewnym, koksie lub antracycie, na zimnem lub gorącym powietrzu, odlane do piasku lub do form żelaznych. Ostatnie mają gładką powierzchnię i są wolne od przywartego piasku.

Ze względu na czystość mamy surowce hematytowe, wolne od szkodliwych domieszek fosforu, siarki i t. d.

Analizy różnych gatunków surowca.

	C	Si	Mn	P	S
Surowiec szary.					
Hematyt № 1	3,8	3,0	1,01	0,07	0,02
„ № 3	3,6	2,1	0,95	0,08	0,04
Odlewniczy № 1	3,8	3,3	0,85	0,32	0,02
„ № 3	3,6	2,0	0,67	0,51	0,03
Bessemerowski	3,5	2,0	1,6	0,07	0,01
Martenowski	3,1	1,2	1,4	0,13	0,04
Szwedzki na węglu drzewnym	3,3	0,73	0,24	0,03	0,00
Uralski „ „	3,4	1,42	0,68	0,13	0,03
„ na zimnem powietrzu	3,3	0,54	0,73	0,12	0,08
Surowiec biały.					
Do wyrobu żelaza kutolanego	3,0	0,25	0,15	0,02	0,05
Pudlarski	2,8	0,4	1,8	0,13	0,04
Zwierciadlisty	5,4	0,3	9,2	0,1	0,01
Tomasowski	3,2	0,35	2,0	2,0	0,10
Martenowski	3,3	0,6	2,5	0,3	0,08
Żelazo-mangan	7,0	0,5	77,0	0,2	—
Żelazo-krzem	1,2	16,1	1,2	0,18	0,00

Na tablicy powyższej liczby, charakteryzujące poszczególne rodzaje surowców są wydrukowane tłustymi czcionkami. Przy surowcach pudlarskim i martenowskim niema liczb podkreślonych, gdyż do odpowiednich procesów mogą być używane wszelkie rodzaje surowca.

Wytwórczość surowca w różnych państwach w tysiącach tonn.

	1880	1890	1900	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916
Stany Zjednocz. A. P.	3897	9353	14010	27735	24028	30202	31461	23705	30137	40065
Niemcy	2729	4658	8521	14793	15534	17869	19309	14389	11789	
Wielka Brytania . . .	7876	8033	9003	10217	9874	9031	10646	9149	8934	9192
Francya	1725	1962	2714	4032	4426	4871	5311			
Rosya	449	927	2896	3040	3593	4197	4547	4003	3648	
Austro-Węgry	464	965	1312	2010	2044	2476				
Belgia	608	788	1019	1804	2106	2344	2476			
Inne kraje łącznie . .	—	—	—	około	4000	4000				
Królestwo Polskie . .	40	127	298	258	346	398	424			0

Wielki piec.

Piec do wytapiania z rud surowca nazywa się wielkim piecem. Jest to piec szybowy, czyli taki, w którym wymiary poprzeczne są małe w porównaniu do wysokości, a materiały palne i przerabiane są ze sobą pomieszane. Stosowany być może tylko opał twardy.

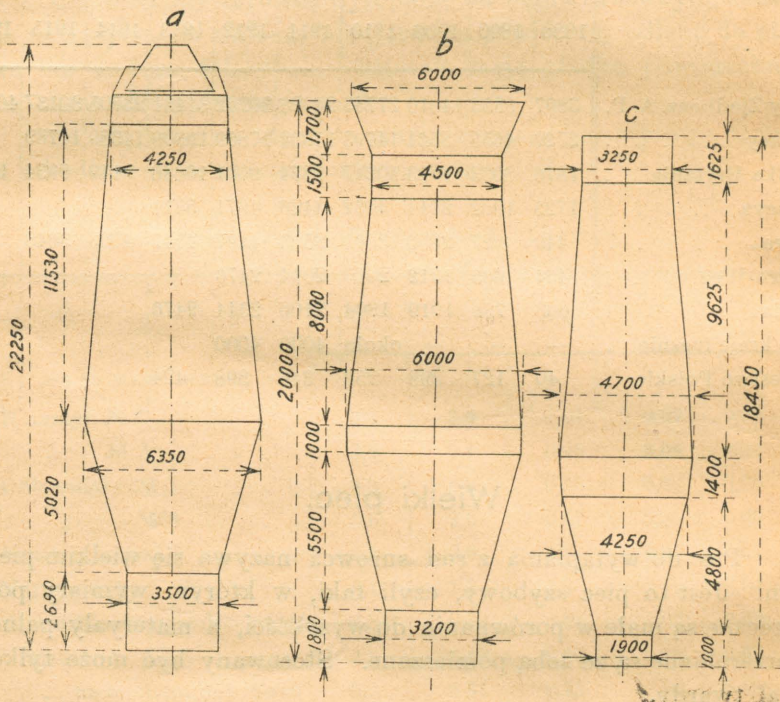
Wewnętrzny kształt wielkich pieców pokazany jest na rys. 5. Dwa stożki ścięte zetknięte są ze sobą szerszymi podstawami, lub też przedziela je mniejsza lub większa przestrzeń walcowa. U dołu i góry piec jest zakończony walcowo.

Piec składa się z trzech części: szybu, spadku i garu. *Szybem* nazywa się górny stożek, aż do wylotu, zwanego paszczą pieca, albo gardzielą, przez którą odbywa się zasilanie pieca materiałami stałymi. Dolny stożek nosi nazwę *spadku*. Część walcowa pod nim nazywa się *garem*, albo *zaprawą* i jest zakończona płaszczyzną, zwaną *spodem*, albo *trzonem*. Ponieważ w garze zbiera się wytopiony surowiec, więc część dolna zaprawy, poniżej

dysz, przez które wtłacza się powietrze, nazywa się *kotlina*. Najszersza część pieca, gdzie stykają się obydwa stożki, jest *przestronem*; nazwę tę nosi również przestrzeń walcowa między stożkami.

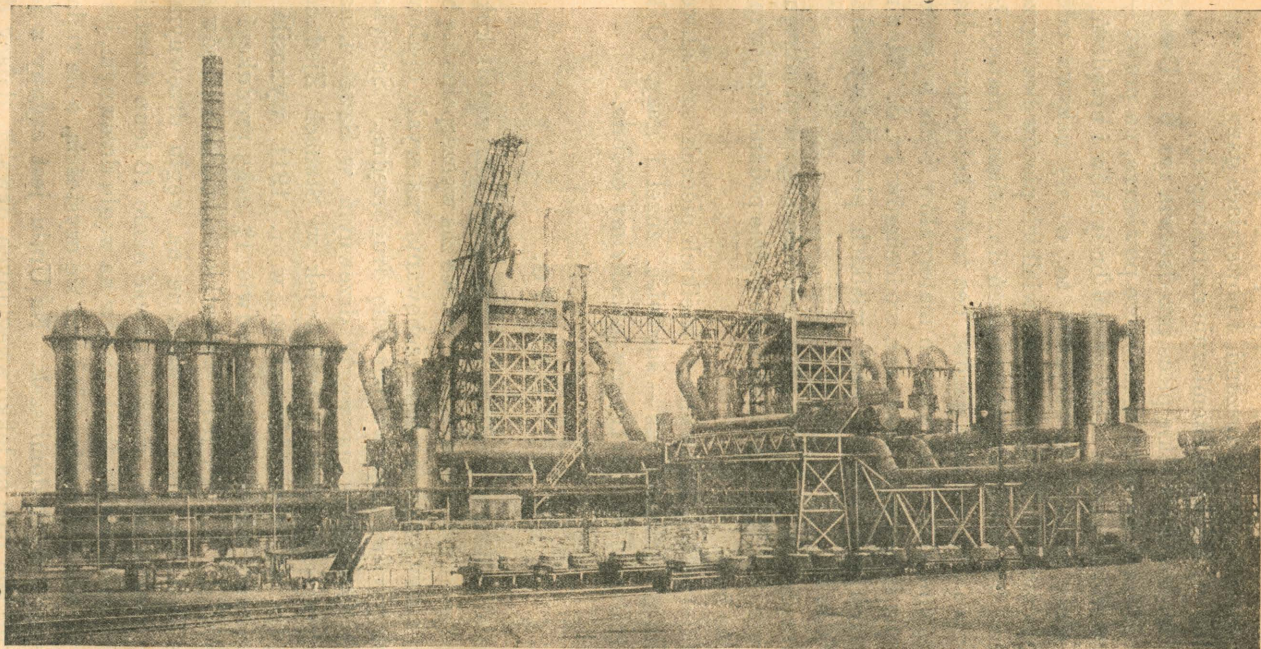
W przekrojach poziomych wielki piec przedstawia koło. Próby nadawania przekroju owalnego nie znalazły szerszego zastosowania i należą do wyjątków z ogólnej reguły.

Kształt wewnętrzny wielkiego pieca, czyli profil, jest uzasadniony ruchem materyałów w piecu. Do paszczy wrzucane są



Rys. 5. Kształty wewnętrzne wielkich pieców.

w pewnych odstępach czasu koks, ruda i topniki, które powoli opuszczają się ku dołowi. W skutek rozszerzania się szybu w kierunku ruchu zmniejsza się tarcie materyałów o ściany pieca, a rozkładanie się ich na coraz większej przestrzeni ułatwia przepływ przez nie gorących gazów, płynących do góry. Jest to tembardziej potrzebne, że materyały, opadające na dół, pod wpływem ciśnienia warstw górnych i wzajemnego tarcia, kruszą się i, tworząc miał, utrudniają krążenie gazów. Poniżej przestronu zmniejsza się objętość materyałów. Ruda odtleniona zamienia się w płynny



Rys. 6. Wielkie piece współczesne.

surowiec i żużel, które spływają po pochylej płaszczyźnie spadku. Węgiel spala się przed dyszami, i powstające gazy unoszą się ku przestronowi, działając chemicznie na materyały.

Współczesne wielkie piece przedstawia rys. 6. Dwa wielkie piece pośrodku; na lewo ogrzewacze powietrza, na prawo — wieże do oczyszczania gazów. Cały zespół budynków i urządzeń, zajmujących dużą przestrzeń, obejmuje to, co się nazywa oddziałem wielkopieczowym. Niema obecnie wielkich pieców bez ogrzewaczy powietrza, bez kosztownych urządzeń do zasilania materyałami, do chwytania i oczyszczania gazów, bez torów kolejowych dla dowozu olbrzymiej ilości zużywanych materyałów i dla wywożenia odpowiedniej ilości wytworów, bez wodociągów i t. d. Moc maszyn wiatrowych, stosowanych przy wielkich piecach wynosi od 400 do 3000 k. m.

Urządzenie wielkiego pieca nowoczesnego w przekroju przedstawia rys. 7. Krótkie objaśnienie będzie podane niżej wraz z planem tejże huty.

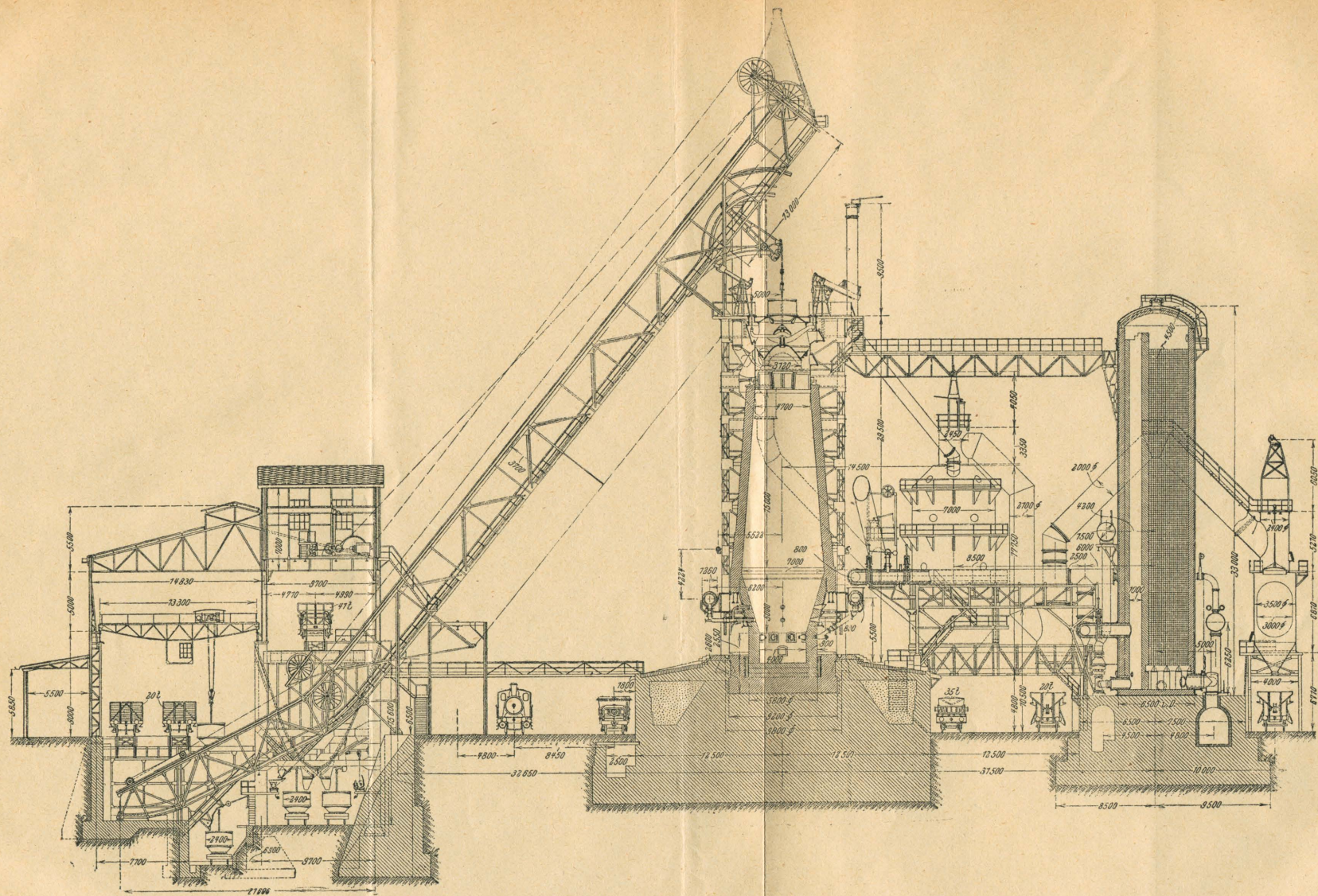
Materyałami surowymi w wielkich piecach są: paliwo, ruda i topniki, produktami zaś — surowiec, żużel i gazy. O każdym z tych materyałów i wytworów pomówimy osobno.

Paliwo.

Jako paliwo w wielkich piecach służy przeważnie koks. Dawniej używany węgiel drzewny, wobec zaś wyczerpania się bogactw leśnych i zwiększonego zapotrzebowania materyału opałowego do wielkich pieców, odgrywa dziś rolę drugorzędną. Spotykamy jeszcze wielkie piece na węglu drzewnym w Szwecyi, na Uralu i w Ameryce Północnej. Aczkolwiek w Stanach Zjednoczonych produkcya na węglu drzewnym w r. 1911 wynosiła jeszcze 278 tys. tonn, stanowiło to zaledwie 1% całej produkcyi surowca w państwie. W roku 1878 wszystkie 38 wielkich pieców w Królestwie Polskiem były prowadzone na węglu drzewnym, przed wojną pozostał jeden, mogący dawać około 10 tonn dziennie.

Prowadzenie wielkich pieców na węglu drzewnym, jest łatwe, i otrzymywany surowiec odznacza się czystością, o ile ruda nie zawiera szkodliwych domieszek. Na Uralu jest czynny z doskonałym skutkiem piec na lekko zwęglonych drwach, dający dziennie 50 — 60 tonn surowca.

Z gatunków węgla kopalnego, bez uprzedniego przygotowa-



Rys. 7. Oddział wielkopiecowy w przekroju.



nia, nadaje się do prowadzenia wielkich pieców niemal jedynie antracyt. Zaczęto go stosować od r. 1836. Zdawałoby się, iż mała zawartość w antracycie gazów czyni go bardzo zbliżonym do koksu i węgla drzewnego. Prowadzenie jednak wielkiego pieca na antracycie jest utrudnione z tego powodu, iż paliwo to rozpryskuje się przy wysokiej temperaturze. Rozpryskiwanie pociąga za sobą zatkanie dróg, któremi krążą gazy, i często zmusza do przedwczesnego zakończenia kampanii. Wielka ścisłość antracytu utrudnia otrzymywanie działającego redukcyjnie tlenku węgla. Pokładane w tem paliwie nadzieje, iż będzie miało szerokie zastosowanie do wytapiania surowca, zawiodły. Do r. 1874 większość pieców w Stanach Zjednoczonych była prowadzona na antracycie. Dziś surowca antracytowego otrzymuje się tam mniej jeszcze, niż na węglu drzewnym. Na południu Rosyi tylko jedna huta, zbudowana przy kopalni antracytu, wytapiała surowiec na tem paliwie. Po blisko trzydziestoletniem kosztownem doświadczeniu, zaczęto dodawać do antracytu częściowo koksu, a w końcu uważano za korzystne przejść na sam koks, pomimo że kosztował on na miejscu trzy razy drożej od antracytu.

W Szkocyi stosuje się do wytapiania surowca pewien gatunek węgla kamiennego (splint coal). Jest to węgiel długopłomienny, nie spiekający się. Po wydzieleniu gazów w górnych warstwach pieca, kawałki tego węgla zachowują pierwotny swój kształt i objętość.

Koks otrzymuje się z węgla kamiennego, podobnie jak węgiel z drzewa, drogą suchej dystylacji. Węgiel, używany do wyrobu koksu powinien posiadać własność spiekania się przy ogrzewaniu. Węgłe, zawierające więcej niż 40% części lotnych, również chude, posiadające poniżej 15%, nie dają koksu, lecz tworzą mało zwartą masę, lub proszek węglowy. Najlepszy koks wydają węgle tłuste, z zawartością 20 — 30% gazów. Nasz węgiel z zagłębia Dąbrowskiego nie nadaje się do koksowania. Ponieważ mieszanie różnych gatunków węgla w celu otrzymywania dobrego koksu już się stosuje, prawdopodobnie zmieszany węgiel dąbrowski z innym kiedyś będzie służył do wyrobu koksu. Rozwiązanie tego zadania tymczasem czeka na polskiego wynalazcę, który wskaże odpowiedni sposób.

Istota procesu koksowania nie jest jeszcze dokładnie zbada-
dana. Węgiel kamienny przedstawia mieszaninę pierwiastku węglowego, substancji smołowej i węglowodorów lotnych w różnym

stosunku. Zdolność spiekania się węgla zdaje się zależeć głównie od obecności smoły, dzięki której węgiel kamienny przy pewnej temperaturze zmienia swoją budowę, mięknie i staje się płynnym. Przy dalszem ogrzewaniu łatwotopliwe części składowe wydzielają się i zamieniają w gazy, pozostała zaś masa węglowa twardnieje i traci swoją plastyczność. Masa węglowa wraz z częściami mineralnymi tworzy rurki włoskowate, których liczne rozgałęzienia nadają spójność otrzymanym bryłom. Przy prażeniu węgla, zawierających znaczną ilość części lotnych, węglowodory wydzielają się za prędko i obficie, więc naruszają spójność między cząsteczkami i pozostawiają masę węglową w postaci proszku. Przy dużej zawartości smoły powstają wzdęcia w warstwie spieczonej i otrzymuje się koks mało ścisły gorszego gatunku. Węgla tłuste z umiarkowaną ilością części lotnych, tak zwane węgle koksowe, przy prażeniu dają masę, z której wydziela się mniej węglowodorów, więc wytwarzają koks ścisły.

Ponieważ inne, prócz koksu, produkty suchej dystylacji węgla kamiennego przedstawiają wysoką wartość, współczesne piece koksowe budują się często tak, ażeby otrzymać te produkty uboczne. Tysiąc kilogramów węgla koksowego może wydać mniej więcej: 750 *kg* koksu, 28 *kg* smoły, 8 *kg* benzolu, 12 *kg* siarczanu amonowego i 300 *m*³ gazów. Gazy posiadają wartość opałową 3500—5000 *cal./m*³. Połowa do trzech ćwierci otrzymywanych gazów zużywa się na opalanie pieców koksowych i wytwarzanie siły mechanicznej dla ich obsługi, reszta może być użyta do innych celów.

Produkty uboczne i nawet gazy koksowe dotychczas w większości wypadków nie są wyzyskiwane, nastąpi to dopiero wówczas, kiedy koks będzie droższy i kiedy huty, nabywające koks, będą u siebie przerabiały węgiel kamienny na koks. W ostatnich latach coraz częściej budują koksownie przy hutach żelaznych i stosują gazy koksowe do opalania pieców martenowskich, lub do innych celów. Do ogrzewania zaś pieców koksowych można używać gazów wielkopieczowych, posiadających mniejszą wartość opałową, lecz wystarczającą do tego użytku. Najszersze stosowanie gazów koksowych spotykamy w Niemczech i w Belgii. W 50-u miastach Westfalii gaz koksowy jest głównym źródłem światła a częściowo i energii mechanicznej. W r. 1907 zapotrzebowanie gazów koksowych przez miasta wynosiło 2 mil. *m*³, w r. 1911 zaś już 84,4 mil. *m*³.

Dobry koks posiada barwę szarą lub srebrzystą. Ma budowę słupiąstą, jest twardy i przy uderzeniu wydaje dźwięk czysty. Te jednak cechy zewnętrzne nie wystarczają, i dla oszacowania koksu stosować trzeba analizę chemiczną.

Punkt zapłnienia koksu wynosi około 700°C . Wartość opałowa wynosi mniej więcej 7000 cpl. i zależy przedewszystkiem od zawartości w nim popiołu i wody. Siarka wpływa ujemnie na wartość koksu. Ilość popiołu waha się w granicach 6—12%, wody 2—10%, siarki 0,25—2,5%.

Zależnie od natury węgla i sposobu koksovania wytrzymałość koksu na ciśnienie wynosi 80—150 kg/cm^2 . Im koks jest mocniejszy, tem jest więcej ceniony, gdyż przy ładowaniu i przewożeniu daje mniej mialu. Ponieważ nawet w wielkich piecach najwyższych obciążenie słupem materiałów w dolnej części nie przekracza 5 kg/cm^2 , większe ma znaczenie ścieralność koksu, niż wytrzymałość na zginięcie.

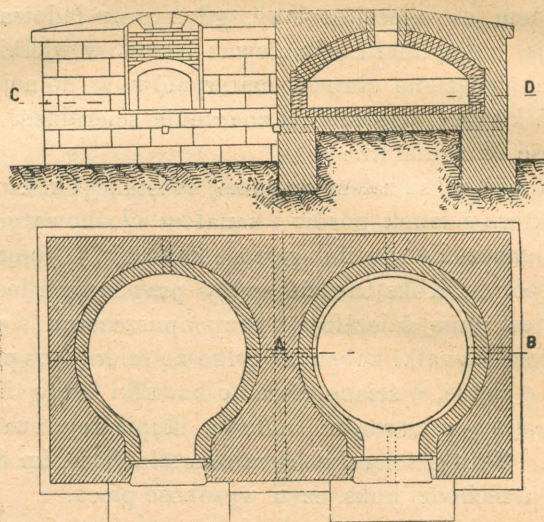
Ścieralność koksu zależy od samej substancji koksowej, a także od charakteru ścianek porów i kanałów włoskowatych w masie koksu. Ma znaczenie również gęstość koksu, t. j. objętość zajmowana przez pory. Koks bardziej gęsty przy innych jednakowych warunkach jest mniej ścieralny. Przy opuszczaniu się w szybie wielkiego pieca kawałki koksu nie tylko się ścierają na powierzchni przez tarcie o siebie, o ścianę pieca, o kawałki rudy i topników, lecz rozpadają się w kierunku budowy słupiąstej, tworząc nowe ilości mialu. Skutki ścieralności są tem silniejsze, im dłuższa jest droga, jaką przechodzi koks, czyli wysokość pieca.

Powstawanie mialu w wielkich piecach jest niepożądane, zaleca się więc przeprowadzanie następujących prób koksu na ścieralność. Do bębna obracającego się z szybkością 10 obrotów na minutę, mającego średnicę 2 m i długość 0,8 m, ładuje się 400 kg grubego koksu i po 15 minutach obracania bada się ilość otrzymanego mialu, przesiewając go przez dwa sита, mające otwory 10 i 4 cm średnicy. Przy dobrym koksie powinno pozostawać na pierwszym sicie nie mniej niż 107 kg, na drugim 164 kg.

Przy znacznej wytrzymałości koks jest porowaty, co stanowi jego zaletę, gdyż powietrze przy spalaniu styka się z nim na większej powierzchni. Porowatość stanowi 30—56% objętości koksu. Metr sześcienny koksu waży 400—550 kg. Koks bardziej porowaty lepiej się nadaje do wielkich pieców, gdyż sprzyja powstawaniu tlenku węgla CO, koks ściśły, tak zwany odlewniczy, z porowatością 30—40%

daje przy spalaniu więcej bezwodnika CO_2 i jest pożądany przy przetapianiu surowca w małych piecach szybowych, zwanych kopalakami. Koks odlewniczy powinien zawierać mniej popiołu i siarki niż stosowany do wielkiego pieca. Otrzymujemy wreszcie słaby koks w gazowniach, jako produkt uboczny przy fabrykacyi gazu świetlnego. Koks ten służy do ogrzewania domowego, ognisk kowalskich i t. d., lecz do wielkich pieców się nie nadaje.

Popiół koksowy składa się przeważnie z krzemionki i z mniejszych ilości glinki, wapna, tlenku żelazawego, magnezyi i połączeń siarki z żelazem i wapniem. Wyjątkowo przeważają w po-



Rys. 8. Piec koksowy ulowy.

piele zasady: CaO i MgO . Ilość popiołu w koksie jest większa niż w węglu, z którego się wyrabia; zawartość zaś siarki jest mniejszą. Uprzednie sortowanie, mycie i drobienie węgla przed koksovaniem zmniejsza ilość domieszek mineralnych i podnosi wartość koksu. W niektórych wypadkach, celem polepszenia fizycznych własności koksu, stosuje się ubijanie węgla przed poddaniem go suchej dystylacyi.

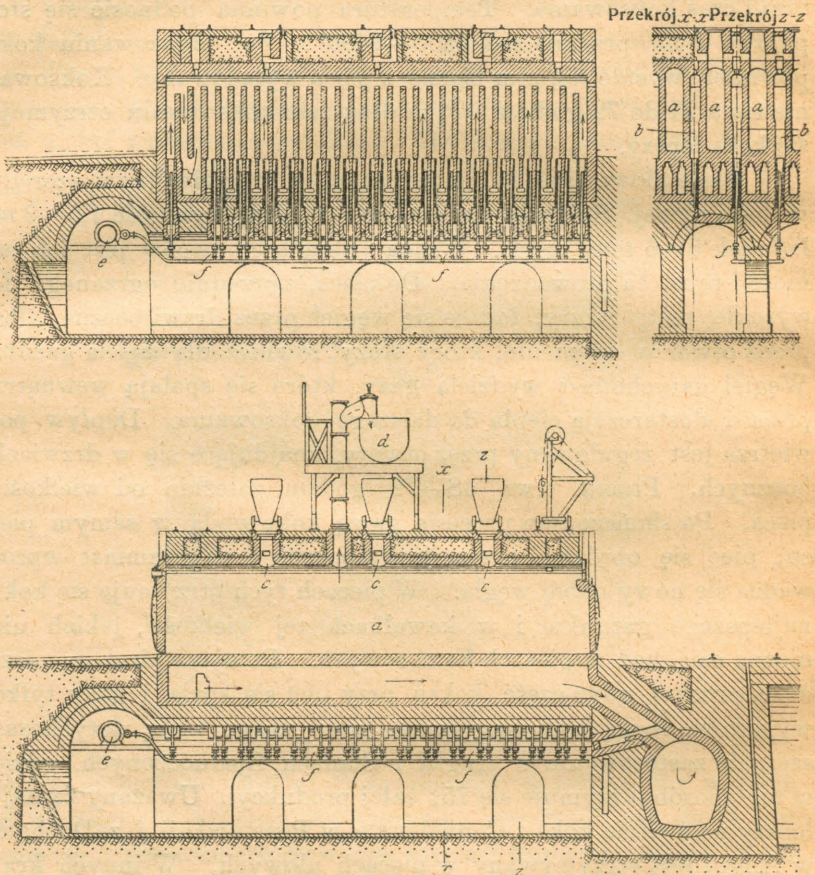
Wyrób koksu odbywa się przy małym dopływie powietrza w tak zwanych piecach ulowych (beehive oven, four à boulanger), lub w piecach retortowych, w których węgiel w hermetycznie zamkniętych przestrzeniach jest ogrzewany zewnątrz przez gazy, otrzymywane podczas suchej dystylacyi z węgla kokowanego.

Kształt i wymiary pieców koksowych są bardzo rozmaite. Otrzymywanie dobrego koksu zależy przedewszystkiem od jakości węgla. Ilość i skład części mineralnych wywiera również wpływ na moc koksu. Ma znaczenie również wielkość kawałków węgla: im są one drobniejsze, tem otrzymuje się koks mocniejszy. Poważną rolę odgrywa samo prowadzenie procesu, a mianowicie temperatura i czas koksowania. Temperatura powinna podnosić się stopniowo i nie przekraczać 1300—1400°. Po odgazowaniu koksu powinien wystać się, nim będzie z pieca wyładowany. Koksowanie trwa 24 do 72 godzin. Przy dłuższem koksowaniu otrzymuje się koks lepszy.

Piece ulowe (rys. 8) umieszczane są w podwójnym szeregu w ilości różnej. Średnica pieca wynosi 3—4 m, wysokość 1,5—2 m, ładunek 3—6 tonn węgla. Wielką zaletą tych pieców jest ich taniść i prostota prowadzenia. Do pieca, uprzednio ogrzanego do wysokiej temperatury, ładuje się węgiel przez drzwi boczne, albo przez otwór w sklepieniu, który służy również dla ujścia gazów. Węgiel natychmiast wydziela gazy, które się spalają wewnątrz pieca i dostarczają ciepła do dalszego koksowania. Dopływ powietrza jest regulowany przez otwory, znajdujące się w drzwiach bocznych. Proces trwa 48—72 godzin, zależnie od wielkości pieca. Po skończonym procesie gaszą koks wodą w samym piecu; piec się opróżnia przez drzwi boczne i natychmiast wprowadza się nowy nabój węgla. W piecach tych otrzymuje się koks najlepszego gatunku i w kawałkach tej wielkości, jakich nie można osiągnąć w piecach komorowych. Pomimo nieekonomiczności procesu, gdyż część koksu przy tem się spala i gazy tylko wyjątkowo mogą być wyzyskane, piece ulowe mają dotychczas szerokie zastosowanie w Anglii i Stanach Zjednoczonych, gdzie w ten sposób otrzymuje się 75% całej produkcji. Uważany za najlepszy na świecie koks z Connellsville w Pensylwanii i z Durham w Anglii jest otrzymywany w piecach ulowych. W innych krajach europejskich wyrób koksu prowadzi się w piecach retortowych różnych systemów.

Rys. 9 podaje urządzenie bardzo rozpowszechnionych pieców w Niemczech systemu dr. Otta. Szereg komór murowanych (retort) *a*, obok siebie położonych, stanowi tak zwaną baterię pieców. W jednym szeregu bywa 60—80 komór. Każda komora ma 10 m długości, 0,5 m szerokości i 2 m wysokości i mieści w sobie 7—8 tonn węgla. Gazy koksowe, uchodzące przy dystylacji z komór, dopły-

wają przez przewody *d*, *e* i *f* do palników bunzenowskich, gdzie mieszają się z powietrzem i zapalają. Gazy spalinowe oddają swe ciepło w przestrzeniach *b*, przedzielających komory, i uchodzą do komina drogą wskazaną przez strzałki. Ładowanie pieców odbywa się z wózków *z* przez otwory *c* w sklepieniach komór. Po



Rys. 9. Piec koksowy systemu dr. Otta.

naładowaniu otwory te zostają szczelnie zamknięte. W sklepieniach znajdują się jeszcze wyloty dla gazów, które wchodzi do wspólnego dla wszystkich komór przewodu *d* i mogą być odprowadzane do zakładu, gdzie dobywane są z nich produkty uboczne. Komory z obu stron czołowych zamykane są hermetycznie drzwiami, otwieranymi do góry. Kiedy koks jest gotów, przez te drzwi

rozżarzony koks wypycha się zapomocą maszyny na pomost, gdzie jest zalewany wodą. Czas koksovania trwa 24—48 godzin. Przyspieszony proces koksovania obniża twardość otrzymywanego koksu.

Literatura: L. Herwegen, Zusammenfassende Darstellung der Kokerei-technik, 1911.

A. Say, La fabrication du coke et les sous-produits de la distillation de la houille, 1912.

O. Simmersbach. Grundlagen der Koks-Chemie, 1914.

Rudy żelazne.

Rudami żelaznymi nazywamy w hutnictwie ciała kopalne o takiej zawartości żelaza, ażeby wytapianie z nich surowca mogło być korzystne.

Zależnie od bogactwa posiadanych złóż w różnych krajach rozmaicie przyjmuje się najmniejszą procentowość, przy której wytapianie surowca można prowadzić z korzyścią. W Stanach Zjednoczonych A. P. przetapiają się przeważnie rudy, zawierające około 60% Fe, w Niemczech średnia zawartość przetapianych rud nie wiele przewyższa 34 procent. Rudami bogatymi nazywają się na ogół rudy z zawartością powyżej 50%, ubogimi — poniżej 35% Fe.

Rudy żelazne pod względem chemicznym są tlenkami, wodorotlenkami, lub węglanami żelaza, z mniejszą lub większą domieszką skały płonnej, składającej się najczęściej z krzemionki, gliny, wapienia, dolomitu i t. d. Rodzaj skały płonnej wpływa na wartość rudy. Dla usunięcia skały podczas procesu wytapiania surowca dodają do rudy pewne ilości topników, które tworzą ze skałą żużel łatwotopliwy. Rudy, mogące się przetapiać bez dodatku topników, nazywają się *samotopliwymi*. Rudy samotopliwe, jak również rudy posiadające taki skład, że zmieszane z innymi rudami, stają się samotopliwe, są bardzo cenione i mogą być z korzyścią przetapiane nawet przy zawartości w nich żelaza poniżej 30%.

Rudy zawierać mogą prócz skały płonnej domieszki szkodliwe lub pożyteczne. Rudy czyste nie zawierają szkodliwych domieszek: jak siarka, fosfor lub arsen.

Mangan, często znajdujący się w rudach żelaznych, jest do-

mieszką pożyteczną, gdyż służy w procesach hutniczych do odsiarczania.

Chrom, tytan, wolfram lub inne pierwiastki zwiększają wartość rudy, o ile ma się na celu otrzymywanie żelaza z zawartością tych ciał, nadających mu pewne specjalne własności.

Ze względu na postać odróżniamy rudę w kawałkach od proszkowatej. Ruda w kawałkach może przedstawiać masę ściśle zbitą, lub porowatą. Rudy o masie zwartej i w postaci proszku przetwarzają się trudniej aniżeli w kawałkach i porowate.

Rudy, z których wydzielenie żelaza jest uciążliwe, nazywają się trudnotopliwymi, w przeciwnym razie — łatwotopliwymi.

Pod względem mineralogicznym rudy przedstawiają gatunki następujące:

Żelaziak magnetyczny (magnetyt) w stanie czystym, jako tlenek żelazawo-żelazowy Fe_3O_4 , zawierać może 72,4%, zwykle zaś 50—70% Fe. Barwę posiada czarną lub stalowo-szarą z połyskiem metalowym. Na porcelanie niepolewanej daje rysę czarną. Przyciąga się magnesem i często sam posiada własności magnetyczne. Budowę ma bardzo zwartą i wskutek tego jest trudnotopliwy. Uprzednie prażenie czyni go łatwiej topliwym. Skała płonna przeważnie natury krzemionkowej składa się z kwarcu, granitu, blendy rogowej i t. d. Często zawiera znaczne domieszki fosforu: czasami tytan. Tworzy olbrzymie złoża w Północnej Szwecyi (Gelliwara), na Uralu (Błagodatk'), na południu Rosyi (Korsak—Mogila) i t. d.

Żelaziak czerwony Fe_2O_3 zawierać może do 70% żelaza, zwykle 50—66%. Przedstawia kilka odmian, posiadających własne nazwy. Bywa barwy czerwonej różnych odcieni, czasami szarej i niebieskiej. Rysę daje zawsze czerwoną. Jest łatwotopliwy i zwykle wolny od szkodliwych domieszek. Skałę płonną stanowi najczęściej krzemionka i glina, czasami wapień. *Błyszczem żelaznym* nazywa się odmiana krystaliczna, barwy szarej o połysku metalowym. Słynna ze swej czystości ruda ta znajduje się w znacznej ilości na wyspie Elbie, w mniejszej ilości często towarzyszy innym odmianom żelaziaka czerwonego. *Hematytem* nazywa się odmiana naciekowa, postaci nerkowatej, mająca budowę włóknistą, lub promienistą, nie zawierającą żadnych zanieczyszczeń. Spotyka się wraz z najbardziej rozpowszechnionym gatunkiem, jakim jest żelaziak czerwony w postaci ziemistej, mniej lub więcej zwartej, kawałkowej lub proszkowej. Słynne są złoża tej rudy

w Cumberlandzie, Krzywym Rogu, na Uralu południowym, w Hiszpanii, Afryce północnej i nad jeziorem Górnem w Ameryce Północnej.

Żelaziak brunatny (limonit) jest wodorotlenkiem żelaza $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Zawiera w stanie czystym 59,9% Fe, zwykle 30—52%. Bywa barwy żółtej, brunatnej aż do czarnej. Rysej daje zawsze żółtą. Jest to gatunek rudy najbardziej rozpowszechnionej, spotykający się we wszystkich formacjach geologicznych, starych i nowych. Jest produktem zwietrzenia żelaziaków czerwonych i spatowych, którym często towarzyszy. Jest łatwotopliwy. Skalę płonną stanowi krzemionka, glina, często wapień i dolomit. Domieszkami szkodliwymi są: siarka, spotykana w pokładach starszych i fosfor w młodszych. Często domieszką jest tlenek manganu. Podobnie jak ruda poprzednia występuje w wielu odmianach, a mianowicie:

Hematyt brunatny ma postać naciekową i budowę włóknistą, podobnie jak hematyt czerwony, i odznacza się czystością. *Zwykły żelaziak brunatny* występuje w postaci ziemistej, mniej lub więcej ściślej, w warstwach lub skupieniach bulwiastych budowy skorupiastej. Tworzy olbrzymie pokłady w Styrii, Algierze, Hiszpanii, Anglii i t.d. Znajdujemy również rudę brunatną często rozprysniętą gwiaździsto w Zagłębiu Dąbrowskim, w pow. Będzińskim i Olkuskim, w gub. Radomskiej i Piotrkowskiej w pokładach kształtu nieprawidłowych lejów o nieznacznej grubości.

Ruda oolitowa przedstawia skupienia ziarn od wielkości prosa do znacznie większej. Na ogół dość uboga, prawie zawsze zawiera fosfor, często w znacznej ilości. W Lotaryngii francuskiej i niemieckiej, również w Luksemburgu, nosi nazwę *minette* i tworzy olbrzymie złoża. Miąższość pokładów wynosi tam nieraz 30—40 metrów; koszty wydobywania są małe, dlatego też pomimo, że zawartość żelaza waha się od 28 do 38%, zaspakaja $\frac{3}{5}$ zapotrzebowania przemysłu niemieckiego i stanowi $\frac{9}{10}$ całej produkcji rudy we Francji. Często bywa samotopliwą.

Ruda bagienna lub *darniowa* należy również do limonitów. Zawiera prawie zawsze fosfor. Spotyka się często, lecz w małych ilościach w nizinach Europy północnej, w Królestwie Polskim i na Polesiu. Obecnie znaczenia przemysłowego nie posiada. Dawniej służyła do wyrobu żelaza w dymarkach.

Żelaziak spatowy (syderyt) jest węglanem żelaza FeCO_3 . W stanie czystym zawiera 48% żelaza, zwykle 30—42%. Jest bar-

dzo ceniony dla swej łatwotopliwości. Słynne złoża *rudy krystalicznej* znajdują się w Styrii (Eisenerz) i w Niemczech (Siegerland). Inną odmianą jest *żelaziak gliniasty* (syderyt ilasty), w którym węglan żelazawy jest ściśle zmieszany z gliną, marglem i piaskiem. Skala płonna nie jest domieszana do rudy, lecz jest nią jakby przepojona. Zawartość żelaza w rudzie ilastej wynosi 25—35%. Często występuje w skupieniach bulwiastych i wtedy nosi nazwę *sferosyderytów*. Olbrzymie złoża znajdują się w Cleveland, mniejsze pokłady — w wielu innych miejscowościach. W Polsce znajduje się w glinach jurajskich w rozległym pasmie Wieluńsko-Krakowskim. Pokłady są cienkie od 0,15 *m* najwyżej do 0,5 *m* grubości, więc wydobywanie kosztuje drogo. Pobieżnie obliczone zapasy sięgają 600 milionów tonn. Zawiera w stanie surowym 27—37% żelaza; po wyprażeniu przez stratę części lotnych zawartość żelaza dochodzi do 40—48% żelaza, przy 1% manganu. Znaczniejsze kopalnie są: Poraj i Dźbów w Częstochowskim i Praszka w Wieluńskim. Podobne rudy ilaste znajdują się w pasie ciągnącym się na wschód od Pilicy przez powiaty. Koński, Kielecki i Opatowski. Znaczniejsze kopalnie znajdują się w okolicach Ostrowca, Niekłania i Suchedniowa.

Jest jeszcze odmiana syderytu — *żelaziak węglisty* (black-band), zawierający 10—25% węgla; może być prażony w celu usunięcia bezwodnika węglowego bez używania paliwa (Cleveland).

Do wytapiania surowca używają się prócz rud pewne produkty i odpadki hutnicze, zawierające dostateczną ilość żelaza. Takimi są: żuźle fryszerskie, pudlarskie, martenowskie, z pieców zgrzewnych, zendra z pod młotów i walców, pył z gazów wielkopieczowych, zgorzyny iskrzyku żelaza (FeS_2), pozostające przy fabrykacji kwasu siarkowego i t. d.

Wobec wielce pożądaney domieszki w rudach manganu, o ile rudy same go nie zawierają, zachodzi potrzeba dodawania do namiaru umyślnie rud manganowych. Rudy manganowe: *pyroluzyt* MnO_2 , *manganit* $\text{Mn}_2\text{H}_2\text{O}_4$, *hausmanit* Mn_3O_4 i inne w znacznych pokładach i wysokiej procentowości znajdują się na Kaukazie, w Indyach Wschodnich i Brazylii, skąd są dostarczane dla potrzeb hutniczych do wszystkich krajów przemysłowych w Europie i Ameryce.

Analizy różnych rud:

	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn ₃ O ₄	MgO	P	S	H ₂ O	CO ₂	C
Magnetyt (Szwecya)	50,78	22,82	6,35	1,15	2,65	5,50	3,85	0,01	0,30	—	—	—
Magnetyt (Ural góra Wysokaja) . . .	80,05		7,97	3,57	0,97	0,57	—	0,02	—	—	—	—
Błyszcz żelazny (Elba)	90,45	—	5,20	1,58	0,12	—	—	0,01	0,01	—	—	—
Żelaziak czerwony ziemisty	83,00	—	5,00	6,53	—	1,50	—	0,06	—	4,20	—	—
Hematyt czerwony	81,71	—	7,10	6,69	2,30	0,79	1,90	—	—	—	—	—
Żelaziak czerwony zwarty	66,00	—	16,80	2,00	4,40	2,50	3,70	—	—	2,80	—	—
Żelaziak czerwony (Bakał na Uralu) .	81,31	—	11,08	1,19	0,48	3,54	0,60	—	—	1,70	—	—
Żelaziak brunatny (Styrya)	75,00	—	3,10	1,30	1,05	4,01	0,23	—	—	15,00	—	—
Syderyt ilasty	—	38,54	28,00	1,82	2,78	0,94	2,22	0,28	—	—	25,41	—
" "	—	47,13	13,30	2,95	2,58	2,20	1,12	0,26	—	—	30,55	—
Żelaziak spatowy	—	50,58	3,12	3,96	2,83	1,93	—	—	0,04	—	37,20	—
Minette	61,26	—	9,87	4,73	14,82	—	—	0,90	—	6,32	—	—
"	49,25	—	23,55	5,75	12,00	0,70	1,20	0,72	0,20	18,60	—	—
Ruda darniowa	56,05	—	16,50	—	—	2,60	—	0,90	—	22,70	—	—
Żelaziak węglowy	—	48,66	1,20	—	1,69	1,21	2,61	0,31	0,05	0,25	33,09	11,32

Statystyka wydobywanej rudy w tysiącach tonn:

	1880	1890	1900	1910	1911	1912	1913
Stany Zjednoczone A. P.	7234	16293	26332	57303	42487	50035	61770
Niemcy	7239	11406	18964	28718	29888	27199	—
Wielka Brytania . . .	18314	14001	14282	15470	15769	14012	15997
Francya	2874	3472	5448	14606	16300	18795	21500
Hiszpania	3565	6065	8676	8667	10044	10111	9861
Szwecya	775	941	2610	5553	6154	6699	—
Rosya	1024	1796	6112	5638	6994	8208	9490
Austro-Węgry	1143	2154	3528	4534	4672	4877	—
Królestwo Polskie . .	172	219	484	129	257	293	306

Ilość wydobywanej rudy nie jest w stosunku prostym do wyta-
pianego surowca. Niemcy i Anglia część potrzebnej im rudy do-
wożą. Francya, Hiszpania i Szwecya znaczną ilość rudy wywożą.

Przygotowanie rudy.

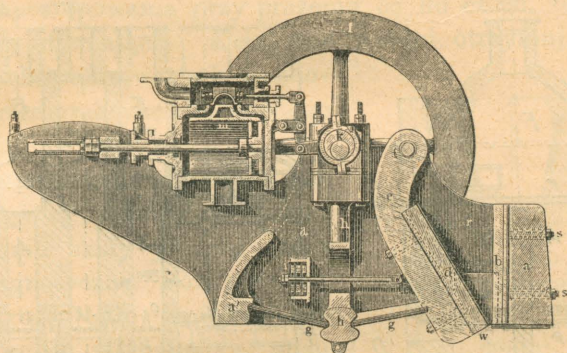
Przed przetapianiem w wielkim piecu ruda często podlega
różnym procesom przygotowawczym, ułatwiającym otrzymywanie
z niej surowca.

Najdawniej stosowanym, a dziś prawie zarzuconem było płuka-
nie rudy w wodzie bieżącej, aby oddzielić od niej przylepioną gli-
nę lub piasek.

Rudy otrzymywane w wielkich bryłach są drobione na
mniejsze kawałki młotami ręcznie, albo maszynowo w tak zwa-
nych łamaczach Blake'a, poruszanych zapomocą kół pasowych
lub przez specjalny silnik parowy (rys. 10). Ruda wrzucana do
do przestrzeni *r* wskutek ruchu miarowego szczęki *c* jest zgnia-
tana i wyrzucana z tej przestrzeni, o ile kawałki stają się mniejsze
od powstającej wolnej przestrzeni *w*. Ruch szczęki odbywa się za-
pomocą mimośrodów *k* i drągów *h* i *g*. Przez otwór w drągu *h*
przechodzi inny drążek połączony ze sprężyną *i*, która ułatwia
ruch powrotny szczęki. Przy drobieniu ręcznym może być jedno-
cześnie oddzielana skała płonna, którą ruda bywa przerosnięta.
Jeden robotnik w ciągu dziesięciu godzin może rozbić młotem

2 do 5 tonn rudy, zależnie od stopnia jej twardości. Łamacz o mocy 5 do 10 koni rozdrabnia na godzinę 5 tonn.

Bardzo ważną i często stosowaną czynnością przygotowawczą jest *prażenie rudy*, polegające na ogrzewaniu jej mniej więcej do czerwoności w lekko utleniającej atmosferze gazów. Przez prażenie ruda traci zawartą w niej wodę i dwutlenek węgla. Czy-



Rys. 10. Łamacz Blake'a.

sty żelaziak spatowy, przechodząc w tlenek żelazowy Fe_2O_3 , traci na wadze 31%, limonit — 14,3% wody. Rudy prażone stają się bogatsze w żelazo i wytrzymują przewóz na dalsze odległości.

Przez prażenie otrzymuje się rudę bardziej porowatą, a przez to łatwiejszą do redukcji. Daje się to szczególnie dostrzegać w magnetytach, które po prażeniu przechodzą z tlenku Fe_3O_4 w tlenek Fe_2O_3 . Prócz tego rudy stają się kruche, co nieraz jest pożytecznem, gdyż ułatwia rozdrabnianie, w innych wypadkach szkodzi, gdyż zwiększa ilość mialu.

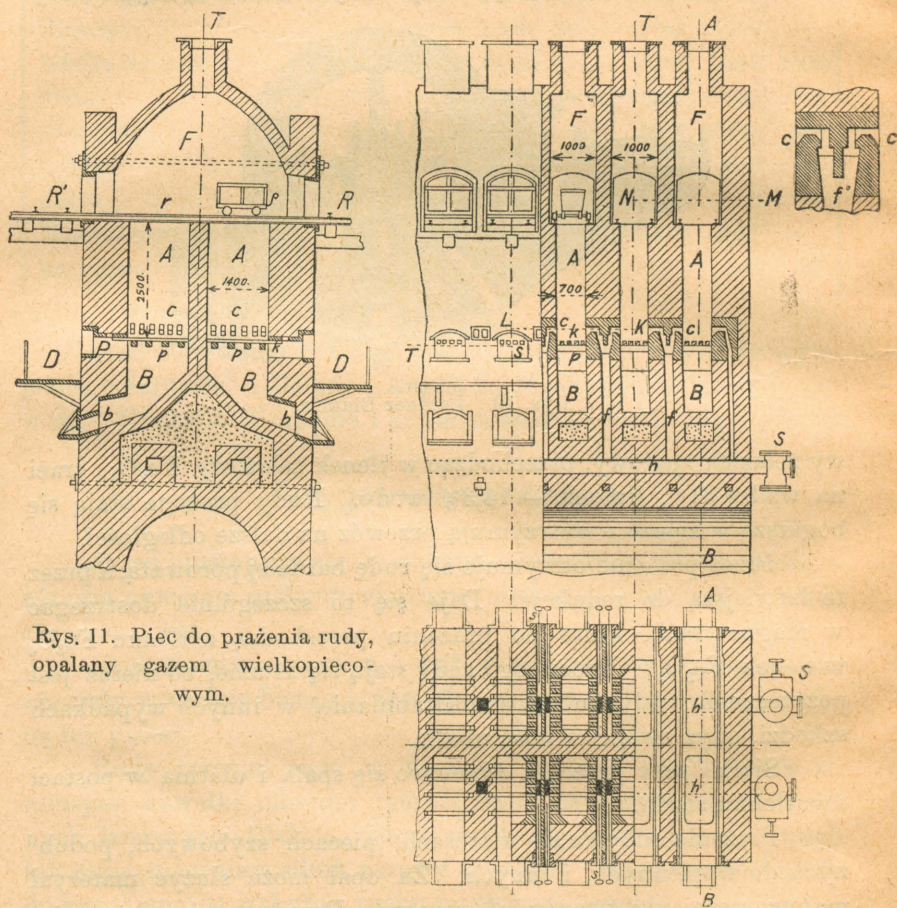
Siarka przy prażeniu częściowo się spala i ulatnia w postaci dwutlenku siarki.

Prażenie odbywa się w stosach, piecach szybowych, podobnych do wapiennych, i innych. Za opał może służyć materiał małowartościowy, twardy lub gazowy. Przestrzegać należy, ażeby ruda przy prażeniu nie spiekała się, gdyż wtedy powstaje krzemian żelaza, trudno poddający się działaniu gazów w wielkim piecu.

Rys. 11 przedstawia piec styryjski, opalany gazem wielkiego pieca.

Mamy tu szereg podwójnych pieców szybowych A. Ruda surowa dowozi się po szynach kolejowych R w wagonach, z któ-

rych się wyładowuje przez opuszczanie dna. Ruda leży na rusztach *k*, które mogą być wysuwane przez okna *P*, i wówczas ruda prażona wpada do przestrzeni *B*, a stamtąd po pochylej płaszczyźnie przez spusty *b* do przygotowanych wózków. Gazy wielkopieczowe doprowadzane są przez rury *S*, kanały *h* i *f* i wchodzi



Rys. 11. Piec do prażenia rudy, opalany gazem wielkopieczowym.

do pieca przez otwory *c* nad samymi rusztami. Powietrze do spalania gazów wchodzi przez okna *b* i ogrzewa się od gorącej rudy, znajdującej się w przestrzeni *B*, zanim się zmiesza z gazem. Wymiary pieca wskazane są na rysunku. Wydajność każdego pieca wynosi około 5 tonn na dobę.

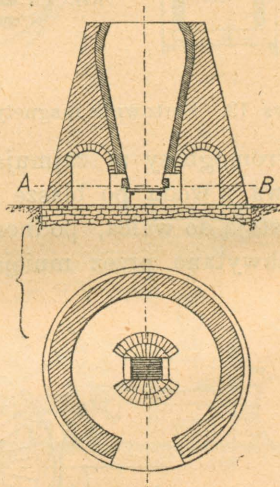
Rys. 12 przedstawia prażak ślaski, opalany miałem węglowym, typu zwyczajnych wapiarek.

Zależnie od celu, w jakim się odbywa prażenie i od gatunku rud powinna być stosowana temperatura różna. Żelaziaki brunatne wskutek prażenia stają się trudniejszymi do redukcji. Dlatego prażenie limonitów, szczególnie bogatych, nie uważa się za korzystne. Tłomaczy się to powstawaniem nowej postaci tlenku żelazowego (polimeryzacja). Wogóle każdy gatunek rudy wymaga innego postępowania przy prażeniu co do czasu, temperatury i atmosfery utleniającej. Korzystne wyniki otrzymują się przy ścisłym zachowaniu warunków, zdobytych przez praktykę dla każdego rodzaju rudy, opału i pieca.

Nowy sposób wzbogacania rud, coraz częściej stosowany, polega na usuwaniu skały płonnej drogą elektromagnetyczną. Póki zapotrzebowanie rudy było mniejsze, pozwalano sobie w wypadku, gdzie wybór był łatwy, odrzucać rudy biedniejsze. Z konieczności czyniono to tam, gdzie ruda była przeznaczona na wywóz i daleki przewóz wymagał rudy bogatej. Naprzykład Szwecya, posiadająca największe zapasy rud w Europie, nie posiada własnego koksu i wywozi 80% wydobytej rudy do Niemiec i Anglii.

Sposobem magnetycznym usuwać można skałę płonną z magnetytów i prażonych żelaziaków spatowych. Jednocześnie oddzielają się od rudy szkodliwe domieszki, a mianowicie: z magnetytów szwedzkich — apatyt, składający się przeważnie z fosforanu wapniennego, a z prażonych żelaziaków spatowych w Siegerlandzie — siarczki miedzi i cynku.

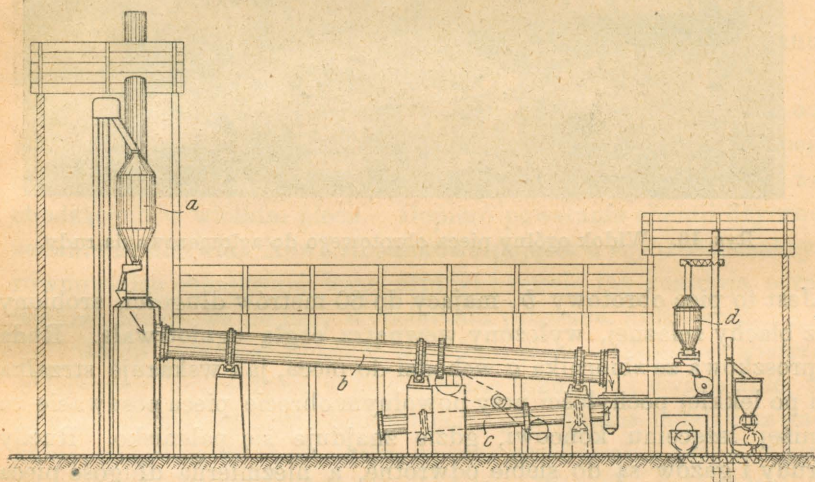
Sortowanie magnetyczne polega na tem, że ruda, rozdrobiona za pomocą gniotowników i młynów kulowych przenoszona jest na przenośniku do pola magnetycznego silnego elektromagnesu. Spadające z przenośnika części magnetyczne rudy odchylają się od kierunku pionowego i w ten sposób zostają odłączone od skały niemagnetycznej. Schemat sortownika Gröndalla jest przedstawiony na rys. 13. Ruda rozdrobiona na suchu do wielkości ziaren 2—3 cm na pasie przenośnika dochodzi do bębna, który ją obraca dokoła czterech nieruchomych elektromagnesów. Części ma-



Rys. 12. Piec do prażenia rudy, opalany miałem węglowym.

wione sortownie przerabiają do kilkuset tysięcy tonn magnetytów, otrzymując z rudy surowej 36—40 procentowej rudę sortowaną dwóch gatunków po 50% i po 67% Fe. Jednocześnie zawartość fosforu spada z 0,5—0,8% do 0,05% i nawet niżej.

Ruda wzbogacona sposobem magnetycznym, również ruda proszkowa z natury i pył wielkopiecowy, zawierający znaczną ilość żelaza, wymagają, ażeby przed ich przetapianiem nadawać im postać kawałkową. Koszta kawałkowania nie powinny być



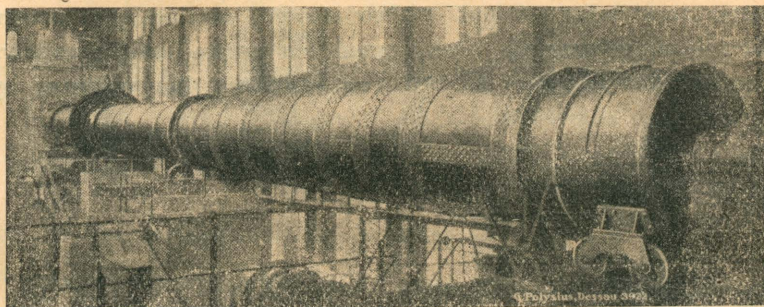
Rys. 15. Piec obrotowy do aglomerowania rudy.

- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| a) Zbiornik rudy. | c) Chłodnia. |
| b) Piec. | d) Zbiornik pyłu węglowego. |

wysokie, gdyż inaczej robota się nie opłaca. Dla prawidłowego biegu wielkiego pieca przetwarzane rudy nie mogą zawierać więcej niż 10—15% mialu. Ruda proszkowa nie tylko wywołuje nieprawidłowy bieg pieca, lecz powoduje straty, będąc w znacznej ilości unoszona przez prąd gazów.

Istnieją dwa sposoby tworzenia z proszku rudy kawałkowej: przez *brykietowanie* i *aglomerowanie*. Brykietowanie polega na otrzymywaniu cegiełek za pomocą jedynie silnego ściskania (do 400 atm.) sproszkowanego materiału, albo przy mniejszem ciśnieniu za pomocą jakiegoś spoiwa. Spoiwo powinno być mocne, tanie i nie powinno zawierać szkodliwych domieszek. Takim jest smoła, żuźle wielkopiecowe zmieszane z wapnem, chlorek magnezu i t. d. Cegielkowanie odbywa się za pomocą maszyn, podobnych do używanych w zwykłych cegielniach.

Aglomerowaniem nazywa się spiekanie sproszkowanej rudy pod wpływem wysokiej temperatury. Aglomerowanie odbywa się w piecach, używanych przy wyrobie cementu. Schemat urządzenia tych pieców przedstawia rys. 15, a widok ogólny — rys. 16.



Rys. 16. Widok ogólny pieca obrotowego do aglomerowania rudy.

Jest to piec obrotowy *b*, mający do 60 metrów długości, zrobiony z blachy żelaznej, wyłożony wewnątrz cegłą ogniotrwałą. Ruda proszkowa ze zbiornika *a* wchodzi do pieca, jak wskazuje strzałka i po lekkiej pochyłości przy powolnym obrocie pieca posuwa się ku niżej leżącemu końcowi, gdzie znajduje się palenisko. Ruchy rudy i gazów są do siebie odwrotne, a niezmierna długość pieca pozwala doskonale wyzyskać ciepło. Ruda na tej drodze spieka się i tworzy kawałki mniej więcej owalnego kształtu i jednakowej wielkości. Dolny walec *c*, dokąd spada ruda kawałkowa, służy do jej chłodzenia. Za opał służy mieszanina pyłu węglowego z powietrzem, wtłaczana przez wentylator. Zbiornik pyłu węglowego jest oznaczony na rysunku literą *d*.

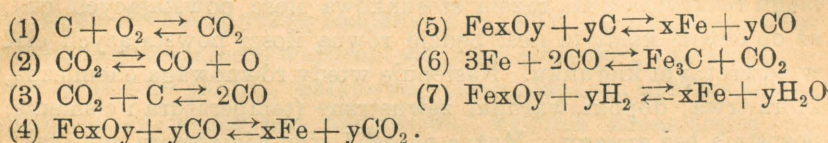
Agglomerowanie wypada taniej niż cegielkowanie, lecz ruda spieczona jest trudniejsza do redukcji niż ruda brykietowana.

Procesy chemiczne, zachodzące w wielkim piecu.

Proces wytapiania surowca polega na redukcji tlenków żelaza i roztopieniu żelaza po uprzednim nasyceniu go węglem. Jednocześnie wszystka skała płonna w rudzie i popiół w koksie przechodzą w stan płynny i, oddzielając się od surowca, wskutek

różnicy ciężarów właściwych wpływają z pieca w postaci żużli przez otwór specjalny, z wyższego poziomu, niż surowiec.

Najważniejsze reakcje chemiczne, jakie zachodzą w wielkim piecu, są następujące:



Pozatem zachodzi jeszcze odtlenianie tlenków manganu, krzemu, fosforu i t. d.

Wszystkie reakcje są odwracalne, czyli idące w dwóch odwrotnych kierunkach, zależnie od temperatury, ciśnienia i koncentracji. To było przyczyną trudności wytłomaczenia zjawisk, zachodzących w wielkim piecu. Dopiero powstanie chemii fizycznej zadanie to ułatwia. Nowe stosunkowo pojęcia o szybkości reakcji, równowadze chemicznej, koncentracji i regule faz znajdują coraz większe zastosowanie przy wyjaśnianiu procesów hutniczych.

Jeżeli porównać objętość wielkiego pieca z ilością powietrza, wtłaczanego przez dysze w ciągu jednej sekundy, i uwzględnić, że gazy płyną tylko przez wolne miejsca, pozostające między kawałkami ciał stałych, to się okaże, że czas przebywania gazów w piecu wynosi zaledwie ułamek sekundy. W ciągu tak krótkiego czasu powinny odbyć się wszystkie reakcje między tlenem powietrza i węglem, dwutlenkiem węgla i węglem, tlenkiem węgla i tlenkami żelaza i t. d. Może to nastąpić tylko wtedy, gdy szybkość reakcji będzie wystarczająca.

Szybkość reakcji mierzymy ilością materji, powstającej w jednostkę czasu. Szybkość ta jest w stosunku prostym do koncentracji w różnych potęgach ciał reagujących. Arytmetycznie określa się koncentracja jako ilość gramocząsteczek w jednym litrze. Gramocząsteczką albo molem nazywamy ilość gramów, równą ciężarowi cząsteczkowemu danego ciała. Przy gazie koncentracja mierzy się jego ciśnieniem, a przy mieszaninie gazów — ciśnieniem cząstkowym.

Reakcje odwracalne odbywają się jednocześnie w obydwie strony z różnymi szybkościami, zależnymi od koncentracji, temperatury i ciśnienia. Przy pewnych warunkach jedna z tych szybkości zbliża się do zera, i reakcja przebiega tylko w jednym kierunku do końca. Przy innych warunkach reakcje odwracalne

nie idą do końca, czyli jednocześnie mamy tak ciała otrzymane, jak i te, z których one powstały, w pewnym do siebie stosunku. Ponieważ szybkość reakcyi po obu stronach znaku odwracalności ($\rightleftharpoons$) jest różną, koncentracja ciał zmienia się podczas przebiegu reakcyi, a z nią razem stosunkowa ilość powstających ciał, aż do chwili, kiedy ta ilość będzie równą ilości powstających ciał w odwrotnym kierunku. Następuje wtedy równowaga chemiczna, która trwa, dopóki warunki zewnętrzne (temperatura i ciśnienie) pozostają bez zmiany. Można określić stan równowagi, jako taki, kiedy szybkość wypadkowa działania reakcyi w odwrotnych kierunkach równa się zeru. Szybkość wypadkowa jest mała, gdy ciała reagujące i powstające są w stosunku ilościowym bliskim równowagi, i odwrotnie szybkość ta jest tem większą, im stosunek ten jest dalszy od stanu równowagi.

Zależność równowagi od koncentracji wyraża się prawem, iż stosunek iloczynów koncentracji ciał wstępujących do reakcyi po obu stronach znaku odwracalności jest przy danej temperaturze niezmiennym. Zwiększenie koncentracji któregośkolwiek z ciał po jednej stronie wywołuje powstawanie ciał po drugiej, zmniejszenie zaś koncentracji prowadzi do tworzenia się ciał po tej samej stronie znaku odwracalności. Przy zmianie temperatury następuje również przesunięcie równowagi. Przy podnoszeniu temperatury łatwiej zachodzą reakcyje endotermiczne; w przeciwnym wypadku, kiedy układ oddaje ciepło, otrzymujemy warunki bardziej sprzyjające reakcyom egzotermicznym. Jeżeli reakcja odwracalna idąc w jednym kierunku, jest endotermiczną, to w kierunku przeciwnym jest egzotermiczną. Temperatura ma wogóle znaczenie największe. Dla wywołania reakcyi niezbędne jest doprowadzenie ciał do pewnej określonej temperatury. Od temperatury zależy nie tylko kierunek reakcyi, lecz podniesienie jej zwiększa szybkość reakcyi, niekiedy nawet egzotermicznych.

Powietrze wtłaczane przez dysze do wielkiego pieca spotyka się z rozżarzonym węglem, daje dwutlenek węgla według reakcyi (1) i zaraz pod wpływem panującej w gazie temperatury (do 1600°) rozkłada się według reakcyi (3) i (2), tworząc tlenek węgla. W najbliższej odległości od dysz gazy składają się z tlenku węgla, wodoru otrzymanego przez rozkład pary wodnej i azotu, który żadnym zmianom w wielkim piecu nie ulega. Reakcja (1) jest główną reakcją egzotermiczną, dostarcza odpowiedniej ilości ciepła i podnosi temperaturę do stopnia, przy którym zachodzić mogą

najważniejsze reakcje endotermiczne, a mianowicie redukcja bezpośrednia tlenków żelaza i innych pierwiastków zapomocą twardego węgla (5).

Reakcje odtleniania wszelkich tlenków żelaza zapomocą tlenku węgla (4) noszą nazwę redukcji pośredniej i są reakcjami egzotermicznymi, odbywającymi się przy stosunkowo niskiej temperaturze 400—900° C. Całkowita jednak redukcja tlenków żelaza przez tlenek węgla jest niemożliwa, wskutek zmieniającej się w ciągu procesu koncentracji CO. Zawartość w gazach tlenku węgla zmniejsza się, a przez to zmniejsza się jednocześnie i ich zdolność redukcyjna; wreszcie reakcja (4) może pójść w kierunku odwrotnym. Dlatego ostateczna redukcja nastąpić może tylko przez reakcję (5) kosztem twardego węgla jako ciała z niezmienną koncentracją (fazy stałej).

Gazy, unoszące się z wielką szybkością od dysz ku górze, oddają swe ciepło napotykanym materiałom i ściankom pieca i ochładzają się wskutek zachodzących reakcji endotermicznych tak, że przy wylocie posiadają temperaturę 200—300° C. Redukcja pośrednia odbywa się przeważnie poniżej 900° C., gdyż przy wyższej następuje przy pewnej koncentracji reakcja odwrotna (4), a kwas węglowy utlenia żelazo. Redukcja pośrednia, chociaż słabnie w miarę obniżenia temperatury, trwa aż do 300° C.

Rudy trudnotopliwe, jak magnetyty nieprażone, żużle pudlarskie i krzemiany, powstające w piecu przez połączenie nieodtlenionej rudy z krzemionką, mogą być odtleniane jedynie zapomocą redukcji bezpośredniej. Inne rudy podlegają tej redukcji tylko częściowo. Następująca tablica podaje w procentach udział redukcji pośredniej do redukcji całkowitej:

Żelaziaki spatowe prażone i limonity kawałkowe	80—90%
Syderyty prażone i żelaziaki czerwone	70%
Limonity ziemiste	60%
Magnetyty prażone	50%
Syderyty nieprażone	30%
Magnetyty nieprażone, żużle, krzemiany	0%

Skuteczność odtleniającego działania tlenku węgla zależy nie tylko od temperatury, lecz i od stosunku ilościowego CO do CO₂, znajdujących się w gazach. Tlenku węgla powinno być znacznie więcej, niż potrzeba dla równowagi chemicznej, gdyż w atmosferze zbliżonej do obojętnej szybkość reakcji jest mała i nie-

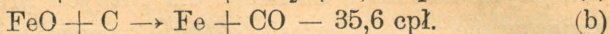
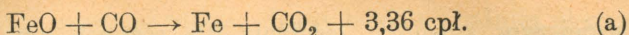
odtlenione rudy opadają niżej, gdzie muszą podlegać redukcji bezpośredniej.

Przy innych jednakowych warunkach im stosunek CO_2 do CO jest większy, tem materiał opałowy w wielkim piecu jest lepiej wyzyskany, lecz tem mniejszą wartość opałową posiadają gazy wylotowe. W ten sposób przy obecnym stanie techniki, gdy wartość opałowa gazów całkowicie się wyzyskuje, zyski i straty stąd pochodzące mniej więcej się równoważą. Stosunek ten zależy również od ilości kwasu węglowego, otrzymywanego przez rozkład węglanów, zawartych w rudzie i topnikach, pozatem przede wszystkim od tego, w jakim stopniu przeważała redukcja pośrednia. Stosunek ten zmniejsza się przy nieregularnem opuszczaniu się nabojów, gdyż wtedy pogarszają się warunki redukcji.

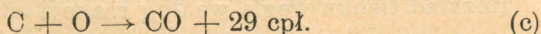
Przy szybkim biegu pieca stosunek CO_2 do CO wzrasta, a z nim do pewnych granic wzrasta też oszczędność na paliwie, ponieważ absolutna wielkość straty ciepła przez promieniowanie pozostaje prawie niezmienna, więc jest procentowo mniejszą. Praktyka zgodnie z teorią wykazuje, że przyspieszenie biegu pieca ponad pewną normę, prowadzi do oziębienia pieca. Istotnie, mniejsza koncentracja czynnego gazu CO zbliża układ do stanu równowagi, szybkość reakcji staje się niewystarczającą, zwiększa się redukcja bezpośrednia i obniża się temperatura w górze. Podobnie jak dodawanie opału, zapobiega oziębianiu pieca podnoszenie temperatury wtłaczanego powietrza. Jedno i drugie przesuwą równowagę chemiczną w stronę korzystną dla redukcji pośredniej.

Ponieważ redukcja pośrednia (4) odbywa się przy temperaturze $400\text{--}900^\circ\text{C}$., a więc w szerokim pasie wielkiego pieca, wówczas, gdy reakcja (5) zachodzić może tylko przy wysokiej temperaturze w ograniczonym pasie dolnej części pieca, więc do ostatnich czasów przyjętem było uważać redukcję pośrednią za korzystną, redukcję zaś bezpośrednią za niekorzystną lub wprost szkodliwą dla ekonomii ciepła. Również, ponieważ przy reakcji (4) powstaje CO_2 , przy reakcji zaś (5) CO, więc stosunek CO_2 do CO w gazach wielkopieczowych miał być miarą korzystnego wyzyskania paliwa w wielkim piecu.

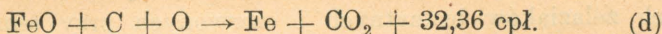
Pogląd ten, acz oparty na powadze wybitnych metalurgów, utrzymywany przez Weddinga, Vathaire'a, Mathesiusa (1913), Brasserta (1916) i innych, nie jest słusznym. Rozpatrzmy redukcję FeO zapomocą CO i C:



Reakcja (a), wydzielająca ciepło, pozornie wydaje się korzystniejszą od drugiej (b), pochłaniającej. Nie wyrażają jednak one całkowicie przebiegu termicznego, a mianowicie: przy spalaniu węgla na CO, wchodzącego do reakcji (a), wydzielą się ciepło:



więc łącząc reakcję (a) i (c), otrzymamy:



Natomiast przy dalszem spalaniu CO otrzymanego z reakcji (b) wytwarza się ciepło: $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 67,96 \text{ cpl.}$ i po pokryciu straty ciepła przy redukcji bezpośredniej (b), otrzymamy znów $67,96 - 35,6 = 32,36 \text{ cpl.}$ zysku, więc w rezultacie ostatecznym żadnej różnicy w wydatku ciepła niema i być nie może na mocy zasad termodynamiki. Raczej odwrotnie, przy spalaniu węgla kosztem tlenu rudy, wskutek niewprowadzania do gazów niepotrzebnego azotu, można się spodziewać pewnych korzyści.

Ostatnio (1917) prof. Simmersbach drogą innych obliczeń, po partych doświadczeniach, doszedł do wniosków następujących:

Redukcja bezpośrednia istotnie wymaga więcej ciepła, lecz przy gorącym powietrzu mniej koksu, niż redukcja pośrednia. Przy przetapianiu rud trudno odtleniających się może być obniżony wydatek koksu, jeżeli rozporządzamy przed dyszami dostateczną ilością ciepła, doprowadzanego przez ogrzane powietrze. Ciepło będące do rozporządzenia w garze zależy od temperatury powietrza, od ilości żużla i od punktu topliwości żużla. Im wyższa jest temperatura wiatru, im mniejsza ilość żużla i im niższy jest punkt topliwości żużla, tem więcej pozostanie ciepła dla redukcji bezpośredniej i tem więcej rud trudnotopliwych można przetapiać bez zwiększenia wydatku koksu, lub nawet zmniejszając jego ilość. Obliczanie korzystnego zużycia opału na podstawie stosunku CO_2 do CO nie posiada żadnej wartości.

Szybkość biegu wielkiego pieca zależy od ilości spalanego węgla w jednostkę czasu, a więc i od ilości doprowadzanego powietrza. Niezbędne powietrze wtłaczać można pod większym ciśnieniem przez mniejsze przekroje dysz lub odwrotnie. Pomimo jednakowej ilości wprowadzanego powietrza reakcje mają odmienny przebieg, zależnie od stosowanego ciśnienia. O najko-

rzystniejszym stosunku ciśnienia dla różnych przekrojów dysz i wymiarów pieca dotychczas rozstrzyga przeważnie doświadczenie. Jako zasada ogólna stosuje się większe ciśnienie przy antracycie i koksie, rudach trudnotopliwych, piecach wysokich i garach szerokich, aniżeli przy węglu drzewnym, rudach łatwotopliwych, piecach niskich i garach wązkich.

Rozkład tlenku węgla według reakcyi odwrotnej (3) odbywa się częściowo we wszystkich warstwach z wydzielaniem ciepła. Najbardziej sprzyjającym temu warunkiem jest obecność ziemistych żelaziaków brunatnych i czerwonych przy temperaturze 300—400° C. Węgiel wydzielony w postaci sadzy przenika rudę, wywołuje pęcznienie jej i bywa przyczyną zatkania pieca. Przy wyższej temperaturze węgiel ten posiada wielką moc redukcyjną w reakcyi (5), również łączy się bezpośrednio z odtlenionem żelazem, tworząc węglik.

Ruda wrzucona do paszczy pieca podlega na swej drodze ku otworom dyszowym kolejnym zmianom. Zależnie od tych zmian zachował się dawny klasyczny podział wielkiego pieca na pasy (strefy), w których odbywać się mają poszczególne procesy. Pomimo, że dziś wiadomo, iż procesy te odbywają się w szerszych, niż jak dawniej przypuszczano, granicach i nie dają się ściśle odgraniczyć, to jednak, wobec tego, że w pewnych częściach pieca przeważają te lub inne zjawiska, istnieje dotychczas podział pieca na pasy: przygotowawczy, odtleniania, nawęglania i topnienia, gdyż podział ten ułatwia zrozumienie zmian, jakim ulega ruda w piecu.

W *pasie przygotowawczym*, zajmującym mniej więcej trzecią część pieca od paszczy w dół, ruda traci przedewszystkiem wodę, w pierw hygroscopijną, powyżej 100° C., a potem krystaliczną przy 300—400°. Następnie przy 750—900° następuje rozkład węglanów, który pochłania wiele ciepła i zmniejsza koncentrację odtleniającego gazu CO. Upřednie prażenie rudy zmniejsza pas przygotowawczy, natomiast rozszerza następny, odtleniający. Jednakże już w pierwszym pasie rozpoczyna się redukcya. Jest ona słabą, z powodu nadmiaru CO₂ i stosunkowo niskiej temperatury. Tlenki żelaza wyżej utlenione (Fe₂O₃) przechodzą w mniej utlenione (FeO).

W *pasie drugim, odtleniającym*, odbywa się przeważnie pośrednia redukcya rudy zapomocą tlenku węgla i powstaje żelazo w postaci masy gąbczastej, gdyż temperatura jest niedostateczna

dla roztopienia czystego żelaza. Rudy biedne trudniej ulegają redukcji, aniżeli bogate. Dla redukcji ma wielkie znaczenie fizyczny stan rudy: porowatość i kawałkowość. Żelaziaki magnetyczne odtleniają się tem lepiej, im były silniej prażone.

W pasie *nawęglania* powstaje węgiel żelaza przez reakcję endotermiczną (6). Żelazo nawęglone w dostatecznym stopniu staje się topliwem w temperaturze panującej w spadku. Rozpoczyna się pas topienia, w którym jednak żelazo, ściekające kroplami pomiędzy rozżarzonym koksem, nasycza się w dalszym ciągu węglem.

W pasie *topienia* odbywa się również redukcja bezpośrednia rudy, przedtem nieodtlenionej, a także odtlenianie krzemu, fosforu i manganu twardym węglem, wymagające wysokiej temperatury.

Topniki, z których najczęściej stosowany jest wapień (CaCO_3), tracą najprzód wilgoć, a następnie dwutlenek węgla w pasach przygotowawczym i redukcyjnym. W pasie nawęglania łączy się wapno topnika z krzemionką, gliną i innymi tlenkami, tworząc płynny żużel. Wcześniejsze lub późniejsze powstawanie żużli ma doniosły wpływ na bieg wielkiego pieca. Im później ono następuje, tem większą jest redukcja pośrednia. Pożądanem jest, ażeby odtlenienie żelaza zostało ukończone przed rozpoczęciem powstawania żużli, gdyż w przeciwnym razie tlenek żelazawy tworzy krzemian, wchodzi w skład żużli i może być następnie odtleniony tylko z trudnością zapomocą redukcji bezpośredniej w garze.

Koks i węgiel drzewny, w drodze od paszczy do dolnej części spadku, ulegają małym zmianom i prawie w całości dochodzą w stanie rozżarzonym do najbliższej odległości od dysz i tu się spalają.

Literatura: Schenk R. *Physikalische Chemie der Metalle*. 1909.

Mathesius W. *Die physikalischen und chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens*. 1916.

Simmersbach O. *Ueber den Koksverbrauch im Hochofen*. St. u. Eis. 1917. № 24.

Żużle wielkopiecowe.

W celu usunięcia z pieca skały płonnej, zawsze towarzyszącej rudom, należy ją doprowadzić do stanu płynnego. W wyjątkowych tylko wypadkach skała ma taki skład, że bez dodawania topników tworzy żużel łatwotopliwy. Zwykle zaś rudzie

brakuje tych lub innych składników, które trzeba doprowadzić w postaci topników, ażeby utworzyć odpowiednią mieszaninę. Topnikami dla rud krzemionkowych służy wapień, CaCO_3 i dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, dla rud wapiennych krzemionka SiO_2 i glina $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$. Ponieważ każda prawie huta przetapia różne gatunki rudy, starają się więc mieszać je ze sobą tak, aby brakujące składniki jednej były dostarczane przez inną i w ten sposób potrzebna ilość dodawanych topników była najmniejszą. Rudy więc krzemionkowe i gliniaste przetapiają się z wapiennymi. Odpowiednia mieszanina rud z topnikami nazywa się *namialem*.

Poza usuwaniem skały płonnej i popiołów koksu z wielkiego pieca, żużle spełniają inne zadania, a mianowicie: tworzą warstwę ochronną dla zebranego w kotlinie surowca, który mógłby uleść utlenieniu pod wpływem wchodzącego przez dysze powietrza; regulują temperaturę w piecu, zależnie od punktu swej topliwości, i w skutek tego dają możność otrzymywania surowcażądanego gatunku, wreszcie służą za środek zapobiegawczy, ażeby szkodliwa domieszka siarki nie łączyła się z żelazem surowca, lecz mogła być w innem połączeniu usunięta wraz z żużlem.

O ile chodzi o oddzielenie skały od surowca i o warstwę ochronną, najwłaściwszymi żużlami byłyby najłatwiej topliwe, jakco wymagające najmniej opału, lecz względ na wytrzymałość ścian pieca, potrzeba wytwarzania różnych gatunków surowca i odsiarczanie, wywołuje konieczność stosowania trudniej topliwych żużli odpowiedniego składu.

Do wytapiania jednego gatunku surowca można stosować żużle różnego składu. Zadaniem hutnika jest wybrać taki namiar, przy którym wytapianie mogłoby się odbywać z najmniejszym wydatkiem paliwa i możliwie małym dodatkiem topników. Od umiejętnie obliczonego i stosowanego namiaru zależy korzystny bieg wielkiego pieca. Pomimo obszernych badań naukowych, dotychczas więcej praktyce niż teorii zawdzięczamy sposoby obliczania namiarów.

Zaznaczyć należy, iż temperatura tworzenia żużli nie jest ta sama, co punkt ich topliwości. Pozatem w pasie topienia powstają żużle składu innego, niż te, które są wypuszczane z pieca, gdyż nie ulega wątpliwości, że w wielkim piecu powstają w pierw nad przestronem żużle najłatwiej topliwe, które następnie w pasie gorętszym rozpuszczają w sobie nowe ilości CaO i stają się bardziej

trudnotopliwemi. Wreszcie przed samem wypuszczaniem żużli z pieca zmienia się skład ich przez połączenie z popiołem, powstającym przy spalaniu koksu przed samemi dyszami.

Żużle pod względem chemicznym są mieszaniną krzemianów wapna, magnezu, glinu i manganu w różnym stosunku z niewielką domieszką innych związków. Dotychczas niema danych co do ciepła powstawania krzemianów, lub dane są tak sprzeczne, że niektóre reakcje uważane są przez jednych badaczy za endo-, przez innych za egzotermiczne. Dlatego ciepło powstawania żużli, pomimo niezaprzeczonego znaczenia dla zaoszczędzenia paliwa, nie bierze się w rachubę przy obliczaniu namiaru.

Punkt topliwości żużli zależy od rodzaju zasad, wchodzących w skład krzemianów i od stosunku ilościowego zawartego w nich kwasu krzemowego SiO_2 do zasad. Im więcej zasad wchodzi w skład krzemianu, tem jest on łatwiej topliwy. Tak naprz. podwójny krzemian magnezu i wapnia topi się przy niższej temperaturze, aniżeli pojedynczo krzemian wapnia lub magnezu.

Dawniejsza klasyfikacya żużli jako krzemianów polega na stosunku ilości atomów tlenu, zawartych w kwasie krzemowym, do ilości tychże w zasadach. Oznaczając przez R pierwiastki metali dwu- lub trójwartościowe, otrzymujemy:

Nazwy	skład		topliwość	surowiec
Półkrzemiany . .	$4\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$	lub $4\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	trudna	ciemnoszary
Jedno-krzemiany .	$2\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$	„ $2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	średnia	szary
Półtorakrzemiany	$4\text{RO} \cdot 3\text{SiO}_2$	„ $4\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$	dobra	pstry
Dwu-krzemiany .	$\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$	„ $\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	bardzo dobra	biały
Trójkrzemiany . .	$2\text{RO} \cdot 3\text{SiO}_2$	„ $2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$	średnia	szary

Mogą być jeszcze różne inne krzemiany o pośrednim stosunku tlenu w kwasie i zasadach. Zawartość w żużlu pierwiastków jednowartościowych, jak potas i sód, która nigdy nie bywa znaczną, ułatwia topliwość. W tablicy powyższej pierwsze dwa krzemiany noszą nazwę zasadowych, ostatnie dwa—kwaśnych. Najłatwiej topliwe są dwu-krzemiany. Przy zmianie stosunku ilościowego krzemionki do zasad w jedną lub drugą stronę podnosi się punkt topliwości.

Przy prowadzeniu wielkich pieców na węglu drzewnym dążono do otrzymywania dwu-krzemianów; przy koksie najwłaściwszymi są jedno-krzemiany, ponieważ żużle zasadowe sprzyjają

usuwaniu siarki, zawartej w koksie. Przy rudach trudno redukujących się stosują żużle o wyższym punkcie topliwości, gdyż powinny one przechodzić w stan płynny po całkowitem odtlenieniu rudy.

Łatwopłynny żużel nie nadaje się do wytapiania szarego surowca ze znaczną zawartością krzemu. Podniesienie w tym wypadku punktu topliwości przez dodawanie wapienia jest niewłaściwe, gdyż utrudnia redukcję krzemu. Skutecznym natomiast środkiem jest zwiększanie w żużlu zawartości glinki.

Przy wytapianiu białego surowca zaleca się zapobiegać redukcji krzemu nie przez żużel mocno zasadowy, lecz przez zwiększenie nabojów rudy przy żużlu łatwopłynnym, ażeby w ten sposób odpowiednio obniżyć temperaturę w spadku. Dla otrzymania surowców manganowych stosują żużle wysoko wapienne, sprzyjające redukcji tlenków manganowych.

Bardzo ważnem jest, ażeby siarka, zawarta często w rudzie i zawsze w koksie nie mogła połączyć się z żelazem. Praktyka dawno wykazała, że wysoka temperatura w piecu i żużle zasadowe sprzyjają odsiarczaniu.

Siarka, wobec wielkiego powinowactwa do żelaza, łatwo tworzy siarczki żelaza FeS , doskonale rozpuszczalny w żelazie. Przy wysokiej temperaturze siarka wstępuje w połączenie z wapniem, według wzorów: $\text{CaO} + \text{FeS} + \text{C} = \text{CaS} + \text{Fe} + \text{CO}$ i $\text{FeS} + \text{CaO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CaS} + \text{CO}_2$. Siareczek wapnia w obecności rozżarzonego węgla żadnym zmianom nie ulega i pozostaje rozpuszczony w żużlu. W żelazie jest nierozpuszczalny. O ile w żużlu znajduje się nieodtleniony tlenek żelazawy, co ma miejsce przy niedostatecznej ilości koksu, niskiej temperaturze i wszelkich zaburzeniach w wielkim piecu, zupełnego odsiarczenia przeprowadzić nie można, gdyż powstaje reakcja $\text{CaS} + \text{FeO} = \text{FeS} + \text{CaO}$ i siarka powraca do surowca. Siareczek każdego metalu najlepiej rozpuszcza się w krzemianie, w skład którego wchodzi jako zasada tlenek tego samego metalu. Dlatego w celu odsiarczania należy stosować żużle wysokowapienne. Ponieważ żużle mogą rozpuścić w sobie tylko ograniczoną ilość siarczku wapnia (w najbardziej zasadowych zawartość siarki nie może przewyższać 5%), przy większym zanieczyszczeniu rudy lub koksu siarką, konieczną jest rzeczą powiększenie ilości żużla w celu zmniejszenia w nim koncentracji CaS . Podnosi to koszt wytapiania surowca. Wyższa tempe-

ratura w piecu dopuszcza większą koncentrację siarczku wapnia w żużlu.

Mangan, podobnie jak wapień, służy do odsiarczania, tworząc podwójny siarczek manganu i wapnia $MnS \cdot CaS$, rozpuszczalny w żużlu. Dodatnią stroną rud manganowych w namiarze jest to, że powstające żużle, zawierające tlenek manganu, są łatwo topliwe i przyczyniają się do ekonomicznego biegu pieca. Redukcja manganu jest trudna wskutek wielkiego powinowactwa tego metalu do tlenu. Odbywa się ona w dolnej części pieca przy żużlach zasadowych. Zawartość tlenku żelazawego w żużlu utrudnia ten proces. Całkowite odtlenienie związków manganowych w wielkim piecu jest niemożliwe. W żużlu pozostaje 30—50% całej ilości zawartego w namiarze manganu.

Magnezya MgO zachowuje się przy tworzeniu żużli, jak wapno; dodana do wapna obniża punkt topliwości. Przy obliczaniu zasadowości może być uważaną za surogat wapna.

Co do roli, jaką odgrywa glinka Al_2O_3 , poglądy są dotychczas sprzeczne. Dawniej uważaną była za zasadę. Następnie było mniemanie, że w żużlu występuje jako kwas, i dla oceny zasadowości kierowano się stosunkiem $(SiO_2 + Al_2O_3)$ do $(CaO + MgO + MnO)$. Stosunek ten dla surowca martenowskiego równał się jednostce, zwiększał się dla surowców bessemerowskiego lub odlewniczego i zmniejszał się dla surowców manganowych. Ostatnimi czasy powstał pogląd, że glinka w żużlu jest ciałem obojętnym, nie wpływającym na zasadowość, podobnie jak CaS i MnS (niektórzy zaliczają do tej kategorii również tlenki MnO i FeO), więc przy obliczaniu namiaru wystarcza uzględniać jedynie stosunek SiO_2 do $(CaO + MgO)$.

Praktyka wykazuje, że przy małej zawartości glinki, którą jedni określają w żużlu do 16%, inni do połowy wspólnej zawartości $CaO + MgO$, nie wywiera ona żadnego wpływu. Przy większej zawartości żużel staje się coraz bardziej trudnotopliwy i gęstopłynny.

Po ustaleniu, jakie żużle mają być stosowane, obliczenie namiaru odbywa się na podstawie analiz chemicznych rud i topników. Korzystać też można z tablic pomocniczych, ułatwiających te obliczenia dla każdego gatunku surowca.

Skład żużli otrzymywanych przy różnych gatunkach surowca w %.

Surowiec	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS
Biały tomasowski . . .	30—40	10—15	40—36	5—2	2—1	7—2	5—2
„ martenowski . . .	32	11	44	2	1	3	7
„ zwierciadlisty . . .	30—37	8—10	30—40	3—11	1—2	5—15	3—5
Żelazo-mangan	23—27	10—15	45—40	1—8	1	10—17	3—4
Odlewniczy	29—31	9—15	46—56	2—3	0,5-1,5	0,1—3	6—8
Bessemerowski	30—32	12—13	50—48	2—3	1—1,5	1—2	7—8
Żelazo-krzem	33,5	24	26,5	7	0,31	0,37	8,32

Zależnie od gatunku rudy otrzymuje się żużli 0,6 do 1,5 wagi surowca. Ponieważ ciężar właściwy żużla jest 2,5—3 razy mniejszy niż surowca, ilość jego na objętość jest bardzo znaczna. Niemalą więc troską huty jest wynalezienie w pobliżu placów, ażeby oszczędzić na kosztach przewozu. Pomimo dawnych starań o użytkowanie żużli wielkopieczowych, tylko nieznaczna ich ilość daje się zastosować do różnych celów.

Żużle tak pod względem fizycznym, jak i chemicznym zbliżone są do materiałów szklanych. Jak szkło, nie są one określonym związkiem chemicznym lecz zastygłym roztworem jednych krzemianów w drugich z małą domieszką innych połączeń. Jest to materiał kruchy i bezpostaciowy. Niektóre żużle kwaśne w cienkich warstwach są przezroczyste, najczęściej przez zabarwienie tlenkami manganu i żelaza są najrozmaitszej barwy i odcieni: żółte, zielone, niebieskie, aż do czarnych włącznie. Z wyglądu zewnętrznego przypominają kamień, emalję lub szkło. Złom bywa szklany, matowy, czasem porowaty. Pod wpływem atmosferycznym jedne żużle, zasadowe, lasują się, tworząc po pewnym czasie z brył proszek, inne zaś działaniu atmosferycznemu nie ulegają.

Różnorodność składu i własności fizycznych jest przyczyną, że nie wszystkie żużle mogą być jednakowo użytkowane. Powszechne i najdawniejsze jest użycie żużla jako wybornego materiału drogowego. Z biegiem czasu szaber żużlowy ubity kopytami końskimi tworzy jednolitą masę i daje doskonałą nawierzchnię.

W Styryi i Finlandyi wylewano żużel do form kształtu cegiełek budowlanych i z takich cegieł wznoszono całe osady. Przy pewnym składzie i umiejętnem chłodzeniu otrzymuje się cegła

mocna i formy prawidłowej; w innych wypadkach masa szklana pęka i rozpryskuje się na kawałki przy stygnięciu.

Żużel płynny, wypuszczony z pieca do zimnej wody bieżącej, nagle tężejąc, rozpada się na ziarna i tworzy piasek gruboziarnisty, tak zwany żużel granulowany, który znajduje łatwiejsze zastosowanie, czy to jako materiał drogowy, czy też jako piasek do budowy. Zmieszany z 10% wapna może służyć do wyrobu cegły. Taka cegła tężeje w przeciągu 3 do 6 tygodni i następnie przedstawia doskonały materiał budowlany, wytrzymując ciśnienie do 130 kg/cm^2 .

Wreszcie z żużli wyrabiane są różne gatunki cementu.

Cement żużlowy wyrabia się z żużla granulowanego, który powinien być przedtem dokładnie wysuszony i bardzo drobno zmielony. Powinno pozostawać na sicie z 4900 oczek na 1 cm^2 zaledwie 15%. Po dodaniu pewnej ilości wapna gaszonego nadaje się taki cement do natychmiastowego użytku. Nie daje się przechowywać, gdyż wapno, łącząc się z kwasem węglowym powietrza, traci swe własności wiążące.

Lepszym materiałem jest cement żelazo-portlandzki, otrzymywany w taki sam sposób, jak poprzednio opisany, z tą tylko różnicą, że zamiast wapna dodaje się na 30 części żużla 70 części cementu portlandzkiego. Nie ustępuje on co do wartości czystemu cementowi portlandzkiemu dobrych marek.

Cement tak zwany wielkopiecowy ma skład odwrotny do poprzedniego: zawiera on 30% cementu portlandzkiego i 70% żużla. Starannie przygotowany przy odpowiednim składzie żużla daje dobrą zaprawę hydrauliczną.

Żużle do wyrobu cementu powinny pochodzić z gorącego biegu pieca, muszą zawierać wiele wapna oraz glinę przy najmniejszej ilości tlenku żelazawego. Najlepszymi są otrzymywane przy wyrobie surowca bessemerowskiego i odlewniczego.

Ciekawem, lecz mało rozpowszechnionem stosowaniem żużli wielkopiecowych jest wyrób wełny czyli waty żużlowej. Gdy na rzadki, przeważnie kwaśny żużel, spływający z ryny na posadzkę, skierować strumień pary z wylotu o średnicy 5—10 mm, można otrzymać najcieńsze nici, mogące zastąpić azbest przy izolacji przewodów, kotłów parowych i t. d.

Literatura: Pawłow M. prof. Obliczanie namiarów wielkopiecowych. 1914.

Fleissner. H. Eisenhochofen-Schlacken, ihre Eigenschaften und ihre Verwendung, 1912.

Powietrze.

Wielki piec zużywa znaczną ilość powietrza. Węgiel do spalania na tlenek CO wymaga $\frac{4}{3}$ części wagowych tlenu, albo 5,3 części powietrza. Ponieważ na tonnę wytapianego surowca zużywa się mniej więcej także ilość koksu, więc po odtrąceniu zawartości popiołu w koksie i uwzględniając redukcję bezpośrednią rudy, kiedy to część węgla zostaje spalona przez tlen rudy, otrzymamy, że waga doprowadzonego powietrza przewyższa czterokrotnie ciężar wytapianego surowca i jest większą od ciężaru wszystkich materiałów stałych, zasilających wielki piec.

Na każdą tonnę surowca przypada 3 do 4 tysięcy m^3 , czyli 4 do 5 tonn powietrza. Piec więc z produkcją dzienną 300 tonn wymaga około miliona m^3 powietrza, ważącego powyżej 1200 tonn, a na minutę około 700 m^3 przy ciśnieniu jednej atmosfery i 0° C.

Ażeby powietrze zasilające piec mogło przecisnąć się od dysz do wylotu i pokonać opór znacznej wysokości słupa materiałów stałych, należy mu nadać odpowiednie ciśnienie, stosownie do wysokości pieca i rodzaju materiałów. Ruda proszkowa wymaga większego ciśnienia, niż kawałkowa, koks i antracyt większego niż węgiel drzewny i t. d. Najczęściej stosowane nadcisnienie wynosi 0,3—1 kg/cm^2 , co odpowiada wysokości słupa rtęci 25—76 cm. Przy szczególnie wysokich piecach amerykańskich nadcisnienie przekracza obecnie 1 kg/cm^2 .

Do zasilania wielkich pieców powietrzem służą dmuchawy, pędzone silnikami wodnymi, parowymi, gazowymi i elektrycznymi.

Materyałem opałowym zarówno do kotłów parowych, jak i do silników spalinowych służą gazy wylotowe wielkiego pieca. Ponieważ sprawność termiczna w silnikach spalinowych dwukrotnie przewyższa sprawność w maszynach parowych, pierwsze znajdują coraz większe zastosowanie. Zważywszy, że na jedną tonnę surowca otrzymuje się średnio 4500 m^3 gazów, a 1 m^3 daje około 800 ciepłostek, otrzymujemy olbrzymią oszczędność przy stosowaniu silników gazowych, która w prędkim czasie pokrywa koszt nowej instalacji.

Dmuchawy parowe bywają tłokowe i odśrodkowe. Pierwsze mogą być pionowe lub poziome. Są to maszyny sprzężone, w których przedłużone trzony tłokowe są zarazem trzonami tłoków dmuchaw. Miechy tłokowe mogą być poruszane w podobny sposób przez silnik gazowy. Zdaje się nie ulegać wątpliwości, iż przy

wielkich piecach silniki parowe tłokowe należeć będą wkrótce do przeszłości, ustępując miejsce silnikom spalinowym. Najlepsze silniki parowe z kotłami wodnorurkowymi, przegrzaniem pary, ekonomajzerami i t. d. w wyjątkowych tylko wypadkach wyzyskują 11% ciepła gazów wielkopieczowych, gdy tymczasem silniki spalino-we mogą zamieniać 23—25% ciepła na pracę.

Dmuchawy odśrodkowe, wielostopniowe, pędzone turbiną parową, szybko się rozpowszechniają. Pierwsza taka turbo-dmuchawa była ustawiona w Commentry w r. 1903. Obecnie jest czynnych kilkaset. Moc pojedynczych dmuchaw dochodzi do 2000 k. m. Najczęściej są używane turbodmuchawy o mocy 850 k. m., które robią 3000 obrotów na minutę, dostarczając 630 m³ powietrza przy nadciśnieniu 0,5 kg/cm². Dmuchawy odśrodkowe wymagają mniejszych kosztów na postawienie i dają tak wielką oszczędność na opale, w porównaniu z miechami tłokowymi, że kosztu zamiany nieraz opłacały się w przeciągu roku. Poza-tem zajmują mniej miejsca w budynku i dostarczają powietrza o jednostajnem ciśnieniu wskutek obrotowego działania dmuchaw.

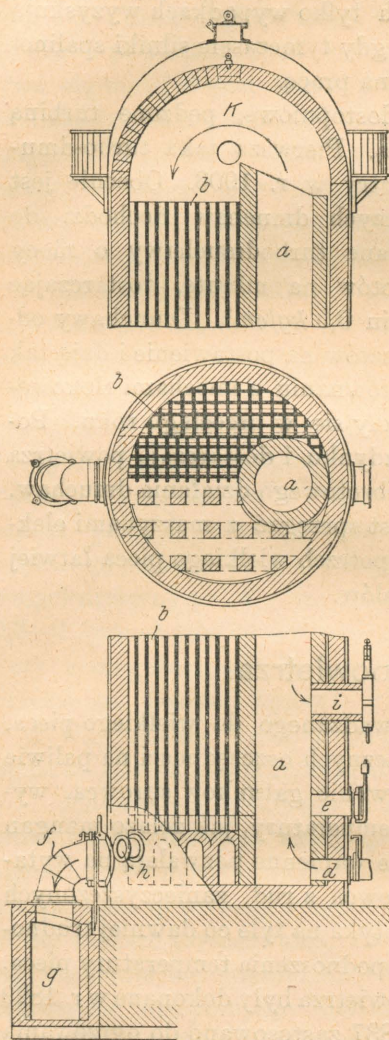
Silniki gazowe korzystnie jest sprzęgać z maszynami elektrycznymi, ażeby po zaspokojeniu potrzeb wielkiego pieca łatwiej było przenosić energię do innych celów.

Ogrzewanie powietrza.

Ogrzewanie powietrza, wprowadzanego do wielkiego pieca, daje wielorakie korzyści. Obok znacznych oszczędności na paliwie wynalazek ten umożliwił otrzymywanie gatunków surowca, wymagających nieosiąganej dawniej temperatury, jak żelazo-mangan i żelazo-krzem. Trudnotopliwe żuźle wapienne pozwalają na wytopianie wyborowych gatunków surowca z rud, zanieczyszczonych siarką. Prowadzenie pieca nie napotyka na tyle co dawniej trudności wobec łatwego w razie potrzeby podnoszenia temperatury pieca.

Pierwsze próby ogrzewania powietrza były dokonane w r. 1829 przez Neilsona w Szkocyi, a w r. 1837 zastosowano do ogrzewania powietrza ciepło gazów wylotowych wielkiego pieca. Powietrze przed wtłoczeniem do pieca przechodziło przez rury żelazne, do-koła których w komorze murowanej odbywało się spalanie gazów. Ten sposób, pomimo pewnych stron ujemnych, stosowany był z różnemi zmianami przez lat kilkadziesiąt. Rury żelazne podlegały uszkodzeniom tem łatwiej, im wyższą była tempera-

tura, więc z konieczności unikano silnego ogrzania. W rzadkich wypadkach przy najlepszych urządzeniach temperatura powietrza przekraczała 400° C., najczęściej zaś wynosiła 250—300° C.



Rys. 17. Ogrzewacz powietrza Cowpera.

Obecnie stosowane są prze-
ważnie ogrzewacze systemu rege-
neratorowego. Rys. 17 przedsta-
wia najczęściej spotykany ogrze-
wacz Cowpera. Jest to budynek
murowany z cegły ogniotrwałej,
pokryty blachą, kształtu cylindra,
zakończonego kopułą. Wysokość
ogrzewacza wynosi 20—35 m,
średnica 5—8 m. Wnętrze po-
dzielone jest na dwie nierówne
części. Mniejsza *a*, o przekroju
okrągłym lub owalnym, jest prze-
znaczona do spalania gazów
wielkopieczowych, dopływających
przez otwór *d*. Gaz miesza się
z powietrzem wchodzącem przez
otwór *e*; po spaleniu gorące ga-
zy spalinowe wchodzi przez ko-
pułę *k* do drugiej komory *b*, skła-
dającej się z licznych wąskich ka-
nałów z cegły. Ściany kanałów
odbierają gazom ciepło i same się
rozgrzewają tem silniej, im dłu-
żej przechodzą przez nie gazy.
Ostudzone gazy wchodzi przez
czopuch *f* do komina. Po pewnym
czasie, kiedy kanały *b* są dosta-
tecznie rozgrzane, przerywa się
przez zamknięcie odpowiednich
zaworów dopływ gazów wielko-
piecowych i powietrza do ogrze-
wacza, natomiast przez otwór *h*
wtłacza się przeznaczone do wiel-

kiego pieca powietrze, które odbywa odwrotną drogę, niż poprze-
dnio gazy, ogrzewa się i wychodzi przez otwór *i* do przewodu,
prowadzącego do pieca.

Każdy piec powinien mieć conajmniej dwa ogrzewacze: gdy bowiem jeden sam się ogrzewa, drugi oddaje ciepło nabyte powietrzu. Najczęściej jest ich więcej a mianowicie od 3 do 5, ponieważ jeden z ogrzewaczy jest zapasowy na wypadek naprawy lub czyszczenia, a pozatem w celu niedopuszczania wielkiej różnicy w temperaturze powietrza przy początku i końcu korzystania z tego samego ogrzewacza. Dla prawidłowego biegu wielkiego pieca jest rzeczą pożądaną, ażeby różnica temperatur powietrza przy rozpoczęciu i ukończeniu okresu ogrzewania jednym przyrządem była jak najmniejsza.

Kopuła ogrzewacza powinna być urządzona w sposób umożliwiający rozszerzenie ścian bez podnoszenia muru kopuły.

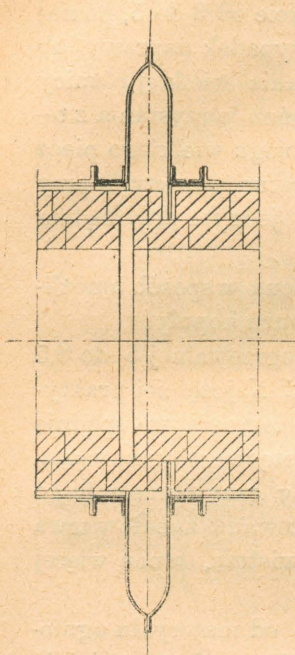
Przy stosowanej obecnie powierzchni ogrzewalnej 5 do 8,5 tysięcy m^2 można ogrzać powietrze do $900^{\circ}C$. Najczęściej praktykowane ogrzanie wznosi 500— $700^{\circ}C$. Gdy temperatura spadnie o 50 — $100^{\circ}C$., powietrze wpuszcza się do następnego ogrzewacza, a dotąd czynny zostaje nastawiony tak, ażeby gazy ogrzewały go ponownie do odpowiedniej temperatury. Ogrzewanie kanałów trwa zawsze dłużej, niż ogrzewanie przez nich powietrza, mniej więcej w stosunku dwóch godzin do jednej.

Zużycie ogrzewacza zależy przeważnie od materiału ogniotrwałego i od czystości gazów. Pył o składzie zasadowym działa na kwaśną cegłę, która może się stopić. Najczęstsze uszkodzenie ogrzewaczy polega na zatkaniu się kanałów.

Dla zapobieżenia wybuchom gazów, tworzących z powietrzem mieszaninę piorunującą, wszystkie otwory ogrzewacza są opatrzone dokładnie uszczelnionymi zaworami. W tym samym celu przed puszczeniem w bieg ogrzewacza w komorze *a*, przeznaczonej do spalania gazów, rozkłada się ognisko, ażeby gazy zapalały się niezwłocznie przy wejściu. Po pewnym czasie ognisko jest niepotrzebne, gdyż gazy zapalają się od zetknięcia z gorącymi ścianami ogrzewacza. W kopule ogrzewacza znajduje się kłapa bezpieczeństwa.

Skrupulatne pilnowanie porządku, w jakim zawory powinny być otwierane i zamykane, są najskuteczniejszym środkiem przeciwko wybuchom. Przed wpuszczaniem gazów: zamyka się zawór *h*, doprowadzający zimne powietrze, zamyka się ujście powietrza ogrzanego *i*, otwiera się zasuwą kominowa, otwiera się zawór gazowy *d* i nakoniec wpuszcza powietrze do spalania gazów przez zawór *e*. Przed wpuszczaniem powietrza, przeznaczonego do

ogrzewania: zamyka się zawór gazowy *d*, powietrzny *e*, zasuwę kominową, otwiera się zawór do zimnego powietrza *h* i ujście dla ogrzanego *i*.



Rys. 18 Połączenie przewodów powietrznych.

Przewody dla gorącego powietrza są wyłożone materiałem ogniotrwałym. Dla zmniejszenia straty ciepła wyłożenie często składa się z dwóch warstw: wewnątrz ze zwyczajnej cegły szamotowej, a między nią i blachą żelazną z cegły porowatej. Ta ostatnia przygotowuje się przez domieszkę do szamoty proszku kokсового, który po wypaleniu pozostawia w cegle pory.

Przewód dla powietrza gorącego urządza się w ten sposób, ażeby przy zmianie temperatury mógł się bez uszkodzenia kurczyć lub rozszerzać. Przy długości 10 m i różnicy temperatury około 800 °C. wydłużenie stanowi 100 mm. W tym celu stosują połączenia wskazane na rys. 18 lub inne na wzór dławnic.

Przewody dla powietrza gorącego są szersze, aniżeli dla zimnego, najczęściej w stosunku 5 do 3-ch.

Termoelement Le Chatelier'a, służący do mierzenia temperatury, pozwala odczytywać ją stale na galwanometrze, niekiedy umieszczanym w znacznej odległości od miejsca pomiaru, na przykład w biurze kierownika wielkim piecem.

Osuszanie powietrza.

Powietrze wtłaczane do wielkich pieców zawiera, zależnie od miejscowości i pory roku, od 3 do 25 g wilgoci w 1 m³. Przyjmując średnio 10 g/m³, wprowadza się do pieca przy produkcji 300-tonnowej—13,5 tonn pary wodnej dziennie. Para jest szkodliwą, gdyż rozkładając się przy wysokiej temperaturze pochłania znaczną ilość ciepła. Pozatem zmienna zawartość wilgoci w powietrzu wywołuje nieregularny bieg pieca. Dawno zostało stwierdzonem, że podczas mrozów wielkie piece zużywają mniej paliwa, aniżeli latem, co się tłumaczy mniejszą zawartością w pierwszym wypadku wilgoci w powietrzu.

Amerykanin Gayley zaproponował osuszanie powietrza za pomocą wymrażania. Do tego służy komora, chłodzona systemem rur, w których krąży roztwór chlorku wapniowego, ochłodzonego do -5°C . Przy oziębianiu do tej temperatury powietrza mającego poprzednio 25°C ., zawartość wilgoci spada z 18 g do 3 g/m^3 . W roku 1907 wymrażano powietrze w pięciu hutach amerykańskich i otrzymywano od 8 do 15% oszczędności na koksie i 4 do 33% zwiększenia produkcji. Sposób więc był skuteczny, lecz kosztowny. Zastąpiono go tańszym, polegającym na dwukrotnym oziębianiu. Powietrze przechodzi wprawdzie przez komorę, do której wtryskuje się wodę przy temperaturze bliskiej do zera. W ten sposób w znacznym stopniu oziębione powietrze zawiera mniej wilgoci niż przedtem i przechodzi do innej części urządzenia, gdzie napotyka strumień roztworu ochłodzonego poniżej zera, odbierającego resztę wilgoci. W taki sposób powietrze styka się bezpośrednio z roztworem, rury zaś są wolne od powłoki lodowej, lecz zachodzi potrzeba odbierania wody od roztworu. Są jeszcze i inne sposoby. Wszystkie jednak są tak kosztowne, że po kilku próbach w hutach niemieckich powstał pogląd, że koszt inwestycji (blisko 250 tys. marek na 1 piec) nie odpowiadają uzyskanym korzyściom, a w niektórych wypadkach eksploatacja okazała się tak drogą, że ze zbudowanych urządzeń korzystać przestano.

Poważne zainteresowanie obudził pomysł zwiększania zawartości tlenu w powietrzu. Sposób G. Claude'a otrzymywania tlenu z płynnego powietrza jest względnie tani. Energia potrzebna do otrzymania 1 m^3 tlenu na sekundę wynosi mniej niż 1 k. m. W hucie belgijskiej Ougrée Marihay wzbogacenie powietrza tlenem z 21 do 23% korzystnie zmieniało bieg pieca, dało 6% oszczędności koksu oraz zwiększyło produkcję o 10–15%. Bieg pieca był równiejszy, surowiec bogatszy w krzem. Korzyści otrzymywane przez zastosowanie nowego pomysłu tłumaczą tem, że ilość doprowadzanego powietrza może być mniejszą i może być ono ogrzewane do niższej temperatury. Prawdopodobnie przy znaczniejszym wzbogacaniu powietrza tlenem ogrzewanie powietrza mogłoby się okazać zbyt znaczne. Ekonomiczne znaczenie wynalazku nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione.

Gazy wylotowe wielkiego pieca.

Gazy, uchodzące z wielkiego pieca, są palne i służą jako materiał opałowy do wielu celów. Skład ich ulega pewnym wa-

haniem i zależy od materiałów użytych przy wytopianiu surowca, jak również od biegu wielkiego pieca. Objętościowo składają się gazy z 25—30% CO, 9—14% CO₂, 50—60% N₂, 5—12% pary wodnej i małych ilości H₂ i CH₄.

Ilość otrzymywanych gazów jest olbrzymia, a mianowicie, na każdą tonnę wytopionego surowca przypada 4500 m³ gazów. Są huty, posiadające kilka wielkich pieców, których roczna produkcja gazów przekracza miliard metrów sześciennych. Wartość opałowa 1 m³ wynosi zależnie od składu gazów 700 do 1000 ciepł. Do XIX wieku nie oceniano wartości gazów wielkopieczowych. Dopiero w r. 1809 Obertau we Francji wskazał na możność wyzyskania ich w celach hutniczych, a po doświadczeniach Fabre du Faur'a w Wasserałfingen zaczęto je szeroko stosować od r. 1832 do prażenia rudy, do ogrzewania powietrza, wprowadzanego do wielkich pieców i do ogrzewania kotłów parowych. Na Uralu, na Węgrzech i w innych miejscowościach, gdzie potrzebną energię mogły dostarczać w dostatecznej ilości motory wodne, istniały do końca wieku ubiegłego wielkie piece, z których gazy bez żadnego pożytku były wypuszczane w powietrze, a spalając się nad wyłotem, służyły jedynie do oświetlania huty w porze nocnej.

Wskutek zastosowania silników spalinowych, w których ciepło zawarte w gazach zamienia się w energię ruchu znacznie korzystniej, niż w silnikach parowych, pozostaje obecnie po zaspokojeniu potrzeb wielkiego pieca duża ilość gazu, którą zaczęto używać do wytwarzania energii elektrycznej lub do procesów hutniczych, zastępując przezeń kosztowny gaz generatorowy, na przykład w piecach martenowskich.

Okolo 40% gazów zużywa się na ogrzewanie powietrza. Po odliczeniu więc pewnej części na straty pozostaje jeszcze blisko 2500 m³ gazów na każdą tonnę wytwarzanego surowca. Przyjmując wartość cieplną 1 m³ gazów za 900 ciepł., równoważnik ciepła i pracy 425 kgm i część ciepła zamienianego na pracę dla silników spalinowych 0,20, obliczymy łatwo wartość energii, wytwarzanej przez gazy, według wzoru:

$$L = \frac{2500 \times 900 \times 425}{24 \times 60 \times 60 \times 75} \times 0,20 = 29,5 \text{ k. m.}$$

Czyli mamy na każdą tonnę wytapianego dziennie surowca okolo 30 koni mech., a więc nowoczesny piec z produkcją 200—300 tonn dostarcza energii 6—8 tys. k. m. Mniej więcej piąta część jej zużywa się na potrzeby wielkiego pieca: na uruchomie-

nie dmuchaw, podnośników, wodociągów i t. d., a reszta może służyć do celów postronnych w tej samej hucie, lub nawet w znacznej odległości od niej w postaci energii elektrycznej.

Pytanie, czy gazy wielkopiecowe w elektrowniach zużywać lepiej bezpośrednio w silnikach spalinowych, czy też zapomocą kotłów parowych w związku z turbogeneratorami, zostało roztrzygnięte w większości hut w ten sposób, że pierwsze zastosowanie daje większe korzyści przy gazie czystym. Jednocześnie poważne głosy są odmiennego zdania. Przypuszczają, że dla dmuchaw silnik spalinowy jest korzystniejszy od turbiny parowej tylko przy wysokiej cenie paliwa i odwrotnie turbodmuchawa jest korzystniejszą, niż silnik gazowy przy niskiej cenie gazu. Powyższe zdanie ma szczególne znaczenie dla warunków, istniejących w państwie Rosyjskiem, gdzie silnik gazowy wskutek dalekiego przewozu i cła wypada prawie dwa razy drożej, niż w fabryce, w której jest budowany. W każdym pojedynczym wypadku należy zbadać i obliczyć, co jest korzystniejsze, przyczem należy brać pod uwagę rzeczywiste wydatki huty, związane z urządzeniem stacyi i jej eksploatacją, niezależnie od obliczonej w ten lub inny sposób, a zawsze trochę fikcyjnej ceny gazu wielkopiecowego.

Bieg wielkiego pieca ma tę właściwość, że ilość otrzymywanych gazów, również ich jakość jest zmienną, przeto raz mamy go za wiele, czasami zaś ilość jego może okazać się niedostateczną. Wywołuje to potrzebę takiego urządzenia gospodarstwa gazowego, ażeby wahania w ilości i jakości otrzymywanego gazu nie mogły wywierać szkodliwego wpływu. W tym celu zaleca się stawianie zbiorników dla chwilowo zbywającego gazu, który służy jako zapas, gdy go zabraknie. Bardzo ważnem jest również, ażeby ciśnienie w miejscach spożycia gazu, a więc ogrzewaczach powietrza, kotłach, silnikach i t. d. było jednostajne, odpowiadające potrzebie. Jest to łatwiejsze, o ile gaz przechodzi przez zbiornik, będący jednocześnie regulatorem. Skuteczniej służą do tego celu ustawione w odpowiednich miejscach zawory, najlepiej samoczynne, które przy zmianie ciśnienia same zmieniają ilość dopływających gazów.

Gazy uchodzą z pieca przy temperaturze 150—200° C. Szybkość ich przy wylocie wynosi od 3 do 10 m/s. Silny prąd jest przyczyną, że gazy unoszą ze sobą znaczną ilość pyłu, składającego się z drobnych cząstek węgla i rudy. Ilość pyłu w gazach zależy od gatunku używanych rud i paliwa i waha się w grani-

cach od 5 do 20 g w 1 m³ gazów. W piecu o produkcyi 300 tonn na dobę, gazy przy średniej zawartości 10 g/m³ mogą unieść dziennie $300 \times 4500 \times 10 \text{ g} = 13,5$ tonn pyłu. Wyrządzając dotkliwą stratę w materiałach, pył zawarty w gazach jest szkodliwy pod innym względem: zanieczyszcza przewody, wywołując konieczność częstego oczyszczania, osiada na powierzchniach ogrzania i jako zły przewodnik zmniejsza sprawność przyrządów ogrzewających, a w większej ilości jest zupełnie niedopuszczalny przy stosowaniu tych gazów do silników spalinowych. Gazy stosowane do celów opałowych nie powinny zawierać więcej pyłu niż 0,1 do 0,5 g/m³, a do silników spalinowych—0,01 do 0,03 g/m³, wymagają więc koniecznie oczyszczania od pyłu przed ich użyciem, przyczem jednocześnie usuwa się z nich para wodna i przez to podnosi się wartość opałowa.

Otrzymywany z gazów pył może być, w postaci brykietów lub aglomeratów, przetapiany w wielkich piecach razem z rudami. Pył wielkopiecowy posiada tę cenną właściwość, że może służyć za spoiwo przy brykietowaniu rudy proszkowej.

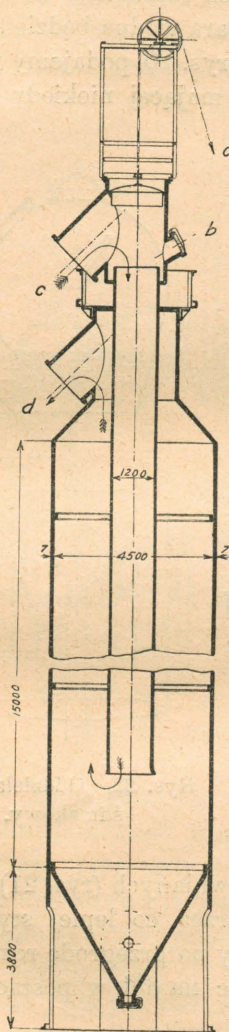
Oczyszczanie gazów.

Oczyszczanie gazów, zależnie od ich przeznaczenia, może być mniej lub więcej dokładne. Rozróżniamy więc czyszczenie wstępne, wystarczające przy stosowaniu gazów do celów opałowych i ostateczne w celu użycia gazów do silników spalinowych.

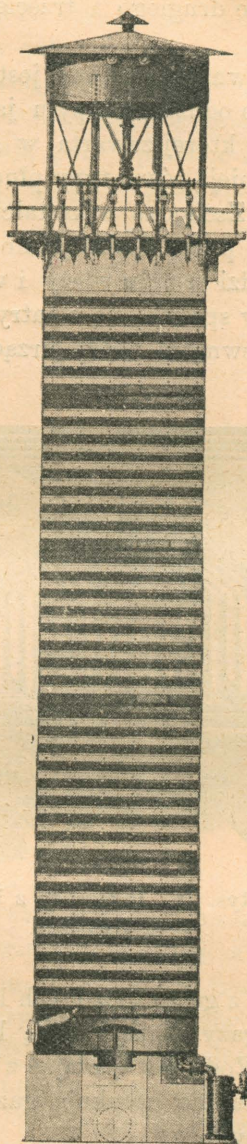
Tak czyszczenie wstępne, jak i ostateczne może odbywać się na sucho i na mokro.

Wstępne oczyszczanie gazów *na sucho* dokonywa się w ten sposób, że przewody gazowe, idące od wielkiego pieca, zaopatrzone są w różnych miejscach, a szczególnie przy załamaniach i rozgałęzieniach, w zbiorniki dla pyłu. Zmniejszona szybkość gazu w miejscu, gdzie jest większy przekrój, wywołuje osiadanie pyłu. Zbiorniki mają kształt walców, zakończonych stożkowo, z kłapami u dołu, dla usuwania nagromadzonego pyłu. Przed zbiornikami w przewodach często ustawiają się przegrody, ażeby uderzający prąd gazów zmieniał kierunek, co również przyspiesza osiadanie pyłu.

Doskonalszy sposób wstępnego oczyszczania gazów widzimy na rys. 19. Jest to wieża znacznej wysokości (do 15 m), w której odbywa się krążenie gazów w kierunku wskazywanym przez



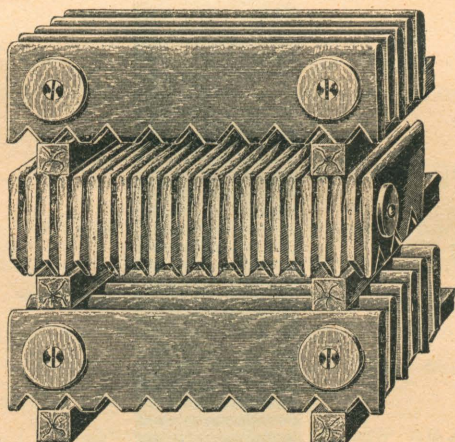
Rys. 19.
Oddzielnacz pyłu.



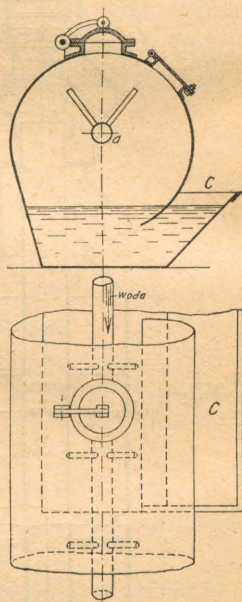
Rys. 20.
Płuczka chłodnica dla gazów.

strzałki. Zmiana przekroju i kierunku, w których odbywa się ruch gazów, wywołuje oddzielanie pyłu. Gaz z jednego oddziela-
cza idzie do drugiego i trzeciego, przez co staje się coraz czyst-
szym.

Oddawna stosowane jest płukanie gazów tak w celu skute-
czniejszego oddzielenia pyłu jak i dla ich chłodzenia do tempera-
tury, przy której zawarta w gazach para wodna będzie się skra-
piała. Istnieją różne typy płuczek. Na rys. 20 podajemy płuczkę
chłodnicę Zschocke w kształcie wieży, mającej niekiedy do 22 m
wysokości przy średnicy do 5,5 m. Gaz wchodzi u dołu wieży i wznosząc
się do góry spotyka się z natryskiwaną
wodą. Wewnątrz wieży urządzone są



Rys. 21. Przegrody z listew
syst. Zschocke.



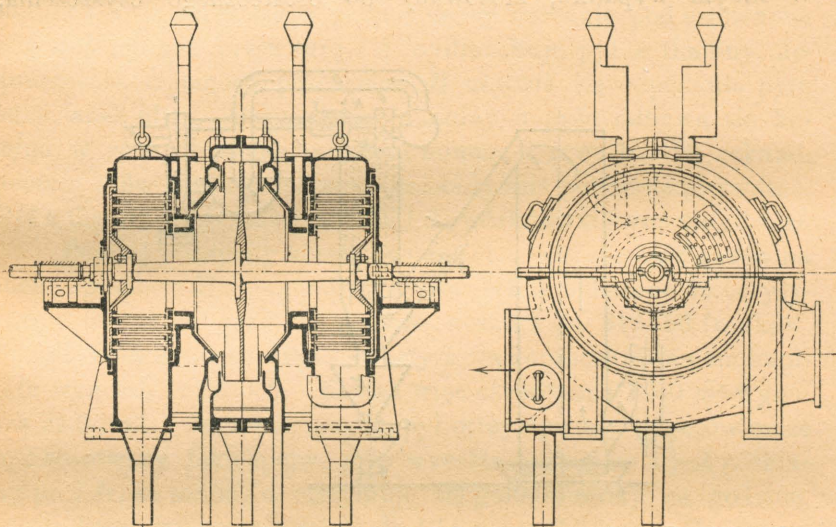
Rys. 22. Oddzielnik pyłu
ślimakowy.

przegrody z gęsto ułożonych listew drewnianych (rys. 21), dokoła
których gazy zmuszone są krążyć, przez co lepiej stykają się
z wodą. Woda zaś spadając z przegrody na przegrodę rozpryskuje
się i dokładnie opłukuje gaz, unosząc na dół w postaci szlamu
50—60% pyłu.

Jednym z najdawniej stosowanych aparatów do oczyszczania
gazu jest przyrząd ślimakowy, przedstawiony na rys. 22. Jest nim
rozszerzony do wielkiej średnicy przewód gazowy, zamknięty wo-
dą, opatrzone klapami bezpieczeństwa, mający wewnątrz rurę *a*,

z której wytryskująca woda w postaci deszczu przepłukuje gazy. Długość przyrządu dochodzi do 8 m. Usuwanie szlamu odbywa się w miarę nagromadzenia się jego na dnie przez otwór *C*.

Czyszczenie ostateczne gazów odbywa się najczęściej *na mokro* przez wprowadzenie gazów i wody w szybki ruch obrotowy w naczyniu zamkniętym stosunkowo niedużych wymiarów. Ciężkie cząsteczki mokrego pyłu uderzają pod wpływem siły odśrodkowej o ścianki przyrządu, osiadają na nich i następnie wypływają z wodą.

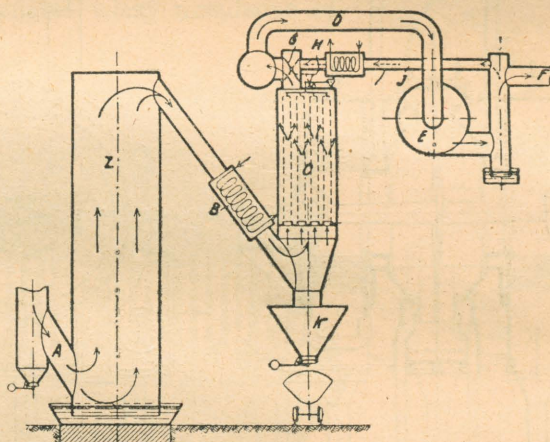


Rys. 23. Dezyntegrator-płuczka Theisena.

Rys. 23 przedstawia dezyntegrator-płuczkę Theisena, zużywającą mniejszą ilość wody i energii mechanicznej, aniżeli inne tego rodzaju przyrządy. Urządzenie składa się z trzech części, z których środkowa przypomina wentylator. Po obu jego stronach umieszczone są symetrycznie skrzynki z płuczkami, zbudowanymi w sposób następujący. Do wału przymocowane są tarcze, a na nich prostopadle listwy z kątowników. Podobne listwy umocowane są również na ściankach skrzynek, koncentrycznie do pierwszych tak, że przy obrocie wału jedne mijają drugie. Podczas ruchu tarczy robiącej 600 obrotów na minutę, woda wchodząca od środka rozбивa się na drobny pyłek i równomiernie zapęłnia przestrzeń. Gaz, wchodzący z dołu, miesza się dokładnie z wodą i przechodzi

do części środkowej, w której szereg łopatek osadzonych ukośnie do osi podchwytuje mieszaninę wody z gazem i odrzuca ku ściankom, na których następuje wydzielenie wody wraz z cząsteczkami pyłu. Woda ze szlamem ścieka po żłobie do rur odpływowych, a oczyszczony gaz idzie do miejsca przeznaczenia.

Przyrząd ten zajmuje mało miejsca, nie potrzebuje obsługi i wskutek silnego oplukiwania wewnętrznych części wyłącza możliwość powstawania osadów, wymagających czyszczenia. Wspomniany dezintegrator, działający bez przerwy, oczyszcza na godzinę 40 tys. m^3 , zmniejszając zawartość pyłu w gazie z 4 do 0,2–0,5 g. W innym wypadku, stosowany do ostatecznego czyszczenia,



Rys. 24. Filtr do czyszczenia gazów na sucho syst. Halberger-Betha.

zmniejszał zawartość pyłu z 0,88 do 0,008 g/m^3 . Zużycie wody wynosiło 0,7–0,9 litra/ m^3 , energii zaś dla czyszczenia wstępnego 3–4 k. m. i dodatkowo dla ostatecznego około 5 k. m. na każdy tysiąc m^3 gazów.

Z powodu znacznego zużycia wody, którą następnie należy odszlamowywać w specjalnych dużych zbiornikach, zwrócono się do szukania sposobów ostatecznego czyszczenia na drodze suchej, zapomocą filtrowania.

Rys. 24 przedstawia schematycznie takie urządzenie. Gazy wielkopieczowe, mające temperaturę 80–120° C., wchodzi przez przewód A do obszernego zbiornika Z, gdzie pozostawiają znaczną ilość pyłu, oziębiając się do 50–60° C., wskutek czego skrapla się

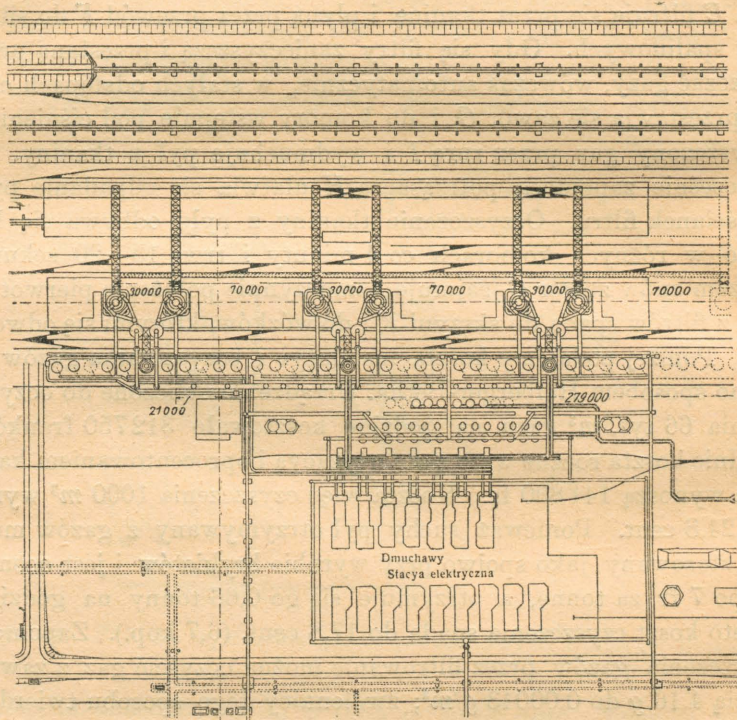
też zawarta w nich para. Ażeby zapobiedz skraplaniu się pary w tkaninie filtrów, gazy ogrzewają się następnie w ogrzewaczu *B* do 70—80° C. i wchodzą do komór filtrowych *C*, których jest cały szereg. W komorach wiszą rury ze specjalnej tkaniny, które otwarte są od końca dolnego a zamknięte od góry. Każdy filtr ma 3 m długości i około 20 cm średnicy. W każdej komorze znajduje się 8—12 filtrów. Gazy ssane przez przewód *D* zapomocą wentylatora *E* filtrują się przez tkaninę i płyną przez przewód *F* do silników spalinowych. Gdy się filtry zanieczyszczą i przestaną przepuszczać gazy, wówczas automatycznie, w stałych odstępach czasu, przestawia się zawór *G* i do komory wstępuje pod ciśnieniem oczyszczony gaz przez rurę *I* i wydmuchuje pył z tkaniny. Jednocześnie zapomocą potrząsacza *H* ułatwia się odpadanie pyłu od ścianek filtru. Oczyszczanie tkaniny z pyłu odbywa się kolejno w różnych komorach co 4 minuty i trwa 15—20 sekund, poczem znów zawór *G* zajmuje samoczynnie położenie pierwotne. Pył z filtrów spada do skrzyni *K* i do wózków, którymi się odwozi.

Poniżej podajemy koszt instalacyi i oczyszczania gazów na sucho sposobem Halberger-Betha. Urządzenie obliczone do oczyszczania 66 tys. m³ gazu na godzinę kosztowało 312750 franków. Średnie koszt roczne wraz z amortyzacją i oprocentowaniem kapitału wynoszą 141890 fr. Koszt więc czyszczenia 1000 m³ wynoszą 24,8 cent. Ponieważ suchy pył otrzymywany z gazów może być stosowany jako spoiwo przy wyrobie brykietów i jest oceniany po 7 fr. za tonnę, a otrzymuje się go 0,66 tonny na godzinę, przeto koszt czyszczenia spada do 17,8 cent. (6,7 kop.). Zapomocą czyszczenia gazów przez filtrowanie można oczyścić gaz z zawartością 4,16 g do 0,00043 g/m³; zwolennicy tego sposobu twierdzą, że koszt mogą być niższe, aniżeli przy sposobie mokrym.

Zasilanie pieca i chwyatanie gazów.

Do pieca, obliczonego na produkcję dzienną 300 tonn, trzeba dostarczyć mniej więcej tyleż koksu, blisko podwójną lub potrójną ilość rudy i połowę, w stosunku do otrzymywanego surowca, topników, co wyniesie razem około 1200 tonn, czyli 80 normalnych wagonów kolejowych różnych materyałów surowych. Istnieją huty z kilkoma piecami, zużywające dziennie do tysiąca wagonów materyałów. Wywołuje to konieczność dobrego rozplanowania pieców i składów dla ułatwienia ruchu kolejowego na terenie

fabrycznym, jak również zaprowadzenia specjalnych urządzeń w celu szybkiego i taniego zasilania wielkich pieców. Plan huty nowoczesnej z wielkimi piecami podaje rys. 25. Jest to plan huty Esch w Luksemburgu, której przekrój przedstawia rys. 7. Huta jest zaprojektowana na 8 wielkich pieców, z których dotychczas postawiono sześć, dających dziennie po 250—300 tonn surowca.



Rys. 25. Plan fabryki wielkopiecowej.

Wszystkie piece są podzielone na grupy po dwa w każdej. Jednakowe rozplanowanie składów koks i rudy, hal odlewniczych, urządzeń dla wstępnego oczyszczania gazów i ogrzewacze powietrza powtarza się w każdej grupie. Czyszczenie wstępne odbywa się w wieżach, stojących między wielkimi piecami i ogrzewaczami powietrza. Przyrządy do ostatecznego czyszczenia gazów, dmuchawy poruszane silnikami spalinowymi i centralna stacya elektryczna są położone na osi symetrii całej zaprojektowanej huty.

Miedzy składami materyałów i piecami ułożony jest tor dla

wywożenia żużli. Również dla odwożenia surowca i pyłu służy tor osobny, położony między wielkimi piecami i ogrzewaczami Cowpera.

Dostarczanie materiałów ze składów do pieca sposobem dawniejszym i dotychczas przeważnie praktykowanym odbywa się zapomocą wyciągu pionowego (windy). Wózki z rudą i węglem są dowożone do wieży wyciągowej i po podniesieniu zapomocą siły mechanicznej na wysokość gardzieli, znów, ręcznie toczą się po szynach do pieca i tu się wyładowują. Ten sposób wymaga licznej obsługi, która przebywając w bliskości wylotu gazów bywa narażoną na zatrucie niemi i na niebezpieczeństwo przy wybuchach, jakie zdarzają się nieraz przy nieprawidłowym biegu pieca. Przy wielkiej produkcji pieców współczesnych często jest rzeczą trudną wystarczająco piec zasilać i wynika z tego potrzeba zwalniania biegu pieca, aby był on stale zapełniony.

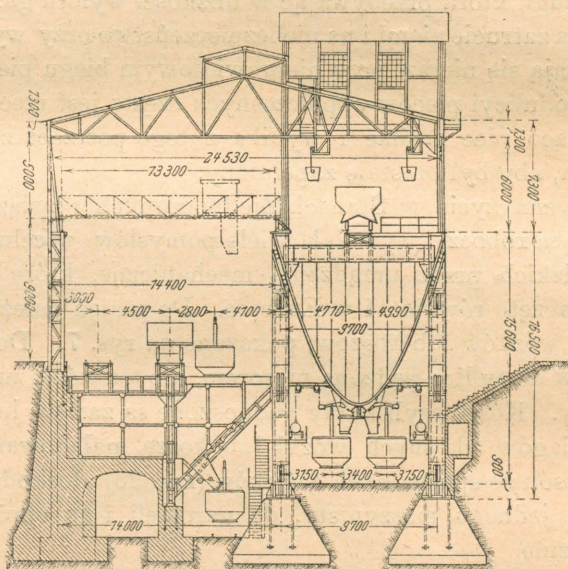
Drożyzna życia w Stanach Zjednoczonych i związana z nią wysoka płaca robocza wywołała wiele pomysłów w celu zastąpienia rąk ludzkich przez urządzenia mechaniczne, które następnie stosować zaczęto również i w Europie. Do takich należą wyciągi ukośne dla wózków lub koszów, pokazane na rys. 7. Do poruszania wózków służy lina pędzona motorem, lub też wózki mają napęd elektryczny. Kosze czyli kubły podnoszone są zawsze liną. Zapomocą wyciągów ukośnych wózki lub kosze, naładowane w ułatwiony sposób ze specjalnych zasieków (rys. 26) dochodzą, kierowane ręką jednego maszynisty, do gardzieli i tu opróżniają się automatycznie.

Czasami odbywa się dowóz materiałów do pieca zapomocą linowej kolei powietrznej. Jest to korzystne wtedy, gdy składy lub koksownie leżą daleko, a wielkie piece są tak postawione, że jedna kolej może je wszystkie obsługiwać. Wózki po opróżnieniu powracają same do składów.

Naboje, doprowadzane do pieca, powinny być zasypywane tak, ażeby tworzyły możliwie równe warstwy na całym przekroju; w razie potrzeby materiały układają się jedne bliżej, drugie dalej od obwodu pieca. Do tego służą przyrządy zasilające, stanowiące obecnie nieodzowną część gardzieli i służące jednocześnie do zamknięcia wylotu i chwytania gazów.

Ponieważ gazy łatwiej się wznoszą przy obwodzie pieca niż w środku, gdyż tam napotykają mniejszy opór, pożądanem jest, ażeby paliwo trafiało więcej do środka, a ruda bliżej obwodu.

W ten sposób skuteczniejsze będzie działanie odtleniające gazów na rudę. Dla wzmocnienia prądu gazów w środku pieca należy wszelki materiał kawałkowy zasypywać tak, by układał się on bliżej środka, przy czem paliwo winno tworzyć pośrodku warstwę grubszą, a dokoła pieca cieńszą warstwę, ruda zaś i topniki odwrotnie. Przy opuszczaniu się na dół, w skutek różnicy ciężarów właściwych i rozszerzania się szybu ku dołowi, na pewnej już głębokości otrzymuje się pozioma powierzchnia zetknięcia się tych warstw.

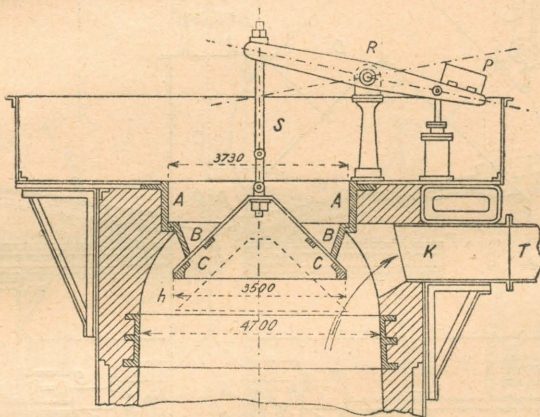


Rys. 26. Zasięki do rudy i koksu.

Różne sposoby chwywania gazów dają się sprowadzić do dwóch zasadniczych, a mianowicie, gaz odprowadza się z obwodu pieca, albo ze środka. Pierwowzorem pierwszego jest stożek Parry'ego, drugiego dzwon Langena. Każdy z tych sposobów ma swoich zwolenników, i trudno zaiste powiedzieć, jakiemu należy oddać pierwszeństwo.

Stożek Parry'ego (rys. 27), po wysypianiu naboju koksu lub rudy z topnikami do przestrzeni BB, opuszcza się na dół, i materiały po pochylej powierzchni stożka zsuwają się do paszczy wielkiego pieca. Jeżeli stożek jest opuszczony tak, że podstawa jego znajduje się daleko od poprzednio zasypanej warstwy, wtedy

zsuwające się po nim materiały uderzają o ściany pieca i odbite padają bliżej środka. Kiedy stożek jest bliżej poprzedniej warstwy, materiały zsuwające się po nim układają się bez odbicia przy obwodzie pieca. Zасыpując pierwiej nabój koksowy, a następnie rudę z topnikami, umieszczamy przy jednakowem zagłębieniu stożka koks bliżej środka, a rudę bliżej obwodu, jak nakazuje teoria. Zwoleńnicy centralnego chwywania gazów utrzymują, że ponieważ gazy przy tym sposobie zasilania uchodzą otworami bocznymi *K* w ścianach pieca, więc ruch gazów potęguje się przy obwodzie, do

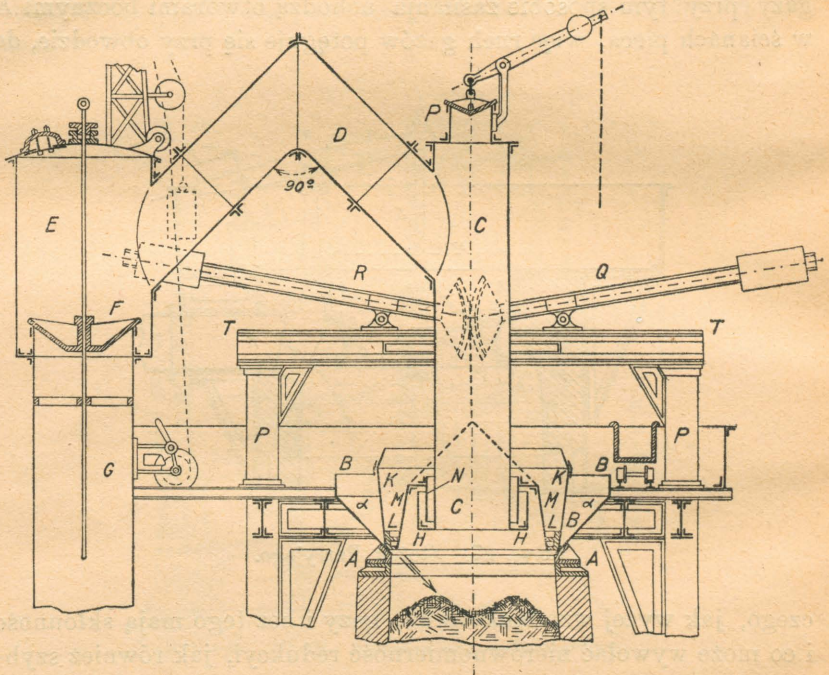


Rys. 27. Stożek Parry'ego.

czego, jak wyżej wzmiankowano, gazy i bez tego mają skłonność i co może wywołać nierównomierność redukcji, jak również szybsze zużycie ścian pieca.

Dzwon Langena (rys. 28) składa się z trzech części: nieruchomego leja *aa* do zadawania nabojów, rury *C* w środku do chwywania gazów i ruchomego walca (dzwona) *KK*, zamykającego dolną część leja. Wewnętrzna krawędź *M* dzwona jest jedną stroną zanurzona do korytka *H* z wodą, przymocowanego dokoła rury środkowej, przez co otrzymuje się szczelniejsze zamknięcie wylotu. Ruda i koks zasypane do leja wpadają do paszczy przy podnoszeniu dzwona do góry i układają się dokoła rury, odprowadzającej gazy. Najpierw zasypuje się koks, który, zsuwając się po pochyłej powierzchni leja do środka, tworzy dokoła rury środkowej wał i zmusza tym sposobem zadawaną następnie rudę do układania się grubszą warstwą bliżej ścian pieca. Ponieważ zasi-

lanie odbywa się przez podnoszenie dzwona, piec przy tem urządzeniu zapełnia się do samej góry, przez co wzrasta wysokość użyteczna wielkiego pieca. Zanurzona w materiałach rura, odprowadzająca gazy, skierowuje krążenie gazów od ścian ku środkowi pieca. Przeciwnicy tego sposobu zasilania twierdzą, że regulowanie warstw jest tu trudniejsze, aniżeli przy stożku Parry'ego.

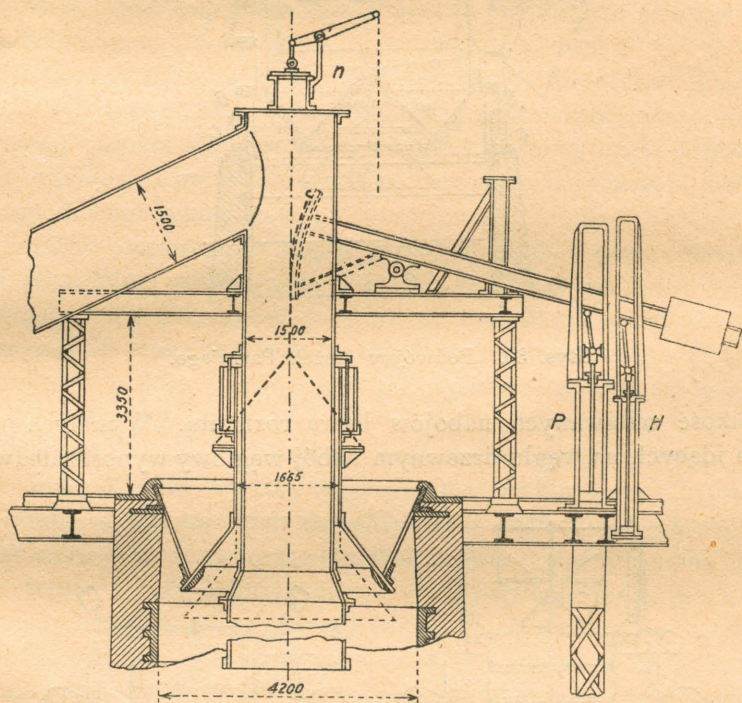


Rys. 28. Dzwon Langena.

W celu połączenia zalet obydwu rodzaju zamknięć istnieje wiele sposobów kombinowanych, jak na przykład *przyrząd Van Hoffa* (rys. 29), łączący środkową rurę do chwytności gazów ze stożkiem do wpuszczania naboików. Wprowadzony był on w użycie przed dzwonem Langena.

Aby zapobiedz ulatnianiu się gazów podczas zadawania naboików, nowoczesne przyrządy zasilające mają zamknięcia podwójne, tak, iż w chwili otwarcia przyrządu z jednej strony jest on samoczynnie zamykany z drugiej, a zatem strata gazów nie przekracza objętości zbiornika zasilającego przy każdorazowym zasypywaniu naboiku. Rys. 30 przedstawia podwójny stożek Parry'ego.

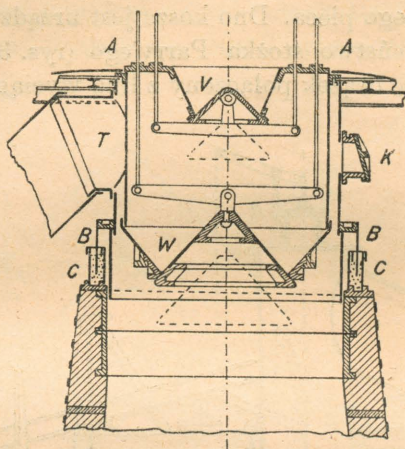
Przy stosowaniu wyciągów ukośnych, a przy nich kubłów lub koszów, można uniknąć niepożądanego dwukrotnego przesypania naboju raz z wózka do zasilającego zbiornika, drugi raz ze zbiornika do pieca, przez co się zmniejsza ilość mialu, wprowadzanego do wielkiego pieca. Dno kosza jest urządzone w tym wypadku na podobieństwo stożka Parry'ego (rys. 31). Od stożka, w dnie kosza, idzie drążek połączony z liną wyciągową. Póki kosz



Rys. 29. Przyrząd Van Hoffa.

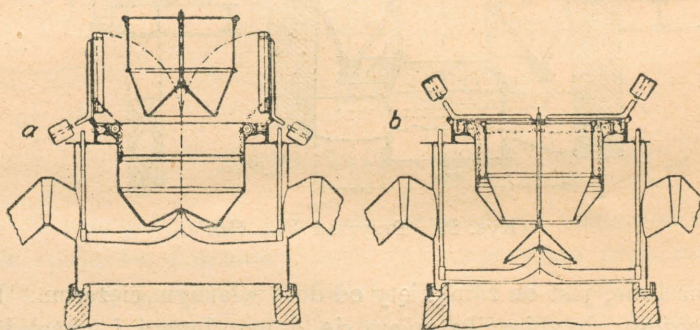
wisi na linie, jest on zamknięty od dołu własnym ciężarem. Kosz wpuszczony do zbiornika opiera się o jego brzegi i stożek kosza nie powstrzymywany przez linę opuszcza się pod wpływem ciężaru materiałów a jednocześnie opuszcza się stożek w zbiorniku, stanowiący zamknięcie pieca. W ten sposób koks i namiar wpadają bezpośrednio z kosza do paszczy pieca. Zbiornik posiada podwójne zamknięcie, polegające na tem, że po wpuszczeniu kosza do zbiornika, lecz przed opuszczaniem stożków, automatycznie opadają dwie kłapy i zamykają szczelnie zbiornik od góry.

Na rys. 31^a widzimy zbiornik otwarty u góry w chwili wpuszczania kosza, a na rys. 31^b kosz znajduje się w zbiorniku zamknięty u góry, przyczem obydwie stożki kosza i zbiornika są opuszczone.



Rys. 30. Podwójny stożek Parry'ego.

Wielkość zadawanych nabojów bywa rozmaita. W małych piecach idących na węglu drzewnym nabój węglowy wynosi zaledwie



Rys. 31. Kosz zasilający.

300 kg, wówczas, gdy przy wielkich piecach—na koksie kosze objętości do 8,5 m³ mieszczą w sobie 5 tonn koksu lub też 7 do 10 tonn rudy.

Literatura: Lilge Fr., Hochofen Begichtungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Wirtschaftlichkeit, Berlin 1913.

Budowa wielkiego pieca.

Za materiał do budowy wielkiego pieca służy cegła ogniotrwała i żelazo. Cegła powinna nie tylko opierać się działaniu wysokiej temperatury, to jest nie topić się i nie pękać pod jej wpływem, lecz również nie ulegać działaniom chemicznym i fizycznym przy zetknięciu się z gazami gorącymi lub z płynnym żużlem. W różnych częściach pieca działanie tych czynników, jak również ciśnienie, jakiemu podlega cegła, jest niejednakowe.

Używa się do budowy przeważnie *cegła szamotowa*. Ogniotrwała glina wypalona i zmielona miesza się z małą ilością gliny surowej, poczem dopiero z tej masy wyrabia się cegła odpowiedniej wielkości i kształtu. Cegła po ostrożnem wysuszeniu powinna być mocno wypalona.

Cegła do dolnych części pieca, spadku i garu, powinna być szczególnie ogniotrwała i oprócz tego odporną na działanie roztopionych żużli, które, jako krzemiany, mogą częściowo rozpuszczać w sobie składniki zawarte w masie szamotowej: krzemionkę lub glinę, zależnie od tego, czy żużle będą więcej zasadowe, czy też kwaśne.

Cegła do budowy szybów może być mniej ogniotrwała, lecz powinna posiadać większą wytrzymałość na ciśnienie. Zaprawa murarska winna mieć ten sam skład co i cegła i być jak najdrobniej zmieloną. Przy budowie należy uważać, ażeby spoiny między cegłami były jaknajwęższe, celem zabezpieczenia muru od przenikania ciał, co w następstwie wywołać może zwiększenie spoin i pęknięcia. Dawniej uważano za konieczne, w celu zmniejszenia ilości spoin, nadawać cegle takie wymiary, ażeby sięgała przez całą grubość ściany, lecz, że dokładne doszlifowanie do siebie większych kamieni jest rzeczą niezbyt łatwą, używają więc obecnie cegieł normalnych, wiążąc je w sposób odpowiedni.

W ostatnich czasach są stosowane z powodzeniem dla trzonu, garu i spadku *cegły węglowe*, wyrabiane z drobno mielonego koksu z dodatkiem 25% smoły pogazowej. Cegła, znacznych rozmiarów, uformowana z tej masy, po wysuszeniu wypala się w hermetycznie zamkniętych muflach, przesypana proszkiem węglowym, lub koksowym. Tak otrzymana cegła jest twarda, znosi wysoką temperaturę i nie ulega działaniu żużli, może być jednak stosowana tylko w miejscach niedostępnych dla utleniającego wpływu po-

wietrza i gazów. Z tego powodu mur z kamieni węglowych powinien być wyłożony od wewnątrz pieca cegłą szamotową; dla ochrony od wilgoci otacza się zewnątrz pancerzem żelaznym.

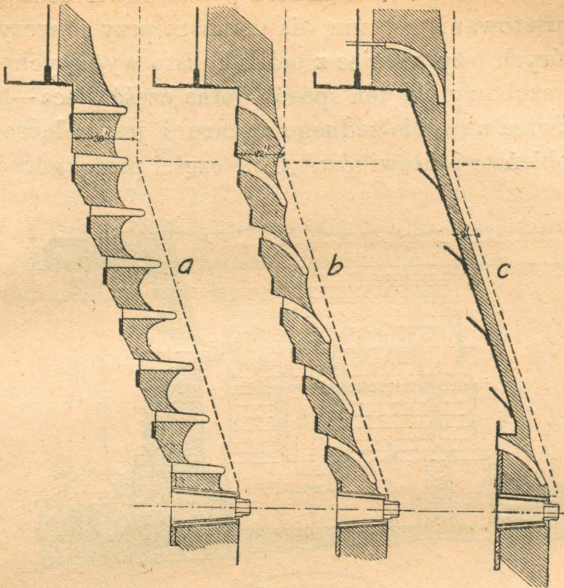
Używają również do garu *ceglę kwaśnej*, zwanej *Dinas*, mocno wypalanej i składającej się z możliwie czystej krzemionki, zcementowanej jak najmniejszą ilością wapna (2%).

Najlepsza jednak cegła nie może długo opierać się wpływowi wysokiej temperatury, panującej w piecu i działaniu żużli; dla zwiększenia więc jej odporności stosuje się chłodzenie ścian pieca z zewnątrz. Szyb pieca, ze stosunkowo niższą temperaturą, poniżej 1000°C ., do niedawna był chłodzony naturalnie otaczającym powietrzem, obecnie coraz częściej stosuje się *chłodzenie wodą*. Spadek, a szczególnie gar wymagają zawsze energicznego chłodzenia wodą, która się odbywa w sposób rozmaity.

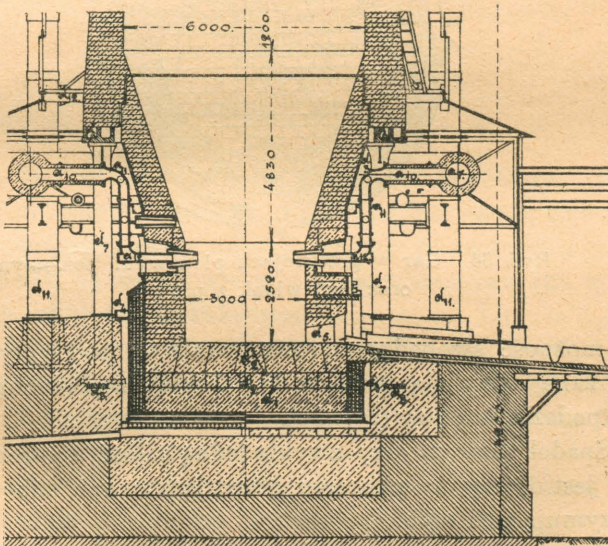
Jeżeli piec jest opancerzony blachą, woda natryskiwana na powierzchnię ścieka po blasze na dół, ku rynnie odpływowej. W innych wypadkach pancerz jest otoczony śrubowo biegnącą rynną, po której przepływa woda, albo w ścianach jest wmurowanych kilka rzędów jeden nad drugim skrzyń żelaznych lub bronzowych, do których doprowadza się woda rurami. Wreszcie w płyty z żelaza lanego lub stali, otaczające mur, zalewają się rurki gazowe, po których krąży woda, albo też rury wodne o średnicy 2 cali zakładają się bezpośrednio w murze. Rys. 32 podaje różne sposoby chłodzenia spadku: *a* — jest najbardziej rozpowszechnionym sposobem amerykańskim z poziomymi skrzyniami chłodzącymi; skrzynie *b* mają kształt wygięty i ilość ich może być mniejsza; przy sposobie *c* chłodzenie odbywa się przez natryskiwanie wody na płaszczyznę żelazną, otaczający cienkie ścianki muru.

Nowoczesne piece wymagają dla chłodzenia murów, zależnie od swej wielkości i gatunku wytapianego surowca, od 2 do 4 tys. m^3 wody na dobę, co odpowiada spożyciu wody w mieście z ludnością 25—40 tys. mieszkańców. Dla zaoszczędzenia tej olbrzymiej ilości wody ustawiają przy wielkich piecach chłodnice w celu ostudzenia wody dla powtórnego jej użycia.

Fundament buduje się z betonu i oblicza się na ciśnienie pieca, wypełnionego materyałami. Głębokość fundamentu do poziomu wynosi 2—3 *m* i najczęściej drugie tyle nad poziomem, ażeby zabezpieczyć piec od wilgoci i ułatwić wypuszczanie żużli i surowca do kadzi, znajdujących się na wozach dla szybkiego odwożenia poza obręb huty.

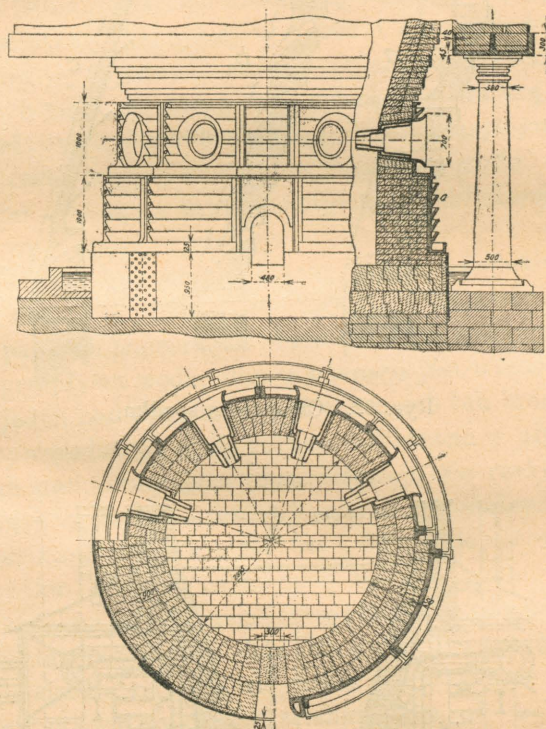


Rys. 32. Chłodzenie spadku.



Rys. 33. Dolna część wielkiego pieca.

Po wyprowadzeniu fundamentu ponad powierzchnię ustawia się na nim rusztowanie żelazne dla pomostu przy paszczy i także słupy, na których leży wieniec z belek kolisto wygiętych, podtrzymujący mur szybowy. W ten sposób dolna część pieca—gar i spadek—nie dźwiga na sobie żadnego ciężaru i jest połączona z szybem na podobieństwo dławików. Obie części pieca, górna i dolna,



Rys. 34. Gar w przekrojach pionowym, poziomym, oraz jego widok z przodu.

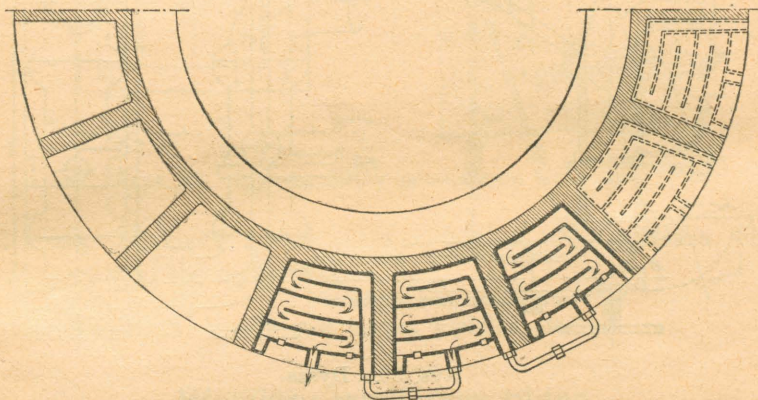
mają możność swobodnego rozszerzania się pod wpływem ciepła i rozgrzane zamykają przestrzeń (30 mm), zostawioną pomiędzy nimi podczas budowy (rys. 33).

Spadek pieca tworzy zwykle jedną całość z garem, lecz niekiedy jest oparty na pancerzu otaczającym gar, albo na słupach podtrzymujących szyb.

Trzon złożony jest z kilku rzędów cegły dużych wymiarów, kształtu romboidalnego lub innego, szczelnie przyszlifowanych i ułożonych w sposób usuwający możność wypływania cegieł na

powierzchnię surowca, zebranego w kotlinie. W celu chłodzenia pod trzonem urządzone są poziome kanały, po których może krążyć powietrze, a często trzon spoczywa na żelaznych dźwigarach, ażeby powietrze, a niekiedy woda mogły go chłodzić od dołu.

Ponieważ w garze panuje temperatura najwyższa i znajduje się surowiec płynny, którego wylew przez uszkodzone ścianki spowodować może groźne następstwa, największe usiłowania skierowane są do umocnienia ścianek garu. Na rys. 34 przedstawiona jest budowa garu w przekrojach poziomym i pionowym, oraz jego widok z przodu. Ściany są otoczone *pancerzem* z płyt żelaznych i chłodzone wodą, krążącą po rynnach *a* pancerza.



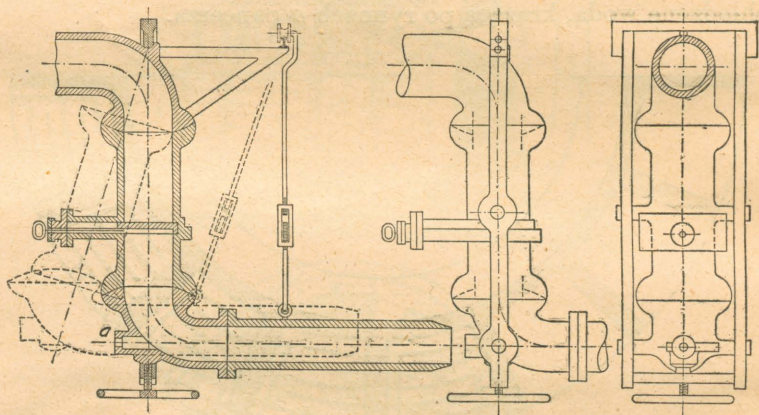
Rys. 35. Skrzynie chłodzące.

Istnieją jeszcze inne sposoby opancerzania kotliny. Często stosowany jest naprz. pancerz z pionowych sztab żelaznych 50×50 mm, umieszczonych między dwoma płaszczyznami z blachy żelaznej. Sztaby są mocno wbite w masę szamotową lub w mieszaninę smoły, gliny i pyłu koksowego.

Grubość muru w spadku dochodzi do 550 mm. Do studzenia go służą trzy rzędy chłodzących skrzyń miedzianych lub bronzowych, mniej lub więcej głęboko osadzonych w murze, w których krąży woda (rys. 35).

Dysze, które powietrze wchodzi do wielkiego pieca, składają się z dwóch części: jednej nieruchomej, składowej części pieca, osadzonej w otworze dyszowym, zwanej *formą* (tuyère, die Form), i właściwej dyszy, będącej zakończeniem przewodu powietrznego (la buse, die Düse). Formy miedziane lub bronzowe,

mające podwójne ścianki, by chłodzić je wodą, służą do obramowania otworów dyszowych (rys. 37). Formy wchodzą wewnątrz pieca na głębokość 200—400 mm, a to w celu oddalenia ogniska palenia od ścian muru. Dysze właściwe (rys. 36) są urządzone w taki sposób, ażeby je można było odejmnąć od form, na wypadek robót reparacyjnych przy formach, lub ich zamiany. Powinny one szczelnie przylegać do form i posiadać zamknięcia, w celu zabezpieczenia przewodów powietrznych od wchodzenia do nich gazów przy zatrzymaniu wiatru, co mogłoby wywołać wybuchy. Dysze



Rys. 36. Dysza.

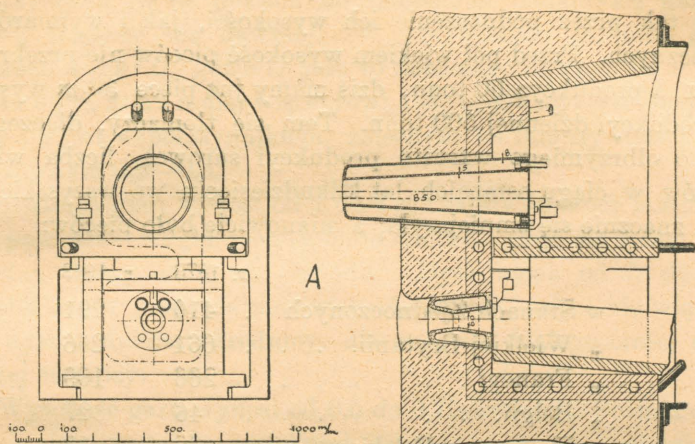
są zaopatrzone w okienka *a* ze szkła kolorowego, umieszczone na wprost form, żeby przez nie można było obserwować wewnątrz i bieg wielkiego pieca.

Wielki piec posiada otwór do spuszczenia żużla, obramowany formą żużlową. Forma ta, mosiężna, na rys. 37 leży w jednej płaszczyźnie pionowej z formą powietrzną, wę wspólnej wnęce pieca, w skrzyni chłodzonej wodą.

Owalny otwór do spustu surowca d_s (rys. 33), podobnie do formy żużlowej, mieści się w ramie stalowej i jest zatykany korkiem z mieszaniny gliny, szamotu, proszku kokсового i smoły. Często spust ten posiada w ramie węzownicę do chłodzenia wodą.

Mur szybu składa się z dwóch rzędów cegły szamotowej o grubości całkowitej około 850 mm. Szyb otoczony jest rzędami obręczy żelaznych 100×20 mm, związanych śrubami i klinami, mającymi pewien luz, więc mogących regulować długość obręczy przy rozszerzaniu się szybu od rozgrzania.

Ostatniemi czasy w Ameryce uważają za korzystne budować szyby o cienkich ściankach w panczeru chłodzonym w różny spo-



Rys. 37. Oprawa formy powietrznej i żuźlowej.

sób wodą. Niekiedy górna część szybu jest tylko z żelaza, chłodzonego wodą, bez wyłożenia cegłą.

Literatura: Pawłow M. prof. Atlas wielkich pieców.

Wymiary wielkiego pieca.

Przy obliczaniu wymiarów wielkiego pieca za punkt wyjścia bierze się projektowaną dzienną produkcję surowca i zależna od niej objętość pieca. Rozróżniamy objętość całkowitą od *objętości użytecznej*. Ostatnią nazywa się objętość pieca do poziomu zasypywanych materiałów, czyli od objętości całkowitej należy odjąć przestrzeń zajętą przez przyrządy zasilające. W podobny sposób otrzymujemy wysokość pieca całkowitą i użyteczną; różnica tych wysokości wynosi niekiedy do 3 m.

Stosunek produkcji do objętości użytecznej waha się w dość szerokich granicach, gdyż zależy od materiałów surowych, gatunku wytapianego surowca, stopnia ogrzania powietrza i t. d. W różnych wypadkach na 1 tonnę wytapianego dziennie surowca przypada od 1,25 do 4 m³ objętości wielkiego pieca. Naprzykład, więcej się wytapia surowca martenowskiego i tomasowskiego, aniżeli odlewniczego lub żwierciadlistego. Dłuższe przebywanie rudy w pie-

cu często daje oszczędność na opale, więc nieraz umyślnie w tym celu zmniejszana jest produkcya na jednostkę objętości.

Istnieje stała dążność do zwiększania objętości wielkich pieców tak przez podnoszenie ich wysokości, jak i wymiarów poprzecznych. Przed pół wiekiem wysokość pieców nie przekraczała 18 *m*, a produkcya 50 tonn, dziś mamy już piece 30 *m* wysokości o produkcji dziennej 500 tonn. Tem się tłumaczy, dlaczego pomimo olbrzymiego wzrostu produkcji surowca, liczba wielkich pieców w ciągu ostatnich lat kilkudziesięciu we wszystkich krajach znacznie się zmniejszyła; a mianowicie było pieców:

	r. 1873	r. 1913
w Stanach Zjednoczonych .	410	291
„ Wielkiej Brytanii.	661	266
„ Francyi	266	109
„ Belgii.	46	27
„ Królestwie Polskiem . . .	38	13

Zwiększona wysokość pieca wywołuje obniżenie wydatku paliwa, gdyż rudy przebywają dłużej w piecu i gazy lepiej oddają ciepło materyałom surowym. Wysokość pieca jest ograniczoną przez wytrzymałość paliwa i rud na ciśnienie. Dla wielkich pieców pracujących na węglu drzewnym wysokość nie powinna przekraczać 15—18 *m*, dla koksowych 30 *m*. Rudy ziemiste i łatwo kruszące się wymagają pieców niższych, gdyż zbijając się pod ciśnieniem w zwarte masy stawiają znaczny opór wznoszącym się do góry gazom, nierównomiernie podlegają ich działaniu i przychodzą do garu częściowo w stanie surowym.

Stosunek wysokości pieca do przestronu wynosi od 3 do 5, najczęściej około 4,5. W wypadku ostatnim zależność objętości użytecznej V w m^3 od wysokości pieca H i przestronu D wyraża się w przybliżeniu wzorem $V=0,49 D^2 H$.

Produkcya wielkiego pieca zależy od średnicy garu, gdyż im więcej dysz można umieścić na obwodzie, tem więcej wtłacza się powietrza. Większa ilość powietrza spala więcej koksu i przetapia więcej rudy. Wpływ większej liczby dysz przy jednakowej ilości doprowadzanego przez nie powietrza wyraża się zwiększonym ciśnieniem w garze. Zwiększone zaś ciśnienie prowadzi do energiczniejszego spalania koksu, przyczem otrzymujemy wyższą temperaturę, i większa ilość odtlenionego manganu i krzemu przechodzi do surowca. Szerszy gar pozwala na znaczniejsze wysunięcie dysz

wgłąb pieca, przez co ognisko tworzy się w środku garu i dalej od ścian, które przez to ulegają mniejszemu zużyciu. Wszystko to jest przyczyną, iż w piecach nowoczesnych nadaje się garowi przekrój większy niż dawniej. W przybliżeniu średnica garu w metrach $d = k\sqrt{C}$, gdzie C jest to ilość zużytego paliwa w tonach na dobę, która mniej więcej równa się produkcji dziennej surowca, a k jest współczynnikiem, zależnym od intensywności spalania, równym 0,2—0,3.

Średnica garu wynosi od 2 do 4 m i zależy od mocy miechów, ażeby powietrze mogło dochodzić do środka. Daje się mniej więcej jedną dyszę na 1 m obwodu. Dysz bywa od 5 do 12. Przy obliczaniu pieca na surowiec odlewniczy zaleca się większą liczbę dysz o mniejszej średnicy, dla surowca białego mniej dysz większej średnicy.

Wysokość garu wynosi od 0,5 do 0,75 średnicy. Poziom dysz znajduje się powyżej $\frac{2}{3}$ wysokości garu i często stanowi granicę między garem i spadkiem.

Kąt spadku wynosi 70—78°. Przy mniejszym kącie spadku materiały posuwają się wolniej ku garowi, niż przy spadku stromym, co jest pożądanem przy otrzymywaniu surowców odlewniczych, wytapianych przy żuźlach trudnotopliwych. Surowce te powinny przebywać dłużej w pasie nawęglania i zwiększać w sobie zawartość krzemu, powstającego przez redukcję bezpośrednią w spadku.

Od wielkości przekroju paszczy i kąta pochylenia stożka szybowego (84—86°) zależy prawidłowe opuszczanie się naboju. Przy opuszczaniu naboje coraz bardziej rozpościerają się w kierunku poziomym i to w tem większym stopniu, im szerszy jest przestrzeń w stosunku do gardzieli. Jednocześnie warstwy początkowo poziome nabierają wklęsłości lub odwrotnie, i w ogóle uwarstwienie się zatracą. Pochodzi to stąd, że ruda i koks opuszczają się niejednakowo. Ruda będąca zawsze w kawałkach mniejszych niż koks, a cięższa gatunkowo, przeciska się w kierunku pionowym między kawałkami koksu, odsuwając je ku obwodowi. Zachodzi więc zawsze wyprzedzanie koksu przez rudę. Temu wyprzedzaniu sprzyja znaczne tarcie, wskutek właściwości powierzchni, koksu o siebie i o ścianki pieca. Szczególne znaczenie ma to ostatnie. Przekrój zwiększa się w stosunku do kwadratu, a obwód w stosunku prostym do średnicy. Przeto szeroka paszcza, a więc i szyb, zmniejszając tarcie o ścianki, sprzyjają prawidłowemu opuszczaniu się naboju.

Tablica poniższa podaje wymiary i dane dotyczące różnych współczesnych wielkich pieców:

1. Objętość całkowita . . . m^3	184	504	437	619	745	453	610	336	394	732	256	168
2. Objętość użyteczna . . . m^3	180	456	411	602	685	431	575	318	380	670	250	158
3. Produkcyja dzienna . tonn	90	160	170	220	460	140	450	115	300	450	62	100
4. Na 1 t. przypada objętości m^3	2,0	2,85	2,42	2,74	1,49	3,08	1,23	2,76	1,3	1,49	4,04	1,58
5. Wysokość użyteczna . . . m	15,2	23	19,8	22,2	28,7	20	28	17,8	21	27	18	17,1
6. Średnica przestroni . . . m	5,0	6,2	6,5	6,9	6,7	6,5	7,2	6,0	5,8	6,7	5,4	4,1
7. „ garu m	2,0	3,8	3,5	3,2	4,88	3,6	4,2	3,2	3,5	4,8	2,0	2,4
8. „ paszczy m	4,0	4,2	4,5	5,07	5,14	4,7	4,4	4,4	4,0	5,18	3,8	3,0
9. Ciśnienie powietrza w cm słupa rtęci	20	30	37,5	32	78	27	60	23	46	78	37	17
10. Temperatura powietrza . $^{\circ}C$	800	650-700	800	850	435	600	760	700	540	435	750	400
11. Liczba dysz	4	7	7	10	10	7	9	6	10	12	6	6
12. Średnica wylotu form mm	200	200	180	160	178	170	200	160	150	178	110	150
13. Przekrój powietrzny wszyst- kich form cm^2	1256	2198	1778	2010	2488	1582	2826	1206	1767	2988	570	—
14. Przekrój garu m^2	3,14	11,34	9,62	8,04	18,70	10,17	13,85	8,04	9,62	18,70	3,14	4,52
15. Wydajność surowca z na- miaru %	31	33	48	42	45	35	43	43,9	50	43	32	51
16. Wydatek koksu %	117	103	107	116	91	122	104	100	97	90	259	115
17. Jakość koksu	średni	dobry	dobry	średni	dobry	zły	dobry	zły	dobry	b. dobry	dobry	węgiel drzewny
18. Czas przebywania rudy w piecu godz.	21	19	24	30	11	21	10	20	12	10	12	10
19. Ilość żużla %	104	84	49	50	49	97	62	75	39	53	114	30
20. Stosunek CO_2 do CO . . .	0,39	0,65	0,24	0,28	0,54	0,24	0,27	0,26	0,53	0,56	0,25	0,6
21. Gatunek surowca	odlewn.	odlewn.	hemat.	hemat.	bessem.	tomas.	tomas.	mart.	mart.	mart.	żelazo- mang. 86%	mart.
22. Dodatek topnika $CaCO_3$ %	0	0	26	23	23	18	1	32	23	19	47	6
23. Gatunek rudy	minette	minette	br.+ cier.+ magn.	br.+ cier.+ spat.	czerw.	magn.+ br.+ spat.	brun.+ magn.	brun.+ czew.	czerw.	brun.	magn.	czerw.

Literatura: Pawłow M. prof. Metalurgia surowca. Petersburg. 1910.

Prowadzenie wielkiego pieca.

Nowozbudowany lub nanowo po gruntownej reparacji puszczone piec powinien być z całą ostrożnością wysuszony. Suszenie prowadzi się powolnie i trwa około dwóch tygodni. Przy szybkim suszeniu w murze mogą powstać rysy. Suszenie odbywa się zapomocą przystawianego paleniska, z którego gazy spalinowe wchodzi do wielkiego pieca, służącego jednocześnie za komin. Czasami używa się w tym celu gorącego powietrza lub gazów, o ile można nimi rozporządzać przy biegu innych pieców.

Dokładnie wysuszony piec zapełnia się do przestronu koksem z odpowiednią ilością wapienia dla utworzenia żużla z popiołem paliwa—i koks rozpala się od dołu. Gdy płomień ukaże się na powierzchni koksu, zasypują się prawidłowo normalne naboje kokso-we i zmniejszone naboje rudy z topnikami. Do rudy często dodaje się żużli wielkopieczowych, aby przez pokrycie ścian szklistą powłoką podnieść ich odporność. Po zapełnieniu pieca puszcza się powietrze z początku o słabem ciśnieniu, a następnie stopniowo coraz większem, aż do normalnego, które się osiąga po 4—6 dniach. O ile się rozporządza gazami innych pieców—można doprowadzać odrazu powietrze ogrzane, w przeciwnym razie rozpoczynać trzeba od zimnego dmuchu. W miarę rozgrzewania pieca i podnoszenia temperatury powietrza nabój rudy zostaje zwiększany.

Szybkość puszczania w bieg wielkiego pieca zależy od doświadczenia i uwagi kierownika, który ma możność sądzenia o przebiegu, badając otrzymywane żużle i surowiec.

Praca przy normalnym biegu pieca polega na zasilaniu go materiałami surowymi, wypuszczaniu wytopionego surowca i żużli, na dozorze nad ogrzewaczami powietrza i doglądaniu dysz i chłodnic. Przy jednostajnej ilości doprowadzanego powietrza naboje powinny opuszczać się w jednakowych odstępach czasu, dysze powinny świecić jasno i żużel winien być odcieni jasnych, gdyż barwa ciemna wykazuje redukcję niedostateczną, a zatem bieg nieprawidłowy. Krążenie wody w chłodnicach powinno być nieustanne; niebezpieczne jest zarówno zatkanie rur dopływowych jak i odpływowych.

Odpowiednio do biegu zmienia się skład nabojów rudy i ich wielkość w stosunku do koksu. Przyjętą jest zasada, że nabój koksowy jest stały i niezmienny, zmienia się tylko wielkość nabojów

rudy. Ponieważ ruda jest znacznie cięższa od koksu, więc przy tej zmianie objętość całkowitego naboju zmienia się nieznacznie. Zależnie od wielkości pieca i rodzaju rudy, naboje koksu wynoszą 2—7 tysięcy *kg*, a namiary rudy z topnikami 4—15 tys. *kg*.

Wielkie piece nowoczesne zarówno wskutek swej kosztowności, jak z powodu wielkiej produkcji, związanej ze stałym dowozem ogromnej ilości materiałów surowych, wymagają troskliwej opieki, ażeby prawidłowy bieg pieca nie ulegał zmianom, a piec raz puszczony mógł jak najdłużej pracować bez przerwy. Kampanie wielkopiecowe trwają po kilka, czasami po kilkanaście lat. Praca odbywa się w dzień i w nocy, tak w najuroczystsze święta, jak i w dniu powszednie.

Dnia 14 maja 1914 r. zakończył kampanię wielki piec angielski w Middlesborough, puszczony w bieg 8 maja 1876 r. Pracował bez opróżniania w ciągu lat 38, pomimo szeregu poważnych strajków. W czasie tej nadzwyczajnej kampanii wytopiono 1 365 387 tonn surowca. Celowość takiego przedłużania kampanii jest więcej niż wątpliwą. Postępy w budowie, wymiarach, przyrządach zasilających i t. d. są tak szybkie, iż piec zbudowany przed laty kilkunastu nie może stać na wysokości wymagań współczesnych.

Koniec kampanii następuje zazwyczaj wtedy, gdy piec został zniszczony przez zużycie się wyłożenia ogniotrwałego. Opróżnianie pieca odbywa się w ten sposób, że przerywa się zasypywanie nabojów i zmniejsza ciśnienie powietrza. Dopływ powietrza zostaje wstrzymany, kiedy ostatni nabój zostanie przetopiony. Ażeby zabezpieczyć szyb od uszkodzenia przy opróżnianiu, często w miarę opuszczania ostatnich nabojów piec dopełnia się kamieniem wapiennym, który obniża temperaturę pieca, przyczem otrzynuje się bez kosztów znaczna ilość wapna palonego.

W wypadkach nadzwyczajnych, jak połamanie maszyn, brak materiałów, strajk i t. p. wypada nieraz bieg pieca wstrzymać na czas krótszy. W takich razach należy przedewszystkiem zabezpieczyć piec od ochłodzenia i skrzepnięcia mas płynnych. W tym celu wypuszcza się nagromadzony surowiec i żužel, zatyka hermetycznie dysze i spusty, ażeby nie dopuścić dopływu powietrza atmosferycznego i zatrzymuje się dopływ wody do chłodnic. Jeżeli zatrzymanie pieca przewidzieć można zgóry, wtedy wysypuje się do pieca kilka lub kilkanaście nabojów jałowych, t. j. koksu bez rudy i przerywa doprowadzanie powietrza w chwili, kiedy

przed dyszami okaże się jedynie rozżarzone paliwo. Oko uzbrojone w szkło kolorowe, obserwując przez dysze wnętrze pieca, zwykle może widzieć wyraźnie między rozżarzonymi kawałkami koksu, krople spływającego surowca i żużli, lub też koks czysty. Piec umiejętnie przygotowany do zatrzymania może być puszczo-ny w bieg ponownie po upływie kilku tygodni, a niekiedy paru miesięcy.

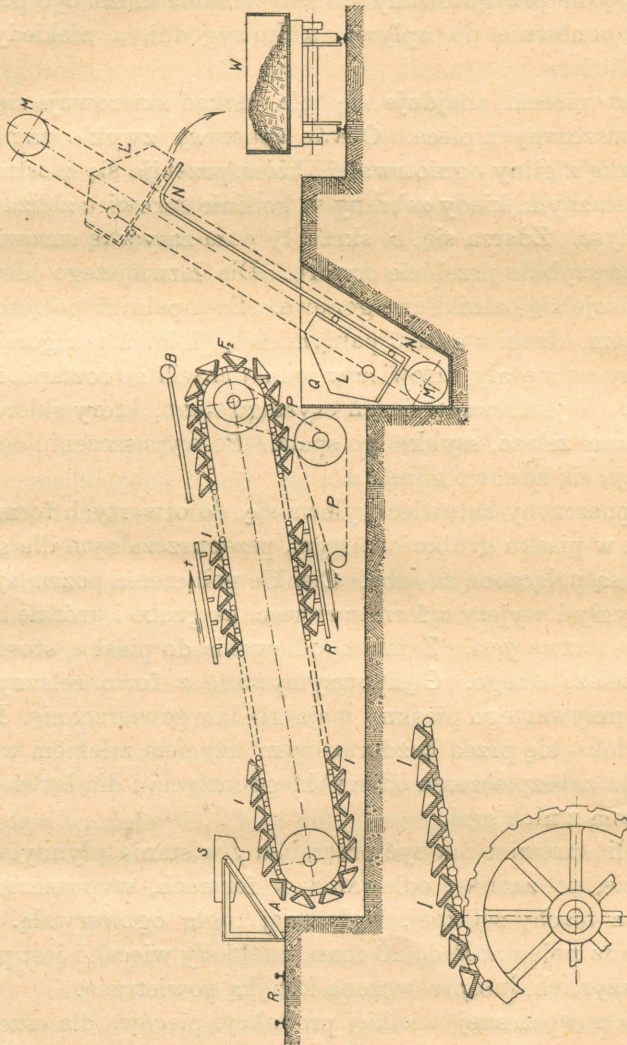
Przed piecem znajduje się hala, dokąd skierowuje się surowiec wypuszczany z pieca. Otwór spustowy zwykle zamknięty jest zatyczką z gliny ogniotrwałej, którą przebija się zaostrzonym drągiem żelaznym, kiedy zebrany w kotlinie surowiec zbliża się do poziomu dysz. Zdarza się, że skrzepły poza zatyczką surowiec nie pozwala na szybkie przebicie otworu. Dla łatwiejszego odetkania spustu stosuje się palniki autogenowe. Dwa palniki połączone jeden z tlenem, drugi z gazem palnym dają płomień tak gorący, że skierowany na stężały surowiec w jednej chwili go roztopia i spust oczyszcza. Wystarcza strumień czystego tlenu, który skierowany na rozgrzane żelazo, szybko go spala. Po wypuszczeniu surowca spust zabija się nanowo gliną.

Wypuszczony surowiec wylewa się do otwartych form, wy-ciśniętych w piasku gruboziarnistym, przepuszczalnym dla gazów. Formy te są połączone ze sobą. Cienkie połączenia pozwalają roz-bijać zastygły i wyjęty z form surowiec na grube i krótkie kawał-ki, noszące nazwę *gęsi*. Zamiast odlewania do piasku, stosuje się formy z żelaza lanego. Gęsi otrzymywane z form żelaznych są wolne od przywartego piasku i mają gładką powierzchnię. Formy takie powleka się przed każdorazowym użyciem mlekiem wapien-nem w celu zabezpieczenia od szybkiego zużycia i dla łatwiejszego wyjmowania z nich gęsi.

Jeżeli surowiec ma być przerabiany w stanie płynnym w tej samej hucie, to zamiast odlewania w formach, wypuszcza się go do kadzi z blachy żelaznej, wyłożonej cegłą ogniotrwałą. Kadź taka posiada pojemność do 20 tonn, niekiedy więcej, i jest przesu-wana po szynach, lub przewożona kolejką powietrzną.

Przy nowoczesnej wielkiej produkcji pieców, dla oszczędze-nia czasu i rąk roboczych, do formowania, wyjmowania i ład-o-wania gęsi są używane maszyny. Pierwsze maszyny zja-wiły się w Ameryce, lecz od lat kilkunastu są stosowane już i na południu Rosyi. Najbardziej rozpowszechnione są urzą-dzenia Uehlinga (rys. 38), polegające na tem, iż dwa łańcu-

chy bez końca *I* ciągną na sobie szereg niecek żelaznych, służących za formy, do których surowiec z wielkiego pieca jest doprowadzany bezpośrednio przez rynnę lub dowożony w kadzi. Po przejściu niecek po za bęben ciągnący łańcuchy, gęsi same, wskutek



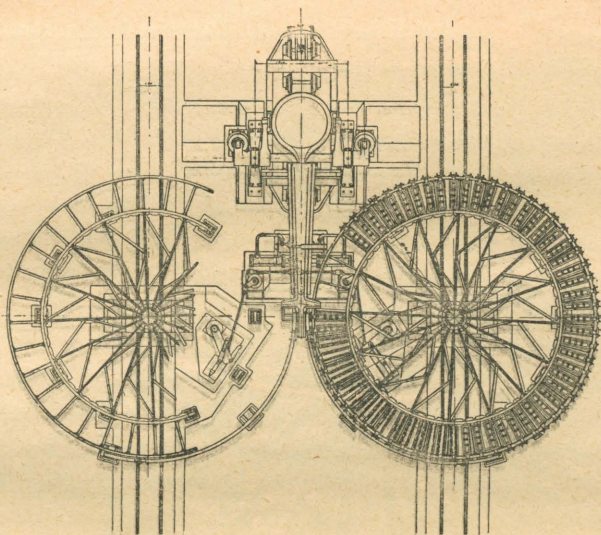
Rys. 38. Maszyna Uehlinga do odlewania gęsi.

odwracania się niecek dnem do góry, wypadają odrazu do wagonu, albo częściej na przenośnik, który następnie ładuje gęsi do wagonu *W* po zupełnem ich ostygnięciu. Ażeby gęsi prędzej stygły i łatwiej z form wypadły, w pewnem miejscu *t* przechodzą one pod na-

tryskiem wody. Na drodze powrotnej niecki przechodzą nad natryskiem *R* mleka wapiennego, w tym czasie stygną i po dokonanym obiegu podchodzą z powrotem pod wylot rynny doprowadzającej surowiec.

Wadą tej maszyny jest psucie się łańcuchów i trudności połączone ze zmianą niecek zużytych, zaletą zaś jest wielka jej prostota.

Na odmiennej zasadzie wykonano kilka urządzeń do odlewania gęsi w Niemczech. Jedno z nich z napędem elektrycznym podaje rys. 39. Dwie tarcze obracają się w płaszczyźnie poziomej.

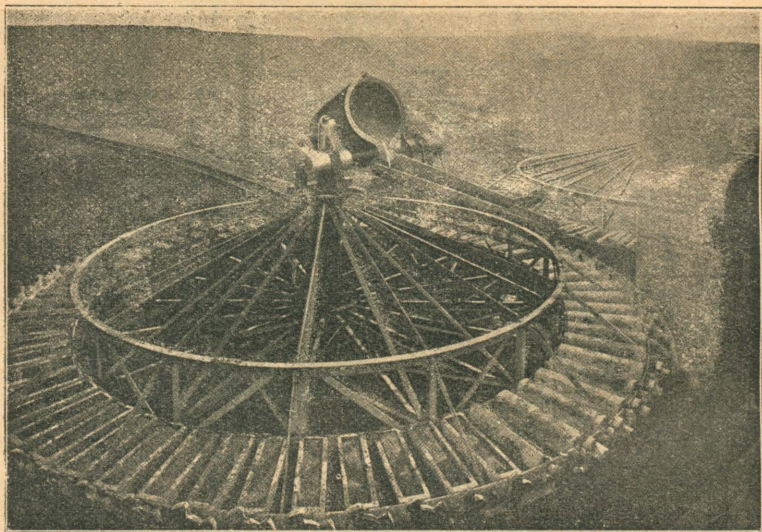


Rys. 39. Maszyna niemiecka do odlewania gęsi.

Na obwodzie ich rozmieszczone są niecki. Pomiędzy tarczami znajduje się rynna doprowadzająca surowiec i posiadająca dwa wyloty. Rynnę można przechylać, względem osi podłużnej, na obie strony i przez jeden z wylotów kierować strumień surowca ku jednej lub drugiej tarczy. Ruch obrotowy tarcz jest przerywany: w chwili napełniania niecki jednej z tarcz, druga obraca się o kąt podziałowy, poczem następuje przechylenie rynny na drugą stronę. Równocześnie tarcza przedtem nieruchoma zaczyna się obracać, a druga staje tak, że przed wylotem rynny znajduje się pusta niecka. Niecki napełnione surowcem opisują łuk 270°. W ciągu tej drogi surowiec krzepnie, poczem w punkcie wyładunkowym niecka automatycznie zostaje przewrócona dnem do góry,

i gęś spada do podstawionego w tem miejscu wagonu. W położeniu odwróconem niecki pozostają czas jakiś, będąc opryskiwane od dołu mlekiem wapiennem. Przed ukończeniem pełnego obrotu niecki są odwracane do położenia pierwotnego. Opisany bieg trwa bez przerwy, dopóki cały zapas surowca się nie wyczerpie. Dopływ surowca do rynny reguluje się zapomocą mniejszego lub większego pochylenia kadzi, dowożącej surowiec z wielkiego pieca.

Maszyny do odlewania gęsi odpowiadają istotnej potrzebie. Odlewnicy wymagają gęsi jednostajnej wielkości i bez warstwy



Rys. 39. Widok ogólny maszyny niemieckiej.

przylegającego piasku. Maszyny czynią zadość temu żądaniu, dając jednocześnie oszczędność nie tylko rąk roboczych, lecz i materiału, gdyż odlewanie w łożu piaskowem wywołuje stratę około 0,5 procentu surowca.

Zużel spuszcza się z pieca do kadzi, ustawionych na szynach, i odwozi poza granice huty w stanie płynnym albo stężonym. Coraz częściej stosuje się *granulacja* żużli, to jest przeistaczanie żużla w piasek gruboziarnisty. W tym celu płynny żużel wprost z wielkiego pieca wypuszcza się do zimnej wody bieżącej, gdzie nagle tężejąc rozpada się na ziarenka. Podnośniki kubelkowe wyciągają piasek z wody i ładują na wagony.

Można granulować żużel również i zapomocą prądu powietrza. Do obracającego się bębna ($1,8 \times 15 m$), z osią pochyloną, dopływa stale żużel, na który działa prąd sprężonego powietrza. Bęben jest chłodzony z zewnątrz wodą. Powstające ziarna posuwają się po pochylej powierzchni bębna i szybko stygną. Wychodzący z bębna żużel jest suchy, więc lepiej się nadaje do wyrobu cementu niż granulowany wodą, ostatni bowiem zawiera 30—40% wody, którą trzeba następnie usuwać.

Zaburzenia w wielkim piecu.

Prawidłowy bieg pieca nazywamy gorącym. Wszelkie zaburzenia wywołują *bieg zimny*. Powody zaburzeń mogą być rozmaite. Zadaniem kierownika jest znaleźć jak najprędzej przyczynę, która wywołała bieg nieprawidłowy, i natychmiast ją usunąć. Pierwszą wskazówką zimnego biegu jest zmiana barwy otrzymywanego żużla, który z jasnego staje się ciemnym wskutek zwiększonej w nim zawartości niezredukowanego tlenu żelazawego. Zmiana w składzie żużla wywołuje zmianę w gatunku surowca, który staje się gęsty, uboższy w krzem, mangan i węgiel, natomiast zawiera więcej siarki. Również zmienia się ilość i jakość gazów wylotowych. Przy gorącym biegu płomień jest żywy z odcieniem żółtym, przy zimnym — ciemniejszy. Przy stosowaniu rud jednakowych doświadczone oko łatwo odróżnia te odcienie.

Głównymi przyczynami zimnego biegu są: za wielkie naboje rudy, nieprawidłowe zasypywanie nabojów, niewłaściwy namiar, zaszybkie pędzenie pieca, przez co ruda przebywa zbyt krótko w piecu, proszkowatość rud i koksu, zły gatunek koksu, wilgoć zawarta w materiałach, niedostateczna ilość i niska temperatura doprowadzanego powietrza, dostawanie się wody z chłodnic i dysz do wnętrza pieca i zmiany zaszłe w kształcie wielkiego pieca przez zużycie wyłożenia ogniotrwałego. Wreszcie bieg nadto gorący wskutek nadmiaru paliwa wywołać również może zjawiska zimnego biegu. Zdarza się to przy wytapianiu surowców odlewniczych i bessemerowskich. W tym wypadku powstaje zawysoka temperatura w szybie i paszczy, ruda stapia się przed redukcją i nieodtleniona dochodzi do garu.

W początku zimnego biegu żużle są zawsze bardziej rzadko-płynne niż normalne, ponieważ w skład ich wchodzi większa ilość krzemianu żelaza. Po pewnym czasie żużle gęstnieją pod wpły-

wem obniżonej temperatury, a przy dłuższem trwaniu zimnego biegu nabierają specjalnej budowy porowatej. Wskutek niezupełnej redukcji rud ilość żużla szybko się zwiększa, tak iż w końcu możemy wcale surowca nie otrzymywać. Żużle żelaziste działają na materiał szamotowy i w krótkim czasie niszczą ściany garu.

Żelazo odtlenione zapóźno, dopiero w pobliżu dysz, nie może się dostatecznie nawęglić i w postaci trudnotopliwego żelaza kowalnego przystaje do dysz i może je zatkać aż do zupełnego niedopuszczenia dopływu powietrza do pieca. Dysze, jak się mówi, *ślepną*. Niedostateczna ilość powietrza prowadzi do dalszego obniżania temperatury w piecu, i procesy odbywają się coraz bardziej nieprawidłowo.

Wskutek obniżenia temperatury materyały, które normalnie wychodzą z pieca w stanie płynnym, gęstnieją i przystają do ścian, tworząc *narosty*. Narosty te, składające się z mieszaniny żużla, miału koksowego i rudy, są niezmiernie trudno topliwe. Narosty utrudniają szybkie ściekanie otrzymanego surowca pod ochronną warstwę żużla, wskutek czego surowiec pod dłuższym wpływem prądu powietrza zmienia się na trudnotopliwe żelazo kowalne, co zwiększa objętość narostów. Narosty na ścianach zmniejszają objętość pieca, wywołują powstawanie sklepień, utrudniają ruch gazów, a opadając od czasu do czasu do kotliny wywołują objawy zimnego biegu. O ile nie będą w porę zastosowane środki do ich usunięcia, mogą zatkać piec całkowicie. W zwężonym garze spala się mniej koksu, ilość gazów wylotowych staje się mniejsza i często niedostateczna dla normalnego ogrzewania powietrza, co znów przyczynia się do dalszego obniżenia temperatury w wielkim piecu.

Pierwszym środkiem zaradczym przy spostrzeżeniu objawów zimnego biegu jest zmniejszenie naboju rudy, albo podwyższenie temperatury dmuchu. Środek ten w większości wypadków okazuje się skutecznym. Istotnie, ponieważ przy zimnym biegu do garu dochodzi pewna ilość tlenków żelaza, mogą się one odtleniać tylko przez redukcję bezpośrednią, co się odbywa ze znacznem pochłanianiem ciepła i powoduje dalsze obniżenie temperatury. Tlenek żelazowy posiada własności utleniające i może surowiec otrzymany odwęglić, domieszki krzemu w nim utlenić i nawet zredukowane już żelazo zamienić na tlenek żelazawy. Zmniejszenie więc naboju przy tej samej ilości koksu zapobiega obecności tlenków żelaza w spadku i w garze, a podniesienie temperatury przez

wprowadzanie bardziej ogrzanego powietrza pozwala tlenki te odtlenić w dolnej części zapomocą węgla twardego.

W tym samym celu zmniejsza się niekiedy ciśnienie powietrza, przez co bieg pieca się zwalnia i ułatwia całkowitą redukcję. Często wskazanem jest zmienić hamiar w celu otrzymania żużla łatwiej topliwego.

Jednem z niebezpiecznych zaburzeń jest *zawisanie nabojoy* w wielkim piecu. Niewłaściwy profil, nieprawidłowe zasilanie pieca, ruda proszkowa, miał koksowy i przedwczesne stapianie rudy, wskutek nieprawidłowego namiaru, mogą przyczynić się do tworzenia w spadku, lub nad przestronem sklepień z materyałów, znajdujących się w piecu. Pod sklepieniami, po spaleniu koksu i wytopieniu surowca, powstaje próżna przestrzeń, a nad sklepieniem ruch materyałów ku dołowi zostaje wstrzymany. Daje się wtedy zauważyć powolniejsze opuszczanie nabojoy, albo całkowite zatrzymanie na czas pewien. Ruch i działanie gazów nad sklepieniem stają się niewystarczające, i ruda pozostaje przeważnie w stanie surowym. Od czasu do czasu pod ciężarem słupa materyałów sklepienie się zapada, znaczna ilość rudy nieodtlenionej wpada odrazu do spadku i do garu, wywołując objawy zimnego biegu. Gazy o wysokiem ciśnieniu, zebrane pod sklepieniem, znajdują nagle ujście i mogą wywołać często niebezpieczny wybuch.

Po zauważeniu zawisania nabojoy wystarczy nieraz zatrzymać wiatr, ażeby przez usunięcie parcia od dołu poczynające się tworzyć sklepienie osunęło się łagodnie pod ciężarem mas na niem leżących. Innym środkiem jest cofnięcie dysz, ażeby spalanie odbywało się bliżej ścian i można było stopić narosty, na których opierają się sklepienia. Wreszcie praktykuje się doprowadzanie gorącego powietrza przez dysze zapasowe, leżące bliżej spadku, ażeby stworzyć nowe ogniska spalania i wysokiej temperatury.

Niebezpieczne następstwa może pociągnąć wylew surowca przez ściany garu, lub przez trzon pieca, co się zdarza wskutek zużycia wyłożenia ogniotrwałego. Wylew surowca wywołuje poważne następstwa w postaci wybuchów w tych wypadkach, kiedy płynny surowiec zetknie się z wilgotnym murem, gruntem, lub zebrany dokoła pieca gruzem, albo się dostanie do zamkniętego zbiornika wody. Jeżeli surowiec ucieka po twardym gruncie, na otwartej przestrzeni, wybuchów nie bywa, i wypadek się kończy mniej lub więcej pomyślnie. Odpowiednia budowa i uzbrojenie

garu i trzonu zabezpiecza do pewnego stopnia od wylewu surowca. W razie zaś wypadku zatrzymujemy wiatr i po oczyszczeniu wyrwy z surowca i żużla starannie się ją zamurowuje.

Bilans wielkiego pieca.

Ponieważ zadaniem hutnika jest możliwe wyzyskanie ciepła doprowadzanego do pieca, pożyteczną więc jest rzeczą zbadać dokładnie, w jaki sposób to ciepło się zużywa. Ilość opału, potrzebna do wytopiania surowca, jest zależna od przerabianych materiałów, konstrukcyi pieca, gatunku surowca i t. d., nie można więc wnosić o prawidłowem wyzyskaniu ciepła jedynie ze stosunku zużytego opału do wytopionego surowca. Bilans cieplny, wykazujący zyski i straty w odbywających się procesach, zadanie to może ułatwić.

Na przychód ciepła składa się spalanie koksu, doprowadzanie gorącego powietrza i reakcyje egzotermiczne przy powstawaniu żużli. Rozchód ciepła dzieli się na poszczególne pozycye, jakimi są: redukcyja żelaza i innych pierwiastków, wyparowanie i rozkład wody, rozkład węglanów, reakcyje endotermiczne żużli, ciepło unieszone z pieca przez gazy, roztopiony surowiec, żużel, wodę do chłodzenia i promieniowanie.

Przed sporządzeniem bilansu cieplnego układa się uprzednio bilans materiałów, najpierw sumaryczny, a następnie szczegółowy.

Bilans sumaryczny otrzymuje się przez obliczanie w przeciągu kilku dni materiałów surowych, dostarczanych do wielkiego pieca, a więc: koksu, rud, topników i powietrza, również produktów: surowca, żużli, gazów i pyłu. W tym czasie materiały i produkty podlegają analizom chemicznym, mierzy się temperatura powietrza, gazów, wody chłodzącej, stopień wilgoci zawartej w powietrzu i t. d.

Z otrzymanych danych wyprowadza się bilans na jednostkę wagową surowca, więc naprzykład:

Przychód materiałów		Wydatek produktów	
Rudy	1,972	Surowca	1,000
Topników	0,600	Żużli	0,818
Koksu	1,060	Gazów suchych	5,837
Powietrza suchego	4,236	Pary wodnej	0,156
Wilgoci w powietrzu	0,011	Pyłu	0,042
razem 7,879		razem 7,853	

Obliczenie materyałów i produktów stałych nie „następuje” wielkich trudności. Inaczej rzecz się przedstawia z gazami. Obliczenie ilości powietrza zapomocą liczby obrotów maszyny, wielkości skoku i powierzchni tłoka daje rezultaty niedokładne, trzeba więc się uciec do drogi pośredniej. Za punkt wyjścia służy analiza chemiczna gazów wylotowych. Niech objętościowo wykazują one skład następujący:

	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
%	14	25	0,5	1,5	59

Przy ciśnieniu 1 atm. i przy 0° C. jeden mol jakiegokolwiek gazu zajmuje objętość 22,4 litra. W każdym molu CO₂, CO i CH₄ mamy jednakową zawartość węgla, a mianowicie 12 g; w każdym więc litrze jednego z tych gazów lub w ich mieszaninie znajduje się $\frac{12}{22,4} = 0,54$ g, a w 1 m³—0,54 kg C.

Gazy wylotowe powyższego składu zawierają więc w 1 m³ $\frac{14+25+0,5}{100} \times 0,54 = 0,212$ kg węgla. Węgiel znajdujący się w gazach powstał ze spalania koksu. Część jednak tego węgla została zużyta na nawęglenie surowca. Natomiast gazy otrzymały pewną ilość węgla w postaci bezwodnika CO₂, powstałego przez rozkład węglanu topnika.

Należy obliczyć, jaka ilość węgla zawarta jest w gazach.

Na 1 kg surowca przypada 1,06 kg koksu, zawierającego 12% popiołu, 4% H₂O i 84% C. Węgla więc jako pierwiastka przypada $\frac{1,06 \times 84}{100} = 0,89$ kg. Surowiec wytapiany zawiera 3,2% węgla czyli 1 kg—0,032 kg C, które należy odjąć od węgla koksu.

Wapień topnika zawiera 43% CO₂, czyli $0,43 \times 0,6 = 0,258$ kg na 1 kg surowca, pierwiastka zaś C— $\frac{0,258 \times 3}{11} = 0,070$ kg. Węgla więc w gazach mamy: $0,89 - 0,032 + 0,070 = 0,928$ kg na 1 kg surowca.

Ponieważ w 1 m³ gazów znajduje się 0,212 kg C, otrzymujemy więc ilość gazów $\frac{0,928}{0,212} = 4,386$ m³/kg.

Przy powyższym składzie gazów otrzymamy:

CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
0,614	1,096	0,023	0,066	2,590 m ³ .

Mając ciężar 1 m³ dla CO₂ — 1,977, CO — 1,25, CH₄ — 0,72, H₂ — 0,08 i N₂ — 1,25 kg, otrzymamy wagę:

CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
1,209,	1,370,	0,016,	0,005,	3,237 kg.

Ciężar wszystkich gazów suchych wynosi 5,837 kg.

Ponieważ azot w gazach wylotowych jest niemal wyłącznie azotem powietrza, możemy przeto obliczyć ilość doprowadzonego powietrza, a mianowicie $\frac{3,237}{0,764} = 4,236$ kg.

Ilość pary wodnej w gazach może być obliczona z bilansu wodoru. Wiadoma bowiem jest zawartość wody hygroskopijnej i konstytucyjnej zawartej w rudach, koksie i powietrzu. Odjąwszy od ogólnej sumy wodoru, wodór wolny i znajdujący się w metanie, otrzymamy wodór związany w postaci wody. Mnożąc różnicę przez 9, otrzymujemy ilość pary wodnej w gazach.

Bilans sumaryczny służy do pierwszego sprawdzenia dokładności dokonanych pomiarów, analizy i obliczeń. Znaczna różnica pomiędzy przychodem i wydatkiem dowodzi, że zaszedł błąd, który należy odnaleźć i poprawić. O błąd zaś łatwo, gdyż najmniej-sza niedokładność w analizie gazów odbija się na azocie, obliczanym jedynie zapomocą różnicy.

Szczegółowy bilans materiałów służy do ostatecznego sprawdzenia rachunku, wykazując, ile z użytych materiałów powinno się otrzymać każdego produktu osobno. Taki bilans przedstawiony jest na str. 99. Ponieważ pył gazów posiadał skład blizki do składu rudy, więc ilość otrzymanego pyłu została odjęta od rudy i nie figuruje ani w przychodzie, ani w wydatkach.

Po ustaleniu bilansu materiałów przystępujemy do bilansu cieplnego.

1. Najważniejszą pozycją przychodu ciepła jest spalanie węgla. Analiza wykazała nam obecność w gazach 1,37 kg CO i 1,209 kg CO₂. Ostatnia liczba zawiera 0,258 kg bezwodnika dostarczonego przez topnik. Węgiel wydał ciepła:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{przy spalaniu na CO} & - \frac{3}{7} \times 1,37 \times 2452 = & 1440 \text{ ciepł.} \\
 \text{" " " CO}_2 & - \frac{3}{11} (1,209 - 0,258) 8137 = & 2110 \text{ " } \\
 \text{razem} & . & 3550 \text{ ciepł.}
 \end{array}$$

Bilans materyałów.

Przychód		Rozchód			
Materiały surowe		Surowiec	Żużel		Gazy
Ruda					
SiO ₂ . . .	0,270	Si 0,021	SiO ₂ 0,225	O 0,024	
Al ₂ O ₃ . . .	0,083		Al ₂ O ₃ 0,083		
Fe ₂ O ₃ . . .	1,335	Fe 0,935		O 0,400	
CaO . . .	0,011		CaO 0,011		
MgO . . .	0,003		MgO 0,006		
Mn ₃ O ₄ . . .	0,038	Mn 0,010	MnO 0,023	O 0,005	
P ₂ O ₅ . . .	0,003	P 0,001		O 0,002	
H ₂ O . . .	0,184			H ₂ O 0,184	
1,930		= 0,967	+ 0,348	+ 0,615	
Topnik					
SiO ₂ . . .	0,009		SiO ₂ 0,009		
Al ₂ O ₃ . . .	0,042		Al ₂ O ₃ 0,003		
CaO . . .	0,106		CaO 0,330		
CO ₂ . . .	0,022			CO ₂ 0,258	
0,600		=	0,342	+ 0,258	
Koks					
C . . .	0,890	C 0,032		C 0,858	
H ₂ O . . .	0,042			H ₂ O 0,042	
Popiół . . .	0,106		popiół 0,106		
S . . .	0,022		S 0,022		
1,060		= 0,032	+ 0,128	+ 0,900	
Powietrze					
O ₂ . . .	0,999			O ₂ 0,999	
N ₂ . . .	3,237			N ₂ 3,237	
H ₂ O . . .	0,011			H ₂ O 0,011	
4,247				4,247	
Razem . .	7,837	= 1,000	+ 0,818	+ 6,019	

2. Powietrze było ogrzane do 670° C. Przy tej temperaturze ciepło właściwe azotu wynosi 0,248, tlenu 0,217, pary wodnej 0,48. Ilość więc ciepła dostarczonego przez powietrze stanowi wg. wzoru Σpct , w którym p oznacza masę, c — ciepło właściwe i t — temperaturę:

$$(3,237 \times 0,248 + 0,999 \times 0,217 + 0,011 \times 0,48) 670 = 676 \text{ ciepł.}$$

3. Ilość ciepła, wytwarzanego przy powstawaniu żużli, nie była brana pod uwagę.

Rozchód ciepła składa się z następujących pozycji:

1. Redukcja żelaza wymaga:

$$0,935 \times 1746 = 1633 \text{ ciepł.}$$

2. Redukcja krzemu, manganu i fosforu:

$$0,021 \times 6430 + 0,011 \times 1988 + 0,001 \times 5892 = 161 \text{ ciepł.}$$

3. Rozkład pary wodnej $0,005 \times 28\,900 = 144$ ciepł.
4. Rozkład węglanów $0,258 \times 959 = 247$ ciepł.
5. Wyparowanie wody $0,156 (80 + 539) = 96$ ciepł.
6. Ciepło unoszone przez surowiec wynosi 290 ciepł.
7. Ciepło unoszone przez żużel $0,818 \times 440 = 360$ ciepł.
8. Woda do chłodzenia zużyta w ilości 13 litrów na 1 kg surowca ogrzewała się o 10°C. , a więc pochłaniała

$$10 \times 13 = 130 \text{ ciepł.}$$

9. Ciepło unoszone przez gazy przy temperaturze 200°C. oblicza się wg. wzoru $\Sigma p c t$. Ciepło właściwe c zależne od temperatury jest inne niż w punkcie 2 przychodu.

CO_2	$1,209 \times 0,209 \times 200 =$	50,4 ciepł.
CO	$1,37 \times 0,237 \times 200 =$	62,8 „
CH_4	$0,016 \times 0,382 \times 200 =$	1,2 „
H_2	$0,005 \times 3,4 \times 200 =$	3,4 „
N_2	$3,237 \times 0,237 \times 200 =$	153,7 „
H_2O	$0,156 \times 0,466 \times 200 =$	14,4 „

razem . . 285,9 ciepł.

10. Różnica między przychodem ciepła i rozchodem wykazanym w poprzednich dziewięciu pozycjach przedstawia stratę ciepła przez promieniowanie i konwekcyę. Wynosi ona

$$4226 - 3347 = 879 \text{ ciepł.}$$

Bilans cieplny.

Przychód ciepła			Rozchód ciepła		
	Ciepl.	%		Ciepl.	%
Spalanie węgla	3550	84	Redukcy a żelaza i innych		
Powietrze ogrzane	676	16	pierwiałtków	1794	42,5
			Rozkład węglanów	247	5,8
			Parowanie i rozkład pary		
			wodnej	240	5,7
			Ciepło surowca	290	7
			Ciepło żużli	360	8,5
			Ciepło gazów	286	6,7
			Woda do chłodzenia	130	3,1
			Promieniowanie i kon-		
			wekcy a	879	20,7
	4226	100		4226	100

Przykłady bilansów cieplnych.

Przychód ciepła w procentach.

Spalanie węgla	84,6	78,5	81,7
Powietrze ogrzane	13,7	21,5	18,3
Reakcje tworzenia żużli	1,7	—	—
	100	100	100

Rozchód ciepła w procentach.

Redukcja	53,5	50,0	58,5
Rozkład węglanów	3,0	8,5	8,2
Parowanie i rozkład pary wodnej . .	4,7	9,3	3,3
Ciepło surowca	8,7	7,4	8,2
Ciepło żużli	8,1	10,6	12,2
Ciepło gazów	4,9	8,7	7,3
Woda do chłodzenia	4,6	5,5	5,0
Strata przez promieniowanie i t. d. .	12,5		
	100	100	100

Ponieważ przy układaniu bilansów dotychczas stosują się różne sposoby, jak również przy obliczaniu przyjmują się niejednakowe wielkości pochłaniania i wytwarzania ciepła, a także niejednakowe wartości dla ciepła właściwego przy różnych temperaturach, więc przy porównaniu bilansów różnych pieców należy to uwzględnić.

Literatura: Pawłow M. prof. Bilanse cieplne procesów metalurgicznych. 1912.

Uwaga. Na str. 60 opuszczono literaturę obliczania ogrzewaczy Cowpera, a mianowicie:

Gugler H. St. u. Eisen, 1911, str. 62 i 101.

2. Wyrób żelaza kowalnego.

Własności żelaza kowalnego.

Żelazo kowalne różni się od surowca przede wszystkim swoją plastycznością, jaką w wysokim stopniu posiada, szczególnie po rozgrzaniu do temperatury poniżej punktu topliwości. Wskutek plastyczności jest ono kowalne i spawalne.

Kowalnością nazywa się własność metalu, która pozwala nadawać mu kształt od uderzeń młota, lub pod naciskiem prasy, walców i t. d. *Spawalność* zaś polega na tem, że dwa kawałki żelaza, nagrzone do białości, t. j. doprowadzone do stanu najwyższej plastyczności i położone jeden na drugi, łączą się w jedną całość pod wpływem siły ściskającej.

Pod względem chemicznym żelazo kowalne różni się od surowca przede wszystkim mniejszą zawartością węgla, a następnie i wszystkich innych domieszek. Cały węgiel jest tu połączony chemicznie. Im mniej węgla zawiera żelazo, tembardziej jest ono kowalne i spawalne. Największa zawartość węgla nie powinna przekraczać 1,5%, gdyż przy większej ilości żelazo traci powyższe własności i staje się kruchem.

Ze zwiększeniem zawartości węgla wzrasta wytrzymałość żelaza na rozerwanie i twardość, lecz zmniejsza się jego rozciągliwość. Występuje również jeszcze jedna własność, zwana *hartownością*, a polegająca na tem, że żelazo węgliste, rozgrzane do czerwoności i nagle ostudzone, nabiera większej wytrzymałości i twardości, niż je przedtem posiadało. Należy więc odróżniać twardość naturalną od twardości nadanej. Twardość naturalna zależy od składników zawartych w żelazie, nadana zaś—od hartowania lub od obróbki mechanicznej na zimno. Nadana twardość może być usunięta przez powtórne słabsze ogrzanie i ponowne ochłodzenie, czyli przez tak zwane *odpuszczanie*. Zmniejszenie twardości nadanej, z którą jednocześnie powstaje niepożądana kruchość, ma

ważne znaczenie praktyczne. Żelazo zahartowane traci przy odpuszczaniu twardość i kruchość w stopniu niejednakowym. Można więc, odpuszczając żelazo przy pewnej temperaturze, zachować dostateczną twardość, a równocześnie zmniejszyć kruchość i w ten sposób otrzymać materiał o pożądanych własnościach.

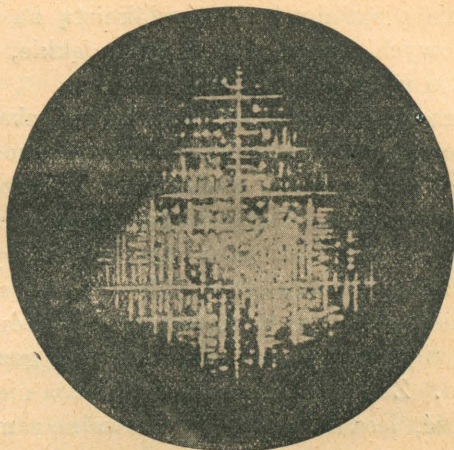


Rys. 40. Kryształ żelaza w. n.

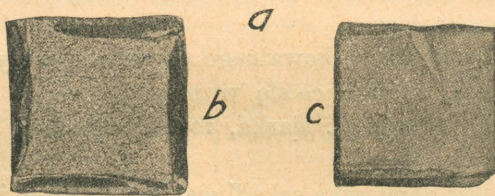
Budowa żelaza jest mniej lub więcej krystaliczna. Wyraźne kryształy obserwować można w niezapełnionych przestrzeniach roztopionego żelaza przy powolnem stygnięciu, jak widzimy to na rys. 40. Również budowę krystaliczną stwierdzić można zapomocą nagryzania różnymi płynami wygładzonej doskonale powierzchni, przyczem otrzymuje się niekiedy zarys (rys. 41) przypominający drzewa iglaste (budowa dendrytyczna). Zwyczajnie zaś żelazo kowalne przedstawia skupienie kryształów niewyraźnego kształtu i różnej wielkości. Zależnie od układu tych kryształów złom żelaza bywa *ziarnisty* lub *włóknisty*. Ten sam materiał, zależnie od obróbki mechanicznej lub termicznej, może dawać obydwa rodzaje złomów.

Żelazo otrzymane po skrzepnięciu ze stanu płynnego lub ciastowatego daje złom ziarnisty. Wielkość ziaren zależy od szybkości krzepnięcia. Im stygnięcie odbywa się wolniej, tem ziarna są większe. Ze zwiększeniem zawartości węgla zwiększa się gruboziarnistość, i po przekroczeniu pewnej granicy żelazo traci zdolność otrzymania budowy włóknistej. Żelazo gruboziarniste zapomocą kucia można zamienić na drobnoziarniste. W ten sposób pomimo znacznej zawartości węgla otrzymuje się stal o budowie tak drobnoziarnistej, że ziaren gołym okiem rozróżnić nie można; powstaje tak zwany złom *muszlo-*

wy. Obecność niektórych domieszek, naprz. fosforu, wywołuje również gruboziarnistość.



Rys. 41. Budowa żelaza dendrytyczna.



Rys. 42. Budowa żelaza: *a*) włóknista, *b*) ziarnista, *c*) muszlowa.

Przy walcowaniu, wskutek wyciągania żelaza w jednym kierunku, ziarna układają się podłużnie jakby we włókna, które w złomie mają zakończenia haczykowate (rys. 42^a).

Sposób łamania żelaza ma wpływ na wygląd złomu: tak naprz. nagle przełamane żelazo włókniste może dać złom ziarnisty. Kucie metalu, częste wstrząśnienia i powtarzające się zmiany temperatury zmieniają również budowę włóknistą na ziarnistą. Przy innych jednakowych warunkach żelazo miękkie, mało węgliste łatwiej daje złom włóknisty, niż żelazo twarde.

Przy nagrzewaniu z węglem lub ze związkami węglowymi żelazo kowalne w stanie stałym posiada własność łączenia się z węglem. Przy temperaturze około 1000°C . następuje *nawęglanie* żelaza (cementacja), która rozpoczyna się na powierzchni i następnie drogą dyfuzji przenika w głąb. Im wyższą jest temperatura i dłużej trwa proces, tem dalej posuwa się cementacja. Zależy to również od środków cementujących, którymi są: węgiel drzewny, koks, tlenek węgla, związki cyanowe, gaz świetlny, skóra, kopyta i t. d. Zapomocą nawęglania można nie tylko nadawać większą twardość, lecz nawet żelazo kowalne zamienić na surowiec.

Żelazo, podobnie jak inne metale, rozpuszcza w sobie gazy. Stopień rozpuszczalności gazów wzrasta z podniesieniem temperatury, a w żelazie roztopionem jest większy, aniżeli w skrzepłym. Wskutek tego przy tężeniu żelazo wydziela znaczną ilość gazów. Jeżeli krzepnięcie odbywa się pod ciśnieniem, wydzielone gazów jest słabsze i część ich pozostaje w stanie rozpuszczonym, niewidoczna dla oka i mniej szkodliwa dla fizycznych własności żelaza. W przeciwnym razie gazy wydzielone z roztworu, o ile nie mogą wypłynąć z metalu na powierzchnię, tworzą w stężałym żelazie pęcherze, szkodzące jednolitości i wytrzymałości materiału. W żelazie spotykają się następujące gazy: wodór, azot i tlenek węgla. Większa ich ilość obniża wartość techniczną, a mianowicie wywołuje kruchość żelaza.

Na własności żelaza kowalnego wywierają wpływ inne prócz węgla domieszki, znajdujące się w niem zwykle w mniejszej lub większej ilości, takimi są: siarka, fosfor, mangan, krzem, miedź i tlenek żelazawy.

Siarka jest domieszką szkodliwą, wpływającą już w małych ilościach na mechaniczne własności żelaza. Wywołuje ona kruchość, szczególnie przy wysokiej temperaturze, czyli kruchość na gorąco. Zmniejsza kowalność i spawalność żelaza. Zawartość siarki nie powinna przekraczać 0,05%, chociaż ujemny wpływ jej daje się odczuwać już przy 0,02%. Ze zwiększeniem za-

wartości węgla wpływ szkodliwy siarki zmniejsza się, i jest mniej wyraźnym w żelazie zlewnem, niż zgrzewnem.

Podobny wpływ jak siarka wywiera rozpuszczalny w żelazie tlenek żelazawy, powstający podczas świeżenia przez utlenienie żelaza przy wysokiej temperaturze.

Fosfor wywołuje kruchość żelaza na zimno. Żelazo zawierające fosfor może być jednak obrabiane na gorąco, gdyż nie traci wówczas na spawalności i kowalności. Fosfor nadaje żelazu budowę gruboziarnistą i zmniejsza wytrzymałość, szczególnie na uderzenia. Ze wzrostem zawartości węgla wzrasta szkodliwy wpływ fosforu na wytrzymałość. Wówczas, gdy żelazo miękkie zawierać go może do 0,1%, w stali twardej szkodliwy wpływ jego wykazuje się już po przekroczeniu 0,03% fosforu. Mniejszą kruchość wywołuje fosfor w żelazie zgrzewnem, aniżeli w zlewnem.

Mangan i *krzem* w ilościach niewielkich (do 0,1%) mało wpływają na własności mechaniczne żelaza. Przy większej zawartości podnoszą wytrzymałość i twardość, powyżej zaś 1% wywołują kruchość oraz zmniejszają spawalność i kowalność żelaza. Obecność krzemu utrudnia wydzielanie się gazów rozpuszczonych w żelazie, przeto zapobiega powstawaniu pęcherzy w żelazie zlewnem.

Miedź przy małej zawartości nie szkodzi mechanicznym własnościom żelaza. Ostatniemi czasy powstał pogląd, iż przy zawartości 0,15—0,3% miedź chroni żelazo od szybkiego rdzewienia. Powyżej 1% czyni żelazo kruchem na gorąco.

Nikiel, umyślnie wprowadzany, znakomicie polepsza własności żelaza kowalnego, zwiększając jego wytrzymałość i ciągliwość i zabezpiecza od szybkiego rdzewienia.

Analizy różnych rodzajów żelaza kowalnego.

	C	Si	Mn	P	S	Ni
Żelazo fryszerskie b. miękkie %	0,055	0,01	0,06	0,012	0,006	—
„ pudlarskie miękkie . . .	0,16	0,012	0,09	0,009	0,016	—
„ pudlarskie twarde . . .	0,75	0,09	0,18	0,012	0,01	—
Stal bessemerowska na szyny „	0,45	0,32	0,8	0,08	0,045	—
„ „ na blachy „	0,12	0,01	0,35	0,06	0,05	—
„ tomasowska na szyny . .	0,35	0,01	0,75	0,06	0,03	—
„ martenowska miękka na blachy	0,09	0,02	0,37	0,04	0,05	—
„ martenowska twarda . .	0,62	0,14	0,89	0,04	0,05	—
„ tyglowa na granaty . . .	0,72	0,6	0,68	0,022	0,019	—
„ elektryczna	0,635	0,016	0,46	0,01	0,016	—
„ nikłowa na lufy działowe „	0,395	0,197	0,75	0,02	0,032	2,62
„ elektryczna nikłowa . . .	0,12	0,22	0,55	0,006	0,008	4,35

Świeżenie surowca.

Żelazo kowalne otrzymywano dawniej bezpośrednio z rud, jak o tem była mowa w rozdziale poświęconym historii żelaza. Obecnie wyrabia się z surowca, a wszelkie nowoczesne próby wyrobu żelaza wprost z rud nie mają dotychczas praktycznego znaczenia.

Ponieważ surowiec różni się od żelaza kowalnego większą zawartością obcych domieszek, więc proces przeróbki polega na całkowitem lub częściowem ich usuwaniu.

Oczyszczanie surowca od domieszek nazywa się *świeżeniem* (od niemieckiego frischen) i skutecznia się zapomocą utleniania. Czynnikiem utleniającym są: tlen powietrza, który łączy się z pierwiastkami, znajdującymi się w surowcu i tlenki metali, rozkładające się przy wysokiej temperaturze, panującej w piecach. Takim tlenkiem jest przede wszystkim tlenek żelazowy Fe_2O_3 , dodawany umyślnie w postaci zendry lub rudy, lub też powstający podczas świeżenia działaniem powietrza na roztopiony surowiec.

Z pierwiastków zawartych w surowcu najłatwiej spala się krzem, następnie kolejno mangan i węgiel. Pozatem od początku do końca spala się żelazo, tworząc tlenki FeO , Fe_2O_3 i Fe_3O_4 . Świeżenie więc zawsze jest połączone z pewną stratą na wadze. Tlenki żelaza łączą się z krzemionką, powstającą przez spalanie krzemu, lub znajdującą się w wyłożeniu ogniotrwałem pieca, tworząc żużel. Żużel nasycony tlenkiem żelazowym Fe_2O_3 ma własności utleniające i wywołuje świeżenie surowca.

W celu ułatwienia działania czynników utleniających stosowane są różne sposoby.

W zarzuconym obecnie sposobie fryszerskim świeżono zapomocą strumienia powietrza, skierowanego na krople roztopionego surowca. Przy metodzie pudlarskiej roztopiony surowiec podlega mieszanii, ażeby powietrze mogło przeniknąć wgłąb surowca, jak również by wywołać lepsze zetknięcie się tlenków żelaza z surowcem. W procesie bessemerowskim powietrze przepuszcza się przez roztopiony surowiec pod ciśnieniem i w ten sposób utlenia znajdujące się w nim domieszki.

Jeżeli żelazo kowalne przetapiać będziemy z odpowiednią ilością surowca, domieszki zawarte w ostatnim rozpuszczają się

w większej masie, i powstanie produkt zawierający mniej domieszek niż było ich w surowcu a więcej, niż w żelazie kowalnym. Główną domieszką jest w tym wypadku węgiel, nadający twardość żelazu kowalnemu, które wobec tego, według dawnej nomenklatury, nosiło nazwę stali. Ponieważ jednak przy samem roztopianiu surowca część domieszek się utlenia, pod wpływem zaś utleniającego działania powietrza powstają tlenki żelaza i do tego dochodzi rdza, zwykle towarzysząca żelazu, otrzymane więc żelazo kowalne posiada mniej domieszek niż użyte materiały. Przy umiejętnem postępowaniu i odpowiednim namiarze otrzymywać można najmniejsze żelazo przez stapianie surowca ze starem żelastwem. Tak powstał sposób, zwany martenowskim.

Sposoby świeżenia podzielić można na dwie kategorie, zależnie od stanu, w jakim żelazo kowalne otrzymuje się z pieca:

Do pierwszej kategorii zaliczają się sposoby wyrabiania żelaza zgrzewnego, przy których otrzymuje się metal w stanie ciastowatym, przepojony żużłem, dającym się usuwać tylko przez następną obróbkę mechaniczną przy silnem rozgrzaniu. Są to sposoby dawniejsze: fryszerski i pudlarski.

Do drugiej kategorii należą sposoby świeżenia, odbywające się przy tak wysokiej temperaturze, że żelazo otrzymuje się w stanie płynnym. Żużel, powstający jako produkt spalania domieszek w surowcu, oddziela się sam, wypływając na powierzchnię roztopionego metalu. Otrzymuje się żelazo zlewne, czyli stal. Są to sposoby: bessemerowski, tomasowski, martenowski, tyglowy i elektryczny.

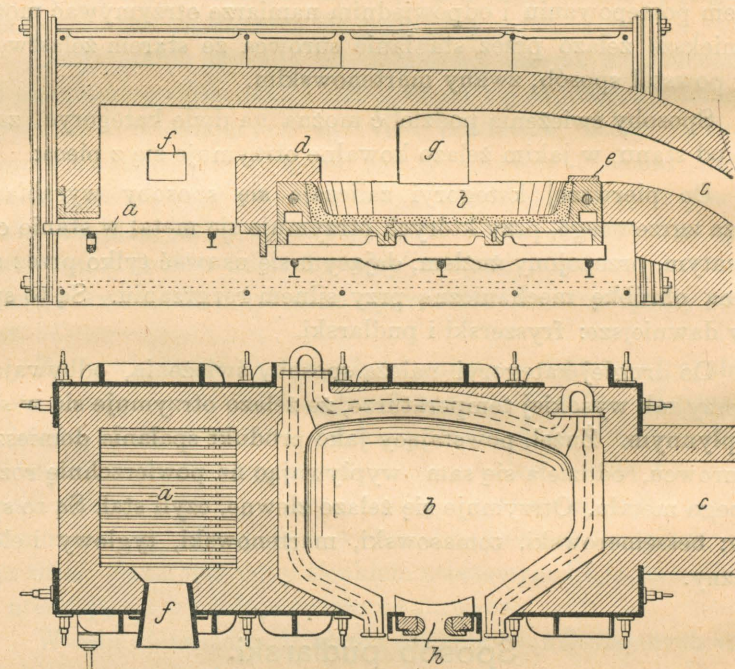
Sposób pudlarski.

Sposób ten służy do wyrobu żelaza zgrzewnego *pudlarskiego*. Nazwa jego pochodzi od słowa angielskiego „to puddle“ co znaczy mieszać, gdyż najważniejszą czynnością przy tem postępowaniu jest mieszanie roztopionego surowca w celu ułatwienia działania nań czynników utleniających.

Rys. 43 przedstawia pierwowzór pieca pudlarskiego. Jest to płomieniak, składający się z paleniska *a* i topniska *b*. Płomień, powstający przy spalaniu opału w palenisku, wchodzi do topniska, gdzie oddając swe ciepło, wywołuje topienie surowca, oraz podtrzymuje odpowiednią temperaturę podczas całego procesu.

Paleniska są różnych systemów, zależnie od stosowanego opału, którym mogą być: drzewo, węgiel kamienny, ropa naftowa i t. d. Używa się też często gaz, doprowadzany z osobno stojących generatorów.

Ponieważ gazy uchodzące z topniska posiadają jeszcze wysoką temperaturę, więc ciepło ich może być wyzyskane w sposób rozmaity. Między topniskiem i czopuchem *c* znajduje się często komora, w której spalinami podgrzewa się surowiec przeznaczony



Rys. 43. Piec pudlarski.

do następnego naboju. Często prócz tego gazy wylotowe służą do ogrzewania kotłów parowych, obsługujących młoty lub walce. Wreszcie spaliny mogą podlegać regeneracyi przy stosowaniu pieców Siemens'a (rys. 52), o których będzie mowa przy wyrobie stali.

Piec pudlarski jest przykryty niskim sklepieniem z cegły ogniotrwałej, mającem taki kształt, ażeby płomień wychodzący z paleniska odbijał się od sklepienia i uderzał o surowiec. Trzon topniska składa się z płyt żelaznych, pokrytych gliną ogniotrwałą. Na

glinie ubija się warstwa trudno topliwego żuźla pudlarskiego. Dla zabezpieczenia płyt od wpływu wysokiej temperatury są one chłodzone od dołu powietrzem, a dookoła wodą, krążącą w rurach, albo stojącą w skrzyniach obramujących topnisko. Boczne ściany pieca, wykonane z cegły ogniotrwałej, są obłożone płytami z surowca lub grubą blachą i umocnione ściągaczami żelaznymi. Okno *g* służy do ładowania surowca i wydostawania gotowego żelaza. W zasłonie do zamykania okna znajduje się mały otwór *h*, przez który wprowadza się mieszadło w postaci żelaznego drąga, na końcu zakrzywionego.

Wymiary pieca są rozmaite, a jednorazowy nabój surowca wynosi od 300 do 800 *kg*. Większe piece dają większą stratę żelaza, lecz zużywają stosunkowo mniej opału. Większe piece zamiast jednego okna mają je z obu stron, a czasami z każdej strony znajduje się po dwa okna. Większa liczba okien przyspiesza ładowanie i mieszanie surowca.

Stosowane są piece systemu Siemens'a z regeneracją, podzielone na dwie części. Kiedy w jednej połowie odbywa się topienie surowca, w drugiej następuje mieszanie i zakończenie procesu. Zmienny kierunek gazów w tych piecach sprzyja takiemu postępowaniu i daje wielką oszczędność opału i czasu.

Istnieją różne sposoby mieszania mechanicznego, mające zastąpić mieszanie ręczne; lecz żaden nie okazał się tak praktycznym, ażeby mógł wyrugować sposób ręczny.

Surowiec ładuje się do pieca dostatecznie przedtem rozgrzanego. Przed ładowaniem nowego naboju spód topniska należy wyrównać, dorzucając zendry z pod walców i żużli pudlarskich.

Ułożony w topnisku surowiec, najlepiej w postaci stosu, topi się przy zamkniętych oknach, ażeby nie dopuszczać dopływu zimnego powietrza. Podczas topienia surowiec oczyszcza się częściowo od krzemu, który łatwo się utlenia, a powstająca krzemionka SiO_2 , łącząc się z utlenionym w małej ilości żelazem, tworzy krzemian żelaza w postaci żuźla. O ile surowiec zawiera mangan, powstaje podwójny krzemian manganu i żelaza. Wobec tego stosowane czasami doprowadzanie płynnego surowca wprost z wielkiego pieca nie daje spodziewanych korzyści, gdyż przedłuża następny okres świeżenia. Natomiast pożytecznem jest wkładać do pieca surowiec rozgrzany, o ile to rozgrzanie otrzymuje się kosztem uchodzących z topniska gazów. Roztapianie surowca trwa 20—40 minut, po czem rozpoczyna się mieszanie.

Bez mieszania surowiec pokryty warstwą żużla podlegałyby świeżeniu bardzo powoli. Bruzdy, wytwarzane przez ruch mieszadeł, ułatwiają dostęp tlenu powietrza do surowca. Mieszanie surowca z żużlem zawierającym tlenek żelaza przyspiesza świeżenie. Najpierw spala się krzem i mangan, wskutek czego temperatura kąpeli metalowej podnosi się do stopnia, przy którym następuje spalanie węgla. Przy świeżeniu surowca ze znaczną zawartością manganu otrzymuje się żużel bardzo płynny, o małej zdolności utleniającej. W tym wypadku jest rzeczą pożyteczną obniżyć temperaturę w piecu, lub też dorzucić nową dawkę zendry, przez co żużel staje się gęstszym i bardziej utleniającym. Spalanie węgla poznaje się po niebieskim płomieniu powstającego tlenku węgla. Wskutek obfitego wydzielenia gazów kąpiel zaczyna się pienić, podnosi się poziom żużla i część jego wylewa się przez próg okien. Ta część procesu nazywa się gotowaniem, na którym się kończy tak zwane *świeżenie wstępne*, poczem jeszcze znaczna ilość węgla pozostaje w surowcu. Podczas świeżenia wstępnego utlenia się część fosforu, czemu sprzyja niska temperatura w piecu, obecność żużli mocno zasadowych i obfite wyłożenie topniska zendrą. Powstały fosforan wylewa się z pieca wraz z żużlem przy gotowaniu. Zupełna defosforyzacja jest niemożliwą w piecach pudlarskich i dlatego zawartość fosforu w surowcu przy tym procesie nie powinna przekraczać 0,1%.

Utlenianie siarki odbywa się podczas całego procesu. Im dłużej trwa proces, tem więcej siarki wydziela się w postaci bezwodnika siarkowego SO_2 . Obecność manganu sprzyja odsiarczaniu: powstaje siarczek manganu rozpuszczalny w żużlu. Przy najbardziej jednak sprzyjających warunkach zawartość siarki w przerabianym surowcu nie powinna przekraczać 0,2%, pożądaną zaś jest zawartość jej daleko mniejsza.

Przy końcu mieszania, trwającego od 20 do 40 minut, żelazo tężeje z powodu zmniejszenia się w nim zawartości węgla i podniesienia przez to punktu topliwości powyżej panującej w piecu temperatury, która rzadko przekracza 1400°C . Steżale żelazo opada na spód topniska, ziarna zaś żelaza pozostają częściowo zawieszone w żużlu.

Świeżenie ostateczne zaczyna się od tego, że pudlarz łączy zapomocą zaostzonego drąga rozproszone ziarna w bryłki, które spawając się z sobą w coraz większe bryły, tworzą w końcu *lupy*, wystające nad poziom płynnego żużla. Takich lup wyrabia się 5

do 7; od czasu do czasu obraca się je, ażeby wszystkie części podlegały kolejno świeżeniu pod wpływem utleniającego działania gazów. W tym czasie podtrzymuje się w piecu możliwie wysoka temperatura, aby ułatwić wyciekanie żużla z lup. Możliwa tu jest dalsza defosforyzacja, gdyż rozpuszczony w żelazie fosforek żelaza czyni je łatwiej topliwem i wydziela się razem z żużlem.

Jakkolwiek dużo żużli wypływa z żelaza przy tworzeniu się lup i ich następne wygrzewaniu, jednak po wyjęciu z pieca przedstawiają one masę gąbczastą, przepojoną żużlem. Dalsze usuwanie żużla odbywa się zapomocą kucia lup pod młotem parowym, gdzie ciastowata niekształtna masa otrzymuje formę czworokątnego graniastosłupa, zwanego *blokiem*.

Strata żelaza przy sposobie pudlarskim wynosi od 8—12%.

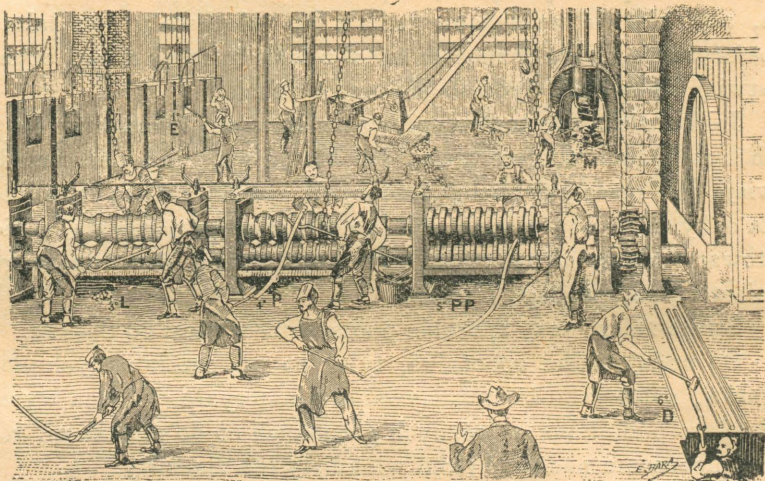
Od umiejętności robotnika, tyleż co od przerabianych materiałów, zależy jakość otrzymywanego materiału. Można wyrabiać żelazo pudlarskie w różnych gatunkach co do miękkości, również można mu nadawać złom włóknisty lub ziarnisty.

Blok pudlarski zawiera jeszcze pewną ilość żużli, które usuwa się ostatecznie dopiero przez wielokrotne walcowanie po każdorazowym przedtem wygrzaniu w piecach zgrzewnych. Bloki po pierwszym walcowaniu otrzymują kształt czworoboku płaskiego lub zbliżonego do kwadratu. Żelazo, pocięte po pierwszym walcowaniu na kawałki równej wielkości, daje *kęsy*. Kęsy płaskie składają się w *snopce* i ponownie się walcują lub przewalcowują bezpośrednio na blachę. Kęsy kwadratowe walcują się na żelazo tak zwane handlowe. W ten sposób otrzymuje się żelazo jednogrzewne, dwu-lub trójzgrzewne. Każde następne walcowanie prowadzi do zmniejszenia zawartości żużli i czyni żelazo miększem.

Rys. 44 daje obraz dawnej fabryki pudlarskiej, połączonej jak zwykle z walcownią. Lupa po wyjęciu z pieca *E* otrzymuje kształt graniastosłupa pod młotem parowym *M*. Z pod młota blok pudlarski wstępuje do walców *L*, gdzie zmienia przekrój kwadratowy na płaski. Żelazo pocięte na kęsy, złożone w snopce i zagrzone w piecach zgrzewnych ponownie się walcuje w kłatkach *P* i *PP*. Gotowa sztaba w stanie gorącym prostuje się drewnianymi młotami na prawidle *D*.

Żelazo pudlarskie, powstałe ze spawania pojedynczych ziaren, a następnie przez spawanie kęsów, posiada charakterystyczną budowę, którą się różni od żelaza zlewnego. Zapomocą badań

metalograficznych, polegających na polerowaniu powierzchni żelaza i następnie wygrzaniu jej odpowiednimi płynami, otrzymu-



Rys. 44. Fabryka pudlarska.

jemy widoczny tak gołym okiem jak pod mikroskopem rysunek, wykazujący strukturę żelaza; w masie żelaznej dostrzegamy nie-



Rys. 45. Żelazo pudlarskie pod mikroskopem $\times 250$.

regularnie wydłużone w jednym kierunku cząsteczki żużla (rys. 45). Żelazo z małą zawartością węgla zwykle ma budowę włóknistą.

Produkcya żelaza pudlarskiego z każdym rokiem zmniejsza się; obecnie stanowi na całym świecie mniej niż 3% całej produkcji żelaza kowalnego. Reszta przypada na żelazo zlewne, które w dalszym ciągu nazywać będziemy stalą. Niemniej należy zaznaczyć, że w konserwatywnej Anglii proces pudlarski daleki jest od wymarcia. Zapotrzebowanie na żelazo pudlarskie jest tak znaczne, że brakuje starych doświadczonych majstrów i trzeba uczyć sztuki pudlarskiej młodych robotników. W r. 1912 znajdowało tam zajęcie około 10 tys. robotników przy 661 piecach.

Wielką sensację obudziło powstanie w r. 1915 wielkiej walcowni żelaza zgrzewnego z piecami pudlarskimi w St. Louis (St. Zj. Am. P.). Fabryka jest opatrzona we wszelkie nowożytne urządzenia mechaniczne, piece opalane pyłem węglowym i t. d. Wyniki gospodarcze tego powrotu do zarzucanego powszechnie sposobu nie są nam znane.

S t a l.

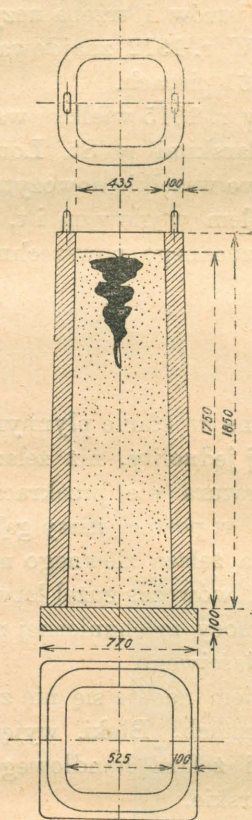
Stal, jako żelazo kowalne otrzymywane w stanie płynnym, słusznie uważana jest za materiał bardziej jednolity, niż żelazo zgrzewne. W piecach pudlarskich temperatura nie przekracza 1400°C ., i żelazo wyświeżone otrzymuje się w postaci masy gąbczastej, przepojonej żużlem. Dla otrzymania żelaza zlewego należy podnieść temperaturę powyżej 1500°C ., wówczas żużel łatwo się oddziela od żelaza, wypływając bez pomocy mechanicznej na powierzchnię wskutek mniejszego ciężaru właściwego.

Pierwszy kształt stali przed walcowaniem nadaje się nie za pomocą kucia, lecz przez odlewanie w formach. Bloki, wyjęte z form, walcują się na wszystkie gatunki żelaza handlowego, w podobny sposób, jak graniastosłupy pudlarskie.

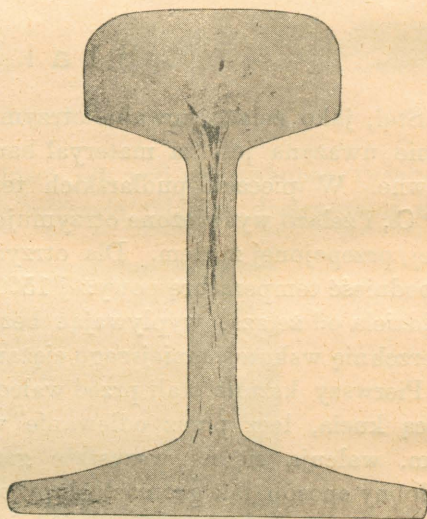
Odlewanie jednak stali powoduje innego rodzaju niejednolitość materiału. Przedewszystkiem zachodzić może zjawisko *likwacyi*, polegające na tem, iż stal roztopiona zawiera różne składniki, w niejednakowym stopniu w niej rozpuszczalne i wydzielające się stopniowo w miarę stygnięcia. Im więcej domieszek znajduje się w stali, tem dłużej pozostaje ona w stanie płynnym. Blok ostyga i tężeje poczynając od obwodu przy zetknięciu się z zimnemi ściankami formy. Stal najpierw krzepnąca zawiera najmniej domieszek, które wydzielając się przechodzą do żelaza pozostającego płynnem. Stal w środku bloka tężeje na ostatku i za-

wiera najwięcej obcych i szkodliwych domieszek. Zawartość fosforu i siarki wewnątrz bloka wyższa jest nieraz czterokrotnie a węgla dwukrotnie niż przy ściankach. Zawartość krzemu jest wszędzie jednakowa, manganu zaś zmienia się mało, o ile stal nie posiada siarki; w razie przeciwnym siarczek manganu, jako mający

wysoki punkt topliwości, skupia się w części krzepnącej wcześniej. Rys. 46 przedstawia blok stali, rozcięty podłużnie; likwacya wyraźnie występuje dokoła jamy usadowej i zawsze ją zauważyć można przy badaniu metalograficznem przekrojów dźwigarów i szyn kolejowych, wywalcowanych z takich bloków (rys. 47).



Rys. 46. Blok stali z jamą usadową.



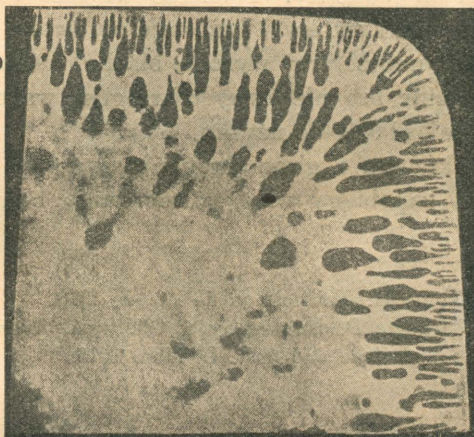
Rys. 47. Przekrój szyny.

Stal po zastygnięciu posiadać może wewnątrz większe lub mniejsze przestrzenie niezapełnione metalem. Przestrzenie te wpływają niekorzystnie nie tylko na wytrzymałość materiału, lecz niekiedy czynią stal niezdatną do dalszej przeróbki. Są dwie przyczyny wywołujące to zjawisko:

Cieężar właściwy żelaza płynnego (6,5) jest mniejszy, niż w stanie stałym (7,8). Krzepnąc więc, stal zmniejsza swoją obję-

tość o 20%. Skurcz liniowy zaś od chwili krzepnięcia do zupełnego ostygnięcia stali stanowi 1,6—2%, a objętościowy średnio 6%.

Krzepnięcie stali wlanej do formy rozpoczyna się od zimnych ścianek ze strony zewnętrznej. Otrzymujemy więc z początku stężałą powłokę, wewnątrz której znajduje się płynny metal. Stygnąca w dalszym ciągu powłoka zmniejsza wskutek skurczu objętość swoją o 6%, zawarta zaś w niej stal zmniejsza objętość przy krzepnięciu o 20%. Różnica obu objętości, czyli 14%, po zupełnem ostygnięciu bloka daje przestrzeń niewypełnioną metalem, wskutek czego w środku górnej części bloka powstaje tak zwana



Rys. 48. Przekrój bloka z pęcherzami.

jama *usadowa* postaci lejkowatej, wskazanej na rys. 46. Wobec małej ilości wydzielanych ze stali gazów, ciśnienie w jamie jest niższe od atmosferycznego, wskutek czego otrzymuje się mniejsza albo większa wklęsłość górnej powierzchni. Jama wewnątrz ma powierzchnię chropowatą i często bywa pokryta kryształami żelaza.

Część bloka, w której znajduje się jama *odlewniana*, nie jest zdatna do użytku i powinna być odcięta. Głębokość jamy stanowi 10 do 30% wysokości bloka i zależy od składu chemicznego stali, stopnia przegrzania, kształtu bloka i t. d.

Drugą przyczyną powstawania pustych przestrzeni i tworzenia materiału porowatego jest wydzielanie gazów rozpuszczonych w stali. Gazami tymi są: wodór powstały z rozkładu pary wodnej, zawartej w powietrzu, azot i tlenek węgla, wytwarzający się pod-

czas świeżenia. Im wyższą jest temperatura i ciśnienie, tem więcej gazów rozpuszcza w sobie żelazo; po wypuszczeniu więc z pieca gazy rozpuszczone w stali wydzielają się z niej przy stygnięciu. O ile gazy nie znajdą ujścia ze stali, gromadzą się w postaci pęcherzy lub baniek, przeważnie przy ściankach bocznych i przy górnej powierzchni bloka. Na rys. 48 widzimy takie pęcherze w przekroju jednej ćwiartki wadliwego bloka.

Bańki gazowe, o ile są nieliczne i drobne, dają się zawalcować, gdyż przy wysokiem ciśnieniu, jakie wywierają walce, gazy nanowo rozpuszczają się w rozgrzanej stali, żelazo się spawa i tworzy materiał jednolity. Pęcherze większe i liczniejsze nie dają się zawalcować, i materiał pozostaje porowaty. W niektórych wypadkach, jak naprz. przy wyrobie blachy, bańki są przyczyną powstawania dziur lub nierównych brzegów, wskutek czego materiał staje się niezdatny do użytku.

Obecność krzemu i glinu sprzyja utrzymaniu gazów w roztworze stałym, zapobiega więc powstawaniu baniek gazowych w stali.

Literatura: Noble H. Fabrication de l'acier. 1913.

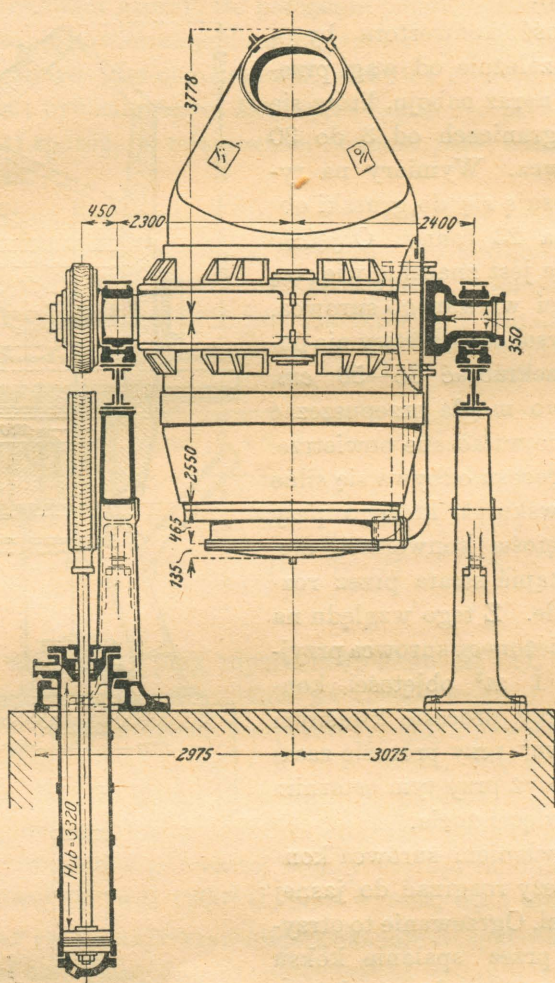
Carnegie D. assisted by S. Gladwyn. Liquid steel, its manufacture and cost. London. 1913.

Bessemerowski sposób otrzymywania stali.

Henryk Bessemer wynalazł w r. 1855 sposób świeżenia surowca, oparty na przepuszczaniu prądu powietrza przez roztopiony metal, bez użycia jakiegokolwiek opału przy samym procesie. Tlen powietrza utlenia większość zawartych domieszek, skutkiem czego surowiec zamienia się na żelazo kowalne. W porównaniu z dotychczas praktykowanymi metodami wynalazek Bessemera przedstawia korzyści olbrzymie, gdyż oszczędzając na opale i pracy ludzkiej skraca nadzwyczajnie czas świeżenia. Gdy dla przeróbki 12 tonn surowca na żelazo kowalne, przy sposobie fryszer skim, potrzeba było trzech tygodni czasu, a w piecu pudlarskim — trzech dni, to przy stosowaniu metody bessemerowskiej wystarcza tylko dwadzieścia minut!

Proces Bessemera i pokrewny mu Thomasa i Gilchrista prowadzi się w specjalnych naczyniach, zwanych konwertorami, lub z powodu swego kształtu — gruszkami.

Konwertyr (rys. 49 i 50) budowany jest z blachy żelaznej i wykładany wewnątrz masą ogniotrwałą. W dnie naczynia, stanowiącym łatwo odejmowaną i zamienianą część gruszki, znajdują się kanały, łączące konwertyr ze skrzynią, do której doprowadza



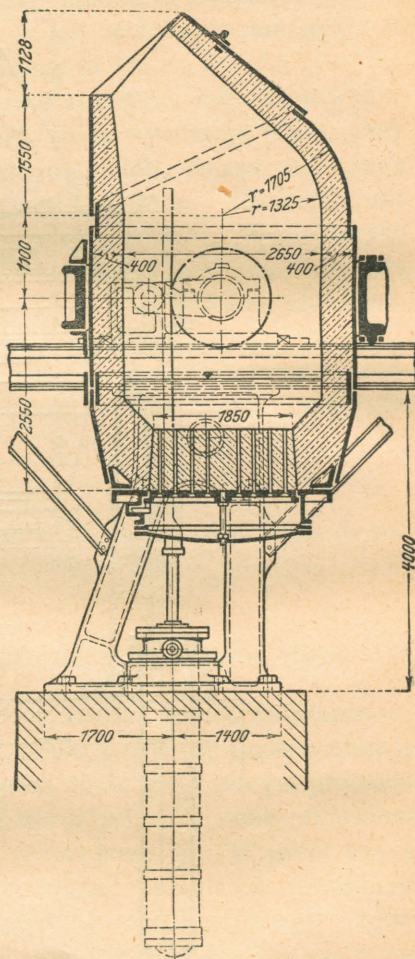
Rys. 49. Konwertyr Bessemera.

się zimne powietrze pod ciśnieniem 1,5—2 atmosfer. Otwór u góry służy do napełniania i opróżniania konwertyra. Dla ułatwienia tych czynności konwertyr, zawieszony na czopach stalowych i poruszany motorem, działającym na tryb umocowany do jednego z czopów, może przyjmować dowolne położenie.

Drugi czop jest wewnątrz pusty i służy jako przewód powietrzny. Z jednej strony łączy się z kompresorem, a z innej za pomocą rury ze skrzynią, znajdującą się pod dnem konwertora, wskutek tego dmuchanie może się odbywać przy każdym położeniu gruszki.

Wielkość konwertora bywa rozmaita, zależnie od wagi przetwarzanego naraz naboju, która się waha w granicach od 3 do 30 tonn surowca. Wymiary na rysunku stosują się do gruszki obliczonej na 23 tonny. Objętość konwertora jest znacznie większą od objętości wlewanego surowca, którego wysokość warstwy nie powinna przekraczać 35—50 cm, ażeby łatwo mogła przepuszczać przez siebie wtłaczane powietrze. Podczas procesu odbywa się silne wrzenie, wskutek którego przy małej objętości konwertora mogłaby nastąpić strata przez rozpryskiwanie. Z tego względu na 1 tonnę świeżonego surowca przyjmuje się 1 m³ objętości konwertora przy procesie kwaśnym i 1,2—1,5 m³ przy procesie zasadowym, gdyż przy tym ostatnim powstaje więcej żuźla.

Przed wlaniem surowca konwertor należy rozgrzać do jasnej czerwoności. Ogrzewanie to otrzymuje się przez spalanie koksu przy małym dmuchu powietrza. Płynny surowiec może być dostarczany wprost z wielkiego pieca, albo powtórnie przetopiony w kopulakach, lub piecach płomien-nych. Pierwszy sposób jest korzystniejszy ze względu na oszczędność opału i znajduje częstsze zastosowanie, gdy stalownia położona jest przy wielkich piecach, do czego przyczynia się stosowanie



Rys. 50. Przekrój konwertora bessemerowskiego.

mieszalników, mogących dostarczać jednostajnego i odsiarczonego surowca, jak o tem będzie niżej.

Przy wlewaniu surowca konwertor ustawia się poziomo, i w ten sposób otwory kanałów są zabezpieczone od zatkania ich surowcem. Z powrotem gruszki do położenia pionowego rozpoczyna się doprowadzanie powietrza pod ciśnieniem 7 razy większem od ciśnienia statycznego płynnego metalu, wskutek czego otwory kanałów nie mogą być zalewane. Powietrze działa na płynny surowiec w trojaki sposób, a mianowicie: podnosi jego temperaturę, świeży i miesza.

Podniesienie temperatury otrzymuje się przez spalanie różnych pierwiastków, zawartych w surowcu. To podniesienie nie jest, jakby się wydawało, w stosunku prostym do ilości ciepła wydzielanego przy utlenianiu tych pierwiastków, jak widzimy z poniższej tablicy.

Przy spalaniu:	Si/SiO ₂	P/P ₂ O ₅	Mn/MnO	Fe/FeO	C/CO
1 kg daje ciepłostek . .	6430	5892	1730	1150	2452
1% zawartości podnosi temperaturę o stopni	375	248	76	70	40

Węgiel więc, który przy zupełnem spalaniu na CO₂ wydziela 8137 ciepł., spala się tu przeważnie na tlenek węgla i najmniej przyczynia się do podnoszenia temperatury, gdyż powstający gaz uchodząc z pieca, unosi zawarte w nim ciepło, gdy tymczasem tlenki krzemu, fosforu i inne pozostają na miejscu i oddają całe swe ciepło kąpieli metalowej. Liczby dotyczące podnoszenia temperatury, przytoczone w powyższej tablicy, stosują się do temperatury początkowej surowca 1200° C., przy wyższej będą mniejsze.

Ponieważ rzeczą najkorzystniejszą okazuje się spalanie krzemu i fosforu, więc omawiany sposób oparty jest na spalaniu jednego z tych pierwiastków. Stąd mamy obecnie dwa sposoby postępowania: dawniejszy, bessemerowski, inaczej zwany *kwaśnym* do świeżenia surowca o znacznej zawartości krzemu i sposób tomasowski, albo *zasadowy* do przerabiania surowca fosforowego o małej zawartości krzemu. Skład surowców bessemerowskiego i tomasowskiego został podany na str. 20.

Zawartość tych głównych pierwiastków krzemu albo fosforu w surowcu powinna być taka, ażeby temperatura kąpieli metalowej po wyświeżeniu była wyższa niż 1500° C., to jest wystarczała do utrzymania żelaza kowalnego w stanie płynnym. Zwykła ich zawartość wynosi około 2%.

Strata ciepła w konwertorze przez promieniowanie jest nieznaczna, gdyż proces, jak to już zaznaczyliśmy, trwa krótko, zaledwie 15 do 25 minut, zależnie od składu surowca. W rzadkich wypadkach czas trwania procesu jest krótszy od 15 minut lub przekracza 25.

Azot powietrza, który, jak wiadomo, nie bierze udziału w reakcyach, przechodząc przez roztopiony metal, sprzyja dokładnemu mieszananiu świeżonego materiału.

Przy sposobie bessemerowskim kwaśnym, do wyłożenia konwertora stosowana jest cegła lub masa ogniotrwała kwaśna, zawierająca, w przeważnej ilości krzemionkę.

Po rozpoczęciu świeżenia najpierw utlenia się krzem i podnosi temperaturę kąpieli metalowej, potem powstaje tlenek manganawy, który łącząc się z krzemionką daje krzemian manganu, wypływający w postaci żużla na powierzchnię. Węgiel spala się przeważnie wówczas, gdy temperatura podniosła się powyżej 1400° C. Ponieważ krzem, mangan i węgiel mają większe powinowactwo do tlenu, niż żelazo, więc chronią to ostatnie od spalania, które zachodzi dopiero po utlenieniu innych pierwiastków.

W procesie kwaśnym dają się wyraźnie odróżnić trzy okresy: iskrowy, płomienny i czadowy, których znaczenie zostało wyjaśnione zapomocą analiz gazów, metalu i żużla, otrzymywanych podczas przebiegu procesu.

W *okresie iskrowym* odbywa się przedewszystkiem utlenianie krzemu i manganu. Tylko mała ilość węgla spala się na niepalny kwas węglowy, więc u wylotu konwertora niema płomienia. Natomiast uchodzący azot, częściowo tlen i bezwodnik węglowy, unoszą ze sobą cząsteczki żużla w postaci iskier barwy czerwonej i białej. Słychać bulgotanie surowca, przez który przechodzi wiatr. Czas okresu iskrowego trwa od 4 do 10 minut i jest w stosunku prostym do zawartości krzemu w surowcu.

W *okresie płomiennym* kończy się spalanie resztek krzemu i manganu, powstaje tlenek węgla CO, spalający się przy wyjściu z konwertora na CO₂. Płomień początkowo mały o barwie pomarańczowej z pasmami czerwonymi i niebieskimi staje się coraz

dłuższy, biały i bardzo jasny. W tym czasie wrzenie, wskutek wydzielania wielkich ilości gazów, odbywa się bardzo gwałtownie, daje się słyszeć charakterystyczny szum, odmienny od poprzedniego. Następuje nieraz wyrzucanie żużla z pewną ilością metalu na zewnątrz, czemu można zapobiedz przez zmniejszenie ciśnienia powietrza. Okres ten trwa około 10—15 minut.

W okresie *czadowym*, wskazującym na blizkie zakończenie procesu, płomień staje się krótszy, gdyż kończy się spalanie węgla, i staje się brunatny przez zabarwianie powstającymi tlenkami żelaza. Szum nagle się zmniejsza. Okres ten trwać powinien zaledwie ułamek minuty, ażeby uniknąć powstawania większej ilości tlenku żelazawego, który wywołuje kruchość stali i z wyświeżonego wyrobu powinien być usunięty przez odtlenienie, czyli dezoksydację.

Dezoksydacja dokonywa się w konwertorze przez dodawanie żelazo-krzemu, żelazo-manganu lub glinu, rozkładających tlenek żelazawy. Przez dodawanie powyższych gatunków specjalnych surowca wprowadza się również niezbędna ilość węgla do gotowego wyrobu w celu nadania mu odpowiednich własności. Choć przy metodzie kwaśnej, w przeciwstawieniu do procesu zasadowego, można w każdym czasie przerwać świeżenie, kiedy osiągnięto odpowiednie odwęglenie, wszakże uważa się za dogodniejsze doprowadzać świeżenie do zupełnego odwęglania, a następnie wprowadzać węgiel przez dodawanie surowca specjalnego. W celu nawęglania dodaje się niekiedy sproszkowanego węgla drzewnego lub koksu możliwie wolnego od siarki.

Najważniejszą rzeczą przy prowadzeniu procesu jest określenie chwili, kiedy należy przerwać świeżenie. Wobec szybkości przebiegu każda sekunda ma tu znaczenie. Doświadczony majster poznaje poszczególne fazy procesu po barwie i ilości wychodzących płomieni. O ile ma się do czynienia z materiałem jednostajnym, sposób ten może być uznany za wystarczający. W innych wypadkach posiłkują się spektroskopem, badaniem stali i żużli.

Jak wiadomo, analiza widmowa opiera się na zasadach następujących. Światło, wydawane przez jakiekolwiek ciała stałe lub płynne, rozżarzone do białości, daje widmo ciągłe bez linii ciemnych. Gazy rozżarzone dają widmo prążkowane, to jest o wyraźnych liniach barwnych na tle ciemnym. Jeżeli białe światło, pochodzące z jakiegokolwiek źródła przechodzi przez płomień, na widmie powstają linie ciemne, gdyż płomień pochłania promienie tej barwy, jaką sam posiada. Obserwując światło przy wylocie

konwertora przez spektroskop, widzimy początkowo widmo ciągłe, gdyż w okresie iskrowym świecą rozżarzone produkty spalania, nie dające płomienia. Widmo to najprzód jest słabe i o małym rozszerzeniu: brakuje w niem barw fioletowej i niebieskiej. Wkrótce w miarę wzrostu temperatury staje się ono więcej intensywnem i rozszerza się na prawo. W okresie płomiennym występują w pewnym stałym porządku barwne linie na tle ciemnem, które znikają następnie w porządku odwrotnym. Spektroskop więc wykazuje w każdej chwili, jakie pierwiastki się spalają i jakie pozostają do wyświeżenia. Nastąpienie okresu czadowego wyraża się przez zaciemnienie widma.

Badanie żuźła i metalu odbywa się w sposób następujący. Kiedy można mniemać, że proces jest na ukończeniu, konwertor ustawia się poziomo, dopływ wiatru zostaje wstrzymany, i dla wzięcia próby zanurza się sztabę żelazną, albo czerpie metal łyżką osadzoną na długim pręcie. Z barwy żuźła, przylegającego do sztaby można wnosić o stopniu wyświeżenia. Póki zawartość węgla w stali jest duża, żużel ma barwę jasną; w miarę zmniejszania się węgla, zwiększa się ilość powstającego tlenku żelazawego, i żużel stopniowo z oliwkowego staje się brunatnym i czarnym.

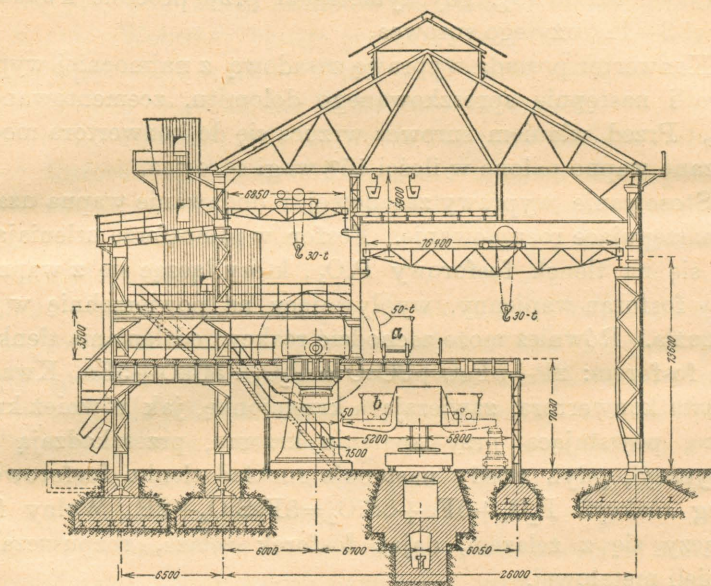
Próbki żelaza rozplaszczą się pod młotem na kowadle. Im łatwiej daje się to uczynić i im mniej rys przytem powstaje, tem metal jest bardziej wyświeżony. Rozplaszczona stal probuje się na przeginanie aż do złamania; z wyglądu powierzchni przełomu można wnioskować o zawartości węgla i manganu.

Tylko mała część siarki może być usunięta w procesie bessemerowskim, surowiec przerabiany powinien przeto zawierać jej jak najmniej.

Fosfor zawarty w surowcu przy procesie kwaśnym całkowicie przechodzi do stali. Dlatego sposób ten może być stosowany tylko tam, gdzie rudy wolne są od tej domieszki. Kraje zaś posiadające olbrzymie pokłady rud fosforowych, jak: Niemcy, Francya, Cleveland w Anglii z dobrodziejstwa wynalazku Bessemera korzystać nie mogły, dopóki dwum innym anglikom Thomasowi i Gilchristowi nie udało się w r. 1878 wynaleść sposobu do przerabiania w konwertorach surowców fosforowych.

Rys. 50 przedstawia urządzenie stalowni bessemerowskiej w przekroju. Konwertory ustawione są w jednym szeregu. Wszelkie inne rozstawienie ich okazuje się w praktyce mniej dogodnem. Czynności odbywają się na różnych poziomach. Płynny surowiec

dowodzi się z mieszalnika w kadzi *a*. Na niższym poziomie znajduje się kadź *b*, do której wylewa się gotowa stal, a stąd odwozi się ją do hali, gdzie się odlewa w bloki. Majster kierujący procesem znajduje się w miejscu, skąd może obserwować całą stalownię



Rys. 50. Przekrój oddziału bessemerowskiego.

i ma pod ręką trzy kierownice: do regulowania dopływu powietrza, do nadawania odpowiedniego położenia konwertorowi i do przechylania kadzi z płynnym surowcem.

Metoda tomasowska.

Metoda ta, zwana inaczej procesem zasadowym, jest odmianną sposobu bessemerowskiego. Przerabiany w tym wypadku surowiec powinien zawierać krzemu poniżej 0,5%, możliwie zaś mniej, gdyż za materiał opałowy przy tym sposobie służy fosfor, krzem zaś utrudnia proces. Zawartość fosforu w surowcu tomasowskim wynosi 1,7—2,2%.

Przebieg procesu zasadowego tem się różni od kwaśnego, że tu po ukończeniu utlenienia krzemu, manganu i węgla pozostaje w metalu znaczna zawartość fosforu. Spalenie fosforu, pomimo że odbywa się od samego początku, jest jednak nikiel i występuje

energicznie dopiero po wypaleniu węgla. Najwyższa temperatura kąpeli metalowej (1600°C) osiąga się przy końcu procesu. Z powodu nieobecności w tym okresie innych składników zwiększa się bardzo utlenianie żelaza, które przechodzi w żużel. Stąd strata żelaza dochodzi do 15%, gdy tymczasem przy procesie kwaśnym stanowi 8—12% użytego surowca.

Konwertor posiada wyprawę zasadową z najmocniej wyprzonego i następnie sproszkowanego dolomitu, zcementowanego smołą. Przed waniem surowca wrzuca się do konwertora mocno rozgrzane wapno palone w ilości 15% wagi surowca.

Stosowanie wyprawy zasadowej i dodawanie wapna uzasadnia następujące rozumowanie. Fosfor w atmosferze utleniającej spala się na tlenek fosforowy P_2O_5 , który łącząc się z wapnem tworzy fosforan wapienny, wypływający na powierzchnię w postaci żużla. Również może zachodzić reakcja odtleniania tlenków żelaza fosforem: $2\text{P} + 5\text{FeO} + 3\text{CaO} = \text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{CaO} + 5\text{Fe}$. Kwaśna wyprawa konwertora, zawierająca krzemionkę, jak również krzemionka, powstająca przy spalaniu krzemu, przeszkadzają defosforyzacji, gdyż wtedy następuje rozkład tlenku fosforowego według reakcji: $\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{Fe} + 5\text{SiO}_2 = 5\text{FeSiO}_3 + 2\text{P}$. Wolny fosfor łączy się z żelazem, dając fosforek żelaza, rozpuszczalny w kąpeli metalowej.

Fosforany mogą być rozkładane przez węgiel, zawarty w surowcu, o ile temperatura będzie dostatecznie wysoka, i wówczas fosfor z żużla wraca ponownie do stali. Stąd wynika, że najsilniejsze spalanie fosforu odbywać się może tylko po zupełnem odwęgleniu surowca.

Zaduża zawartość fosforu w surowcu jest szkodliwą, gdyż powstająca zbyt wysoka temperatura sprzyja spalaniu żelaza i zwiększa stratę. Oznaką tego jest powstawanie dymu brunatnego. Temperaturę można obniżać przez dodawanie wapna.

Podobnie jak w procesie kwaśnym rozróżniamy tu trzy okresy: iskrowy, podczas spalania krzemu i manganu, płomienny, kiedy utlenia się węgiel, i okres odfosforzania, czyli defosforyzacji.

Pierwszy okres przebiega spokojnie przy obfitem wyrzucaniu iskiei, zabarwionych na żółto przez cząsteczki wapna i żużla wapiennego; trwa on od dwóch do trzech minut.

Spalanie węgla odbywa się przy burzliwym gotowaniu i charakterystycznym szumie w ciągu 12—15 minut. Płomień zabarwiony początkowo na żółto, powoli wzrasta, staje się oślepiąco

białym i w końcu nagle ustaje. Reakcyja staje się łagodniejszą i pokazuje się dym brunatny, gdyż zabarwiony jest tlenkiem żelazawym.

Defosforyzacya i powstawanie fosforanu wapiennego rozpoczyna się przy ponownem ukazaniu się jasnego płomienia i trwa 3 — 4 minut. Wobec szybkiego przebiegu tego okresu trudno jest brać próby gotowego wyrobu, należy więc starać się ściśle czas regulować według zegarka lub liczby obrotów dmuchawy. Jest to możliwe tylko wówczas, gdy surowiec świeżony posiada stałą zawartość fosforu. Kontrola odfosforzania odbywa się zapomocą rozplaszczania pod młotem wziętych próbek stali i łamania ich po nacięciu karbu. Gruboziarnistość złomu i swoisty połysk wskazują na zawartość fosforu.

Jak i przy procesie kwaśnym, po ukończeniu świeżenia należy przeprowadzić odtlenienie i nawęglanie, bez których przy tem postępowaniu stal wcale i nigdy nie nadaje się do użycia, węgla bowiem nie posiada. Ażeby węgiel zawarty w żelazo-manganie nie mógł wywołać redukcji fosforu, zawartego w żużlu, przed dodaniem środków nawęglających, żużel się wylewa przez ostrożne pochylenie konwertora.

Żużel tomasowski, z powodu znacznej zawartości w nim fosforu, przedstawia cenny środek nawozowy, mający obszerne zastosowanie w rolnictwie. Na jedną tonnę stali otrzymuje się około 250 kg żużla o zawartości do 24% kwasu fosforowego, co zmniejsza koszt własne wyrobu.

Siarka, podobnie jak i przy procesie kwaśnym, tylko w małej ilości może być wyświeżona. Odsiarczaniu sprzyja do pewnego stopnia zawartość manganu w surowcu.

Przy obydwóch metodach konwertorowych występować mogą w biegu procesu zaburzenia, na które składają się przyczyny następujące: niedostatecznie wygrzany konwertor przed waniem surowca, zimny stosunkowo surowiec, brak pierwiastków opałowych w surowcu i niedostateczne ciśnienie powietrza. W tych wypadkach powstaje t. zw. zimny bieg pieca: powietrze z trudnością przechodzi przez gęstopłynny surowiec, węgiel źle się spala wskutek niskiej temperatury, żużel przystaje do ścian konwertora i gotowa stal z trudnością wylewa się do kadzi rozlewniczej. Środkami zaradczymi przy zimnym biegu są: dodatek surowca obfitującego w pierwiastki opałowe lub podniesienie ciśnienia powietrza.

Zbyt gorący bieg jest również niepożądany, temperatura bowiem wtedy podnosi się tak wysoko, że przy procesie kwaśnym spalanie węgla rozpoczyna się przed całkowitem utlenieniem krzemu, który pozostaje w gotowym wyrobie, zwiększa się strata żelaza, również niszczą się ściany i dno konwertora, potrzebując częstego odnawiania. W tym wypadku zmniejsza się lub zatrzymuje na krótko ciśnienie powietrza, albo dodaje się do zawartości konwertora pewną ilość obcinków szyn lub innego żelaza kowalnego.

Stal bessemerowska używa się przeważnie do wyrobów twardych i o przekrojach większych, jak: szyny kolejowe, belki, osie i t. d. Materiał ten wyswieżony w gruszkach o małych wymiarach stosuje się również do celów odlewniczych. Pewna zawartość pozostałego krzemu sprzyja otrzymywaniu ścisłych odlewów stalowych.

Stal tomasowska używa się do wyrobu żelaza miękkiego, blachy, drutu i t. d. Przewyższa zwykle bessemerowską pod względem kowalności i spawalności. Wysoka temperatura przy końcu procesu zasadowego pozwala na wyswieżenie w stopniu wyższym, aniżeli przy procesie kwaśnym. Ponieważ stal tomasowska nie zawiera w sobie prawie wcale krzemu, sprzyjającego rozpuszczalności gazów, powstawanie w niej baniek gazowych jest zjawiskiem pospolitszem, aniżeli w stali bessemerowskiej.

Sposób martenowski.

Genialny wynalazek Bessemiera, obok wszystkich swych zalet, posiada wady, stojące na przeszkodzie do stosowania go we wszelkich wypadkach. Jak widzieliśmy wyżej, przy procesie kwaśnym fosfor zawarty w surowcu przechodzi całkowicie do stali. Przy procesie zasadowym niezbędna jest duża zawartość fosforu w surowcu, do wytapiania zaś takiego surowca potrzebne są rudy specjalne, nie wszędzie spotykane. Wreszcie niekorzystną stroną tego postępowania stanowi wielka strata żelaza.

Sposobem bardziej powszechnym, niezależnym od gatunków surowca, jest Siemens-Martin'a, zwany zwykle sposobem martenowskim.

Ojciec z synem, Emil i Piotr Martin'owie, pierwsi zaczęli otrzymywać żelazo zlewne przez przetapianie surowca z obcinkami żelaza kowalnego, otrzymywanymi w znacznej ilości w hutach i fabrykach

wyrobów żelaznych, albo z bezwartościowego starego żelazta. Pierwsze piece, przy tym sposobie stosowane, były płomienne, podobne do pudlarskich, temperatura jednak w nich osiągnięta okazała się niedostateczną. Dopiero po wprowadzeniu pieców gazowych, wynalezionych przez Siemens'a w r. 1856 dla hut szklanych, i po zastosowaniu wyłożenia ogniotrwałego, odpornego na temperaturę topliwosci żelaza, osiągnięto w r. 1865 sposób wyrabiania stali metodą Siemens-Martin'a.

Piece Siemens'a są płomieniakami opalanymi gazem, niezbędnem więc przy nich urządzeniem są *generatory*, czyli przyrządy do wytwarzania gazów z twardego materiału opałowego. Zamiast gazu generatorowego zaczynają obecnie stosować gazy koksowe lub wielkopiecowe. Doskonale wyniki daje ropa naftowa, jako materiał nie zawierający szkodliwych domieszek. Drugą właściwością tych pieców jest to, że gaz również jak i powietrze potrzebne do jego spalania są ogrzewane do wysokiej temperatury (od 700° do 1000° C.). Ogrzewanie odbywa się gazami uchodzącymi z paleniska. Gazy spalinowe przed ujściem do kolumny przechodzą przez komory, wypełnione cegłą w ten sposób, ażeby nie przeszkadzała krążeniu gazów. Spaliny oddają swe ciepło ściankom komór i znajdującej się w nich cegle, a po pewnym czasie powietrze i gaz palny skierowane przez te komory, zwane *regeneratorami*, ciepło to odbierają, same się ogrzewając.

Opalanie gazem zamiast paliwem twardym przedstawia samo przez się korzyści wielorakie. Gaz miesza się dokładnie z powietrzem, spala się szybko i całkowicie, nie potrzebując takiego nadmiaru powietrza, jak przy opale twardym, przez co daje możność osiągnięcia wyższej temperatury w miejscu spalania. Łatwo jest regulować temperaturę, normując dopływ gazu i na żądanie otrzymywać płomień utleniający lub redukujący. Małowartościowy materiał opałowy, jak torf i gorsze gatunki węgla kamiennego, wytwarzają gaz, nadający się do otrzymania wysokiej temperatury w piecu.

Ekonomiczna doniosłość sposobu martenowskiego polega na zużytkowywaniu materiału prawie bezwartościowego, jakimi są odpadki żelazne i stare żelazto, w ogromnej ilości gromadzone we wszystkich środowiskach ludzkich. W pierwszych latach po wprowadzeniu metody martenowskiej materiał ten był tak tani, że opłacało się budować stalownie w pobliżu wielkich miast i otrzy-

mywać tani wyrób, miało się bowiem główny materiał i odbył na miejscu.

W Niemczech, gdzie warunki miejscowe najbardziej sprzyjają rozwojowi procesu tomasowskiego wskutek obfitości rud fosforowych, produkcja stali tomasowskiej, aczkolwiek wynosi jeszcze około 57%, z każdym rokiem zmniejsza się procentowo na korzyść stali martenowskiej, której produkcja stanowi już blisko 42%. W państwie Rosyjskiem produkcja stali martenowskiej w roku 1913 wynosiła 82,4%, wobec 12,4% stali bessemerowskiej, 4% tomasowskiej, 0,1% tyglowej, 1,2% bloków pudlarskich i 0,02% fryszerskich.

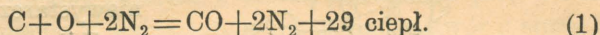
Generatory.

Piece, służące do przemiany opału twardego na gazowy, nazywają się generatorami lub gazownicami. Są one stosowane do wszelkich procesów hutniczych, w celu otrzymywania temperatury najwyższej, lub ażeby z miernych materiałów opałowych otrzymywać takie paliwo gazowe, któreby mogło rozwinąć temperaturę, jakiej przy bezpośrednim spalaniu osiągnąć nie można. Do generatorów używa się opału rozmaity: drzewo, torf, wszelkie gatunki węgla kamiennego, koks i antracyt.

Wytwarzanie gazów w generatorze polega na tem, że powietrze, przechodząc przez grubą warstwę paliwa, nie spala go zupełnie na bezwodnik węglowy CO_2 , lecz daje tlenek węgla CO , który jest gazem palnym, stanowiącym główny pożyteczny składnik gazu generatorowego. Prócz tlenku węgla gaz zawiera zawsze znaczną ilość nieczynnego azotu i może zawierać wodór, metan i małą ilość bezwodnika węglowego. Wodór powstaje z rozkładu pary wodnej, zaś metan CH_4 jest produktem suchej dystylacji węgla kamiennego. Niepożądany dwutlenek węgla otrzymuje się przy wadliwym urządzeniu generatora i przez rozkład pary wodnej według reakcji: $2\text{H}_2\text{O} + \text{C} = 2\text{H}_2 + \text{CO}_2$. Reakcja ta odbywa się przy temperaturze poniżej 1025°C . Przy wyższej zachodzi reakcja korzystniejsza: $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{H}_2 + \text{CO}$. Stąd wynika zasada ogólna, że im wyższa jest temperatura w generatorze, tem większa jest wartość opałowa otrzymywanych gazów. Wartość ta bywa rozmaita i wynosi 1000 — 2000 ciepłotek w 1 m^3 gazu.

Gazy generatorowe, zależnie od sposobu otrzymywania, noszą nazwę powietrznych, albo wodnych. *Gaz powietrzny*, otrzy-

mywany z węgla kamiennego przy dostępie samego powietrza, zawiera w sobie około 30% CO, 65% N₂, 1—2% H₂, 1—4% CH₄ i do 3% CO₂. Dla otrzymania gazu wodnego włącza się do generatora prócz powietrza para wodna. W gazie wodnym zawartość wodoru może być objętościowo niemal równa zawartości tlenu węgla przy mniejszej ilości azotu, wskutek czego wartość opałowa jego jest większa niż powietrznego. Są też gazy, które ze względu na zawartość w nich wodoru mogą być nazywane półwodnymi lub wogóle mieszanymi. Zachodzą tu reakcje:



Przy spalaniu jednej cząsteczki kg-owej t. j. 12 kg C w generatorze powietrznym otrzymuje się 3 mole t. j. 67 m³ gazu (5,6 m³/kg), zawierającego blisko $\frac{1}{3}$ CO i $\frac{2}{3}$ N₂. Temperatura gazu, obliczana teoretycznie bez uwzględnienia strat przez promieniowanie wynosi 1300° C. Energia cieplna gazu składa się z dwóch części: ciepła jawnego, wyrażanego przez temperaturę gazu i ciepła utajonego, które się ujawnia dopiero po spaleniu CO tak, iż na 96 ciepł., odpowiadających 12 g spalanego C, 29 ciepł. jest ciepłem jawnym w gazie, a 67 ciepł. jest jego wartością opałową. Ciepło jawne jest mało wyzyskiwane w piecach i wcale się nie wyzyskuje w silnikach spalinowych. Jest to więc energia całkowicie lub częściowo stracona. Z tego względu jest rzeczą pożyteczną ciepło to uczynić możliwie małym, zużywając je na przeprowadzenie reakcji (2), która jest endotermiczną. W tym celu dodaje się do powietrza, służącego do spalania, pewną ilość pary wodnej.

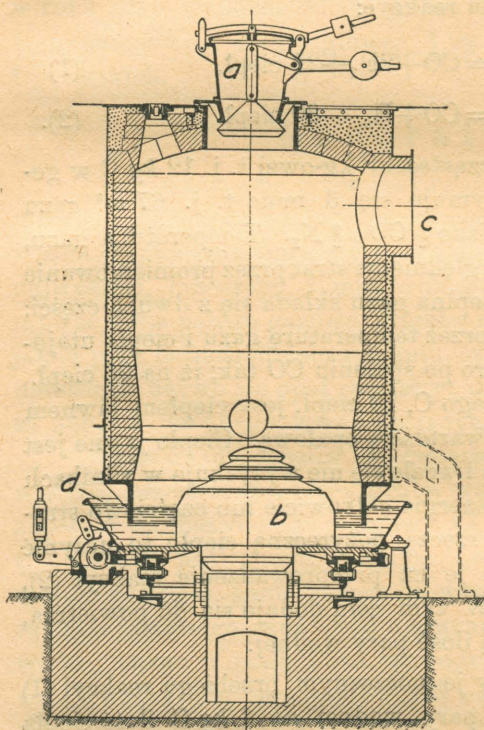
Łatwo obliczyć, że przy jednoczesnym przebiegu reakcji (1) i (2) i przy dodaniu 0,75 kg pary wodnej na 1 kg C ilość ciepła pochłoniętego przez gazy będzie bliska zeru. W rzeczywistości zasada równowagi chemicznej nakazuje wprowadzenie znacznie mniejszej ilości pary, i zwykle, gaz wychodzący z generatorów posiada temperaturę 600—700° C.

Gazownice, jakkolwiek wszystkie są budowane na jednakowej zasadzie, różnią się między sobą w szczegółach. Ruszt, najczęściej pochyły, powinien być zawsze pokryty grubą warstwą paliwa, żeby wywołać zupełną przemianę dwutlenku węgla, powstającego w sąsiedztwie rusztu, na tlenek węgla, według reakcji CO₂ + C = 2CO. Grubość warstwy jest rozmaita dla różnych gatunków opału, wy-

sokość więc generatora pracującego na drzewie jest większa, aniżeli na węglu kamiennym. Ciśnienie powietrza odgrywa ważną rolę przy spalaniu. Do jednych generatorów doprowadza się powietrze przez ruszta ciągiem naturalnym, do drugih pod ciśnieniem, do hermetycznie zamkniętego popieliska. Te ostatnie pozwalają otrzymywać większą ilość gazów w jednostkę czasu, doprowadzać parę wodną, utrzymywać regularny bieg generatora i stosować miał węglowy, przez który naturalny ciąg powietrza byłby niewystarczający.

Z licznych systemów generatorów, służących do gazowania różnego rodzaju opału, najczęściej są stosowane obecnie piece szybowe, z centralnem zasilaniem powietrza i pary, z zamknięciem wodnem i samoczynnem oczyszczaniem żużla i popiołu, powstających przy spalaniu się opału. Pierwsze takie generatory były systemu Kerpely'ego; obecnie stosują się podobne Rehmana, Hilgera i innych.

Na rys. 52 podany jest w przekroju generator obrotowy dla węgla kamiennego. Jest to piec szybowy o 1—2 m średnicy i podwójnej mniej więcej wysokości, zbudowany z blachy żelaznej i wyłożony wewnątrz cegłą ogniotrwałą. Górna część szybu jest zakończona sklepieniem, w którym założony jest przyrząd zasilający *a* o podwójnem zamknięciu w celu zabezpieczenia robotników od trującego działania gazów i zmniejszenia straty gazów podczas zasilania. Dolne zamknięcie pieca stanowi żelazna misa *d*, napełniona wodą. Jedną całość z misą stanowi stożkowy ruszt *b*, umieszczony nie w środku, lecz mimośrodowo. Pod rusztem znajduje się przewód, którym doprowadza się zapomocą



Rys. 52. Generator z rusztem obrotowym.

chy żelaznej i wyłożony wewnątrz cegłą ogniotrwałą. Górna część szybu jest zakończona sklepieniem, w którym założony jest przyrząd zasilający *a* o podwójnem zamknięciu w celu zabezpieczenia robotników od trującego działania gazów i zmniejszenia straty gazów podczas zasilania. Dolne zamknięcie pieca stanowi żelazna misa *d*, napełniona wodą. Jedną całość z misą stanowi stożkowy ruszt *b*, umieszczony nie w środku, lecz mimośrodowo. Pod rusztem znajduje się przewód, którym doprowadza się zapomocą

inżektora mieszanina powietrza z parą wodną pod ciśnieniem 40 do 70 *cm* słupa wodnego. Misie wraz z rusztem nadaje się powolny ruch obrotowy. Popiół i żużel spadają na dno misy. W pewnym miejscu przymocowana jest do pieca ukośnie blacha żelazna, dolnym końcem dochodząca niemal do dna misy. Blacha ta przy obrocie misy zbiera żużel i wyrzuca go po równi pochyłej na zewnątrz. Mimosrodowe położenie rusztu ma na celu kruszenie żużla, o ileby się spiekał w większe bryły lub tworzył sklepienia, gdyż odległość między rusztem i ścianą generatora przy obrocie misy stale się zmienia w jedną lub drugą stronę. Otwór *c* służy do odprowadzania gazu generatorowego.

Stalownie martenowskie mają szereg generatorów, z których gazy idą do wspólnego przewodu, posiadającego rozgałęzienia do poszczególnych pieców. Wskutek tego otrzymuje się w piecach gaz o bardziej jednostajnym składzie i ciśnieniu, gdyż zasilanie jednego z całej grupy generatora nie wywołuje większych zmian w przewodzie głównym.

Literatura: Dowson J. and Larter A. Producer-gas. 1912.

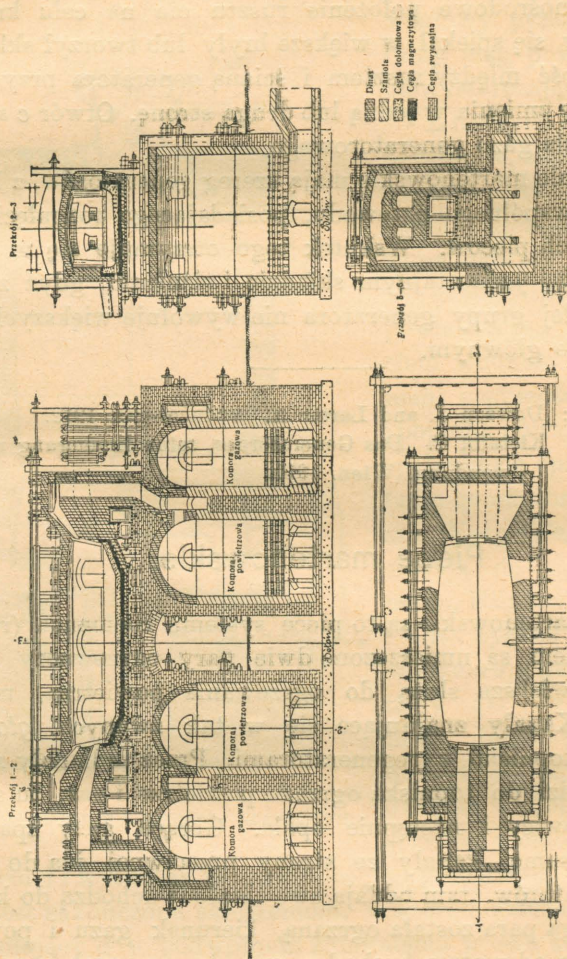
Kietaibl C. Das Generatorgas, seine Erzeugung und Verwendung. Wien. 1910.

Piece martenowskie.

Piece martenowskie są to piece systemu Siemens'a (rys. 53). Pod topniskiem są umieszczone dwie pary ogrzewaczy regeneracyjnych: większe służą do ogrzewania powietrza, mniejsze do gazu. Kanały znajdujące się w tak zwanych *głowicach* pieca, łączą topnisko z regeneratorami. Przez te kanały z jednej strony wchodzi do topniska ogrzane powietrze i gaz, tu się miesza przy głowicy i następnie spala. Gorące gazy spalinowe, przez takie same kanały ze strony przeciwnej, idą do drugiej pary regeneratorów, tam oddają swe ciepło i uchodzą do komina. Kiedy ta druga para została ogrzana, kierunek gazu i powietrza zmienia się na odwrotny; wchodzi one do gorących regeneratorów, same się ogrzewają, dają wskutek tego wyższą temperaturę spalania, a gorętsze spaliny silniej ogrzewają pierwszą parę regeneratorów. Po pewnym czasie znów zmieniamy kierunek gazów, wskutek czego następuje ponowne podniesienie temperatury i t. d. Temperaturę można jednak doprowadzić tylko do 1800° C., gdyż

dalszemu podniesieniu temperatury przeszkadza powstająca dysocjacja kwasu węglowego. Zmiana kierunku gazów odbywa się mniej więcej co 20—25 minut.

Ogrzane gazy, spalając się w gorącym powietrzu, wytwarzają w topnisku temperaturę tak wysoką, że wyświeżone żelazo otrzy-

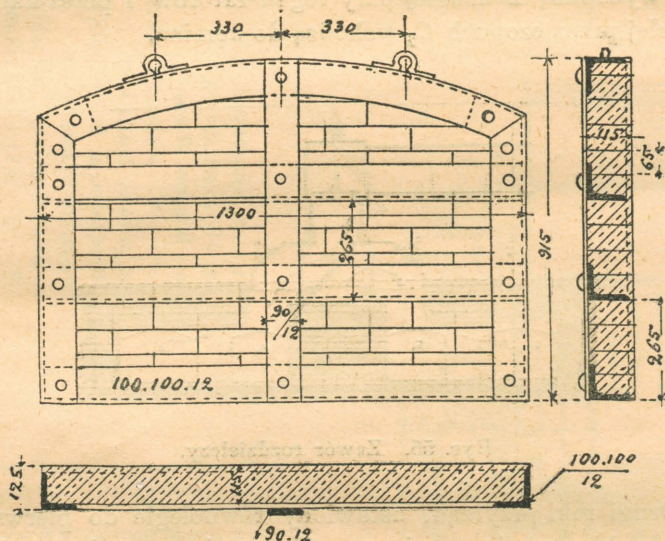


Rys. 53. Piec Siemens.

muje się w stanie płynnym. Ta temperatura wywołuje konieczność stosowania do budowy pieców martenowskich materiałów o wysokiej ogniotrwałości. Takimi materiałami są: cegła lub masa szamotowa, krzemionkowa (Dinas), dolomitowa, magnezytowa i żelaziak chromowy $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. Sklepienie i ściany topniska

powyżej poziomu, do którego sięga żużel, robią się przeważnie z cegły krzemionkowej, rzadziej z szamotowej. Trzon i dolna część topniska wykłada się, o ile wyprawa ma być kwaśną, cegłą krzemionkową, a przy procesie zasadowym — masą dolomitową, magnezytową lub chromitową. Budowę pieca martenowskiego ze wskazaniem materiałów ogniotrwałych przedstawia rysunek 53.

Topnisko jest lekko wgłębione i pochylone w stronę spustu, znajdującego się z przeciwnej strony niż okna, służące do ładowa-



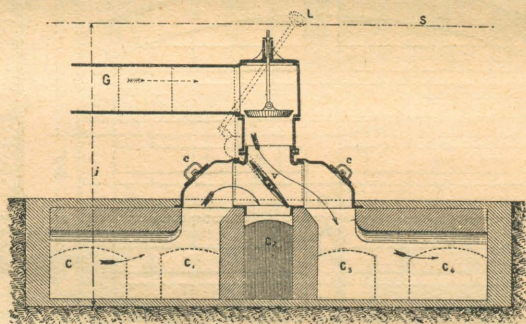
Rys. 54. Zasłona pieca martenowskiego.

nia materiałów stałych. Okien jest najczęściej trzy. Płynny surowiec wlewa się przez otwór, znajdujący się po stronie spustu. Piec jest wzmocniony licznymi ściągaczami żelaznymi i blachą. Okna są zamykane zasłonami, osadzonemi w ramach, które służą za przewodniki. Ciężkie zasłony (rys. 54) z cegły ogniotrwałej, z uzbrojeniem żelaznym, unoszone są do góry zapomocą zrównoważonych dźwigni.

Najbardziej ze wszystkich części pieca narażona jest na zniszczenie głowica pieca, tak wskutek wysokiej temperatury jak i chemicznego działania gazów, unoszących ze sobą tlenki metalów, wchodzące w połączenie z krzemionką. Istnieje wiele pomysłów w tym celu, ażeby ułatwić naprawę lub zamianę uszkodzonych

głowic. Kanały powietrzne w głowicach są zwykle umieszczane nad gazowymi.

Do zmiany kierunku i regulowania dopływu powietrza i gazu do regeneratorów służą rozmaite przyrządy. Na rys. 55 podany jest jeden z najprostszych i najczęściej używanych. Przez przewód G idzie gaz z generatora do zaworu regulującego lub zamykającego ich dopływ. Niżej znajduje się zawór rozdzielczy V , który ustawiony, jak wskazuje rysunek, zmusza gaz do krążenia w kierunku strzałek przez kanały do regeneratora C_4 , a gazy spalinowe wychodzą z drugiej pary regeneratorów i przez kanały C i C_1 , dalej przez czopuch C_2 wchodzą do komina.



Rys. 55. Zawór rozdzielczy.

Drugi taki przyrząd, ustawiony równolegle do pierwszego, służy do kierowania powietrza. Tu powietrze wchodzi do kanału C_3 , a gazy spalinowe z kanałów C i C_1 wchodzą do czopucha, albo odwrotnie, o ile zawór V zostanie obrócony o 90° .

Istnieją i inne zawory rozdzielcze, podobne do suwaków przy maszynach parowych.

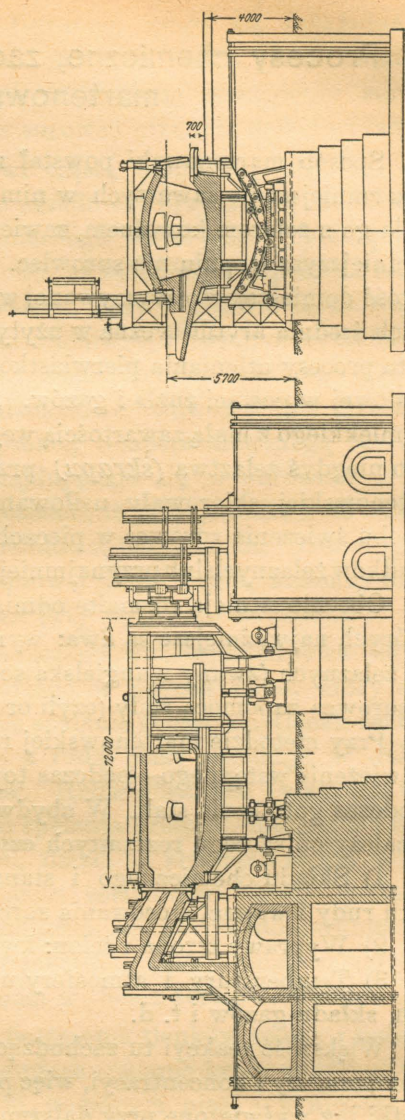
Pojemność pieców martenowskich waha się w granicach od 3 do 80 tonn. Najczęściej spotykane piece obliczone są na 30 tonn. Wydatek węgla wynosi 200—300 *kg* na 1 tonnę otrzymywanej stali.

Piece są stałe i przechylne. Te ostatnie (rys. 56) tem się różnią od stałych, że topnisko w nich może być pochylane mechanicznie, co ułatwia wylewanie płynnej zawartości pieca.

Poniższa tablica podaje temperatury, odnoszące się do różnych części pieca i produktów. Dane te dotyczą pieca amerykańskiego na 60 tonn naboju.

Temperatura gazu przy wejściu do regeneratorów . . .	593° C.
" " " wyjściu z regeneratorów . . .	1060° "
w regeneratorach gazowych . . .	1160° "
powietrza ogrzanego . . .	1100° "
regeneratorów powietrznych . . .	1238° "
spalin przy głowicach. . .	1555° "
" " " wyjściu z regeneratorów . . .	678° "
stali podczas spustu . . .	1600° "
żużla podczas spustu . . .	1350° "
surowca wlewanego do pieca . . .	1121° "

Wysoka temperatura gazów spalinowych przy wyjściu z regeneratorów pozwala na stosowanie ich do ogrzewania kotłów parowych. Kotły bywają umieszczane między regeneratorami i kominem.



Rys. 56. Piec martenowski przechylny.

Literatura: Pawłow M. Album rysunków do pieców martenowskich. 1908.

Pawłow M. Wymiary pieców martenowskich według danych empirycznych. 1912.

Grum-Grzymailo W. Metoda hydrauliczna obliczania pieców płomiennych. 1911.

(Wszystkie w języku rosyjskim).

Procesy chemiczne, zachodzące w piecu martenowskim.

Sposób martenowski powstał z pomysłu świeżenia surowca przez zmniejszenie zawartych w nim domieszek, zapomocą przetapiania go z żelazem kowalnym, zawierającym domieszki te w znacznie mniejszym stopniu niż surowiec. Wkrótce zauważono, że zawartość domieszek w otrzymywanej w ten sposób stali wynosi mniej, niż ich średnia arytmetyczna w użytych materiałach, a więc zachodzą tu procesy utleniania pierwiastków i wydzielania ich z kąpiel metalowej w postaci żużla i gazów. Dążność do otrzymywania żelaza miękkiego z małą zawartością węgla i wzrost ceny bezwartościowego niegdyś żelaztwa (*skrapu*) przy rozpowszechnianiu metody martenowskiej, skierowały usiłowania hutników do wynalezienia sposobu świeżenia surowca w piecach martenowskich bez używania odpadków żelaznych lub przynajmniej do zmniejszenia tego dodatku.

Obecnie istnieją rozmaite odmiany sposobu martenowskiego, z których najważniejsze są dwa: wyrób stali przy użyciu odpadków żelaznych (zwany z angielska *scrap process*), i drugi—świeżenia surowca zapomocą rudy (czyli *ore process*).

Przy metodzie martenowskiej rozróżniamy zwykle dwa okresy: świeżenia wstępnego—podczas topienia naboju—i ostatecznego—podczas gotowania stali. W obydwóch okresach przebieg świeżenia zależy od szeregu rozmaitych czynników, a mianowicie od:

- 1) Składu chemicznego i stanu fizycznego materiałów, dodatku rudy i wapna, stosowania surowca płynnego lub twardego.
- 2) Wyprawy trzona i ścian: kwaśnej lub zasadowej.
- 3) Temperatury i atmosfery utleniającej w piecu, nadmiaru tlenu, składu gazów i t. d.

Większość reakcyi tu zachodzących jest odwracalna, zależnie od temperatury i koncentracji, więc przy pewnych warunkach pierwiastki już wyświeżone przy dalszym przebiegu procesu mogą powracać z żużla do kąpiel metalowej.

Proces martenowski może być kwaśny albo zasadowy. Fosfor nie może być usunięty z żelaza przy wyprawie kwaśnej z powodów wyluszczonych już przy opisie procesu bessemerowskiego. Powstawanie fosforanów jest możliwe przy wyprawie trzonu i ścian topniska do wysokości, jakiej sięga żużel, masą lub cegłą zasadową i przy mocno zasadowym żużlu, otrzymanywanym przez doda-

wanie wapna. Powstające fosforany mogą się rozkładać, jak i w procesie tomasowskim w obecności węgla, więc ostateczne odfosforzanie odbywa się po całkowitem odwęgleniu surowca. Większa zawartość krzemu w surowcu utrudnia defosforyzację.

Ponieważ fosfor stanowi częstą domieszkę surowca, stosowana jest przeważnie metoda zasadowa, przy której można otrzymać dobry wyrób nawet z miernego materiału. Tylko przy surowcu hematytowym i pewnośi, iż żelaztwa nie posiada fosforu, dopuszczalna jest metoda kwaśna. Przy wyprawie zasadowej proces postępuje szybciej. Krzem utlenia się łatwiej, otrzymana krzemionka łączy się z wapnem, tworząc krzemian, z którego odwrotne powstawanie krzemu jest niemożliwe, wówczas gdy krzemiany żelaza przy odpowiednio wysokiej temperaturze mogą być odtleniane działaniem węgla, znajdującego się w surowcu. Zostało stwierdzone analizami chemicznymi, iż przy jednakowym składzie chemicznym naboju kąpiel metalowa, już w końcu, okresu topienia, posiada przy wyprawie zasadowej mniej węgla, krzemu, fosforu i siarki, a więcej manganu, niż przy wyprawie kwaśnej.

Jak wykazują ściślejsze badania, świeżenie odbywa się przeważnie zapomocą tlenu zawartego w gazach pieca, który działa albo bezpośrednio, albo przez spalanie żelaza na tlenek żelazowy Fe_2O_3 . Nawet przy procesie z rudą, gazy utleniają w dalszym ciągu większą część domieszek. Ruda dostarcza tylko 50% teoretycznie tlenu niezbędnego do spalania krzemu, manganu i węgla. Tlen, znajdujący się w gazach, działa na krzemian żelaza w żużlu i wywołuje powstawanie tlenku żelazowego, który posiadając większy ciężar właściwy opuszcza się na dół do zetknięcia się z powierzchnią roztopionego metalu i oddaje domieszkom część swego tlenu, sam zaś przechodzi w tlenek żelazawy FeO .

Żużel otrzymuje się z połączenia tlenków żelaza i manganu z krzemionką, która powstaje przez spalanie krzemu lub jest wprowadzana do pieca z surowcem w postaci piasku z nieoczyszczonych gęsi i z żelaztwa. Przy procesie kwaśnym krzemionka jest czerpana z wyprawy, przyczem ścianki ulegają zużyciu.

Skład żużla, otrzymywanego w okresie topienia naboju wyraża się wzorem $2\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2$, w którym część żelaza jest zastąpiona manganem. W okresie gotowania stali skład żużla się zmienia, zbliżając się do mieszaniny: $2(2\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2) + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$. Powstający w tym czasie lub wprowadzony tlenek żelaza Fe_2O_3

przechodzi w żelazawy FeO, przyczem tlen w chwili powstania działa energicznie tak na żelazo jak i na domieszki.

Tlenek żelazowy działa również na trójkrzemian żelaza, który przechodząc w dwukrzemian także wydziela tlen według reakcyi: $2(2\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2) + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 6(\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) + \text{O}$.

Analizy żużla wziętego podczas okresu gotowania wykazują niezmiernie małą zawartość Fe_2O_3 (około 0,25%). To się tłumaczy nie tylko powyższemi reakcyami, lecz także tem, że w okresie gotowania wyswieża się $\frac{2}{3}$ zawartego w surowcu węgla, który tworzy tlenek węgla, redukujący tlenek żelazowy do niższego stopnia utlenienia.

Kiedy gotowanie jest ukończone i zawartość węgla w kąpeli metalowej jest doprowadzona do 0,2%, wydzielenie tlenku węgla słabnie i wzrasta ilość tlenku żelazowego w żużlu. Przypuszczają, że pewna część tlenku żelazowego działa na żelazo według reakcyi $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe} = 3\text{FeO}$, a powstający tlenek żelazawy odtlenia się do czystego Fe tlenkiem węgla CO lub rozpuszcza się w żelazie i odtlenia w dalszym ciągu przez pierwiastki, zawarte w surowcu. W skutku tego przy procesie z rudą często nie tylko nie ma straty żelaza, lecz otrzymuje się więcej stali, niż użyto surowca i obcinaków żelaza.

W końcu okresu gotowania, żelazo zawiera w sobie pewną ilość rozpuszczonego tlenku żelazawego, ponieważ przy zmniejszonej koncentracji węgla i innych pierwiastków, rozpuszczanie FeO w stali postępuje szybciej, aniżeli jego odtlenianie. To jest powodem, dla którego w celu ostatecznego usunięcia tlenku żelazawego z gotowego wyrobu niezbędnem jest przeprowadzanie dezoksydacji zapomocą żelazo-manganu, lub innego czynnika działającego analogicznie.

Odsiarczanie żelaza jest rzeczą konieczną, gdyż gazy generatorowe zawierają zawsze bezwodnik siarkowy, działający na żelazo i dający ostatecznie siarczek żelaza FeS. Siarczek żelaza jest rozpuszczalny w żelazie, o ile więc powstaje, wprowadza siarkę do stali. Przez dodawanie wapna w obecności tlenku węgla otrzymujemy reakcję: $\text{CaO} + \text{FeS} + \text{CO} = \text{CaS} + \text{Fe} + \text{CO}_2$. Siarczek wapna nie rozpuszcza się w żelazie, lecz przechodzi do żużla w tem większej ilości, im więcej żużel zawiera krzemianu wapnia. Żużel zawierający siarkę powinien być podczas procesu usuwany, gdyż przy większej koncentracji i pod wpływem utleniającego działa-

nia gazów przechodzi w siarczan, i zapomocą reakcyi: $\text{CaSO}_4 + 4\text{Fe} = \text{FeS} + 3\text{FeO} + \text{CaO}$ siarka wraca ponownie do żelaza.

Obecność manganu sprzyja odsiarczaniu, siarczek manganu bowiem jest mniej rozpuszczalny w żelazie niż siarczek żelaza, a podwójny siarczek MnS . CaS pozwala na większą koncentrację siarki w żużlu. Odsiarczanie postępuje według reakcyi: $\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe} + 22,6$ ciepł. i $\text{MnS} + \text{CaO} = \text{MnO} + \text{CaS} - 15,1$ ciepł. Pierwsza jest egzo-, druga endotermiczna. Łącząc obie reakcyje, jak niżej, otrzymamy reakcję egzotermiczną: $2\text{FeS} + 2\text{Mn} + \text{CaO} = \text{MnS} + \text{CaS} + \text{MnO} + 2\text{Fe} + 30$ ciepł. Reakcyja ta dla swego przebiegu nie wymaga wysokiej temperatury, lecz szybkość jej jest mała i przy słabej koncentracji nie przebiega do końca. Zupelnego odsiarczania w piecach martenowskich nie można przeprowadzić, i dlatego surowiec używany do tego procesu nie powinien zawierać siarki więcej niż 0,1%.

Przy *procesie skrapowym* do rozgrzanego pieca wlewa się surowiec, albo wrzuca się go w stanie stałym i roztopia w piecu. Do roztopionego surowca dodaje się następnie żelaztwa w stosunku 25—50% całego naboju, zależnie od posiadanych zapasów. Po pewnym czasie żelazo rozpuszcza się w surowcu. Domieszki surowca utleniają się jak przy procesie pudlarskim. Przyczynia się do tego dyfuzya części składowych metalu i żużlu, długotrwałość procesu, zastępująca mieszanie, rdza na żelazie i tlenki żelaza, powstające wskutek działania utleniającego spalin.

Przy *procesie z rudą*, do pieca z wyprawą zasadową wrzuca się najpierw wapno palone w ilości 5%, następnie możliwie czystą i bogatą w żelazo rudę (magnetyt lub żelaziak czerwony) w ilości 18—25%. Resztę stanowi surowiec płynny. Natychmiast po wlewniu następuje energiczna reakcyja: kąpiel metalowa gwałtownie się burzy, ruda się odtlenia i tlenem swoim spala krzem i mangan surowca. Powoli wrzenie ustaje i w dalszym ciągu przebieg procesu jest taki, jak przy stosowaniu żelaztwa. Jeżeli surowiec zawiera dużo fosforu, należy często spuszczać powstający żużel i dodawać wapna lub Rudy. Inaczej następuje redukcya fosforanu wapnia w żużlu, i fosfor powraca do żelaza.

Powyżej opisany proces z rudą mało jest rozpowszechniony, i niemal zawsze zachodzi potrzeba dodawania odpadków żelaznych, chociaż w mniejszej ilości, niż przy procesie skrapowym. Stąd powstały różne odmiany procesu z rudą, noszące własne nazwy.

Sposób Bertranda i Thiela polega na tem, że świeżenie odbywa się w dwóch piecach martenowskich, ustawionych jeden nad drugim. W piecu górnym przy stosunkowo niższej temperaturze odbywa się, przy udziale rudy, świeżenie wstępne z domieszek krzemu, manganu i części fosforu i węgla. Na wpół wyświeżone żelazo spuszcza się do dolnego pieca, gdzie się świeżenie kończy zapomocą skrapu. Zamiast powyższego sposobu stosuje się świeżenie wstępne w ogrzewanym mieszalniku, a ostateczne w zwykłych piecach martenowskich.

Metoda huty Hoesch tem się różni od sposobu Bertranda i Thiela, że proces odbywa się w jednym piecu. Po wstępnym świeżeniu żelazo spuszcza się do kadzi, a żużel wylewa się osobno. Następnie półgotowy wyrób wraca do pieca, i proces kończy się dodaniem rudy, wapna i żelaztwa. W ten sposób przerabia się surowiec z zawartością fosforu do 1,8%, która przy wstępnym świeżeniu spada do 0,25%. Żużel otrzymywany posiada tak dużo kwasu fosforowego, iż równie dobrze jak tomasowski może być stosowany jako nawóz do celów rolniczych. Postępowanie to przy przeróbce surowców fosforowych ma tę przewagę nad tomasowskim, że może być stosowane przy każdej zawartości fosforu, gdy tamten wymaga koniecznie znacznej jego ilości.

Sposób Talbota, mający dość duże zastosowanie w Anglii i Ameryce, ma na celu uniknięcie znacznych wahań temperatury w piecu między końcem świeżenia jednego naboju i rozpoczęciem następnego, co oddziaływa szkodliwie na trwałość ścian pieca. Stosuje się do tego przechylny piec martenowski, mieszczący 200—300 tonn metalu. Na początku tygodnia piec taki z odnowioną wyprawą napełnia się płynnym surowcem z dodatkiem rudy i wapna. Otrzymany żużel fosforowy zlewa się przez pochylenie pieca. Po wyświeżeniu spuszcza się do kadzi rozlewniczej tylko mniej więcej czwarta część stali z odpowiednią ilością środków odtleniających i nawęglających, a na to miejsce dodaje się nowych materyałów surowych. Stal, pozostająca w piecu, zastępuje w tej metodzie żelaztwa. Po pewnym czasie, trwającym mniej więcej 3—4 godziny, znów się zlewa czwarta część wyświeżonego materyału i tak trwa do końca tygodnia. Zużycie opału przy sposobie Talbota jest mniejsze, i świeżenie odbywa się szybko. Niedogodnością tej metody jest to, że gruntowna reparacya wyprawy dokonywać się może tylko raz na tydzień, a również, że dezoksydacya i nawęglanie odbywa się w kadzi rozle-

wniczej, a nie w piecu, przez co nie zawsze osiąga się stal jednostajną, pożądanego składu.

Sposób kombinowany, albo podwójny jest połączeniem procesu bessemerowskiego z martenowskim. Ma on zastosowanie przy świeżeniu surowca, zawierającego większe ilości krzemu i fosforu. W gruszce bessemerowskiej wyświeża się surowiec z krzemu, manganu i węgla, a dla usunięcia fosforu przerabia się następnie w piecach martenowskich z wyprawą zasadową przy dodatku rudy i skrapu.

Literatura: Petersen O. Zum heutigen Stande des Herdfrischverfahren. 1910.

Dichman C. Der basische Herdofenprozess. 1910.

Springorum Fr. Experimentelle Untersuchungen des Hoeschprozesses. 1910.

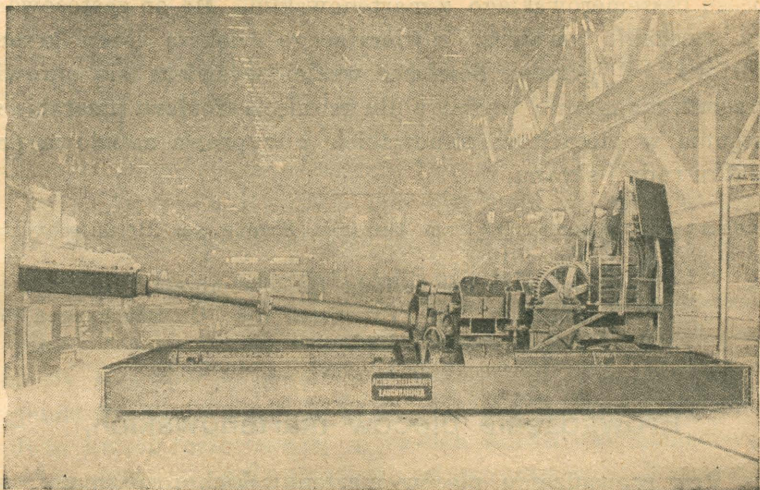
Prowadzenie pieców martenowskich.

Przy prowadzeniu pieców martenowskich rozróżniamy następujące po sobie czynności:

1. Ładowanie materyałów i ich topienie.
2. Gotowanie stali do zupełnego wyświeżenia.
3. Odtlenianie i doprowadzanie stali do pożądanego składu.
4. Wylewanie stali do form.
5. Reparacya topniska po każdorazowym opróżnieniu pieca.

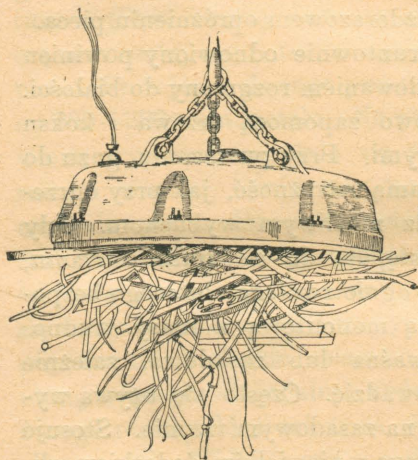
Piec nowozbudowany lub gruntownie odnowiony powinien być dokładnie osuszony i przed ładowaniem rozgrzany do białości. Ogrzewanie odbywa się początkowo zapomocą drzewa i koksu i ostatecznie gazami generatorowymi. Przy puszczeniu gazu do pieca należy zachowywać taką samą ostrożność, jak przy ogrzewaczach Cowpera, ażeby zapobiedz możliwym wybuchom. Gdy piec jest dobrze rozgrzany, przystępują do *natapiania trzonu*, to znaczy do pokrycia materyału ogniotrwałego, leżącego bezpośrednio na płycie żelaznej, warstwą monolitową z masy trudno-topliwej. Masa ta może być kwaśna lub zasadowa, zależnie od tego, jaki proces ma się prowadzić. Często się używa wyrażenia: proces na kwaśnym albo na zasadowym trzonie. Stosuje się albo spiekanie piasku kwarcowego z niewielkim dodatkiem gliny ogniotrwałej, albo magnezytu z dodatkiem małym żużla martenowskiego, dolomitu, zawierającego 3—7% krzemionki, żelaziaka chromowego i t. d. Stapianie takiej masy zachodzi przy tempera-

turze 1600—1700° C., poczem otrzymuje się trzon gładki i wytrzymały, pod warstwą płynnego metalu.



Rys. 57. Maszyna do ładowania żelaza.

Ładowanie materiałów powinno się odbywać z możliwie małą stratą czasu. Dawniejsze wrzucanie surowca w gęsiach jest za-



Rys. 58. Elektromagnes do żelaztwa. conej misy (rys. 58), zabiera żelaztwa ze stosu i przenosi do miejsca ładowania korytek. W ten sposób oszczędza się na czasie i obsłudze, gdyż ładowanie skrapu w inny sposób wobec różnego

stępowane, gdzie tylko można, przez wlewanie surowca płynnego. Ładowanie skrapu odbywa się w korytkach, które po napełnieniu wsuwa się mechanicznie przez okna do pieca i obraca dnem do góry (rys. 57). W ten sposób cała zawartość korytka, t. j. około 1 tonny i więcej, odrazu wchodzi do pieca. Napełnianie korytek odbywa się zapomocą silnych elektromagnesów, połączonych z suwnicami elektrycznymi. Elektromagnes, kształtu odwró-

kształtu i wielkości kawałków żelaza jest uciążliwe. Odpadki blaszane i wióry od tokarek winny być prasowane, w celu wyzyskania miejsca i zmniejszenia straty żelaza przez spalanie.

Przy gotowaniu stali sposobem martenowskim jak i przy postępowaniu bessemerowskim, ważną jest rzeczą ustalenie czasu, gdy okres świeżenia się kończy. Określenie tej chwili jest jednak łatwiejsze w procesie martenowskim, gdyż trwa on dłużej, i jest czas do czynienia prób wielokrotnych. Zaczepnięta stal wylewa się do formy lub wprost na płytę żelazną i po ostudzeniu zgina się i łamie, a z tego, jak się próba przy tem zachowuje i z charakteru złomu, sądzi się o zawartości węgla i manganu w wyrobie. Można tu również kierować się, jak przy sposobie bessemerowskim, wyglądem żużla na powierzchni roztopionego metalu: żużel jasny wskazuje na świeżenie niedostateczne, ciemny, z połyskiem metalowym, wykazuje, że świeżenie posunęło się zadaleko i t. d. Ostatniemi czasy zaczyna być stosowana analiza chemiczna. Wiórki otrzymane maszynowo z próbek poddaje się szybkiej analizie w laboratorium i rezultaty komunikuje majstrowi przy piecach.

Żelazo wyświeżone poddaje się odtlenieniu przez dodawanie surowca zwierciadlistego, żelazo-krzemu lub glinu, poczem zlewa się do form.

W piecach martenowskich otrzymywać można stal od najmniejszej z zawartością węgla 0,03% do bardzo twardej. Również można wyrabiać stal niklową, chromową i inne, dodając po zupełnem wyświeżeniu odpowiednie składniki.

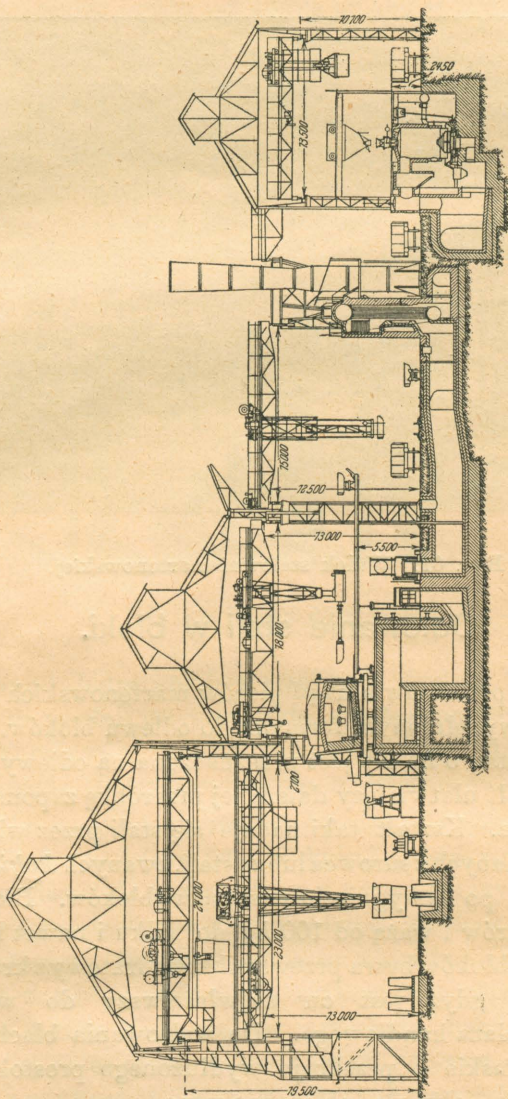
Odełwanie stali do form w bloki jest rzeczą tak doniosłą przy procesie martenowskim jak i przy innych, że poświęcamy temu rozdział osobny.

Na rys. 59 podajemy plan, na rys. zaś 60 przekrój współczesnej stalowni martenowskiej. Miejsce środkowe zajmuje 5 pieców, stojących w jednym rzędzie. Dwa z nich są na 30 i trzy na 50 tonn naboju. Przy piecach widzimy żóraw z maszyną do ładowania żelaztwa.

Z jednej strony pieców znajduje się hala odlewnicza z żórawiem, na którym jest zawieszona kadź, służąca do zabierania gotowej stali z pieca. Ten sam żóraw służy do dostarczania do pieców płynnego surowca.

Z drugiej strony pieców znajdują się składy materiałów i hala generatorowa. Mieści się w niej 8 generatorów z rusztami obroto-

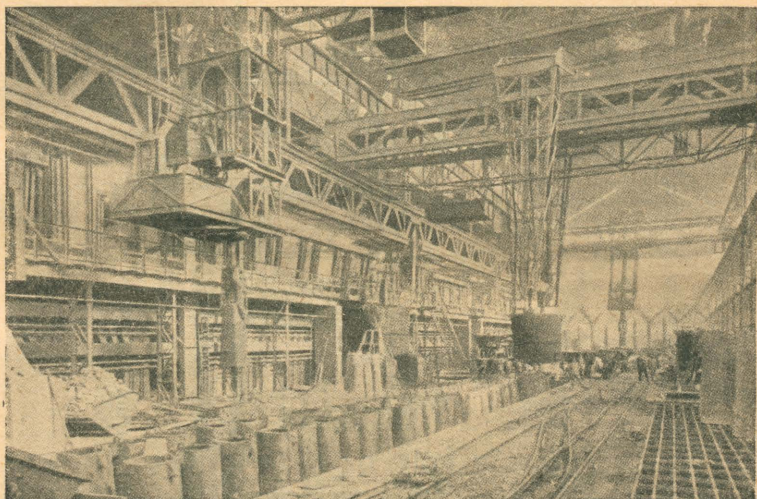
wymi. Gazy ze wszystkich generatorów łączą się w jednym wspólnym przewodzie, skąd następnie odprowadzone są do poszczególnych pie-



Rys. 60. Przekrój stalowni martenowskiej.

ców. Mała liczba generatorów tłumaczy się tem, że stosowana jest mieszanina gazów generatorowych z kokсовymi i wielkopieczowymi.

Przed kominem znajdują się kotły parowe ogrzewane spalinami, wychodzącymi z regeneratorów. Przy każdym piecu martenowskim są dwa kotły, każdy po 200 m² powierzchni ogrzewalnej.



Rys. 61. Widok stalowni martenowskiej.

Odlewanie stali w bloki.

Rys. 61 przedstawia rząd pieców martenowskich z kanałem odlewniczym, wypełnionym formami do odlewu bloków.

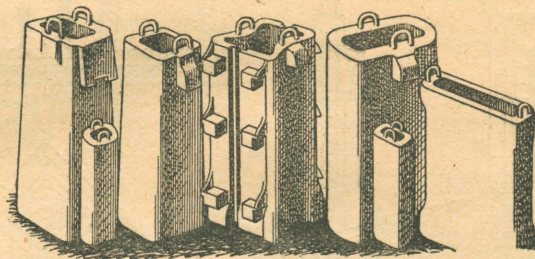
Gotowa stal, o ile nie jest przeznaczona na odlewy, powinna otrzymać kształt ułatwiający dalszą jej przeróbkę zapomocą walcowania lub kucia. Kształt taki nadaje się stali przez wlewanie jej do form wykonanych z surowca lub ze stali, zwanych *kokilami*. Stal wyjęta z kokili po zastygnięciu nosi nazwę bloków. Bloki bywają różnych wymiarów i ważą od 100 kg do kilku i nawet kilkunastu tonn. Przekrój bloków bywa przeważnie kwadratowy z krawędziami zaokrąglonemi, gdyż jest on najwłaściwszy do walcowania szyn, belek i żelaza handlowego. Do walcowania blachy używają się bloki płaskie o przekroju wydłużonego prostokąta, a na przedmioty kute—okrągłe lub sześciokątne.

Rys. 62 przedstawia kokile różnego rodzaju. Używane są również niekiedy formy składane z dwóch części, lecz przedstawiają one tę niedogodność, że w miejscu połączenia obu połów na bloku po-

wstaje podłużny szew, który nie daje się zawalcować, a ścinanie jego jest uciążliwe.

Kokile są z obu stron otwarte, lekko stożkowate, ażeby je łatwo było zdjąć ze stężałego bloka. U góry posiadają uszy żelazne do podnoszenia; często też kokile odlane są z występami, służącymi do uchwycenia przy podnoszeniu. Stosunek wymiaru poprzecznego do wysokości bloka wynosi od 1 : 2,5 do 1 : 3,5. W wysokich i wąskich formach powstają głębsze jamy odlewniane.

Staranny wybór materiału i dokładny odlew kokili jest rzeczą bardzo doniosłą, gdyż zużycie ich znacznie podnosi koszt własny stali. Za materiał do wykonania kokili służy najczęściej surowiec hematytowy z zawartością około 2% krzemu i najwyżej



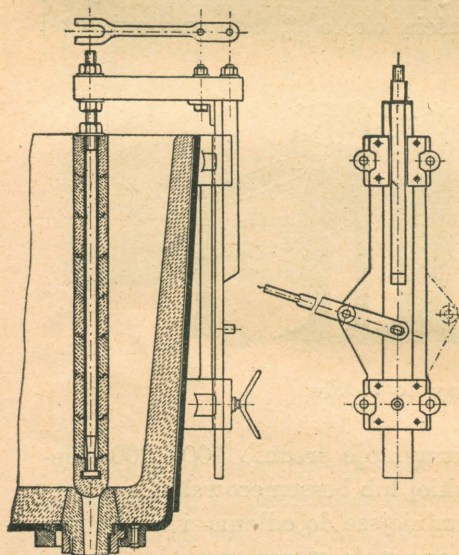
Rys. 62. Formy do bloków.

0,2% manganu. Jedna kokila wytrzymuje średnio 100—200 odlewów. Kokile ze stali martenowskiej lub bessemerowskiej wytrzymują do 700 odlewów, lecz są trudniejsze do odlania i nie znoszą chłodzenia wodą. Dotychczas są one mało stosowane.

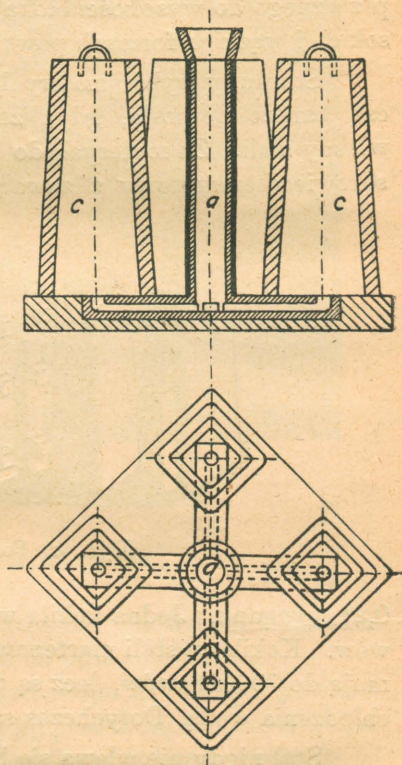
Stal nigdy nie wlewa się bezpośrednio do kokili, lecz w pierw do kadzi rozlewniczej (rys. 63), w której mieści się zawartość całego naboju pieca. Kadź wykonana z grubej blachy żelaznej i wyłożona wewnątrz cegłą lub masą ogniotrwałą, umieszczona jest na wozie motorowym, lub zawieszona na żórawiu. Dla łatwiejszego oddzielenia żużla od stali i dla uniknięcia rozlewania jej przy napełnianiu form, kadź się nie przechyla, lecz metal wypuszcza się z niej przez otwór o średnicy 25—40 mm, znajdujący się w dnie i zamykany czopem z masy ogniotrwałej. Czop daje się łatwo podnosić zapomocą dźwigni i dźwążka, obłożonego materiałem ogniotrwałym. Przed użyciem kadź powinna być dokładnie wysuszona i mocno rozgrzana koksem lub gazem.

Przed waniem stali do kokil są one smarowane mieszaniną grafitu i gliny z wodą dla zabezpieczenia od szybkiego zużycia.

Przy użyciu kadzi, umieszczonej na wozie, formy ustawia się w kanale odlewniczym tak, ażeby szczyty ich znajdowały się na poziomie posadzki; przy kadzi wiszącej na żórawiu można je ustawiać na posadzce lub na wózkach, które podwożone są pod każdą.



Rys. 63. Czop w kadzi rozlewniczej.



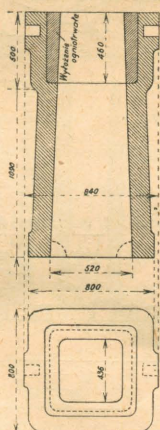
Rys. 64. Płyta z formami.

W każdym wypadku kokile są ustawiane na płycie żelaznej, wyłożonej masą ogniotrwałą, grupami po 4, 6, 8 i t. d. (rys. 64). Każda grupa ma wspólny wlew *a*, z którym formy połączone są u dołu przewodami i zapełniają się od spodu ku górze. W ten sposób zapobiega się rozpryskiwaniu stali i utlenieniu kropel na powierzchni, również usuwa się gazy, zbierające się wewnątrz na stężonych ścianach bloków.

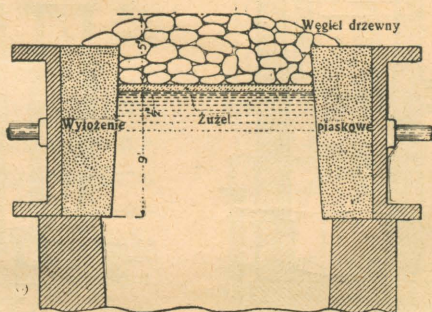
Od umiejętnego postępowania przy odlewaniu bloków zależy uniknięcie pęcherzy gazowych i zmniejszenie jamy odlewnianej.

Należy unikać napełniania form stalą przegrzaną. W miarę obniżania temperatury stali podczas przebywania w kadzi rozlewniczej, zmniejsza się ilość rozpuszczonych gazów, które się wydzielają na zewnątrz. Razem z gazami może się wydostać żużel, wypadkowo zawieszony w płynnym metalu.

Proces odtleniania zasługuje na szczególną uwagę nie tylko dlatego, że rozkłada tlenek żelazawy, powodujący kruchość stali, lecz również dlatego, że tlenek ten wskutek działania węgla, zawartego w żelazie, może się odtleniać podczas odlewania bloków. Wówczas tworzy się tlenek węgla, będący przyczyną powstawania baniek. Z tego powodu odtlenianie lepiej jest przeprowadzać w piecu, aniżeli w kadzi rozlewniczej. O ile zaś odbywa się ono podczas wypuszczania stali do kadzi zaleca się stosowanie żelazo-krzemu lub glinu, zamiast żelazo-manganu, gdyż krzem i glin zapobiegają wydzielaniu się gazów z roztworu.



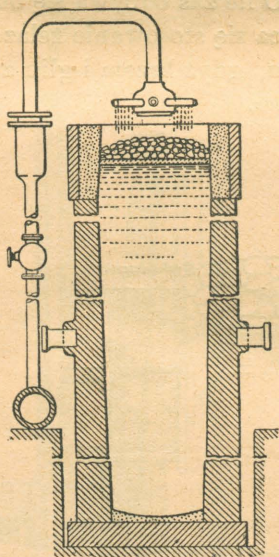
Rys. 65. Forma wyłożona u góry masą.



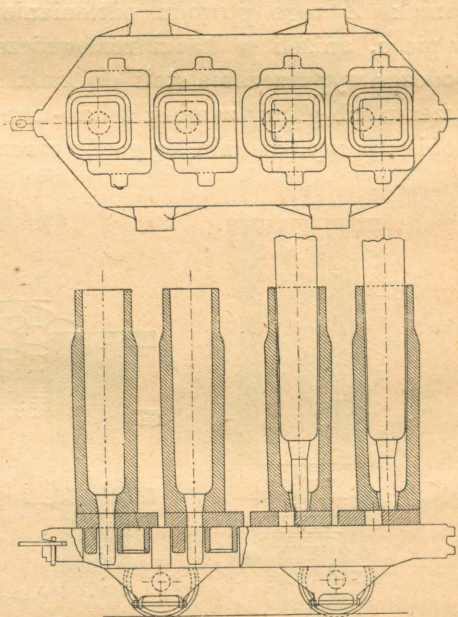
Rys. 66. Forma z nadstawą.

Pomimo wszelkich zabiegów, w górnej części bloka powstają: jama odlewniana, pęcherze gazowe i żużel w mniejszej lub większej ilości; część ta przed walcowaniem powinna być odcięta. W celu zmniejszenia tej straty należy dążyć do utrzymania górnej części bloka jak najdłużej w stanie płynnym. Do tego służą: otulanie kokili u góry złym przewodnikiem ciepła, ogrzewanie powierzchni stali, znajdującej się w formie, gazem lub węglem i szybkie chłodzenie dolnej części kokili.

Otulanie górnej części formy złym przewodnikiem skutecznia się w ten sposób, że kokila posiada u góry zagłębienie walcowate, które wykłada się masą szamotową (rys. 65). Częściej stosuje się inny sposób, polegający na tem, że na formę nakłada się pierścień z materiału ogniotrwałego, stanowiący jej przedłużenie; wysokość pierścienia winna być taka, iżby w nim mieściła się jama odlewniana (rys. 66). W celu jaknajdłuższego utrzymania powierzchni stali w stanie płynnym bywa ona zasypywana węglem drzewnym, na który może być skierowany dodatkowo strumień po-



Rys. 67. Forma z nadstawą.



Rys. 68. Kokile szwedzkie.

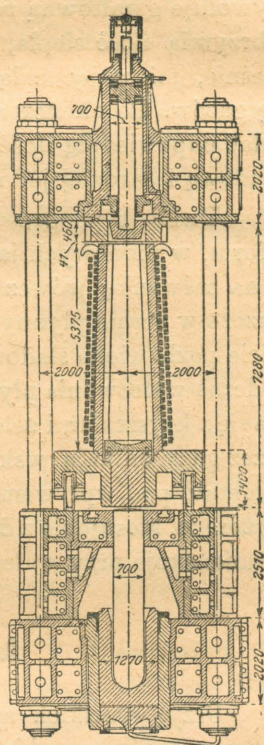
wietrza (rys. 66 i 67). Opóźnione tężenie górnej części bloku przyczynia się do nagromadzenia w niej domieszek, obniżających punkt topliwości stali, która pozostaje wskutek tego najdłużej w stanie płynnym. Do takich domieszek należą połączenia żelaza z fosforem i siarką. Po odcięciu górnej części bloku, mieszczącej się w nadstawce, tak zwanej głowy bloku, reszta, stanowiąca $\frac{9}{10}$ metalu, zawiera już mało szkodliwych domieszek. Przy ogrzewaniu powierzchni stali w kokili strata może się zmniejszyć do 7%.

W celu szybszego chłodzenia od dołu stosuje się tak zwane kokile szwedzkie, szersze u góry niż u dołu. Prócz wolniejszego

ostygania górnej części z powodu większego jej przekroju, blok odlany w takiej formie, ostygając i kurcząc się, osuwa się na dół własnym ciężarem i zawsze dotyka ścian formy, gdy w zwyczajnych formach powstaje między blokiem i ściankami warstwa powietrza, która czyni powolniejszym dalsze chłodzenie.

Stosowanie form, rozszerzających się do góry, jest skutecznym środkiem zapobiegawczym przeciwko tworzeniu się głębokich jam odlewnianych, lecz wymaga specjalnych urządzeń dla wyjmowania bloków z kokili. Na rys. 68 widzimy takie formy na wózku. Lewa para przedstawia ustawienie ich przed napełnieniem stalą. W dnie każdej kokili jest otwór, zamknięty czopem, dolna część którego wchodzi w zagłębienie, umyślnie wykonane w płycie. Po wylaniu stali do formy, ta ostatnia, uchwycona za uszy kleszczami specjalnego wyciągacza podnosi się do góry, a wózek posuwa się tak, ażeby forma opuszczona ponownie stanęła obok zagłębienia w płycie i czop wypychał odlany blok z formy do góry, jak widzimy to na drugiej parze form z prawej strony rys. 68. Osobny żóraw chwyta obnażony koniec bloka i przenosi go do miejsca przeznaczenia. W tym wypadku zapełnianie form stalą odbywa się z góry.

Poddając blok silnemu ciśnieniu, w czasie krzepnięcia, otrzymać można ściśle materyał stalowy i nie dopuścić do powstawania jamy odlewnianej i pęcherzy. Jest to sposób Harmeta. Stal wlewa się do formy silnie obandażowanej pierścieniami żelaznymi, i skoro metal na górnej i dolnej powierzchni stężeje, formę przenosi się pod prasę, wywierającą znaczne ciśnienie (około 1500 tonn) z dołu i z góry. Czas i siła ciśnienia zależą od rodzaju stali. W miarę kurczenia się stali przy tężeniu, tłoki ściskające blok skracają go, i jama powstać nie może. Wielkie ciśnienie nie po-



Rys. 69. Prasa Harmeta.

zwala również na wydzielanie się gazów z płynnego metalu. Sposób ten jest bardzo kosztowny i stosuje się tylko do bloków wielkich, przeznaczonych na najbardziej odpowiedzialne wyroby. Prasę Harmeta przedstawia rys. 69.

Sposób Goldschmidta polega na tem, iż po wypełnieniu form, do płynnej jeszcze stali zanurza się ładunek termitu w ilości mniej więcej 0,7 kg na tonnę stali. Termit jest mieszaniną tlenku żelaza z proszkiem glinu. Gorąca stal, nagrzewając termit, wywołuje gwałtowną reakcję: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$, dającą olbrzymią ilość ciepła, co znacznie podnosi temperaturę i jednocześnie, mieszając całą zawartość w formie, sprzyja wydzielaniu się gazów. Po ukończeniu reakcyi formy nie są pełne, i powinno się dolać odpowiednią ilość stali. Otrzymuje się bloki z mniejszą jamą usadową i bardziej jednorodne.

Talbot podgrzewa bloki stalowe, natychmiast po wyjęciu z form, w pionowych jamach grzewczych (patrz str. 203) i walcuje je na bałwanke wówczas, gdy wewnątrz bloka stal znajduje się jeszcze w stanie płynnym. Otrzymywana bałwanka ma być całkowicie pozbawiona śladów jamy usadowej i bardzo jednorodna, gdyż podczas walcowania płynna część z wydzielinami likwacyjnymi miesza się z kryształami żelaza skrzepniętego. Przestrzenie wypełnione przez gazy znikają wskutek ponownego rozpuszczania się gazów w metalu pod wpływem silnego ciśnienia. Sposób, zbliżony do powyższego, stosuje się z dobrym skutkiem na południu Rosyi w hucie Kamienskoje przy walcowaniu szyn kolejowych.

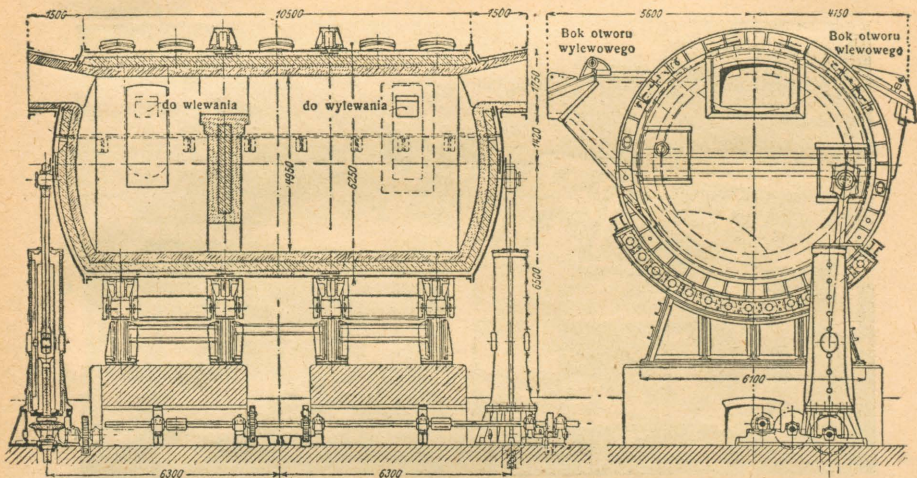
M i e s z a l n i k.

Przy wszelkich sposobach świeżenia jest rzeczą pożądaną, aby materiał przerabiany był jednostajny. Warunek ten szczególnie jest ważny przy świeżeniu surowca płynnego, otrzymywanego wprost z wielkiego pieca, gdy brak czasu nie pozwala na dokonanie analizy chemicznej.

W celu ujednostajnienia składu chemicznego surowca, otrzymywanego z kilku pieców, lub z jednego, w pewnych odstępach czasu, zaczęto stosować mieszalniki, czyli zbiorniki, w których znaczna ilość surowca może pozostawać przez czas dłuższy w stanie płynnym; dolewany zaś w miarę czerpania surowiec odmiennego składu mało wpływa na skład chemiczny całej zawartości

zbiornika. Wskutek dyfuzji różne warstwy surowca, pozostając pewien czas w mieszalniku, dochodzą do składu jednakowego.

Wkrótce zauważono, że w mieszalnikach zachodzi częściowe odsiarczanie surowca, które występuje szczególnie wyraźnie wówczas, gdy surowiec zawiera w sobie mangan i kiedy zbiornik ulega wstrząśnieniom. Tłumaczy się to zjawisko tem, iż zawarty w surowcu siarczek żelaza wstępuje w reakcyę z manganem: $\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe}$, a otrzymany siarczek manganu, mniej rozpuszczalny w żelazie niż siarczek żelaza, wypływa na powierzchnię. W ten sposób można usunąć prawie połowę zawartej w su-



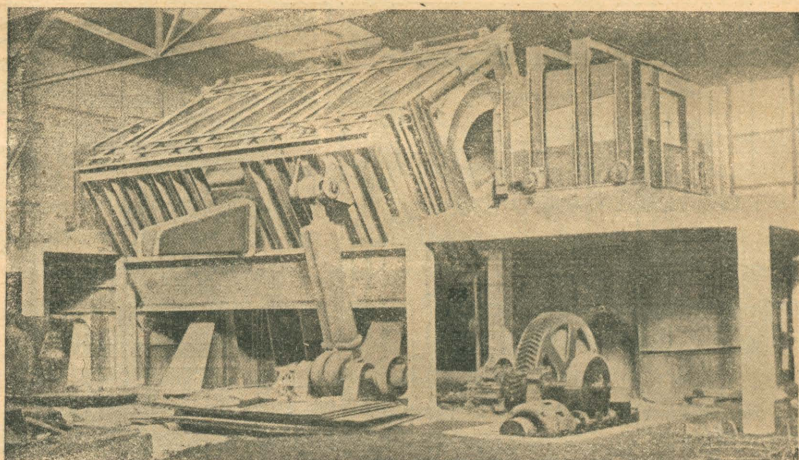
Rys. 70. Mieszalnik cylindryczny.

rowcu siarki. Im dłużej pozostaje surowiec w mieszalniku, tem więcej się odsiarcza. Powstający siarczek manganu rozpuszcza się w żużlu, pokrywającym powierzchnię surowca. Żużel ten dostaje się do mieszalnika częściowo wraz z surowcem oraz powstaje przez utlenienie krzemu i z krzemionki wyprawy. Siarczek manganu rozpuszcza się dobrze tylko w krzemionce manganu. Przy małej zawartości manganu żużel składa się przeważnie z krzemianu żelaza, na który siarczek manganu działa według reakcyi: $\text{MnS} + \text{FeSiO}_3 = \text{MnSiO}_3 + \text{FeS}$, i siarczek żelaza wraca z powrotem do surowca. Stąd wynika niezbędny do odsiarczania warunek, ażeby manganu w surowcu wystarczało nietylko na utworzenie siarczku manganu, lecz i na nasycenie tlenkiem manganawym obecnej w żużlu krzemionki. Wyprawa zasadowa w mieszalniku

pozwała na łatwiejsze odsiarczanie surowca nawet z małą zawartością manganu.

Obecnie większe znaczenie mają mieszalniki, jako przyrządy odsiarczające, aniżeli jako zbiorniki do ujednolajnienia składu chemicznego surowca. Niemal wszystkie huty współczesne są zaopatrzone w to urządzenie, stanowiące niezbędne ogniwo między wielkimi piecami i stalownią bądź martenowską, bądź bessemerowską.

Dawniejsze mieszalniki, bez względu na ich pojemność, były to zwyczajne kadzie żelazne, wyłożone materiałem ogniotrwałym, do których stale wlewano surowiec z wielkich pieców i w miarę



Rys. 71. Mieszalnik płaskoogniskowy.

potrzeby zabierano go częściowo do pieców martenowskich lub do konwertyorów bessemerowskich. Przez dolewanie w pewnych odstępach czasu gorącego surowca oraz wskutek wielkiej masy jego w zbiorniku możemy utrzymać metal w stanie płynnym w ciągu kilkunastu godzin.

Ponieważ jednak surowiec, przebywający dłuższy czas w zbiorniku, mógłby zastygnąć, zaczęto więc budować mieszalniki ogrzewane. Są one różnych typów i różnej pojemności. Rys. 70 przedstawia mieszalnik cylindryczny na 1200 tonn surowca. Jest on ogrzewany gazami, podobnie jak piece martenowskie. Zamiast gazu generatorowego mogą być stosowane gazy wielkopieczowe. Do napełniania i wylewania surowca służą otwory, znajdujące się z dwóch stron przeciwnych. Do obracania o pewien kąt, czyli do nachylania mieszalnika służy silnik hydrauliczny lub elektryczny.

W ostatnich czasach, wobec zastosowania mieszalników do świeżenia wstępnego, kształt ich uległ zmianie. Zamiast mieszalników cylindrycznych budowane są tak zwane płaskoogniskowe, w których otrzymuje się wielka powierzchnia kąpieli metalowej przy niedużej głębokości. Pojemność mieszalników płaskoogniskowych jest znacznie mniejsza niż cylindrycznych, średnio nie przekracza 200 tonn, gdyż długość ich wypada zbyt wielka (12 m). Mieszalniki płaskoogniskowe mają tę jednak przewagę nad cylindrycznymi, że odsiarczanie w nich staje się zupełniejsze i że pozwala na częściowe świeżenie surowca z innych domieszek. Łatwo utleniający się mangan działa na siarczek żelaza według reakcyi: $MnO + FeS = FeO + MnS$. Siarczek manganu wpływa na powierzchnię i tu częściowo się spala na SO_2 i Mn_3O_4 , częściowo zaś przechodzi do żużla. Dowodzi tego duszący zapach SO_2 dokoła mieszalnika czynnego i analiza żużla, w którym zawartość MnS dochodzi do 15%.

Płaskoogniskowe mieszalniki zwykle mało się różnią konstrukcją od przechylnych pieców martenowskich, jak to widzimy na rys. 71.

Literatura: Simmersbach O. Roheisenmischer und ihre Anwendung im Eisenhüttenbetriebe. 1912.

Blum L. Theorie der Entschwefelungsvorgänge im Roheisenmischer. 1916.

Bilans pieca martenowskiego.

Bilans ten sporządza się w sposób podobny do tego, jaki był podany przy bilansie wielkopieczowym. Na bilans materyałów składają się pozycye następujące:

W przychodzie.	W rozchodzie.
Surowiec i skrap. <i>a kg</i>	Stal 1000 <i>kg</i>
Ruda i topniki <i>b „</i>	Żużel <i>f „</i>
Gaz generatorowy. <i>c „</i>	Spaliny z parą wodną . . <i>g „</i>
Powietrze. <i>d „</i>	
Para wodna w: gazie, powietrzu, rudzie i t. d. . . <i>e „</i>	
Razem <i>S kg</i>	Razem <i>S kg</i>

Mając ilość i analizę spalonego węgla, a również skład otrzymanego gazu generatorowego, łatwo obliczyć ilość gazu otrzymanego w generatorze. Niech analiza średnia gazów wykazuje objętościowo:

CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₂	O ₂	H ₂	N ₂
5,93	22,65	2,7	0,42	0,02	12,58	55,7 %

Pierwiastku węglowego w 1 m³ gazu mamy:

$$\frac{(0,0593 + 0,2265 + 0,027 + 2 \times 0,0042) 12}{22,4} = 0,172 \text{ kg.}$$

Jeżeli obliczenie wykazało, iż na 1000 kg otrzymanej stali wydatek węgla wynosił 227 kg i w węglu kamiennym pierwiastka węglowego było 75%, wówczas w gazach na 1000 kg stali mamy

$$\frac{227 \times 75}{100} = 170 \text{ kg C. Ilość więc gazu generatorowego na tonnę stali wyniesie } \frac{170}{0,172} = 992 \text{ m}^3, \text{ w tem azotu } 553,5 \text{ m}^3.$$

Waga gazu może być obliczona według ciężarów właściwych gazów poszczególnych, w skład jego wchodzących. W danym wypadku 1 m³ gazu generatorowego waży 1,135 kg.

Skład spalin z pieca martenowskiego, a mianowicie zwiększona ilość azotu w porównaniu z zawartą w gazie generatorowym pozwoli nam obliczyć ilość powietrza doprowadzonego do pieca. Obliczmy naprzykład ilość spalin, których skład stanowi: 11,36% CO₂, 8,42% O₂ i 80,22% N₂. Do kwasu węglowego, który powstał ze spalania gazów, dochodzi CO₂ z topników i ze świeżenia surowca, który należy odjąć, ażeby otrzymać tę samą zawartość C, jaka była w gazach na 1000 kg stali. Jeżeli te dodatkowe ilości wynoszą 1,36%, to pozostaje 10% CO₂.

Ilość spalin otrzymamy w sposób jak wyżej:

$$170 : \frac{0,10 \times 12}{22,4} = 3200 \text{ m}^3.$$

W tem objętość azotu wynosi 2566 m³. Ponieważ w gazie generatorowym mieliśmy azotu na 1 tonnę stali 553,5 m³, więc przybyło 2012,5 m³ które odpowiadają $\frac{2012,5 \times 100}{73} = 2566 \text{ m}^3$ powietrza. Ciężar kg powietrza wynosi 1,291 m³.

Ilości materyałów stałych i płynnych otrzymuje się bezpośrednio zapomocą ważenia. Podczas okresu badania prowadzą się pomiary temperatur i analizy gazów generatorowych, spalin, stali i żużli wypuszczonych z pieca. Analiza materyałów i produktów pozwoli

na ułożenie szczegółowego bilansu materyałów, niezbędnego dla prawidłowego sporządzenia bilansu cieplnego.

W bilansie cieplnym na przychód składają się pozycje następujące:

1. Spalanie gazu.
2. Ciepło gazu generatorowego, który przychodzi do rege-
neratora mając temperaturę $550 - 600^{\circ} \text{C}$.
3. Ciepło roztopionego surowca, o ile nabój zadaje się w sta-
nie płynnym.
4. Reakcje egzotermiczne, zachodzące przy świeżeniu su-
rowca, a więc przede wszystkim ciepło powstające przy spalaniu
Si, Mn, P i C, zawartych w surowcu. Również spalanie żelaza.

Ważną reakcją egzotermiczną przy procesie zasadowym jest
powstawanie fosforanu wapnia $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2 \text{O}_5$, a mianowicie 1 kg P
zawarty w żużlu dostarcza 2592 cpl.

W rozchodzie mamy pozycje następujące:

1. Ciepło stali i żużli, wypuszczonych z pieca.
2. Reakcje endotermiczne, zachodzące w kąpeli metalowej,
a więc odtlenienie tlenków żelaza w rudzie, rozkład wilgoci w do-
prowadzonych materyałach i rozkład wapienia.
3. Ciepło unieszone przez spaliny.

Ciepło otrzymane przez spalanie gazu oblicza się z analizy
gazu i wartości opałowej gazów palnych w skład jego wchodzących.
Przy składzie gazu podanym wyżej, przyjmując: wartość opałową
1 $\text{m}^3 \text{CO}$ —3045 cpl., CH_4 — 8589, $\text{C}_2 \text{H}_2$ — 14241 i H_2 — 2580 cpl.
otrzymamy wartość opałową gazu

$$W = \frac{22,65 \times 3045 + 2,7 \times 8589 + 0,42 \times 14241 + 12,58 \times 2580}{100} = 1305 \text{ c./m}^3$$

Ciepło jawne gazu łatwo obliczyć, znając ilość jego, tempera-
turę i ciepło właściwe (w przybliżeniu $0,33/\text{m}^3$). W podobny sposób
oblicza się ciepło surowca, przyjmując ciepło właściwe $0,18/\text{kg}$.

Ciepło reakcji egzotermicznych oblicza się według bilansu ma-
teryałów: różnica zawartości C, P i t. d. w surowcu i stali daje
ilość pierwiastków spalonych przy świeżeniu. Ciepło otrzymywa-
ne przy spalaniu tych ciał było podane na str. 121.

Pozycje rozchodowe obliczamy w podobny sposób, przyjmu-
jąc ciepło właściwe stali $0,167$, temperaturę 1600°C ., ciepło to-
pienia 68 cpl.

Ciepło właściwe żużla $0,27$; temperatura żużla wypuszczonego
w pierwszym okresie 1350°C ., spuszczonego wraz ze stalą 1600°C .,
ciepło topienia 50 ciepłostek.

Ciepło zużyte na redukcję rudy, na wyparowanie wilgoci, również ciepło unoszone przez spaliny oblicza się jak przy bilansie wielkiego pieca.

Różnica w pozycjach dochodu i rozchodu daje nam straty, poniesione przez promieniowanie i ochładzanie ścian pieca powietrzem.

Niżej podany jest bilans pieca martenowskiego na 60 tonn naboju, pracującego w warunkach mniej więcej normalnych, sprawdzony do 1 kg otrzymanej stali.

Przychód ciepła	ciepl.	%	Rozchód ciepła	ciepl.	%
Spalanie gazu	1295	70,0	Roztopiona stal i żużel	381,0	20,6
Ciepło gazu	231	12,5	Reakcje endotermiczne	153,0	8,3
Reakcje egzotermiczne .	191	10,3	Spaliny z regenerators .	801,5	43,3
Płynny surowiec	132	7,2	Straty	514,5	27,8
	1849	100		1849	100

Tylko pierwsze dwie pozycje rozchodu, wynoszące razem 28,9% stanowią wydatek użyteczny. Ta liczba wyraża sprawność czyli skutek użyteczny pieca.

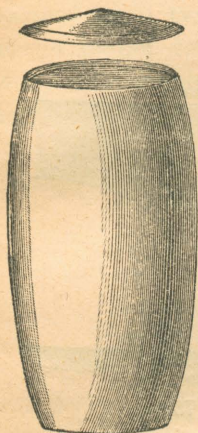
Stal tyglowa.

Rafinowanie czyli ulepszanie żelaza kowalnego przez przetapianie go w specjalnych naczyniach zwanych tyglami wynalazł angielski zegarmistrz Huntsman z Sheffieldu w r. 1730. Rafinowanie odbywało się początkowo w małych ilościach, dopóki Alfred Krupp w w. XIX nie wprowadził odlewania wielkich bloków przez zlewanie zawartości wielu tygli do jednej formy.

Obecnie proces tyglowy stosowany jest do wyrobu luf działowych, broni siecznej i najlepszych gatunków stali narzędziowej.

Początkowo przetapiano w tyglach twarde żelazo węgliste, według dawnej nomenklatury zwane stalą. Za materiał służyło żelazo fryszerskie, pudlarskie lub stal cementowa, które po przetopieniu dawały produkt bardziej jednolity, a więc lepszego gatunku. Obecnie używa się również stal bessemerowska lub martenowska, wolna od szkodliwych domieszek. Przy wyrobie specjalnych gatunków można dodawać różne składniki, nadające stali cenne bardzo właściwości. Takimi składnikami są: nikiel, chrom, wolfram, mangan i t. d.

Tygle wyrabiają się z masy szamotowej z domieszką grafitu, koksu lub węgla drzewnego. Często grafit tworzy główną część składową (do 75%), a glina stanowi spoiwo. Cenną domieszką jest czysta glinka Al_2O_3 lub tłuczona porcelana. Od składu tygli, który bywa bardzo rozmaity, zależy w wysokim stopniu dobroć otrzymywanej stali, gdyż przy procesie tyglowym odbywa się nie tylko przetapianie żelaza, lecz również zachodzą reakcje chemiczne między składnikami stali i materiałem tygli. Naprz. węgiel tygla na węgiel żelazo; mangan działa na krzemionkę w tyglu podług reakcyi $2Mn + SiO_2 = 2MnO + Si$; krzem zaś wchodząc w skład stali zapobiega powstawaniu baniek gazowych; powietrze zawarte w porach tygli działa utleniająco na domieszki, dlatego też ważne znaczenie ma porowatość ścianek. Wogóle jest tu jeszcze wiele zjawisk teoretycznie niewyjaśnionych i wskutek tego skład tygli jest we wszystkich hutach zazdrośnie strzeżony, również jak proporcye przetwarzanych materiałów.



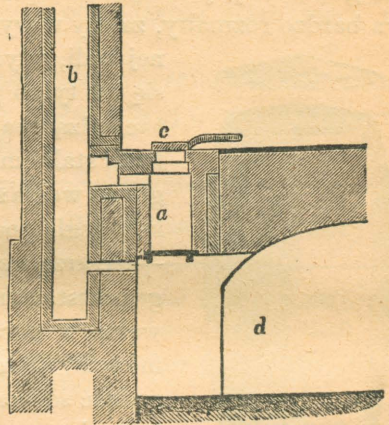
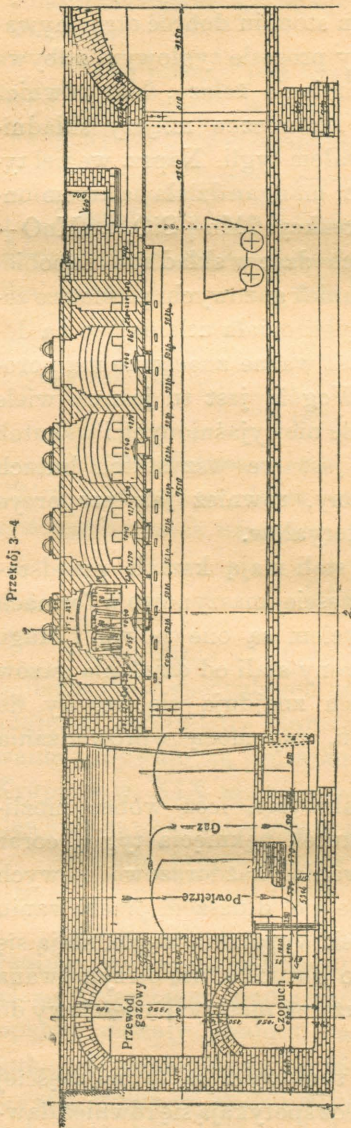
Rys. 72. Tygiel.

Tygle o pojemności 30 — 40 *kg* stali mają kształt przedstawiony na rys. 72. Prasują się one najczęściej maszynowo w formach żelaznych lub mosiężnych. Przed użyciem są one powoli i długo suszone i w końcu wypalane. Dla ochrony stali od działania gazów posiadają tygle nakrywki, w których znajdują się otwory do badania zawartości, podczas procesu, zapomocą wprowadzania sztaby żelaznej.

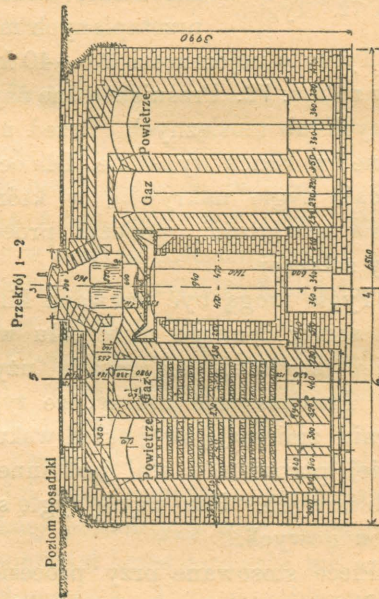
Tygle mogą być używane kilkakrotnie, lecz wobec możliwości straty cennego materiału wskutek pęknięcia tygla, coraz częściej przyjmuje się zasada używania każdorazowo nowych tygli. Przypuszczać należy, że tygle po dłuższem przebywaniu w ogniu zmieniają swój skład wskutek wypalania węgla, stają się bardziej porowate i stal jest innego gatunku, niż otrzymywana z tygli nowych. Raz użyte tygle służą za materiał częściowy do wyrobu nowych.

Piece stosowane przy procesie tyglowym są to najczęściej piece Siemens'a z regeneracją gazów, lecz spotykają się również dawniejsze, typu specjalnego, jak wskazany na rys. 73. Jest to ognisko z silnym ciągiem naturalnym przy zastosowaniu komina. Ognisko *a*, wysokości jednego metra, jest połączone czopuchem z kominem *b*.

Na płaskim ruszcie umieszcza się jeden do czterech tygli, a niekiedy i więcej. Ognisko jest zamknięte u góry pokrywą *c* na po-



Rys. 73.
Ognisko z ciągiem kominowym.

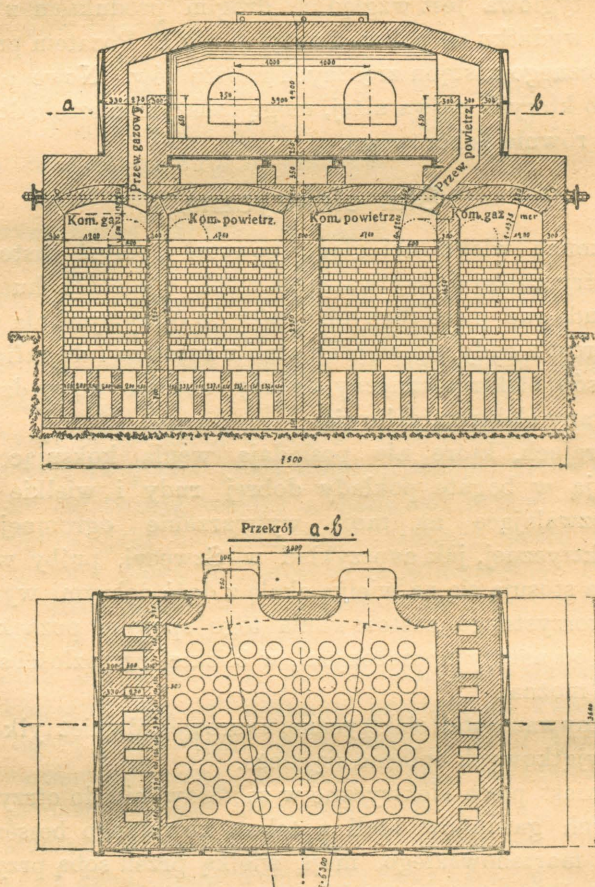


Rys. 74. Piec Siemens do tygli.

ziomie posadzki stalowni. Przejście *d* pod sklepieniem, wspólne dla szeregu pieców, służy do czyszczenia rusztów, jak również,

dla ułatwienia podnoszenia tygli. Tygle z materyałem ustawia się na ruszcie i wolną przestrzeń napełnia koksem, który następnie dosypuje się mniej więcej co godzina. Gotowanie stali trwa 3 — 4 godzin. Na 100 kg stali zużywa się 400 kg koksu lub antracytu.

Przy odlewaniu dużych bloków lub dział armatnich zawartość wielu tygli, znajdujących się w szeregu pieców, wlewa się do jednej formy, co wymaga dużej sprawności robotników, ażeby donoszenie stali w tyglach do form odbywało się bez żadnej przerwy.



Rys. 75.

Piec Siemens'a do tygli, bez przedziałów; okna wsadowe z boku.

Rys. 74 przedstawia piec Siemens'a w zastosowaniu do procesu tyglowego. W każdym z czterech przedziałów znaj-

duje się po 6 tygli. Ładowanie i wyjmowanie tygli odbywa się przez otwór, znajdujący się w sklepieniu na poziomie posadzki, zamknięty płytą szamotową. Cały piec znajduje się pod poziomem. W dnie każdego przedziału znajduje się otwór, zamknięty pokrywką. W razie pęknięcia tygla otwór ten się przebija, i stal z żużlem spływa do wózka, znajdującego się w kanale pod spodem pieca. W tych piecach zużywa się 150 — 200 *kg* węgla kamiennego na 100 *kg* stali. Inny typ pieca przedstawia rys. 75. Na jednym trzonie mieści się sto tygli.

Stal tyglowa jest względnie drogim produktem z powodu znacznego wydatku na paliwo i zużycie tygli. Poza to proces ten wymaga licznego zastępu zręcznych robotników. Nowe piece elektryczne, o których mowa niżej, mogą tańszym kosztem dostarczać materiału równie doborowego.

Stal elektryczna.

W końcu wieku ubiegłego powstał pomysł zastosowania prądu elektrycznego do wytwarzania ciepła w piecach hutniczych. Zaczęto budować piece różnych typów do otrzymywania surowca i stali wprost z rudy, do wyrobu stali z surowca i do rafinowania stali. Sposób elektrotermiczny tworzy obecnie nowy dział hutnictwa, zwany elektrometalurgią.

W krajach, które nie posiadają węgla koksującego się, lecz obfitują w bogate pokłady dobrej rudy i wielkie spadki wodne, pozwalające na tanie wytwarzanie ogromnej ilości energii elektrycznej, jak na przykład w Szwecyi, próby wytapiania surowca stosują się na wielką skalę z dość dobrymi wynikami. Wszakże korzystnego zastosowania tego sposobu poza krajami, wyjątkowo od natury uposażonymi, w blizkiej przyszłości spodziewać się nie można.

Otrzymywanie stali elektrycznej z surowca również tylko w wypadkach wyjątkowych opłacać się może.

Natomiast piece elektryczne w zastosowaniu do otrzymywania wyższych gatunków stali z żelaza kowalnego bessemerowskiego lub martenowskiego, mają wielką przed sobą przyszłość. W tym wypadku nawet prąd elektryczny, otrzymywany kosztem spalania węgla kamiennego nie jest tak drogi, ażeby sposób ten, wobec jakości otrzymywanego wyrobu, nie mógł się opłacać. W Niemczech produkcja stali elektrycznej już obecnie dorównywa produkcji stali tyglowej. W r. 1913 postawiono w Sosnowcu

pierwszy piec elektryczny do rafinowania stali, którego wyniki okazały się tak korzystne, że projektowaną była budowa kilku innych pieców elektrycznych.

Poniższa tablica podaje zużycie energii, potrzebnej do wytwarzania 1 tonny:

Surowca z rudy przy dod. 300 <i>kg</i> węgla drz.	2000 KW-godzin		
Stali z rudy	3000	"	"
Stali z surowca zimnego	1500	"	"
" " roztopionego	1000 — 1200	"	"
" " zimnego i obcin- ków żelaznych	900 — 1300	"	"
Stali z surowca roztopionego i ob- cinków żelaznych	600 — 1000	"	"
Stali z obcinków żelaznych	800 — 900	"	"
" rafinowanej z roztopionej sta- li martenowskiej	200 — 300	"	"
Utrzymywanie surowca w stanie roztopionym w mieszalniku	50	"	"

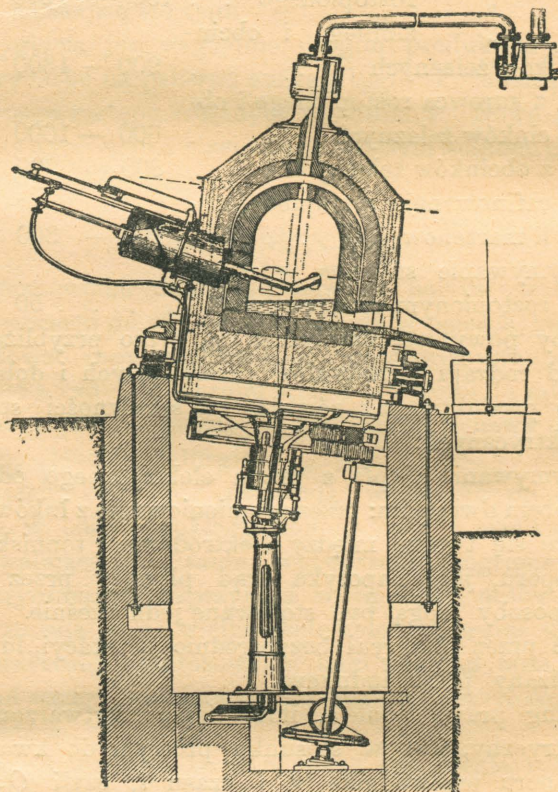
Liczby powyższe, naturalnie, są tylko przybliżone, zależą bowiem od rodzaju materiałów przerabianych i dobroci otrzymywanego produktu, jak również od sprawności stosowanych pieców elektrycznych.

Otrzymywanie ciepła z prądu elektrycznego odbywać się może sposobem dwójakim: przez promieniowanie z łuków elektrycznych, które się tworzą między elektrodami w topnisku, albo też wskutek oporu, jaki napotyka prąd płynący przez materiał. Obydwa sposoby mogą być stosowane jednocześnie. Prąd może przepływać przez materiał bezpośrednio ze stacyi, lub też może być wzbudzany przez indukcję.

Według prawa Joule'a, ilość ciepła, wytwarzanego przez prąd elektryczny, jest w stosunku prostym do kwadratu siły prądu i , oporu przewodnika r i czasu t , czyli $Q = C i^2 r t$, gdzie C oznacza pewną wielkość stałą, zależną od stosowanych jednostek miar. Oznaczając siłę prądu w amperach, opór elektryczny w omach i czas w sekundach, otrzymamy $Q = 0,24 i^2 r t$ ciepł. gramowych. Ponieważ napięcie prądu w woltach $e = i r$, więc również $Q = 0,24 e i t$ ciepł. gr. Iloczyn amperów przez wolty jest miarą energii w watach, więc otrzymujemy jeszcze $Q = 0,24 W t$ ciepł. gr., skąd wynika, iż na godzinę jeden watt daje 864 ciepł. gr., a 1 KW-godzina daje tyleż ciepłostek kilogramowych, o ile cała energia elektryczna zostaje zamieniona na

energię cieplną. Ponieważ ilość ciepła otrzymywanego z energii elektrycznej, jest w stosunku prostym do liczby amperów w potęgze drugiej, a zapomocą transformatora możemy mieć tę samą energię o większej sile kosztem napięcia, przeto wskazanem jest stosować w piecach elektrycznych małe napięcie przy wielkiej sile prądu.

Pierwszy piec elektryczny *Stassano* (rys. 76) powstał w r. 1898. Przez ściany boczne wprowadzone są dwie, lub przy prądzie trójfazowym trzy elektrody węglowe, wytwarzające między sobą łuki

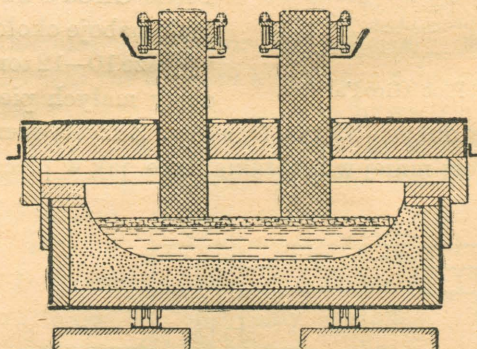


Rys. 76. Piec Stassano.

elektryczne. Ciepło łuków udziela się ścianom pieca i bezpośrednio żelazu przez promieniowanie. Prąd ma napięcie 105—110 woltów przy 1000—1100 amperach. Elektrody mają długość początkową 1,5 m i przekrój 50 cm². Wyprawa ścian i sklepienia zrobiona jest z masy magnezytowej lub dolomitowej. W celu zabezpieczenia pieca od straty ciepła, między warstwami cegły, znajduje się bardzo cienka warstwa powietrza. Gazy powstające podczas

procesu, mają ujście przez otwór w sklepieniu. Budują się prze-
ważnie piece, obliczone na nabój jednotonnowy. Koszta budowy
takiego pieca wynoszą 35 tys. marek. Przerabiają się obcinki że-
lazne na stal narzędziową, przyczem zużycie prądu na 1 tonnę wy-
nosi 800 do 1000 KW-godzin. Koszta zużytych elektrod wynoszą
2,5 mk, a wyprawy około 10 marek na tonnę. Dla lepszego mie-
szania naboju i wylewania stali budują się piece przechylne, albo
też cały piec może być wprawiany w ruch obrotowy dokoła osi
nieco odchylonej od pionu.

Piec *Hérault'a* (r. 1900) posiada dwie lub trzy elektrody
węglowe, wprowadzone przez sklepienie (rys. 77). Łuki tworzą
się na powierzchni kąpeli metalowej, i ogrzewanie następuje prze-
ważnie ciepłem tych łuków pod elektrodami. Po powstaniu żużła



Rys. 77. Piec *Hérault'a*.

na powierzchni żelaza, elektrody są zanurzone w warstwie żużła,
lecz nie dotykają żelaza. Prąd przechodząc przez masę roztopio-
nego żużła, o stosunkowo znacznym oporze, utrzymuje w nim wy-
soką temperaturę, która się udziela następnie żelazowi. Warstwa
żużła między elektrodami i żelazem chroni to ostatnie od na-
węglania. Piec daje się przechylać w celu wylewania żużła i stali
przez otwór spustowy. Wielkość pieców bywa rozmaita; mieszczą
one w sobie naboje od 1 do 15 tonn. Przy piecach małych stosują
prąd zmienny, jednofazowy, przy większych — trójfazowy. Koszta
budowy pieca 5-o tonnowego wynoszą 50 tys. marek. Siła prądu
wynosi 4000 amperów, napięcie 110 woltów. Przy rafinowaniu roz-
topionej stali bessemerowskiej wystarcza 200 KW-godzin na 1 ton-
nę, przy obcinkach zimnych zużywa się ilość energii podwójna.
Przerabia się 12 nabójów na dobę.

i wskutek tego nie ulegają zużyciu. Prąd trójfazowy wytwarza trzy łuki pod elektrodami węglowymi i ogrzewa silnie żużel nad kąpielą metalową. Poza tem prąd krąży od elektrod węglowych do żelaznych i wytwarza ciepło wskutek oporu, jaki spotyka w materiale ogniotrwałym. W piecach Nathusiusa zużycie elektrod jest o 20% mniejsze, niż w innych piecach łukowych, gdyż znaczna ilość ciepła powstaje przez opór elektryczny. Z tego powodu sklepienie w tym piecu powinno wytrzymywać dłużej. Na długotrwałość sklepienia wywiera wpływ również sposób doprowadzania prądu. W piecach Nathusiusa, jak i Girod'a, prąd płynie tylko od elektrod górnych do dolnych i łuki elektryczne wyciągają się pionowo, wówczas, gdy w piecach Héroult'a, nie mających elektrod dolnych, łuki rozchodzą się po powierzchni kąpieli i mocniej promieniują ciepło ku sklepieniu.

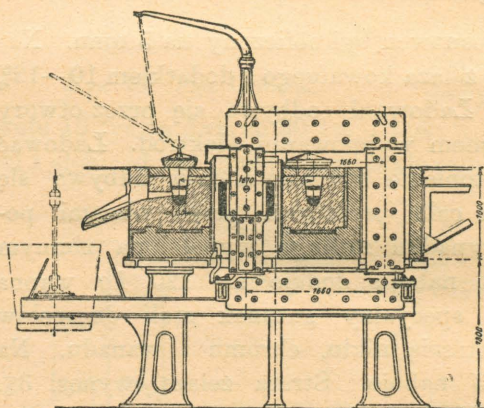
Piec Nathusiusa w Sosnowcu był obliczony na 5 tonn. Nabój stanowią obcinki rur z żelaza kowalnego z dodatkiem 10—12% surowca martenowskiego. Ładowanie odbywa się przez otwory w sklepieniu, przy kolejnem wyjmowaniu elektrod. Ładować przez okna nie można, topienie bowiem metalu odbywa się tylko pod elektrodami, i cała przestrzeń przed oknami pozostawała by w tym wypadku zadługo wypełniona zimnym materiałem. Do każdego naboju dodaje się 120 *kg* wapna palonego. Otrzymuje się specjalny gatunek stali do celów wojennych z różną zawartością niklu, chromu i wanadu. Na dobę można przerabiać 3 naboje. Strata żelaza wynosi 3%. Na 1 tonnę zużywa się 800 KW-godzin energii elektrycznej. Stosuje się prąd zmienny o napięciu 95 woltów. Zużycie elektrod stanowi 12 *kg* na 1 tonnę gotowej stali. Trzon i ściany pieca wyprawiają się masą dolomitową, w której za spoiwo służy smoła bezwodna. Sklepienie buduje się z cegły szamotowej; wytrzymuje ono 35—70 przetapiań. Przy zmianie sklepienia należało odnawiać ściany. Trzon pieca w ciągu 16-u miesięcy reparacyi nie wymagał.

Materyał na elektrody powinien posiadać jaknajwiększą odporność na temperaturę. Takim jest węgiel, dający łuk elektryczny o temperaturze powyżej 3000° C. Elektrody węglowe wyrabiają się z węgla drzewnego, koksu i grafitu przez prasowanie. Grafitowe są najlepsze, lecz zarazem najdroższe. Zużycie elektrod stanowi poważną pozycję kosztów własnych, więc: od materyału, umiejętnego wyrobu i wymiarów elektrod, zależą w wysokim stop-

niu korzystne wyniki procesu w piecach elektrycznych. Zużycie elektrod odbywa się wskutek ulatniania węgla w łuku elektrycznym i przez utlenianie rozżarzonego węgla. Pozatem może nastąpić uszkodzenie elektrod przez nieumiejętne obchodzenie się i przez pękanie pod wpływem wysokiej temperatury, co często się zdarza przy materiale niejednorodnym.

Elektrody węglowe są złymi przewodnikami, więc powinny posiadać duże przekroje. Przy podnoszeniu temperatury zwiększa się przewodnictwo elektryczne węgla, lecz jednocześnie i przewodnictwo ciepła. Otrzymujemy więc w elektrodach dwojaką stratę ciepła: na ogrzewanie elektrod i przez przewodnictwo nimi ciepła na zewnątrz pieca. Strata ogólna ciepła wynosi nie mniej niż 15%. W elektrodach krótkich mamy mniejszą stratę wskutek oporu,

lecz większą przez przewodnictwo ciepła, w długich—odwrotnie. Silnie rozżrane elektrody stają się mniej trwałe. Zużycie elektrod jest w pewnym stosunku do gęstości prądu, czyli do liczby amperów, przypadającej na jednostkę przekroju, przeto gęstość prądu nie powinna być wielką i w warunkach najkorzystniejszych wynosi 6—10 amp./cm².

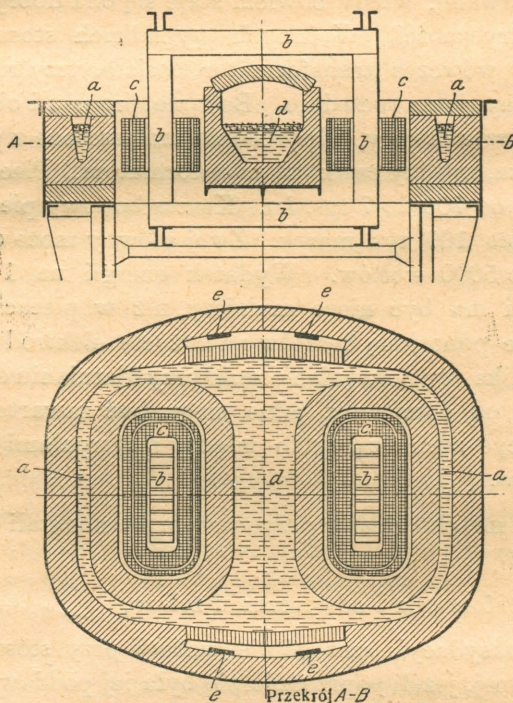


Rys. 80. Piec Kjellina.

Ponieważ trudno wyrobić elektrody o dużych przekrojach zupełnie jednorodne, stosują elektrody złożone wzdłuż z kilku części, przylegających do siebie tak szczelnie, aby tworzyły jedną ścisłą całość. W celu zabezpieczenia elektrod od zużycia przez utlenienie powlekają je szkłem wodnym, otaczają azbestem i stosują chłodzenie wodą.

Budowa pieców indukcyjnych oparta jest na tych samych zasadach, co budowa transformatorów. Siła prądu w cewce wtórnej jest w stosunku odwrotnym do liczby jej zwojów. Dając więc cewce wtórnej mniej zwojów, aniżeli głównej, otrzymamy prąd wtórny o napięciu niższym od pierwotnego, natomiast siłę prądu większą. Zamiast cewki wtórnej można zrobić w materiale

ogniotrwałym rowek (rys. 80), który, wypełniony żelazem roztopionym, lub drobnymi obcinkami, tworzy obwód zamknięty o jednym zwoju. Cewka główna do której doprowadzamy prąd ze stacyi, posiada wiele zwojów, bierze prąd małej siły o dużym napięciu, a w żelazie, umieszczonem w rowku, powstaje silny prąd o małym napięciu, wytwarzający znaczną ilość ciepła. Rysunek powyższy przedstawia pierwszy piec indukcyjny *Kjellina*. Niedogodnością jego jest trudność prowadzenia procesu w bardzo wązkim topnisku i niedostateczna temperatura dla topienia żużla, pokrywającego żelazo.



Rys. 81. Piec Röchlinga-Rodenhausena.

Piec *Röchlinga-Rodenhausera* (r. 1907) łączy w sobie zasadę pieca indukcyjnego i pieca, wytwarzającego ciepło przez opór elektryczny. Piec ten (rys. 81) jest jakby podwójnym piecem *Kjellina* i posiada, oprócz wązkiego rowka *a*, szerokie topnisko *d*, pozwalające na dogodne prowadzenie procesu metalurgicznego. Każdy rdzeń *b* podwójnego transformatora posiada dwa zwoje: główny i wtórny, oddzielone od siebie warstwą powietrza, służącą do izolacyi

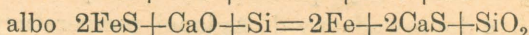
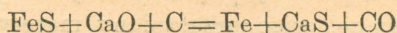
a jednocześnie do chłodzenia. W tym celu do przestrzeni między zwojami przepuszcza się wiatr z wentylatora pod słabem ciśnieniem. Cewki są okryte podwójnym płaszczem mosiężnym, przez który również krąży powietrze, zabezpieczające cewki od zbytniego rozgrzania. W obmurowaniu z masy dolomitowej lub magnezytowej z przeciwnych stron topniska umieszczone są dodatkowe elektrody żelazne e , połączone przewodnikami miedzianymi z uzwojeniem wtórnem. Metal w rowku a rozgrzewa się pod wpływem indukcji tak, jak w piecu Kjellina. Prąd między elektrodami płynąć może dopiero po rozgrzaniu do białości masy ogniotrwałej, wtedy bowiem staje się ona dobrym przewodnikiem elektryczności. W innych wypadkach stosuje się prąd trójfazowy, i wówczas transformator posiada trzy rdzenie. Piec jest przechylny, jak poprzednie. Badanie procesu i obsługa pieca odbywa się przez otwory, odpowiednio umieszczone z przeciwnych stron topniska, między cewkami transformatora. Piece są obliczone na naboje od 700 do 7 tys. *kg*. Koszta budowy pieca na 5 tonn wynoszą około 100 tys. marek. Zwój główny może czerpać prąd o napięciu do 5000 woltów. Wydatek energii na 1 tonnę wytapianej stali ma być nieco mniejszy, niż w piecach łukowych, a przytem nie ponosi się kosztów na zużycie elektrod węglowych. Wreszcie unika się nawęglania stali przy ułatnianiu elektrod i zanieczyszczeń od domieszek, jakie mogą być zawarte w elektrodach. Reakcje zachodzą tylko między materiałami wprowadzonymi do pieca.

Proces metalurgiczny przy otrzymywaniu stali elektrycznej polega na:

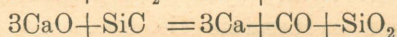
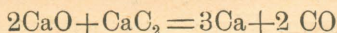
1. Odfosforzaniu i odsiarczaniu żelaza,
2. Dezoksydacji, szczególnie ważnej przy stosowaniu stali płynnej, jeżeli poprzednio nie była jej poddawana,
3. Nawęglaniu do odpowiedniej twardości i wprowadzaniu potrzebnych składników, o ile mają być wytwarzane stopy specjalne,
4. Wydzielaniu cząstek żużla i gazów przez wystanie się stali.

Najpierw odbywa się odfosforzanie przez dodanie wapna palonego i rudy (Fe_2O_3). Fosforek żelaza utlenia się i tworzy pięciotlenek fosforowy, który w połączeniu z wapnem daje fosforan wapienny, usuwany następnie z pieca wraz z żużlem.

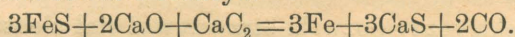
Odsiarczanie przeprowadza się po usunięciu fosforu zapomocą wapna w obecności węgla lub krzemu przy wysokiej temperaturze według reakcyi:



W kąpeli metalowej po defosforyzacyi znajduje się bardzo mało węgla i krzemu. Jakkolwiek w piecach łukowych węgiel elektrod, łącząc się z wapnem, tworzy karbid wapnia, to wszakże dodatek karbidów: wapniowego CaC_2 , albo krzemowego SiC (karborundu), przyspiesza odsiarczanie. Oba powyższe karbidy redukują wapno według wzorów:



Wapń zaś metaliczny chciwie łączy się z siarką tworząc CaS . Zachodzi również reakcyja:



Nawet wówczas, gdy zawartość siarki w naboju dochodzi do 0,5%, udaje się otrzymywać stal zawierającą zaledwie jej ślady (0,005%). Te same karbidy w obecności rudy manganowej sprzyjają dezoksydacyi. Redukują one tlenki manganowe, mangan zaś rozkłada tlenek żelazawy i sam utleniając się wypływa na nowo w postaci tlenku na powierzchnię. Najczęściej dezoksydacya odbywa się, jak przy innych sposobach, zapomocą żelazo-manganu i żelazo-krzemu.

W ostatnich czasach stosować zaczęto proces elektryczny kwaśny, wykładając piec kwaśnym materyałem ogniotrwałym. Przy małej zawartości siarki w stali, przeznaczonej do rafinowania, otrzymują się wyniki dobre i korzyści następujące:

- a) Wyprawa kwaśna tańsza jest od zasadowej,
- b) Oszczędność na środkach odsiarczających i odtleniających, gdyż niezbędny karbid krzemu otrzymuje się z krzemionki wyprawy, pod wpływem temperatury i prądu elektrycznego. Powstający SiS_2 ulatnia się, podobnie jak SO_2 , powstający częściowo przez reakcyę: $\text{FeS} + 2\text{FeO} = 3\text{Fe} + \text{SO}_2$,
- c) Zużycie prądu jest mniejsze, gdyż proces kwaśny trwa krócej.

Proces elektryczny w porównaniu z innymi sposobami posiada zalety następujące:

Piece elektryczne pozwalają na szybkie i silne ogrzewanie, nie osiąganego w żadnym innym piecu hutniczym. Przed wprowa-

dzeniem tych pieców najwyższa temperatura nie przekraczała 1800° C., tu zaś w razie potrzeby otrzymać można powyżej 2000° C.

Ogrzewanie zapomocą prądu elektrycznego może być łatwo i szybko regulowane, więc przetapiany materiał w każdym wypadku może być doprowadzony do żądanej temperatury, jak tego wymaga przebieg procesu. Elektryczność przedstawia idealnie czysty środek opałowy.

Wskutek wysokiej temperatury otrzymywać można najtrudniej topliwe żuźle zasadowe w stanie płynnym, dzięki czemu można przeprowadzać całkowite odsiarczenie i z materiałów miernych otrzymywać wytwór pierwszorzędnej wartości, co jest niemożliwem przy procesie tyglowym. Wysoka temperatura podczas procesu pozwala na dłuższe wystawianie się gotowego produktu, przyczem gazy zawarte w stali i cząsteczki żuźla mogą się całkowicie wydzielić.

Piec elektryczny pozwala otrzymywać stal ulepszoną w większych ilościach naraz, więc w dużych blokach daje materiał jednolity, jaki z trudnością mógł być otrzymywany dawniej przez łączenie zawartości wielu tyglów.

Produkcya stali elektrycznej w tonnach.

	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915
Stany Zjednoczone A. P.	13762	52141	29105	—	—	—	—
Niemcy	17773	30188	66154	74177	101755	89336	—
Austria	9048	20028	22867	24800	26837	19844	23895
Francya	6456	11759	13850	20024	—	—	—
Wielka Brytania	—	—	—	—	—	—	22352

Literatura: Rodenhauser und Schönawa, Elektrische Oefen in der Eisen industrie, 1911.

Stansfield A. The electric furnace, its construction, operation and uses. London. 1914.

Rys. 82. Rozkład sił
przy walcowaniu.

cami w punkcie A (rys. 82) ciśnienie N, działające prostopadle do powierzchni walca, a więc w kierunku promienia, rozkłada się na siłę oporu $N \sin \alpha$ i siłę przyciskającą $N \cos \alpha$. O ile żelazo ma być uchwycone i wciągnięte siłą tarcia przy ruchu obrotowym walca, powinniśmy mieć: $f N \cos \alpha > N \sin \alpha$. Stąd $f > \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$, albo $f > \operatorname{tg} \alpha$. Ponieważ $f = \operatorname{tg} \varphi$, czyli stycznej kąta tarcia, otrzymujemy $\angle \varphi > \angle \alpha$, czyli zasadę, że kąt uchwytu przy walcowaniu powinien być mniejszy od kąta tarcia, który wynosi dla żelaza 22—30'. Przy powierzchni walców chropowatej może on być większy, niż przy gładkiej.

Z powyższego wynika, że żelazo może być wciągnięte przez walce tylko wtedy, gdy grubość pręta nie przekracza pewnego stosunku do odległości pomiędzy walcami, gdyż siła tarcia $f N \cos \alpha$ zmniejsza się przy zwiększeniu odległości żelaza od płaszczyzny przechodzącej przez osie walców, a odległość ta jest tem większa, im pręt jest grubszy.

W celu ułatwienia przechodzenia żelaza przez walce, tarcie może być zwiększone sztucznie przez nacinanie karbów na powierzchni walców, lub przez posypywanie żelaza walcowanego piaskiem.

Oznaczając przez H grubość pręta przed przejściem przez walce i po wyjściu z nich przez h, oraz średnice walców przez D, widzimy z rysunku, że

$$H - h = D (1 - \cos \alpha) = D \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \right)$$

$$\text{a więc } H - h < D \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right)$$

przy $f = 0,2$, otrzymamy $H - h < \frac{D}{30}$, albo $\frac{D}{H - h} > 30$.

Inaczej mówiąc, stosunek średnicy walców do zmniejszenia grubości powinien być większy od 30.

Z powyższego mamy również, iż $\cos \alpha = 1 - \frac{H - h}{D}$, a więc siła ściskająca $N \cos \alpha$ i wyciągająca $f N \cos \alpha$ będą przy tem samym zmniejszaniu grubości tem większe, im większa średnica walców. Stąd wynika, że walce o dużej średnicy łatwiej walcują, niż walce cienkie.

Przy walcowaniu materiału sztaby ulega przesuwaniu nie tylko pod wpływem siły tarcia, lecz również, wskutek swej plastyczności wypływa niejako pod działaniem siły ciśnienia. Stąd po-

chodzi znane zjawisko, iż szybkość przesuwania sztaby walcowanej jest nieco większa od szybkości obwodowej walców.

Siła ściskająca powinna być większa od wytrzymałości żelaza na ściskanie, gdyż tylko w tym wypadku żelazo może być przesunięte przez walce. Żelazo zmiękzone przez rozgrzanie posiada zwykle małą wytrzymałość i łatwo przeciska się przez walce. Jednocześnie siła wyciągająca nie powinna przekraczać granicy wytrzymałości na rozierwanie, zmniejszenie więc przekroju przy walcowaniu może się odbywać tylko stopniowo. Najczęściej potrzebne jest kilkorazowe przepuszczenie żelaza przez walce, dla otrzymania znacznego zmniejszenia przekroju. W tym celu po każdorazowym przejściu żelaza przez walce, zmniejsza się odległość między nimi, albo też na walcach są wykrajane bruzdy o coraz mniejszych przekrojach, przez które sztaba, przechodząc kolejno, wydłuża się stopniowo i zmniejsza swą grubość.

Prócz wyciągania sztaby w kierunku walcowania, podlega ona nieznacznemu poszerzeniu wzdłuż osi walców. Poszerzenie to (rozplaszczanie) jest tem większe, im bardziej jest miękkie żelazo, i wzrasta ze zwiększeniem średnicy walców. Zwykle nie przekracza ono w walcach gładkich 0,3—0,4 zmniejszenia grubości sztaby ($H-h$).

Do walcowania blachy używane są walce gładkie, do wszelkich zaś gatunków żelaza handlowego i kształtowników — walce z bruzdami. O ile te bruzdy rozmieszczone są symetrycznie na obu walcach jednakowej średnicy, to przy jednakowej liczbie obrotów otrzymujemy jednakową szybkość obwodową na górnej i dolnej powierzchniach żelaza i sztaba wychodzi z bruzdy prosta. Jeżeli zaś jeden z walców posiada średnicę większą, warstwa metalu do niego przylegająca wyciąga się mocniej i sztaba wychyla się w stronę walca cieńszego. Gdy walce są ustawione nieprawidłowo, lub też bruzdy są wykrojone nieodpowiednio, następuje wykrzywienie boczne sztaby wskutek nierównomiernego tarcia z boków. Zasada ogólna walcowania przy stosowaniu bruzd wymaga, ażeby wszystkie części tego samego przekroju wydłużały się jednakowo i w jednym czasie przebiegały drogi równe.

Jak już powiedziano wyżej, po każdym przepuszczeniu przez walce zmniejsza się przekrój żelaza a odpowiednio zwiększa się jego długość. Współczynnik zmniejszających po sobie przekrojów $\frac{F_1}{F_2}$ jest wielkością odwrotną współczynnika wydłużenia

$E = \frac{L_2}{L_1}$. Im większe jest wydłużenie, tem prędziej przechodzimy od przekroju pierwotnego do ostatecznego i tem mniej trzeba wykonać przepuszczeń przez walce.

Mała liczba przepuszczeń przyspiesza walcowanie i zapobiega stygnięciu żelaza. Przy wyższej temperaturze zmniejsza się wytrzymałość na ciśnienie i pozwala na większe wydłużenie. W miarę tego, jak żelazo stygnie, dopuszczalne wydłużenie staje się coraz mniejsze. Dla pierwszych bruzd po wyjściu żelaza z pieca wydłużenie dochodzi do 1,8; w ostatnich spada do 1,25 i niżej.

W celu osiągnięcia korzystnych wyników walcowania należy dążyć do zwiększenia wydajności przy najmniejszym zużyciu energii mechanicznej i pracy ludzkiej, oraz do zmniejszenia straty materiałów. Strata powstaje: przy każdorazowym ogrzewaniu żelaza w piecu (1—4%), w walcach w postaci zendry (1—1,5%) i w postaci obcinków żelaza walcowanego (0,5—4%).

Ważnem zadaniem jest obliczenie energii, potrzebnej do walcowania żelaza. Istnieją różne wzory, wyprowadzone z szeregu doświadczeń, lub rozumowań teoretycznych, lecz wobec mnogości czynników zmiennych posługiwanie się wzorami matematycznymi dotychczas ustępuje danym, opartym na praktyce.

Moc potrzebna zależy: od współczynnika wydłużalności E , średnicy walców D , grubości pręta po przejściu przez walce h , ilości materiału walcowanego w jednostkę czasu T i wytrzymałości na ściskanie przy temperaturze walcowania S . Edwards podaje wzór do obliczania mocy w koniach mechanicznych:

$M = CTS \lg E \sqrt{\frac{D}{h}}$, gdzie C jest pewną wielkością stałą, zależną od stosowanych we wzorze jednostek. Doniosłe znaczenie ma wytrzymałość na ściskanie S , zależna w wysokim stopniu od temperatury żelaza i od domieszek zawartych w materiale. Podniesienie temperatury o 100° C. pozwala niekiedy na zmniejszenie energii o 50%, lub przy tej samej energii—na podwojenie produkcji.

Zależnie od produkcji i wymiarów żelaza walcowanego bywają stosowane silniki od 40 k. m. do pięciu tysięcy i więcej.

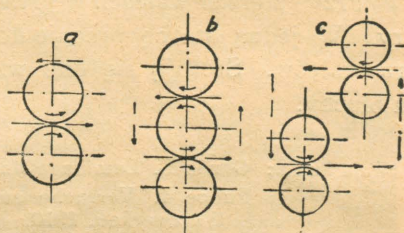
Na próżny bieg walców zużywa się 20—50% całej energii silnika. Należy dążyć, aby czas próżnego biegu był jaknajkrótszy, czyli, żeby przerwy między jednym i drugim przejściem przez walce były jaknajmniejsze. Osiąga się to przez umiejętne ustawia-

nie walców i urządzenia pomocnicze, podające materyał do walców i przenoszące żelazo od bruzdy do bruzdy.

Walcownią nazywa się fabryka, w której odbywa się walcowanie. Zespół walców z przyrządami, gotowy do walcowania po jednym zagraniu, nosi nazwę *walcarki*. Walcarka może się składać z jednej lub kilku klatek walcowych, stojących w jednym rzędzie lub równolegle do siebie.

Klatkę walcową (garnitur) stanowi para (duo), trójka (trio), lub podwójna para walców (rys. 83). Przy parze walców mamy dwa sposoby walcowania. Ruch walców odbywa się, albo w jednym kierunku, i po każdorazowym przejściu żelaza przez walce, przesuwają się one z powrotem nad górnym walcem w celu ponownego przepuszczenia przez walce przy zmniejszonej między nimi odległości, albo walcowanie odbywa się w dwóch kierunkach, o ile walcarkę prowadzi silnik o ruchu zwrotnym, bez koła rozpędowego. W wypadku ostatnim nie traci się czasu na przerzucanie żelaza na drugą stronę przy próżnym biegu walców.

Najczęściej w każdej klatce mamy po trzy walce, obracające się w kierunku stałym. Żelazo w jedną stronę przechodzi między walcami dolnym i średnim a z powrotem między średnim i górnym.



Rys. 83.

Para, trójka i para podwójna.

Trio i duo zwrotne mają swoje zalety i strony ujemne. Przy tej samej liczbie przepuszczeń trio wymaga mniej

klatek, więc koszt urządzenia jednego piętra są tańsze. Zużycie energii przy silniku z kołem rozpędowym jest mniejsze, niż przy silniku zwrotnym. Przy trójce można walcować jednocześnie dwa pręty w różnych wykrojach, jeżeli pozwala na to moc silnika. Natomiast przy duo zwrotnem unika się podnoszenia bloków do góry i przesuwanie odbywa się na jednym poziomie. Gdy sztaba uwięźnie w walcach, co się niekiedy przytrafia, można ją łatwiej wycofać w duo zwrotnem, niż przy trio. Walcowanie w duo odbywać się może z różną szybkością, więc przez pierwsze bruzdy żelazo przepuszcza się z większą prędkością, niż przez ostatnie.

Wobec powyższego, przy walcach małych i średnich (do 600 mm), należy oddawać pierwszeństwo trójce, a przy dużych—

dwójce zwrotnej. W Stanach Zjednoczonych A. P. walcują w trójkach nawet szyny kolejowe, wymagające walców o średnicy 900 mm.

Ostatnimi czasy bywają stosowane walcarki szeregowe o biegu ciągłym (Kontinuirliche Walzwerke, laminoirs continus), złożone z szeregu klatek walcowych, stojących równolegle jedna za drugą. Każda klatka składa się z pary walców, obracających się w kierunku stałym. Żelazo wychodzące z jednej klatki kierowane jest bezpośrednio i samoczynnie do następnej. Zaletą walcarek szeregowych jest oszczędność energii mechanicznej i pracy ludzkiej, a także możność otrzymywania różnych kształtów bez zmiany walców, gdyż na walcach, o ile pozwala ich długość, mogą być umieszczane wykroje dla kilku kształtów. Ujemną stroną jest kosztowność urządzenia i skomplikowana pędnia, gdyż każda para walców posiada inną liczbę obrotów, ściśle obliczoną w stosunku do poprzedniej. Walcarki szeregowe najbardziej się nadają do stosunków amerykańskich przy masowym wyrobie żelaza jednego gatunku.

Przy czterech walcach w jednej klatce, pracują one jako dwie pary. W jedną stronę pracuje dolna para, w przeciwną — górna para walców. Stosują się one względnie rzadko, przy walcowaniu blachy.

Literatura: Geuze L. Laminage du fer et de l'acier. 1900.

Puppe I. Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs an Walzwerken. 1910.

Wereszczagin N. Stany dla nieprerwywnej proklatki. 1912.

Rodziewicz-Bielewicz A. Uspiechi proklatnogo dzieła. 1911—1914.

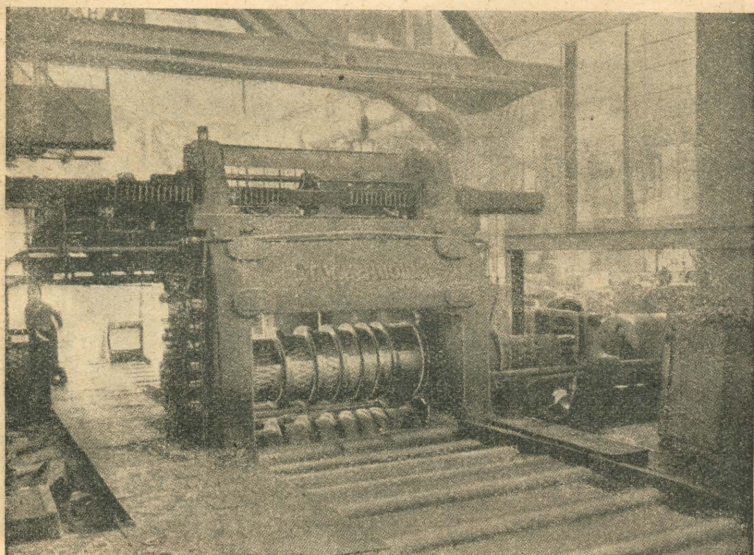
Falk A. Die Theorie der Materialwanderung beim Walzen und Schmieden. St. u. Eis. 1912. №№ 20, 21.

Walcarki.

Walcarki dzielą się na *wstępne* i *wykańczające*. Pierwsze służą przeważnie do zmniejszania przekroju bloków i dostarczają materyał w postaci *bałwanek* (kęsów) dla dalszego walcowania w walcarkach wykańczających. Walcarki wstępne noszą też nazwę bałwankowych (blooming). Materyał stalowy podlega w nich ściskaniu i wygniataniu przy najwyższej temperaturze i staje się lepszym. Wykańczanie odbywa się przy ściskaniu mniejszem i temperaturze niższej, co prowadzi do otrzymania pożądanej w żelazie budowy drobnoziarnistej.

Walcarki, zależnie od wymiarów otrzymywanego z nich żelaza, bywają: grubo- średnio- lub drobnowalcujące, a stosownie do swego przeznaczenia są walcarkami kształtowników, szyn, blachy, drutu i t. d. Najczęściej stosowana jest nazwa, oznaczająca średnicę walców, więc mówi się: walcarka 500, 600, 1000 milimetrowa.

Wydajność walcarek bywa rozmaita. Walcarki drobnowalcujące mają wydajność mniejszą, niż grubowalcujące. Druciarka może wywalcować 100—150 tonn drutu dziennie. Walcarki szyn kolejowych lub dużych kształtowników wyrabiają w niektórych walcowniach amerykańskich do 2000 tonn na dobę.



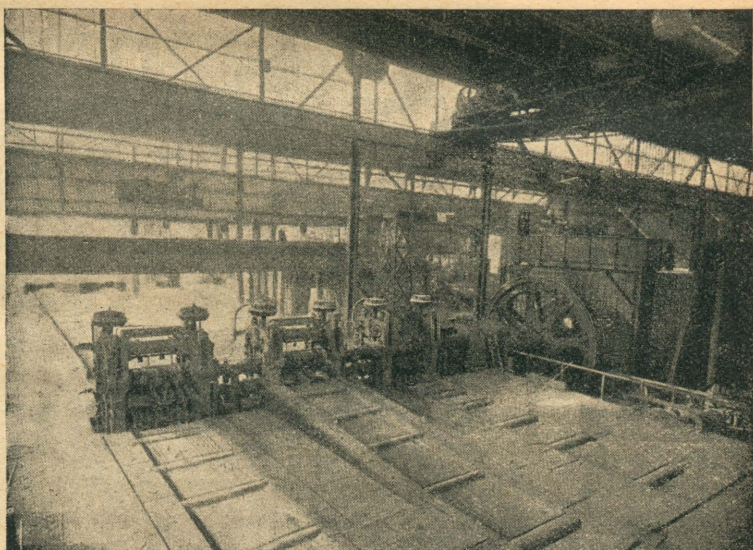
Rys. 84 Walcarka wstępna o ruchu zwrotnym.

Rys. 85 przedstawia walcarkę wstępną (blooming) z jedną klatką walcową i parą walców, prowadzonych przez silnik o ruchu zwrotnym. Walce mają średnice od 850 do 1200 mm. Przez regulowanie liczby obrotów otrzymuje się prędkość obwodowa zmienna: najmniejsza przy rozpoczęciu roboty, gdy blok jest gruby; następnie stopniowo się zwiększa w miarę zmniejszania przekroju bloku. Największa prędkość obwodowa nie przekracza 3,5 m/sek.

Na rys. 85 widzimy walcarkę wykańczającą, średniowalcującą z trzema klatkami walcowymi. W każdej klatce znajduje się

po trójce walców. Średnica walców wynosi 350 — 700 mm. Największa prędkość obwodowa 4—5 m/sek.

Rys. 86 przedstawia druciarkę. Średnice walców wynoszą 200 — 280 mm. Prędkość obwodowa dochodzi do 10 — 11 m/sek. Przy wyrobie żelaza cienkiego, które stygnie szybko, szczególną uwagę zwraca się na to, ażeby zmniejszyć okres próżnego biegu walców. Druciarka jest walcarką o biegu ciągłym. Wychodzący tu z jednego wykroju koniec pręta natychmiast się wkłada, lub automatycznie kieruje do wykroju następnego i w ten sposób walcuje się pręt bez przerwy i w kilku wykrojach jednocześnie.

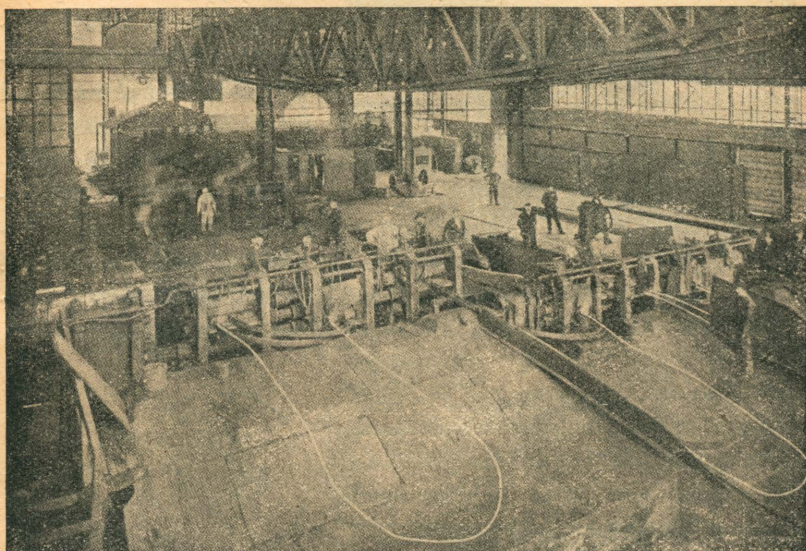


Rys. 85. Walcarka średniowalcująca.

Wskutek niejednakowej szybkości pręta po przejściu przez różne wykroje, pomiędzy kolejnymi wykrojami powstają pętle, które gwoili bezpieczeństwa robotników powinny okrążać słupki żelazne, mocno wbite w ziemię; albo też pętle umieszcza się w korytkach, ukrytych pod posadzką fabryczną. W wypadku ostatnim zabezpiecza się również przez to żelazo od zbyt szybkiego stygnięcia. Przy wielkiej liczbie obrotów żelazo, wskutek energicznej przeróbki pod walcami, rozgrzewa się, przeto stygnie wolniej.

Klatka walcowa składa się z pary stojaków (kozłów), pomiędzy którymi znajdują się walce.

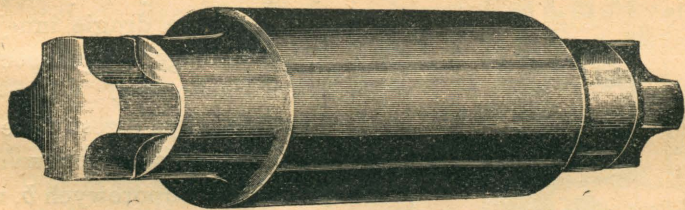
Walec (rys. 87) składa się z trzech części: ciała, czopów i głowic. Średnica ciała waha się w granicach od 200 *mm* dla walców druciarek, aż do 1250 *mm* dla blachy pancernej.



Rys. 86. Druciarka.

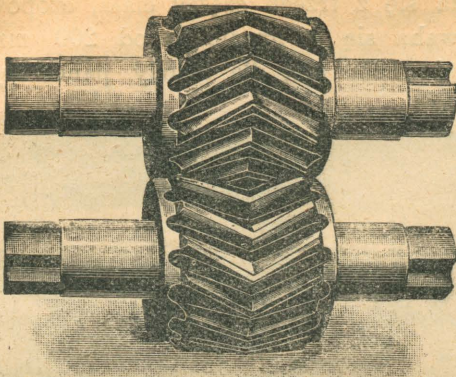
Im grubsze walcujemy żelazo, tem większa jest średnica ciała.

Krzyżowe zakończenie walca, zwane głowicą, służy do łączenia walców, znajdujących się w sąsiednich kłatkach, lub z wal-

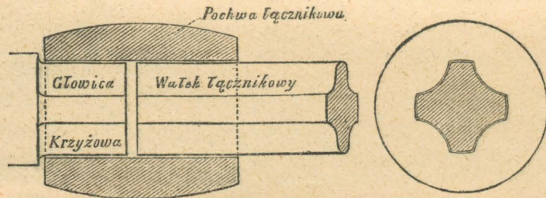


Rys. 87. Walec.

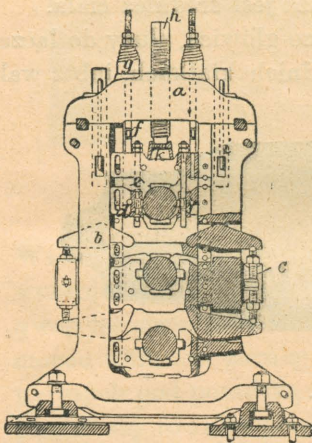
cami zębatymi (rys. 88), przenoszącymi ruch od walców z jednego poziomu na drugi. Wał silnika jest zwykle łączony ze środkowym, albo z dolnym walcem najbliższej kłatki walcowej. Dalsze połączenie odbywa się zapomocą sprzęgła (pochwy łącznikowej,



Rys. 88. Walce zębate.



Rys. 89. Pochwa łącznikowa.



Rys. 90. Stojak.

rys. 89). Między dwoma walcami, znajdującymi się na tym samym poziomie, jest wałek łącznikowy o przekroju podobnym, jak głowica. Ażeby zabezpieczyć mufę od zsuwania, w zagłębieniach wałków łącznikowych uwiązują się kawałki drzewa, które rozpierają mufy sąsiednie.

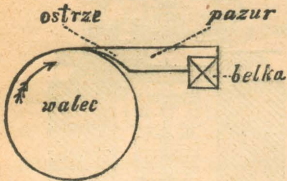
Stojaki mają budowę rozmaitą.

Rys. 90 przedstawia *stojak* dla trójki walców, przymocowany śrubami do płyt podwalinowych, po których może być przesuwany przy zamianie jednych walców na drugie innej długości. Czop dolnego walca spoczywa w łożysku nieruchomem. Walce—średni i górny, mogą być przesuwane wraz z łożyskami w kierunku pionowym za pomocą dźwigni podporowych *b*, umieszczonych w wycięciach stojaków i poruszanych przez śruby ustawnicze *c*. Wałek górny, podlegający przy pracy ciśnieniu do góry, jest utrzymywany na swoim miejscu, podczas próżnego

biegu, przez pałąk *d* i śruby *e*. Stojak jest przykryty u góry *nakrywą a*, przymocowaną do stojaka dwiema śrubami, osadzonemi

na kliny. Wierzchnia pokrywa górnego łożyska jest przymocowana do nakrywy dwiema śrubami *f*. Pod nakrętkami tych śrub znajdują się sprężyny zwojowe *g*. Pomiedzy końcem *śruby naciskowej h*, a pokrywą górnego łożyska wstawiona jest *ochronna podkładka k*, obliczona na mniejszą niż inne części wytrzymałość, ażeby przy zwiększonym przypadkowo oporze przy walcowaniu łamała się sama, ratując od uszkodzenia stojak lub wałce. Stojaki jednej klatki są połączone ze sobą u dołu i u góry żelaznymi ściągaczami, służącymi niekiedy za belki do zawieszania na nich ław i pazurów.

Przed walcami znajduje się *ława* (albo *stół*), na którą podaje się żelazo przeznaczone do walcowania. Ława bywa opatrzona kierownicami, wprowadzającymi żelazo do odpowiedniej bruzdy. Przy walcarkach średnich, na stronie przeciwnej do ławy, znajdują się *pazury*, czyli kawałki stali, przylegające ostrzem do dolnego walca (rys. 91), w celu zabezpieczenia walca od nawijania się dokoła niego żelaza. Przy mniejszych walcach pazury zastępowane są *przepustnicami* w postaci rurek kwadratowych, okrągłych lub owalnych.



Rys. 91. Pazur.

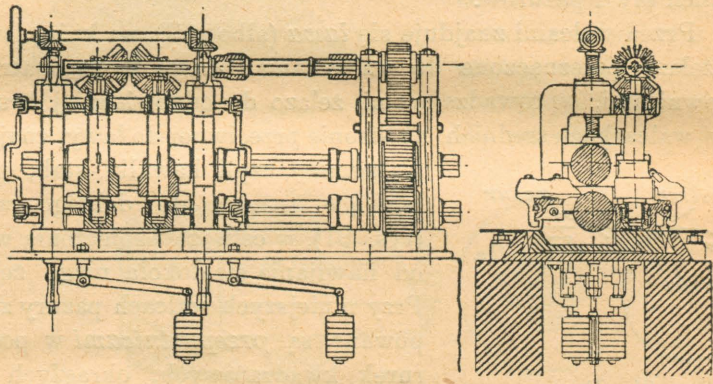
Przy walcowaniu ciężkich szyn i kształtowników stoły znajdują się z obu stron walców, i można je podnosić mechanicznie, ażeby żelazo po przewalcowaniu między walcami dolnym i średnim mogło być przepuszczone następnie między średni i górny, lub odwrotnie. Stoły mogą być przesuwane wzdłuż walcarek od jednej klatki do drugiej. Wreszcie bywają one opatrzone w przenośniki bębnowe, po których można z łatwością ciężkie sztuki przesuwać. O ile walcarka jest zwrotna, bębny otrzymują ruch w jedną lub drugą stronę, i stoły jednakowe znajdują się po obu stronach walców.

Walcarka uniwersalna służy do walcowania szerokich i długich płaskowników, czyli tak zwanego żelaza mostowego, którego krawędzie mają być równe bez obcinania. Walcarka ta (rys. 92) składa się z dwóch zwyczajnych, poziomych walców gładkich, jak do walcowania blachy, i dwóch pionowych, między którymi odległość może być dowolnie zmieniana. W ten sposób na walcierce uniwersalnej można otrzymywać płaskowniki wszelkiej grubości i szerokości, ustawiając odpowiednio walce; uni-

ka się przez to znaczny wydatek na przygotowanie wielkiej liczby walców z rozmaitymi wykrojami na powierzchni.

Ostatnimi czasy zaczęto walcować dwuteowniki, przepuszczając bloki przez cztery walce, ustawione jak w walcarni uniwersalnej. Wykroje odpowiedniego kształtu powstają między czterema walcami, mającymi mniej więcej jednakową prędkość obwodową, więc wydłużającymi materiał w całym przekroju jednostajnie.

Blok przechodzi najpierw przez walce wstępne, a następnie przez kilka wykańczających, dając wytwór lepszy, niż walce zwykłe,



Rys. 92. Walcarka uniwersalna.

szczególnie w wypadkach, kiedy się walcują dwuteowniki o bardzo szerokich stopach.

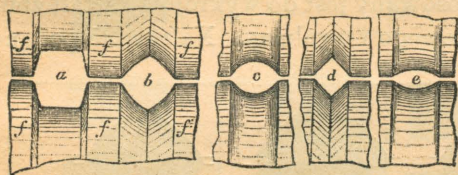
Walcarki do blachy mają gładkie *walce nastawne*, aby po każdorazowym przejściu przez nie żelaza, można je było do siebie zbliżać zapomocą śrub ustawniczych. Ponieważ wymagana jest dokładna równoległość osi walcowych, przeto śruby ustawnicze w obydwu stojakach poruszane są wspólnym mechanizmem. Przy trójkach wałek środkowy leży często w łożysku nieruchomem, a dolny i górny mogą być przesuwane.

-
- Literatura: Hütte. Taschenbuch für Eisenhüttenleute. 1910.
Bielewicz-Rodziejewicz A. Dietali prokatnych ustrojstw. 1912.
Wereszczagin N. S. Album szczegółowych rysunków walcarek i urządzeń pomocniczych w walcowniach. 1915.

Kalibrowanie walców.

Bruzdy w dwóch do siebie przylegających walcach, wzajemnie się dopełniając, tworzą *wykroń* (kaliber), nadający przepuszczanemu przez walce żelazu kształt odpowiedni.

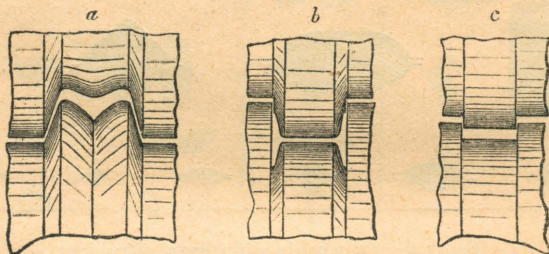
Głębokość bruzd nie powinna przekraczać czwartej części średnicy ciała walców. Bruzdy są ograniczone z boków wyskokami pierścieniowymi *f*, które mogą występować jednostajnie na obu walcach i wówczas tworzą *wykroje otwarte* (rys. 93),



Rys. 93. Wykroje otwarte.

albo też wyskok jednego walca wchodzi w bruzdę drugiego i niejako ją zamyka; otrzymujemy wtedy *wykroje zamknięte* (rys. 94).

Przy wykrojach otwartych jedna połowa przekroju znajduje się w walcu górnym, druga w dolnym, wykroje zaś zamknięte niemal całkowicie mieszczą się w jednym walcu. W kalibrach otwartych, w miejscach zetknięcia walców, łatwo powstają na prętach rąbki, wskutek wciskania się materiału plastycznego w szczeliny między walcami.



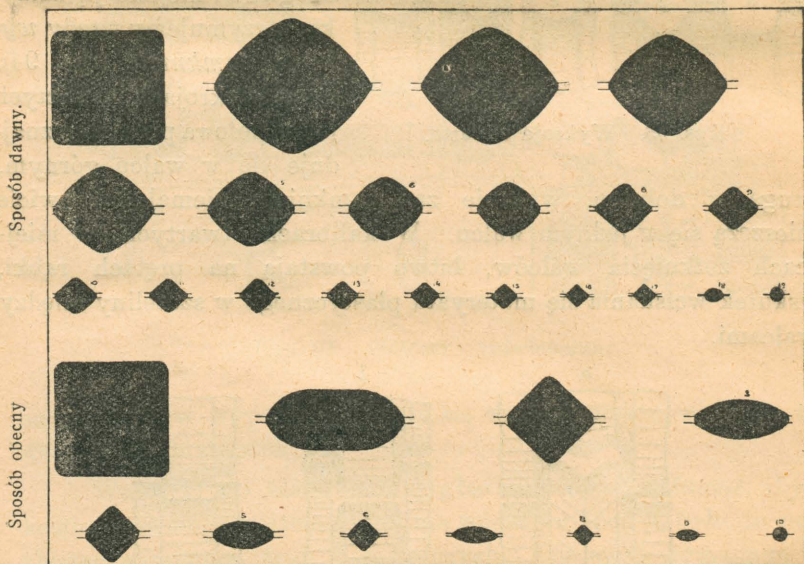
Rys. 94. Wykroje zamknięte.

Umiejętne projektowanie wykrojów, inaczej mówiąc kalibrowanie walców, jest jednym z najważniejszych zadań w walcownictwie. Szereg następujących po sobie wykrojów powinien przedstawiać stopniowe przejście od przekroju bloku lub bałwanki do przekroju projektowanego żelaza.

Projektowanie wykrojów dla żelaza kwadratowego, okrągłego lub płaskiego nie przedstawia wielkich trudności. Dawniej w tych wypadkach dawano w walcach wstępnych wykroje ostrołukowe

(rys. 93 lit. b), a w wykańczających ostrołukowe i stopniowo zbliżane do przekroju ostatecznego. Obecnie, jako przejściowe, stosują kształty trapezu *a*, rombu *d* i owalu *c* (rys. 93). Zmniejszenie przekrojów $\left(\frac{F_2}{F_1}\right)$, w każdym następnym kalibrze, waha się od 0,5 w pierwszych bruzdach, kiedy żelazo wyjęte z pieca rozgrzane jest do białości do 0,7—0,9 przy końcu walcowania. W ostatnim wykroju jest ono najmniejsze, i ten służy przeważnie do nadania dokładnego kształtu, lub do wygładzania (polerowania) powierzchni żelaza gotowego.

W ostatnich czasach stosowany jest do wykrojów kształt zbliżony naprzemian do kwadratowego i owalnego. Na rys. 95 podane

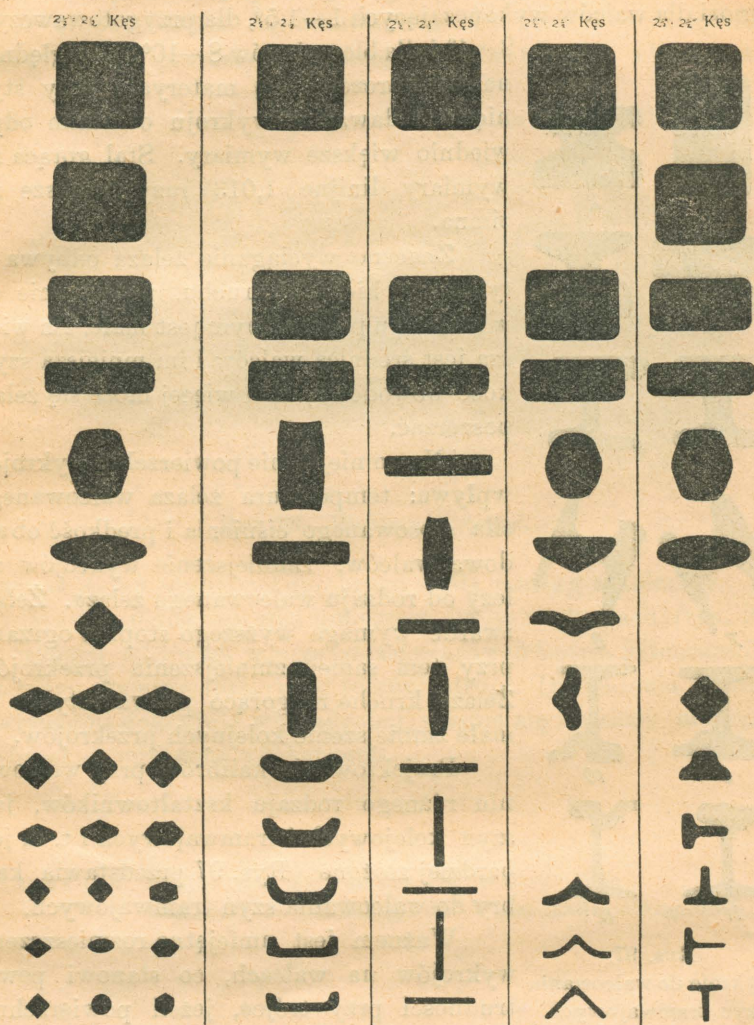


Rys. 95. Wykroje do żelaza okrągłego.

są kalibry dawnego i nowego sposobu walcowania żelaza okrągłego o średnicy 0,5 cala z kęsów 4×4 cale. Przy sposobie dawnym potrzeba było do tego 19-u przejść przez walce, obecnie tylko 10. Przy mniejszej jednak liczbie przepuszczeń potrzebna jest większa moc silnika.

Wykroje wstępne, przeznaczone wyłącznie do zmniejszania przekrojów, służą za przygotowawcze do walcowania wykańczającego różnych kształtów żelaza handlowego, jak to widzimy na rys. 96.

Należy pamiętać, iż przy walcowaniu w walcach poziomych, żelazo podlega ciśnieniu tylko w kierunku pionowym. Ściskania z boków niema wcale. Nie można więc podawać do



Rys. 96. Wykroje do żelaza handlowego różnych kształtów.

walców żelaza o większej szerokości niż wykroj. Dla zmniejszenia wymiaru drugiego, o ile zachodzi potrzeba, należy żelazo kantować, czyli odwracać o 90°. Kantowanie stosowane być może

tylko przy zachowaniu zasady, aby wysokość poprzedniego wykroju nie przekraczała szerokości następnego.

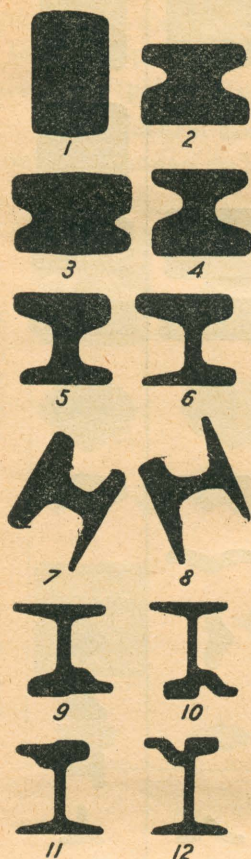
Wykroje na walcach powinny być nieco rozwarte, aby sztaba mogła łatwo się wysuwać z bruzdy. Pochylenie ścian bocznych wynosi dla walców wykańczających $1-1,5^\circ$, dla przygotowawczych $2-4^\circ$ i dla bloomingów $8-10^\circ$. Uwzględniać należy kurczenie się materiału przy stygnięciu i dawać w wykroju ostatnim odpowiednio większe wymiary. Stal gorąca ma wymiary liniowe 1,013 razy większe niż zimna.

Znaczne wyciąganie żelaza odbywa się tylko w kierunku ruchu, poszerzanie zaś w kierunku poprzecznym jest małe. Im większa jest średnica walców i im mniejsza szybkość obwodowa, tem więcej może się żelazo poszerzać.

Na zmniejszenie powierzchni wykrojów wpływa: temperatura żelaza walcowanego, siła stosowanego ciśnienia i prędkość obwodowa walców. Zmniejszenie wykrojów zależy od rodzaju walcowanego żelaza. Żelazo twarde wymaga wyższego stopnia ogrzania przy tem samym zmniejszeniu przekrojów. Żelazo kruche na gorąco pozwala tylko na małe zmniejszenie kolejnych przekrojów.

Projektowanie kalibrów przy walcowaniu różnego rodzaju kształtowników, jak: szyn kolejowych i tramwajowych i t. d. jest bardziej złożone. Rys. 97 przedstawia kalibry do walcowania szyn tramwajowych.

Ważnem jest umiejętne rozmieszczenie wykrojów na walcach, co stanowi pewne trudności przy trójce, jeżeli powierzchnia walców ma być dobrze wyzyskana. Na walcu środkowym umieszczać można bruzdy, z których każda może dawać wykrój w połączeniu z bruzdą albo na dolnym, albo na górnym walcu. Lepiej jednak jest wyzyskaną powierzchnię walców, jeżeli każda bruzda na walcu środkowym tworzyć będzie kolejne wykroje, łącząc się tak z bruzdą dolnego jak i górnego walca.



Rys. 97.

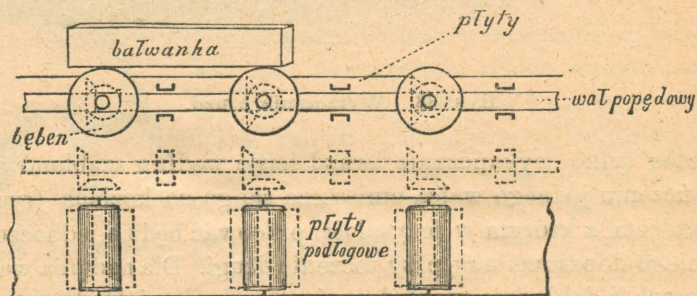
Wykroje do walcowania
szyn tramwajowych.

Walcownia.

W walcowni prócz walcarek znajdują się: piece do ogrzewania żelaza, różnego rodzaju przenośniki i podnośniki, nożyce i piły do przecinania prętów na mniejsze kawałki lub do wyrównywania końców, prawidła i prostownice do prostowania sztab i kształtowników, motowidła do otrzymywania zwojów drutu, zwijarki do bednarek i t. p.

Wszystkie urządzenia powyższe w współczesnych wielkich walcowniach wprowadzane są w ruch siłą mechaniczną.

W rzadkich tylko wypadkach walcownie posiadają walcarkę jedną, przerabiającą bloki na kształtowniki, lub na blachę dużych wymiarów, albo, gdy kęsy, dostarczane z innych walcowni, walcują na żelazo handlowe. Najczęściej w walcowniach ustawia się



Rys. 99. Przenośnik bębnowy.

kilka walcarek i produkt otrzymywany z jednej przewalcowuje się w dalszym ciągu na innych.

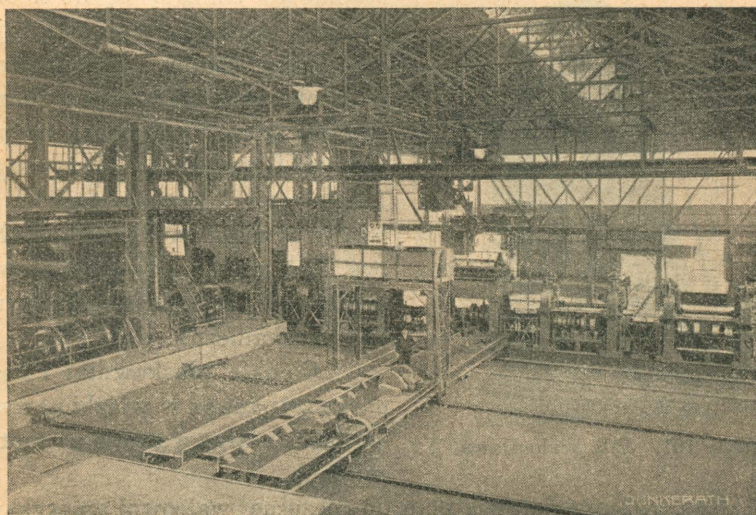
Do przenoszenia bloków i kęsów od pieców do walcarek i od jednych walcarek do drugih lub do nożyc i t. d. służą wózki, kolejki powietrzne i przenośniki bębnowe.

Przenośnik bębnowy (rys. 99) składa się z szeregu bębnow na wałkach, otrzymujących ruch obrotowy w jedną lub drugą stronę od długiego wału pędzanego ze stożkowymi kołami zębatymi. Napęd odbywa się obecnie przeważnie zapomocą silników elektrycznych. Przenośnik jest umieszczony pod podłogą tak, iż bębny wystają na 20—30 mm z pomiędzy przykrywających je płyt.

Przenośniki bębnowe mogą być przesuwane wzdłuż walcarek. Na rys. 100 mamy walcarkę 925 mm, opatrzoną takim przenośnikiem.

Bałwanka i kęsy małej wagi bywają niekiedy podawane z pieca do walcarek ręcznie. Są one wyciągane z pieca kleszczami i odrzucane ręcznie do walców, gdzie je podchwytuje walcownik, lub też są przenoszone zapomocą kleszczy zawieszonych u kółek kolejki powietrznej, łączącej piec z walcarką. Taką kolejką służy do przenoszenia żelaza walcowanego wzdłuż walcarki od jednej klatki do drugiej.

Żelazo po wyjściu z walców podlega różnego rodzaju wykończaniu.



Rys. 100. Przenośnik przesuwany.

Żelazo, od którego wymagana jest twarda i lśniąca powierzchnia, przepuszcza się prawie zimne przez ostatni wykrój walców. Silne ciśnienie i powolny ruch obrotowy sprzyja wygładzaniu.

Żelazo handlowe po wyjściu z walców prostuje się młotami drewnianymi na prawidle, złożonem z żelaznych płyt struganych, lub też cienkie pręty podrzuca się wielokrotnie i pozostawia na prawidle do ostygnięcia.

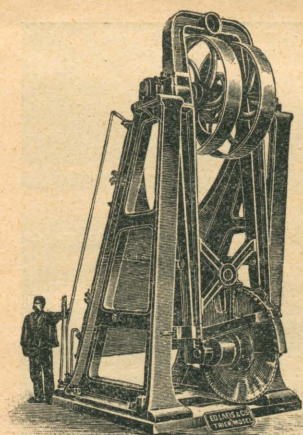
Kurczenie się materiału przy stygnięciu, szczególnie przy przekrojach różnej grubości, wywołuje wykrzywianie się kształtowników, czemu należy zapobiedz. Do równomiernego stu-

dzenia ze wszystkich stron żelaza grubego, mającego kształt prawidłowy służą chłodnie, czyli belkowania, złożone z szyn kolejowych, ustawionych na wysokości około 1 m nad podłogą. Przy chłodzeniu szyn kolejowych, w których główka stygnie wolniej niż stopa, zapobiega się wykrzywianiu przez układanie gorących szyn rzędami w ten sposób, aby stopa jednej szyny przylegała do główki innej. Wreszcie przy grubszych przekrojach gotowe żelazo prostuje się na zimno w prostownicach przez przyciskanie do nieruchomych opór zapomocą tłoczni mimośrodkowej. Prostownice do blachy urządzone są w sposób odmienny. Przez kilka walców naprz. 5 albo 7, ustawianych w dwa rzędy, na dowolnej odległości od siebie, przepuszcza się blacha naprzemian w kierunkach odwrotnych. Walce

stopniowo zbliżają się do siebie, przez co blacha się wyprostowuje.

Pręty, sztaby i kształtowniki są obcinane na miarę na zimno lub na gorąco zapomocą nożyc, albo pił tarczowych. Końce szyn kolejowych i kształtowników są wyrównywane na frezarkach. Na rys. 101 mamy piłę wahadłową, dosuwaną do żelaza ręcznie lub siłą mechaniczną.

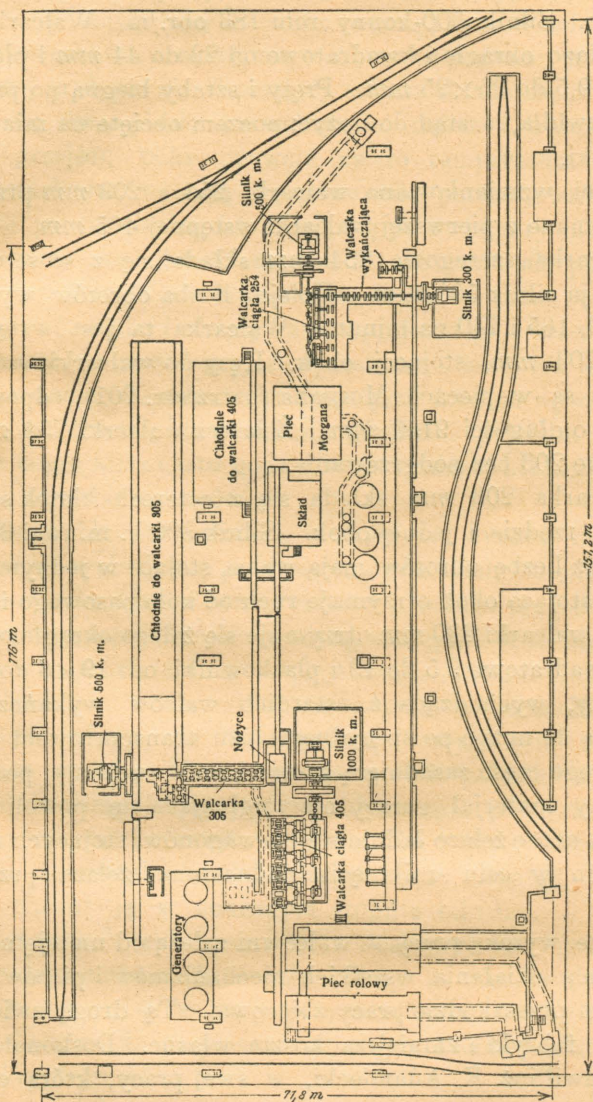
Cienkie płaskowniki i bednarka zwijane są w wiązki na zwijarkach, a drut w zwoje na motowidłach.



Rys. 101. Piła wahadłowa.

Rys. 102 przedstawia plan nowoczesnej walcowni amerykańskiej dla żelaza handlowego. Jako materiał początkowy służy bałwanka o przekroju 102×102 mm i długości 1830—3660 mm. Bałwanka zapomocą wsadzarek elektrycznych jest ładowana do dwóch pieców płomiennych o biegu ciągłym, ogrzewanych gazem generatorowym, i po rozgrzaniu wychodzi z okna wysadowego, znajdującego na przeciwnym końcu pieca. Po przenośniku bębnowym przesuwana się ona do walcarki szeregowej, złożonej z sześciu klatek walcowych, stojących jedna za drugą. Wszystkie walce mają średnice 405 mm i robią kolejno 16, 23, 40, 52, 80 i 100 obrotów na minutę. Walcarka jest poruszana silnikiem elektrycznym mocy 1000 k. m. Bałwanka może być przewalcowywana do wymiarów 32—57 mm.

Żelazo z walcarki szeregowej przebiega po przenośniku bębnowym do parowej piły tarczowej. Grube żelazo handlowe po wyrównaniu końców na pile przesuwają się do chłodni. W innym wy-



Rys. 102. Plan nowoczesnej walcowni amerykańskiej.

padku pila służy do rozcinania żelaza, otrzymanego z walcarki wstępnej na kęsy, które przenosi się na skład przed piecami grzewczymi dla drobnych walcarek wykańczających 203 i 254 mm, albo

też przesuwają się bezpośrednio w kierunku poprzecznym do walcarki 305 mm.

Walcarka 305 mm składa się z sześciu klatek, z których pięć stoi w jednym rzędzie i jedna z boku. Wszystkie klatki mają po trzy walce. Silnik 300-konny robi 183 obr./m. Walcarka ta dostarcza żelazo okrągłe i kwadratowe od 22 do 44 mm i płaskowniki od $38 \times 9,5$ do 95×25 mm. Pręty i sztaby biegną po przenośniku do prawidła, a stąd do nożyc; poczem obcięte na miarę wiążą się w snopki.

Wyżej wzmiankowane walcarki 254 i 203 mm przerabiają kęsy otrzymane z pierwszej walcarki wstępnej 405 mm.

Walcarka szeregowa 254 mm składa się z sześciu klatek. Obsługuje ją silnik 500 k. m. Kolejna liczba obrotów wynosi 33, 47, 77, 109, 165 i 240 na minutę. Walcarka ta jest wstępną dla walcarki 203 mm, stojącej obok. Kęsy do walcarki szeregowej ogrzewane są w piecach Morgana (patrz str. 201), odpowiednich dla kęsów o długości 9150 mm. Żelazo z walcarki 254 mm idzie na walcarkę 203 bez podgrzewania.

Walcarka 203 mm składa się z czterech klatek stojących w jednym rzędzie i jednej obok. Silnik 300 k. m. robi 366 obrotów, i takąż liczbę obrotów mają walce, stojące w jednym rzędzie. Walcarka stojąca obok otrzymuje ruch od koła pasowego i robi 450 obr./m. Z walcarki 230 mm otrzymuje się żelazo okrągłe od 9,5 do 22 mm, kwadratowe 9,5 do 19 i płaskowniki od 19×6 do $38 \times 9,5$ mm. Pręty, wychodzące z ostatnich walców wykańczających, przebiegają do nożyc po specjalnem łożu transportowem długości 76 m, którego część zasadniczą stanowi ruszt ruchomy, po którym przesuwany materiał gorący nie wyginając się powoli ostyga. Obcięte na miarę żelazo ładuje się do wagonów, stojących na torze, wgłębionym w celu uniknięcia podnoszenia żelaza przy ładowaniu.

Dobre wyniki pracy w walcowni zależą od umiejętnego skoordynowania działania wszelkich mechanizmów i pieców, aby nie stało na przeszkodzie pracy zbiorowej. Tą drogą zwiększa się wydajność fabryki i zmniejsza koszt własne. Doskonale sprawę tę przedstawił inż. K. Adamiecki, w swej pracy, którą cytujemy niżej.

Gruba blacha pancerna, kotłowa i zbiornikowa walcuje się z płaskich bloków stalowych, blacha zaś cienka walcuje się z kęsów płaskich—placków, otrzymywanych na walcach kalibrowanych wal-

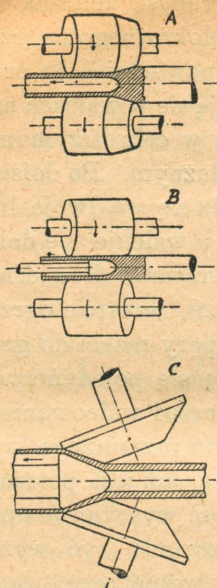
carek wstępnych. Żelazo, mające przy małej grubości znaczną powierzchnię, stygnie prędko, wymaga więc wielokrotnego nagrzewania. Placki szerokości 150 mm i długości, odpowiedniej do projektowanej wagi arkuszy, po rozgrzaniu walcują się w walcach nastawnych, początkowo w kierunku poprzecznym w celu otrzymania żądanej szerokości, a następnie w kierunku podłużnym. Po dojściu do pewnej grubości (5—6 przejść), arkusz składa się we dwoje lub składa się dwa placki rozwalcowane razem i walcuje się dalej (3—4 przejść), póki pozwala na to temperatura. Powtórnie ogrzane arkusze walcują się ponownie parami, wreszcie ogrzewają się po raz trzeci i walcują się po dwie pary razem do grubości ostatecznej. Ażeby zapobiedz spawaniu się pojedynczych arkuszy ze sobą podczas walcowania, należy je przed walcowaniem przesypywać cienką i równą warstwą mielonego i przesianego węgla, albo też walcować przy temperaturze niższej niż jest potrzebna do spawania. Blacha walcowana przy niedość wysokiej temperaturze jest krucha, i dla nadania giętkości powinna być wyżarzona w ciągu kilkunastu godzin w skrzyniach hermetycznie zamkniętych i powoli ostudzona.

Cienka blacha angielska, służąca do wyrobu blachy białej (cynowanej), walcuje się przy pięciu ogrzaniach kolejnych.

Na Uralu blacha walcowana z placków, przy trzech ogrzaniach, w pierw w pojedynkę i dwójkę, następnie w trójkę i czwórkę podlega w celu ostatecznego wykończenia nowemu ogrzaniu i kuciu pod młotami wodnymi lub parowymi w stosach złożonych z 35 — 60 arkuszy aż do zupełnego ostygnięcia. Cechą wyróżniającą uralską blachę dachową od południowo-rosyjskiej i zachodnio-europejskiej jest jej błyszcząca powierzchnia która powstaje wskutek tworzenia się cieniutkiej warstwy tlenków żelaza. Warstwa ta nie tylko nadaje blasze piękny wygląd, lecz jednocześnie chroni ją w znacznym stopniu od rdzy.

Walcowanie rur oparte jest na zasadach innych i do właściwego walcownictwa nie należy. Rury ze szwem są wyrabiane z blachy, zwiniętej w rurę, przyczem brzegi blachy są spawane. Walce służą tu do przyciskania brzegów i nadawania rurze przekroju okrągłego.

Istnieje kilka sposobów wyrobu rur bez szwu. Przy sposobie braci Mannesmannów (rys. 103) okrągłe kłoc żelazne przepuszczają się przez stożki lub walce, których osi są ukośnie względem siebie postawione, lecz leżą w płaszczyznach równoległych. Nastę-



Rys. 103. Sposób mannesmanowski walcowania rur.

puje zdzieranie z powierzchni materiału, posuwającego się dalej po spirali, i w ten sposób kłoc cylindryczny otrzymuje przekrój pierścienia kołowego. Szkice A, B i C przedstawiają kolejną ewolucję powyższego sposobu. Największa sprawność otrzymuje się przy wałkach stożkowych C kształtu grzyba. Wałki wciskają z wrastającą szybkością obwodową rozżarzony materiał plastyczny na trzpień stożkowy, wskutek czego otrzymuje się rura o większej średnicy, niż miało żelazo, z którego się walcuje. Przy stosowaniu trzpienia otrzymuje się gładszą powierzchnia wewnątrz rury.

Przy sposobie Erhardta, w kłocu przebija się pod młotem parowym okrągły otwór. Przedziurawiony kłoc przepuszcza się w zwyczajnych walcach na trzpieniu przez szereg zmniejszających się wykrojów, w celu otrzymania właściwej średnicy.

Rury małych średnic otrzymują się przez ciągnięcie na zimno rur walcowanych, podobnie jak drut, który może być walcowany tylko do 4 mm grubości.

Literatura: Adamiecki K. Metoda wykreślna organizowania pracy zbiorowej w walcowniach. Przegląd Techniczny. 1909. №№ 17—21.

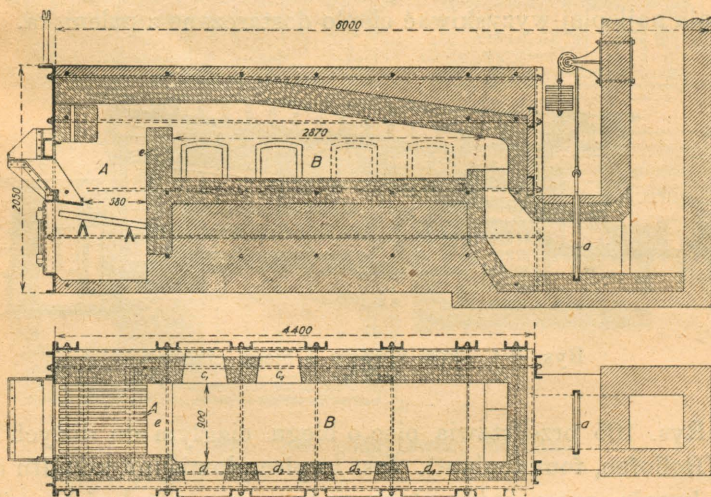
Tolstow N. Wydzielka listowego krowielnago żelaza po uralskomu sposobu. 1911. (Monografia wyczerpująca).

Bousse A. Die Fabrication nathloser Stahlrohre. 1908.

Piece grzewcze.

Żelazo przed walcowaniem ogrzewa się w piecach płomien-
nych różnego rodzaju, lub w tak zwanych jamach grzewczych
Gjersa.

Piece płomienne noszą nazwę *zgrzewnych*, o ile służą do
ogrzewania kęsów, otrzymywanych z walcarek wstępnych i złożo-
nych w snopce. Nazwa ta była stosowana przeważnie wówczas,
gdy żelazo walcowano z materyału pudlarskiego. Piece do nagrze-
wania zimnych bloków stalowych noszą nazwę *żarowych*. Gdy
blok częściowo rozwalcowany, albo bałwanka, ostygła podczas wal-
cowania tak dalece, iż jednym zagrzaniem skończyć walcowania



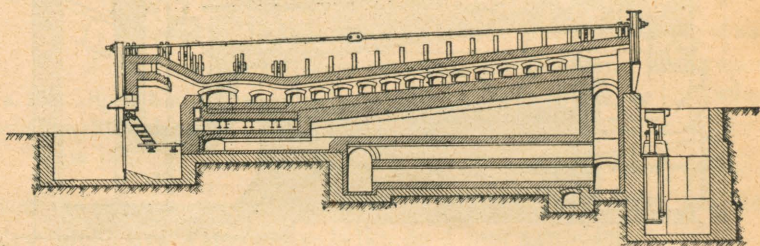
Rys. 104. Piec zgrzewny

nie można, należy je ponownie ogrzać w piecach *podgrzewczych*.
Piec zgrzewny powinien posiadać temperaturę wyższą niż żarowy,
gdyż w pierwszych materyał ma być doprowadzany do stanu pla-
styczności najwyższej. W piecach podgrzewczych unikać należy
atmosfery utleniającej, aby zmniejszyć stratę żelaza przez spa-
lanie.

Piec zgrzewny, żarowy i podgrzewczy często nie różnią się
budową i służyć mogą jednakowo dobrze do wszystkich celów po-
wyższych. Stąd też każda z tych nazw jest stosowana dowolnie.

Temperatura w piecu zależy od powierzchni rusztów, albo od ilości opału zużytego w jednostkę czasu. Atmosfera utleniająca lub obojętna zależy od ilości powietrza, wprowadzanego do spalania.

Typ pieca płomiennego, stosowanego do bloków pudlarskich i do bałwanek średniej wielkości przedstawia rys. 104. Piec jest opalany z paleniska rusztowego. Przestrzeń robocza posiada kilka okien, najczęściej umieszczanych z jednej strony. Bloki lub kęsy ładuje się przez okno najbliższe do czopucha i posuwa w kierunku odwrotnym do ruchu spalin ku oknu wysadowemu przy palenisku. W ten sposób żelazo styka się najpierw ze spalinami najmniej gorącymi i ogrzewa się stopniowo przez gazy coraz gorętsze, względnie przez płomień, który działa na nie najmocniej przy progu ogniowym przed wysadzeniem z pieca. Piec taki o biegu ciągłym pozwala najlepiej wyzyskiwać ciepło dostarczane z paleniska.

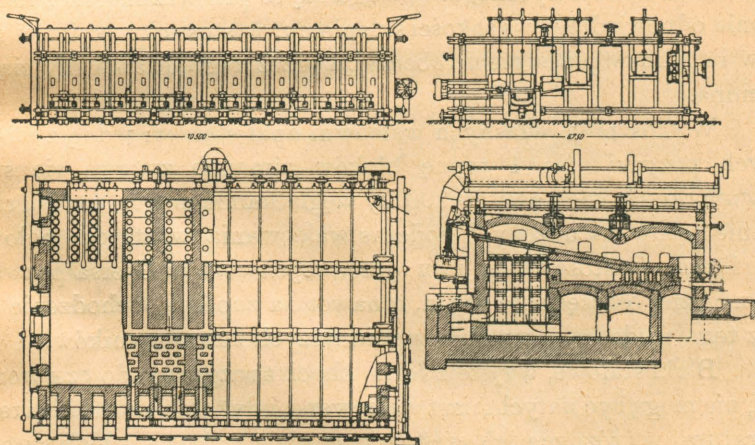


Rys. 104. Piec żarowy o biegu ciągłym.

Rys. 105 przedstawia piec o biegu ciągłym do dużych bloków (Rollofen, four roulant). Jest to piec płomienny kształtu drugiego kanału, przez który płyną gazy gorące z paleniska półgazowego lub z generatora. Często stosowana jest regeneracya do ogrzewania powietrza. Trzon pieca przedstawia płaszczyznę pochyłą w stosunku 1 : 10 a nawet 1 : 6. W szczycie pieca znajduje się okno wsadowe. Wzdłuż pieca na poziomie trzona są otwory do kantowania lub przetaczania bloków kosturami w kierunku progu ogniowego, przy którym są umieszczone okna wysadowe. Długość użyteczna trzona dochodzi do 15 m, szerokość do 3 m. Ciepło spalin wychodzących z pieca używane jest niekiedy do ogrzewania kotłów parowych. Bloki ładują się do pieca zapomocą wsadzarek hydraulicznych lub elektrycznych, do których są dowożone na wózkach z pomostami wywrotnymi. Wskutek silnego pochylenia

trzonu bloki dają się łatwo przesuwac przez kantowanie. Powietrze, ogrzane przez rekuperacyę pod trzonem pieca, wtłacza się pod ruszta dwoma inżektorami Körtinga i prócz tego dwiema rurami do komory nad paleniskiem półgazowym w celu zupełnego spalania gazów, z którymi powietrze wtórne styka się nad progiem między paleniskiem i przestrzenią roboczą pieca.

Piec Morgana o biegu ciągłym z rekuperacyą przedstawia rys. 106. Sklepienie jest zawieszone na trzech mocnych dwuteownikach. W ciągu godziny przesuwają się przez piec 13 tonn kęsów grubości 37 do 57 mm i długości 9 m. Gazu dostarczają trzy generatory o średnicy 2,5 m. Na jedną tonnę kęsów zużywa



Rys. 106. Piec podgrzewczy Morgana.

się około 100 kg węgla kamiennego. Powietrze, pędzone za pomocą wentylatora, przechodzi przez przestrzeń pomiędzy sklepieniem i płaszczem z blachy falistej, a ogrzane tam do 75°C ., wchodzi do rekuperatora. Po przejściu przez szereg rur z żelaza lanego, ogrzewanych spalinami, powietrze dochodzi do pieca, gdzie się miesza z gazem. Przy wejściu do pieca gaz i powietrze posiadają temperaturę około 475°C ., spaliny przy wejściu do rekuperatora mają 1000°C ., a przy wejściu do komina 280°C . Trzon w górnej części przy oknie wsadowem składa się z rur żelaznych lanych, chłodzonych wodą, dalej zaś rury te są obmurowane. Trzon buduje się z cegły magnezytowej, przeto żużel wcale się na nim nie tworzy. Pochylenie trzonu wynosi 1 : 6.

Stosowane są również piece gazowe Siemens'a z regeneracją. Wobec peryodycznie zmienianego kierunku gazów temperatura w całym piecu jest jednakowa, i ciągłości w biegu pieca zachować nie można. Ładowanie pieca odbywa się tu po całkowitem prze-walcowaniu poprzednio wygrzanego naboju.

Wymagania szczególne stawiane są piecom grzewczym do blachy dachowej. Płomień nie powinien być utleniającym, przeto ilość dostarczanego do spalania powietrza nie powinna przekraczać ilości teoretycznej, gdyż żelazo będzie się utleniać i otrzymuje się wiele materiału wadliwego. Piece te pracują przy oknach otwartych lub często otwieranych, chcąc więc uniknąć dopływu przez nie powietrza, należy utrzymywać w całym piecu ciśnienie wyższe od atmosferycznego. Osiąga się to przeważnie przez nadawanie odpowiedniej wysokości sklepieniu, w stosunku do ilości gazów i spalin w przestrzeni roboczej, i przez regulowanie siły ciągu komina.

W kosztach własnych walcowni opału stanowi jedną z większych pozycji. Na 1 tonnę bloków zimnych zużywa się stosownie do ich wielkości do 190 kg węgla kamiennego; na dogrzewanie kęsów, ostudzonych podczas walcowania wystarcza połowa tej ilości. Zastosowanie *jamy grzewczych* ustroju Gjersa pozwala na znaczną oszczędność opału, a nawet na zupełne obchodzenie się bez tego wydatku przy walcowaniu dużych kształtowników.

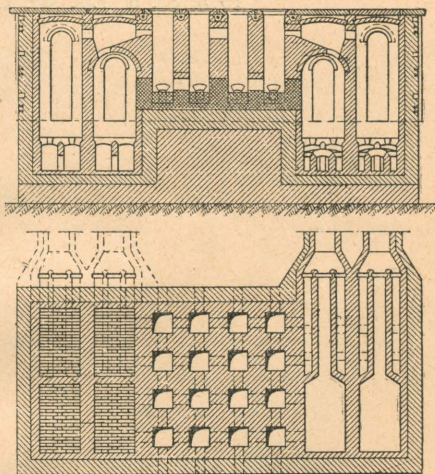
Bloki stalowe, wyjęte z form, chociaż rozgrzane do czerwoności, nie mogą być natychmiast walcowane, gdyż stan skupienia i temperatura w różnych ich częściach są niejednakowe, i blok stężały na powierzchni zawierać może wewnątrz masę płynną. Należy zaznaczyć, że blok nierównomiernie ogrzany daje przy walcowaniu materiał wadliwy. Ilość jednak ciepła, zawartego w całym bloku po wyjęciu z formy, często przekracza tę ilość ciepła, jaka jest potrzebna do jego ogrzania do stanu niezbędnej plastyczności. Wynalazek Gjersa polega na tem, iż gorące bloki, umieszczone po wyjęciu z form w przestrzeni zabezpieczonej od straty ciepła, po pewnym czasie otrzymują temperaturę jednakową w całej masie; ponieważ nadmiar ciepła, zawartego wewnątrz, przechodzi do powierzchni, przeto całość otrzymuje temperaturę wystarczającą do przewalcowania bloka.

W celu uniknięcia strat przez promieniowanie, jamy grzewcze buduje się w kształcie studzienek niżej poziomu posadzki. Kilka szeregów studzienek, o przekroju i wysokości mało większych niż

mają bloki, są murowane z cegły ogniotrwałej. Każda studzienka jest zamykana pokrywą ze złego przewodnika na poziomie podłogi. Bloki, wyjęte z form, możliwie prędko po odlaniu, przenosi się ze stalowni i umieszcza się w studzienkach. Po półgodzinnem, mniej więcej, przebywaniu w jamie grzewczej, bloki z temperaturą wyrównaną są wyjmowane i podawane do walcarek. Bloki powinny być umieszczane w studzienkach uprzednio dostatecznie rozgrzanych. Nagrzewanie jam odbywa się zapomocą gorących bloków, rozgrzewanych w specjalnych piecach żarowych. Bloki te, oddając swe ciepło murom, rozgrzewają je do czerwoności. Raz puszczona w bieg jama grzewcza nie tylko nie stygnie, lecz nagrzewa się tak dalece, że służyć może od czasu do czasu do ogrzewania bloków ostudzonych znacznie niżej normy.

Idea pierwotna Gjersa (r. 1882) polegała na budowaniu studzienek nieogrzewanych, lecz praktyka wykazała wkrótce pewne niedogodności, w celu usunięcia których jamy grzewcze są opalane z zewnątrz. Tym sposobem powstały *piece wgłębne*. Ogrzewanie jam ułatwia puszczanie ich w bieg po przerwach świątecznych, pozwala dogrzewać w razie potrzeby bloki zimne i usuwać zbierający się na dnie żużel, zapobiegając jego krzepnięciu. Wybór sposobu ogrzewania jam przez stosowanie palenisk gazowych, półgazowych, regeneracyi i t. d., oraz korzyści z tego wynikające zależą od wielu okoliczności. Wielkie znaczenie odgrywa tu odległość walcowni od stalowni, wymiary i szybkość dowozu bloków, otrzymywanie stali metodą bessemerowską lub martenowską, które się różnią nierównomiernością produkcji w jednakowych odstępach czasu i t. d.

Piec wgłębny, ogrzewany gazami wielkopieczowymi i opatrzone regeneratorami Siemens'a przedstawiony jest na rys. 107. Gazy i powietrze wchodzi to z jednej, to z drugiej strony przez grupę



Rys. 107. Jamy grzewcze Gjersa.

złożoną z czterech studzienek, krążąc przy jednej studziencie od góry do dołu, przy następnej od dołu do góry. Studzienki są tak zbudowane, że spody grup środkowych znajdują się na poziomie wyższym, a to w tym celu, żeby powstający żużel mógł odpływać po pochyłości do kadzi. Strata żelaza w żużlu wynosi tu 1,5 — 2%, zaś przy jamach nieogrzewanych 1—1,25%. Ogrzewanie stosuje się tylko w razie potrzeby, zwykle zaś tylko do rozgrzewania pieca przed puszczeniem go w bieg.

Literatura: Ueber den heutigen Stand der Wärm- und Glühofen.
St. u. Eisen. 1914 №№ 17, 21, 24.

Schruff F. Ueber den heutigen Stand der Tiefofenfrage.
1913. St. u. Eis. str. 1104, 1143.



BIBLIOTEKA
GŁÓWNA



AKADEMII
GÓRNICZO
HUTNICZEJ

115519

BC

Nie

wypożycza się

NZB 18789