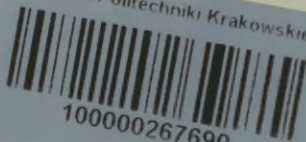


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000267690





WYKŁAD  
TECHNOLOGII METALI





BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA TOM XXVI.

---

STANISŁAW ANCZYC

PROFESOR SZKOŁY POLITECHNICZNEJ WE LWOWIE.

WYKŁAD  
TECHNOLOGII METALI

CZEŚĆ I: MATERIAŁY.

□ LWÓW — GUBRYNOWICZ I SYN □  
WARSZAWA — GEBETHNER I WOLFF

1913.



~~III 15413~~

II - 338593

KRAKÓW — DRUK W. L. ANCZYCA I SPÓŁKI.

7-476/2012

Abc. Nr.

~~5543/50~~





## SŁOWO WSTĘPNE.

Sposób nauczania technologii metali w wyższych zakładach doznał w ostatnich latach zasadniczej zmiany\*). Zamiast programu, obejmującego dawniej ile możliwości całość przemysłu metalowego, ograniczono się do *technologii budowy maszyn*, jako nauki podstawowej dla każdego inżyniera maszynowego. Porzucono też dawny kierunek nauki dążący do *nauczenia* procesów przeróbki przez dokładne i drobiazgowo ich opisywanie — cel zawsze chybiony, bo rzeczy tej abstrakcyjnie niepodobna uczyć, a praktyka fabryczna o wiele szybciej do niego prowadzi. Natomiast zwrócono uwagę na potrzebę obszernego i dokładnego zajęcia się własnościami przerabianych materiałów, bo znajomość ich, niezbędna w praktyce fabrycznej, nie da się później należycie przyswoić bez dostatecznych podstaw ze szkoły. Dzięki pracy znakomitych metalurgów i metalografów znajomość budowy i fizycznych własności metali, procesów ich przeróbki, zmian jakim w niej podlegają i t. d. przedstawia się dziś zupełnie inaczej niż choćby przed 10 laty, i szkoły wyposażone w laboratoria i odpowiednie naukowe środki mogą o wiele skuteczniej i ściślej wpoić w ucznia znajomość materiału niż praktyka, która tylko stwierdza zmiany, ale nie ma czasu szukać u podstaw ich przyczyn. Dlatego nauka o materiałach, a przede wszystkim o żelazie, stała się podstawą dzisiejszego wykładu technologii mechanicznej metali.

\*) St. Anzyc, O nauce technologii w szkołach politechnicznych, Przegląd techniczny (Warszawa) 1912, str. 105.

Inne jej działy, a więc procesy *przeróbki* (odlewnictwo, kuźnictwo, obróbka narzędziami strużącemi) są dziś w ten sposób traktowane, że w wykładzie podaje się ich *zasady*, wyprowadzając je z własności materiału i zastanawiając się jak one nań działają; przyrządy, maszyny i urządzenia przedstawia się najpierw schematycznie dla wytłomaczenia ich działania, możliwości porównania ze sobą, wykazania ich zalet i braków, wyrozumowania kiedy i dlaczego mają być stosowane i t. d., a następnie na wzorowych, bezpośrednio z praktyki wziętych typowych przykładach, przechodzi się do treściwego ich opisu. Wykład opiera się na demonstracyi materiałów w stanie surowym i w różnych okresach przeróbki, narzędzi, przyrządów i t. p. na prawdziwych okazach (nie na zmniejszonych modelach i imitacyach z innego materiału), a większe maszyny i całe urządzenia fabryczne pokazuje się na obrazach projekcyjnych, ze zdjęć robionych w fabrykach na miejscu pracy.

Wykład powinien się opierać, — o ile jest to możliwe, na ćwiczeniach i demonstracyach w pracowni szkolnej i na wycieczkach do zakładów przemysłowych.

Na tych zasadach oparte są moje wykłady w lwowskiej Politechnice, których część I obecnie wydaję, a dalsze przygotowuję do druku. Rozpoczyna ją rozdział: *Materyały*, omawiający metale używane w budowie maszyn, ich własności i zmiany w czasie przeróbki, ważne dla procesów technologicznych; szczególnego uwzględnienia doznać tu musiało żelazo, metal najważniejszy w budowie maszyn. Rozdział II obejmuje *Zarys hutnictwa żelaza*, który nie ma na celu nauczania metalurgii, nauki odrębnej, wchodzącej w zakres studyów chemika-metalurga, ale przedstawia treściwie zasady procesów i urządzeń hutniczych dla dania niezbędnie potrzebnej inżynierom maszynowym znajomości powstawania materyałów, którymi operują, a zarazem wytłumaczenia wpływu tych procesów na własności, zachowanie się w przeróbce i możliwość stosowania wyrobionych materyałów przy konstrukcyi maszyn.

Ponieważ zrozumienie procesów technologicznych opiera się na badaniu ustroju metali, posługiwałem się bardzo często mikro- i makrofotografiami, wykresami stygnięcia stopów i t. d.,

wprowadzając konieczne dziś dla inżyniera maszynowego zasadnicze wiadomości z metalografii. Dodałem również ustęp o mechanicznem badaniu materiałów, opisujący w krótkim zarysie zasady tego badania, konieczne dla zrozumienia własności omawianych materiałów.

W literaturze naszej wcale jeszcze niema nietylko podręczników z zakresu tak pojętej technologii metali, ale wogóle nie pisze się prawie o nowszych zdobyczach tej nauki. Nawet w literaturach narodów posiadających na polu metalurgii i metalografii znakomite prace a w prasie peryodycznej liczne i doskonałe artykuły z zakresu przeróbki metali, nie znam dzieła dającego kompletną i treściwą syntezę tych prac dla użytku zawodowo pracujących inżynierów. Dlatego sądzę, że wydaniem tej części moich wykładów przysłużę się nietylko uczniom lwowskiej szkoły ale także starszym inżynierom, którzy dawniej studia ukończyli i nie mieli sposobności ich odświeżyć i uzupełnić.

*Autor.*



## SPIS TREŚCI.

	Str.
Słowo wstępne . . . . .	III
Spis rycin . . . . .	XII
Literatura . . . . .	XV
Skrócenia . . . . .	XVI
Oznaczenia . . . . .	XVI

### I. MATERIAŁY.

<b>1. Żelazo węgliste i jego własności</b> . . . . .	3
Żelazo w ogólności 3. Postać węgla w żelazie 4. Surowiec żelaza 13. Domieszki w surowcu 16. Żelazo kujne 19. Zgrzewalność 19. Wytrzymałość 19. Struktura 21. Hartowność 22. Wpływ ogrzania 26. Obróbka zimna 28. Inne własności żel. kujnego 31. Własności elektryczne i magnetyczne żelaza 31. Domieszki w żelazie kujnem 33. Rdzewienie 37.	
<b>2. Inne metale</b> . . . . .	39
Miedź 39. Cyna 42. Cynk 44. Ołów 44. Antymon 44. Nikiel 45. Glin 45. Magnez 46. Mangan 46. Chrom 46. Wolfram 47. Wanad i molybden 47.	
<b>3. Stopy w ogólności</b> . . . . .	48
Stopy właściwe, ich budowa i własności 48. Stopy mieszane i ubijane 57. Podział stopów 58.	
<b>4. Stopy żelaza</b> . . . . .	59
Stopy żelaza w ogólności 59. Struktura perlityczna 59. Struktura martenzytyczna 59. Struktura polyedryczna 60. Stopy z niklem 61. Stopy z manganem 64. Stopy z chromem 67. Stopy z wolframem 69. Stopy z molybdenem 69. Stopy z wanadem 70. Stopy z tytanem i glinem 71. Stopy z krzemem 71. Stopy wielokrotne 73. Stopy z niklem i manganem 73. Stopy z niklem i chromem 73. Stopy z niklem i wanadem 75. Stopy niklowo - chromowo - wanadowe 75. Stopy chromowo - wana-	

	Str.
dowe 75. Stopy z niklem i wolframem 76. Stopy z niklem i molybdenem 76. Stopy wielokrotne narzędziowe 76.	
<b>5. Stopy miedzi</b> . . . . .	79
Stopy z cyną (bronzy) 79. Stopy z cynkiem (mosiądz) 83. Stopy z glinem 86. Stopy z niklem 87.	
<b>6. Stopy białe</b> . . . . .	89
W ogólności 89. Stopy cyny z antymonem i miedzią 90. Stopy ołowiu z antymonem 91. Stopy cynku: 1) z cyną i antymonem, 2) z cyną i miedzią 91. Stopy glinu 92. Stopy do odlewów precyzyjnych 92. Luty 93. Stopy o niskiej temp. topliwości 93. Stopy mieszane 93.	
<b>7. Stopy lekkie</b> . . . . .	95
W ogólności 95. Stopy glinu 96. Stopy z miedzią 97. Stopy z cynkiem 98. Stopy ze srebrem i dodatkami 100. Stopy z kobaltem i wolframem 100. Stopy z żelazem 101. Stopy magnezu 101.	
<b>8. Badanie materyałów</b> . . . . .	102
W ogólności 102. Badania chemiczne 105. Badania metalograficzne 105. Badania mechaniczne 108. Badania dynamiczne 113. Badania ciągłe 115. Twardość 116. Skleroskop 119. Obrabialność 119. Próby technologiczne 120.	

## II. ZARYS HUTNICTWA ŻELAZA.

<b>1. Wyrób surowca</b> . . . . .	127
Rudy żelaza 127. Przygotowanie rudy 130. <b>Złoże, topniki i żużel</b> 132. <b>Paliwo</b> 133. Węgiel drzewny 134. <b>Koks</b> 134. <b>Powietrze</b> 138. <b>Miechy</b> 138. Ogrzewanie powietrza 139. Osuszanie powietrza 141. <b>Wielki piec</b> 142. Proces wytapiania 144. Redukcyja 145. Nawęglanie 146. Konstrukcyja pieca wielkiego 147. Chłodzenie 152. Doprowadzanie powietrza 153. Spusty 154. Zasilanie pieca i chwytanie gazów 154. <b>Elektryczne wytapianie surowca</b> 161. <b>Wytwory wielkiego pieca</b> 165. Surowiec żelaza 165. Mieszalnik 168. <b>Żużel</b> 170. Gazy z wielkiego pieca 172. Czyszczenie gazów 173. Inne produkty pieca 177.	
<b>2. Wyrób żelaza kujnego</b> . . . . .	179
W ogólności 179. <b>Wyrób żelaza wprost z rud</b> 180. <b>Wyrób żelaza zgrzewanego</b> 181. Metoda fryszerska 181. Metoda pudlarska 182. <b>Wyrób żelaza zlewnego</b> 185. Metody naczyniowe 186. Metoda Bessemerowska 187. Metoda Thomasowska 188. Metoda Siemens-Martina 191. Przy zastosowaniu starego żelaza 195. Przy zastosowaniu rudy 196. Inne procesy pokrewne 196 i 197. <b>Odlewanie żelaza zlewnego w bloki</b> 198. <b>Zmiany i wady w blokach</b> 200.	

	Str.
<b>3. Ulepszanie żelaza</b> . . . . .	209
Ulepszanie w stanie płynnym 209. Proces tyglowy 209. Stal damasceńska 211. Proces w piecu elektrycznym 213. Ulepszenie żelaza w stanie stałym 217.	
<b>4. Wyrób żelaza kujnego w stanie stałym</b> . . . . .	219
Kujna leizna 219. Stal cementowana 224.	
Skorowidz . . . . .	230

SPIS RYCIN

## SPIS RYCIN.

L.	Str.
1. Wykres tężenia i stygnięcia żelaza węglistego . . . . .	6
2. Perlit . . . . .	9
3. Ferryt . . . . .	10
4. Perlit w ferrycie . . . . .	10
5. Cementyt w perlicie . . . . .	11
6. Surowiec biały . . . . .	11
7. Martenzyt . . . . .	12
8. Surowiec szary . . . . .	12
9. Surowiec biały żarzony na kujną leiznę . . . . .	13
10. Wykres wytrzymałości i wydłużenia żelaza węglistego . . . . .	20
11. Krystalizacja żelaza . . . . .	22
12. Żelazo o strukturze grubokrystalicznej . . . . .	22
13. Wykres wytrzymałości stali odpuszczonej . . . . .	25
14 a, b. Struktura żelaza normalnego i przegrzanego . . . . .	26
15. Wykres wytrzymałości żelaza obrabianego na zimno . . . . .	28
16 a, b. Struktura żelaza normalnego i obrabianego na zimno . . . . .	28
17. Diagram wytrzymałości i wydłużenia żelaza obrabianego na zimno i żarzonego . . . . .	29
18. Odkształcenie wskutek zimnej obróbki . . . . .	30
19. Wpływ temperatury na wytrzymałość miedzi . . . . .	41
20. Miedź zanieczyszczona tlenkiem . . . . .	42
21. Wykres tężenia stopu antymonu i bizmutu . . . . .	51
22. Wykres tężenia stopu cyny i ołowiu . . . . .	52
23. Stop cyny i ołowiu . . . . .	53
24. Wykres tężenia stopu cyny i magnezu . . . . .	54
25. Wykres wytrzymałości stopu cyny i magnezu . . . . .	56
26. Struktura polyedryczna . . . . .	60
27. Wykres struktury stopów żelaza z niklem . . . . .	61
28. Wykres odporności dynamicznej stopów żelaza z niklem . . . . .	62
29. Wykres wytrzymałości żelaza niklowego i pudlarskiego . . . . .	64
30. Wykres struktury stopów żelaza z manganem . . . . .	65
31. Wykres twardości stali manganowej . . . . .	65
32. Wykres struktury stopów żelaza i chromu . . . . .	67
33. Wykres tężenia i stygnięcia stopów miedzi z cyną . . . . .	79
34 a, b. Bronz drobno i grubokrystaliczny . . . . .	82



L.	Str.
35. Wykres tężenia i stygnięcia stopów miedzi z cynkiem . . . . .	83
36. Wykres wytrzymałości twardego mosiądzu . . . . .	84
37. Wykres wytrzymałości twardego mosiądzu żarzonego . . . . .	85
38. Stop cyny z antymonem i miedzią (metal biały) . . . . .	90
39 a, b. Stop cyny z antymonem i miedzią wolno i szybko stężały . . . . .	91
40. Stop ołowiu z antymonem . . . . .	92
41. Wykres twardości stopu »Duralumin« hartowanego . . . . .	98
42. Wykres wytrzymałości stopów cynku z glinem przy różnej szybkości tężenia . . . . .	99
43. Schemat mikroskopu metalograficznego . . . . .	105
44. Struktura blachy kotłowej wadliwej . . . . .	106
45. Struktura żelaza przeciętego na zimno . . . . .	107
46. Struktura połączenia utworzonego przez zgrzewanie . . . . .	107
47. Struktura połączenia utworzonego przez stapianie . . . . .	107
48. Obraz iskier wytworzonych przy szlifowaniu stali . . . . .	108
49. Pręty do prób wytrzymałości . . . . .	109
50. Wykres natężeń i wydłużeń . . . . .	110
51. Zwężenie pręta przy rozrywaniu . . . . .	111
52. Działanie karbu . . . . .	114
53. Kształt sztabki do próby z karbem przez uderzenie . . . . .	114
54. Kształt sztabki do próby z karbem według Heyna . . . . .	115
55. Wykonanie próby Heyna . . . . .	115
56. Próba twardości zapomocą kulki . . . . .	117
57. Przyrząd Martensa-Turnera do badania twardości . . . . .	118
58. Próba technologiczna przez zginanie . . . . .	120
59. Próba techn. przez rozklepywanie . . . . .	121
60. Próba techn. przez przebicie . . . . .	122
61. Próba techn. przez rozcięcie . . . . .	122
62. Sortownik rudy Gröndala . . . . .	131
63. Piec koksowy Ottona . . . . .	135
64. Ubijanie węgla przed koksowaniem . . . . .	136
65. Przyrząd do wyciskania naboju z pieca koksowego . . . . .	137
66. Miechy tłokowe . . . . .	139
67. Miechy odśrodkowe . . . . .	139
68. Ogrzewacz powietrza . . . . .	140
69. Profil wielkiego pieca . . . . .	143
70. Szczegóły wielkiego pieca . . . . .	149
71. Szczegóły wielkiego pieca . . . . .	150
72. Zasilanie wielkiego pieca wózkami . . . . .	151
73. Zasilanie wielkiego pieca koszami . . . . .	152
74. Zamknięcie wielkiego pieca stożkiem Parryego . . . . .	156
75. Zamknięcie wielkiego pieca dzwonem Langena . . . . .	156
76. Zamknięcie wielkiego pieca przyrządem Van Hoffa . . . . .	157
77. Podwójne zamknięcie wielkiego pieca do zasilania wózkami . . . . .	158
78. Podwójne zamknięcie wielkiego pieca do zasilania koszami . . . . .	159
79. Schemat wielkiego pieca z urządzeniami pomocniczymi . . . . .	161

L.	Str.
80. Piec elektryczny do wytapiania surowca . . . . .	163
81. Mieszalnik . . . . .	169
82. Mieszalnik ogrzewany . . . . .	169
83. Oddzielnac suchy do pyłu w gazach z wielkiego pieca . . . . .	174
84. Płuczka Theisena . . . . .	175
85. Przyrząd filtrowy do oddzielania pyłu . . . . .	176
86. Piec fryszerski . . . . .	181
87. Piec pudlarski . . . . .	182
88. Żelazo pudlarskie z zawartością żużli . . . . .	184
89. Piec gruszkowy (Bessemera) . . . . .	187
90. Huta Thomasa . . . . .	190
91. Mały piec Bessemera . . . . .	191
92. Generator gazu Kerpely'ego . . . . .	192
93. Piec Siemens-Martina . . . . .	194
94. Huta Martina . . . . .	198
95. Forma dla bloków stalowych (Kokila) . . . . .	199
96. Kadź do odlewania bloków . . . . .	199
97. Urządzenie do odlewania żelaza w bloki . . . . .	200
98. Urządzenie do odlewania żelaza w bloki . . . . .	200
99. Przekrój wadliwego bloka żelaza . . . . .	201
100. Przekrój bloka porowatego . . . . .	202
101. Żużel w żelazie zlewnem . . . . .	202
102. Wykres zawartości składników w bloku . . . . .	203
103. Przekrój bloka wadliwego . . . . .	204
104. Przekrój dźwigara wadliwego . . . . .	205
105. Forma do bloków z nadlewkiem . . . . .	206
106. Forma do bloków z ogrzewaczem syst. Riemera . . . . .	207
107. Puszka termitowa do ulepszania żelaza w bloku . . . . .	207
108. Forma do odlewania bloków sposobem Harmeta . . . . .	208
109. Tygiel . . . . .	210
110. Piec tyglowy Siemens . . . . .	210
111. Stal damasceńska w nat. wielkości . . . . .	212
112. Stal damasceńska w powiększeniu . . . . .	212
113. Piec elektryczny Stassana . . . . .	213
114. Piec elektr. Heroułta . . . . .	214
115. Piec elektr. Giroda . . . . .	214
116. Szemat pieca elektr. Nathusiusa . . . . .	215
117. Szemat pieca elektr. Kjellina . . . . .	215
118. Piec elektr. Röchling-Rodenhausera . . . . .	216
119. Kujna leizna w stanie przeróbki . . . . .	220
120. Kujna leizna w gotowym stanie . . . . .	221
121. Piec do wyrobu kujnej leizny . . . . .	224
122. Stal cementowana . . . . .	226
123. Wykres wpływu temperatury i czasu na cementowanie . . . . .	227
124. Piec do cementowania . . . . .	228



## LITERATURA.

»Wykład technologii metali« cz. I. opiera się głównie na peryodycznym piśmiennictwie technicznym a przede wszystkim na licznych rocznikach czasopism:

Internationale Zeitschrift für Metallographie (Berlin).

Metallurgie (Halle n. S.).

Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt Gross-Lichterfelde (Berlin).

Mitteilungen aus dem Eisenhüttenmännischen Institut der Tech. Hochschule Aachen (Halle n. S.).

Stahl und Eisen (Düsseldorf).

Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure (Berlin).

Dziela, z których korzystano przy ułożeniu książki, są następujące:

Geiger, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei t. I. Berlin 1911.  
Gemeinfassliche Darstellung des Eisenhüttenwesens, Düsseldorf 1912.

Goerens, Einführung in die Metallographie, Halle n. S. 1906.

Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute, Berlin 1910.

Ledebur, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Lipsk 1906—1908.

Mars, Die Spezialstähle, 1912.

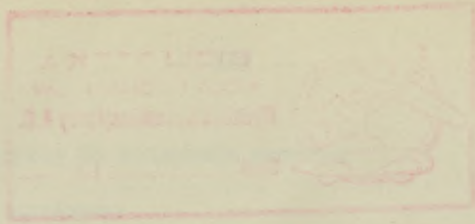
Martens, Handbuch der Materialienkunde, cz. I. Berlin 1898.

Martens-Heyn, j. w., cz. II A. Berlin 1912.

Wawrziniok, Handbuch des Materialprüfungswesens, Berlin 1908.

Wüst, Legier- und Lötkunst, Lipsk 1908.

Źródła, odnoszące się do poszczególnych zagadnień, podane są w tekście.



## SKRÓCENIA

JAKICH UŻYWANO W TEKSCIE:

- Ding.: Dingers polytechn. Journal.  
M. G. L.: Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt, Gross-Lichterfelde.  
M.-H. II A: Martens - Heyn, Handbuch der Materialienkunde, cz. II A. Berlin 1912.  
Met.: Metallurgie.  
Mitt.: Mitteilungen aus dem Eisenhüttenmännischen Institut der Tech. Hochschule Aachen.  
St. u. E.: Stahl und Eisen.  
Z. f. M.: Internationale Zeitschrift für Metallographie.  
Z. d. V.: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
- 

## OZNACZENIA.

- K. m.: koń mechaniczny.  
Kz: wytrzymałość na rozciąganie u granicy wytrzymałości (przy rozerwaniu).  
ε: wydłużenie procentowe pręta przy rozerwaniu.  
Temperatura rozumiana w stopniach Celsiusa.
-

## I. ŻELAZO WĘGLOWE I JEJĄ WYSSADKI

# I. MATERIAŁY



## I. ŻELAZO WĘGLISTE I JEGO WŁASNOŚCI.

**Żelazo w ogólności.** Żelaza chemicznie czystego nie używa się w przemyśle, raz dlatego, że procesy metalurgiczne nie pozwalają wytworzyć go i tylko w laboratoriach chemicznych można je otrzymać \*), powtórę, że mechanicznych własności, dzięki którym żelazo staje się materiałem tak niezmiernie cennym dla techniki, nabywa ono przez domieszki innych ciał i bez nich byłoby metalem technicznie mało wartościowym. Nadto znajdują się w niem także przymieszki szkodliwe, nie dające się usunąć w procesach metalurgicznych, które obniżają jego dobre własności mechaniczne. Najważniejsze przymieszki żelaza technicznego są z pomiędzy ciał stałych: węgiel, krzem, mangan, siarka, fosfor, miedź, nadto inne rzadziej spotykane, które tu można pominąć. Oprócz tego zawiera żelazo rozpuszczone w sobie gazy, które również wywierają wpływ na jego własności.

Z pomiędzy wymienionych ciał już to podnoszących, już to obniżających cenne własności żelaza, najważniejszą i wyjątkowe znaczenie mającą przymieszką jest *węgiel*. Węgiel zawarty w żelazie w granicach od 0.03 do 4.5%, a w pewnych

\*) Zapomocą elektrolitycznych sposobów wytworzyć można prawie czyste żelazo, które może jako materiał do wyrobu stopów żelaza odegrać doniosłą rolę.

W ostatnich czasach zaczęto w Ameryce wyrabiać w piecach Martina do celów technicznych żelazo o bardzo małej zawartości obcych domieszek. (Sł. u. E. 1912, str. 1580).

razach nawet do 7<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, tak bardzo i tak odmiennie zmienia jego własności, a więc temperaturę topliwości, wytrzymałość, ciągliwość, twardość, zgrzewalność, hartowność, że bez zawartości węgla nie miałoby żelazo dla techniki żadnej prawie wartości, i dlatego mówiąc o żelazie technicznym nigdy nie rozumiemy innego materiału, jak żelazo zawierające węgiel, czyli żelazo węgliste. Własności tego metalu mogą się zmieniać wskutek zmiennej zawartości poprzednio obok węgla wymienionych przymieszek, różnice te jednak są w porównaniu ze zmianami, jakie wywołuje zawartość węgla, bez porównania mniej doniosłe, żelazo zachowuje mimo nich swoje zasadnicze własności w większej albo mniejszej mierze.

Nie wspominamy w tem miejscu o stopach żelaza z innymi metalami, jak nikiel, chrom, wolfram i t. d., stopy te bowiem stanowią osobną grupę materiałów, grupę odmienną od żelaza węglistego; z tego powodu odrębnie omawiać je będziemy, a na razie zajmujemy się tylko żelazem węglistem, które ze względu na olbrzymie ilości, w jakich je przemysł wytwarza, ma od innych stopów bez żadnego porównania większe znaczenie w przemyśle i jest materiałem bezwarunkowo najważniejszym dla techniki w ogólności, a w szczególności dla budowy maszyn.

**Postać węgla w żelazie.** Węgiel znajdować się może w żelazie w kilku postaciach, a przede wszystkim w *związku chemicznym* jako węgiel żelaza (karbid żelaza,  $Fe_3C$  o 6·67<sup>o</sup>/<sub>o</sub> węgla i 93·33<sup>o</sup>/<sub>o</sub> żelaza) lub jako *przymieszka mechaniczna* czystego węgla. W połączeniu chemicznym z żelazem węgiel znajduje się wyłącznie przy zawartościach węgla poniżej 1·7<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, a powyżej tej cyfry występuje w pewnych rodzajach żelaza obok niego także węgiel w stanie czystym jako *węgiel krystaliczny* (grafit) w surowcu szarym lub *węgiel bezpostaciowy* (węgiel żarzenia) w t. zw. kujnej leiźnie. Węgiel w związku chemicznym występuje w postaci płytek lub ziarn obok żelaza czystego, w wysokiej temperaturze jednak, poniżej punktu topliwości żelaza rozpuszcza się w czystym żelazie, tworząc z niem *roztwór stały*. W tej postaci żelazo nagle oziębione nabiera owej specjalnej właściwości, którą nazywamy *hartownością*; stąd węgiel występujący w tej po-



staci żelaza nazwano węglem hartu, mimo, że nie jest to jakaś nowa jego odmiana, ale tylko inna faza.

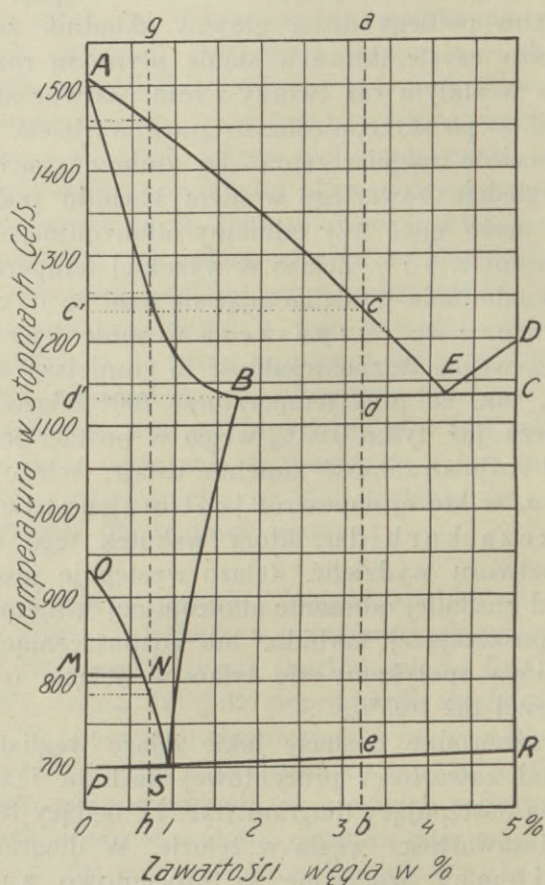
W żelazie płynnym, t. j. stopionym, węgiel znajduje się według wszelkiego prawdopodobieństwa również w połączeniu chemicznym, rozpuszczony w żelazie.

Różnica postaci w jakich karbid występuje wynika ze zmian, jakim podlega drugi główny składnik żelaza węglatego: żelazo czyste, które w stanie płynnym rozpuszcza go w sobie, a w stałym raz tworzy z nim roztwór stały, a więc zatrzymuje go po skrzepnięciu, to znów wydziela go z siebie, tracąc własność rozpuszczania. To zmienne zachowanie się żelaza względem zawartego w nim karbidu pochodzi stąd, że żelazo może mieć trzy odmiany allotropijne, które oznaczono literami  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ . Żelazo w wysokiej temperaturze znajduje się w odmianie  $\gamma$ , odznaczając się tem, że nie jest magnetyczne, i że rozpuszcza w sobie karbid aż do ilości 1·7% węgla. Rozpuszczalność ta zmniejsza się w miarę stygnięcia, tak, że przy temperaturze 700° żelazo zatrzymuje w roztworze już tylko 0·95% węgla w postaci karbidu. Poniżej 700° rozpuszczalność zupełnie ustaje, żelazo przechodzi w postać  $\alpha$ , w której napowrót jest magnetyczne i nie rozpuszcza karbidu, który wskutek tego musi się ze stałego roztworu wydzielić. Żelazo występuje jeszcze w niedość dotąd zbadanej odmianie allotropijnej  $\beta$ , niemagnetycznej i nie rozpuszczającej karbidu, lub rozpuszczającej go mało. Z tą odmianą spotykamy się tylko w żelazie o zawartości węgla niższej niż 0·95%.

Te różnorodne postacie jakie żelazo węgliste przybiera zależnie od zawartości procentowej karbidu i temperatury, uwidocznia następujący diagram (ryc. 1), będący funkcją temperatury i zawartości węgla w żelazie. W diagramie tym na osi poziomej oznaczone są procentowo zawartości węgla w żelazie poczynając od 0; ponieważ żelazo węgliste stosowane w przemyśle nie przechodzi zawartości 5% węgla, przeto dalsza część diagramu poza powyższą granicą nie przedstawia dla nas interesu.

Na osi pionowej diagramu oznaczone są temperatury poczynając od 600°, przy której żelazo nie podlega żadnym zmianom stanu skupienia ani struktury, a kończąc po-

wyżej 1500°, gdzie chemicznie czyste żelazo topi się (1505°) gdzie więc także każdy rodzaj żelaza węglowego znajduje się w płynnym stanie. Linie grubo narysowane, oznaczają stan, w jakim znajduje się żelazo o pewnej zawartości węgla przy pewnej temperaturze. Powyżej linii A E D, wszystko znajduje



Ryc. 1.

się w stanie płynnym, (karbid rozpuszczony w płynnym żelazie); powierzchnie poniżej tej linii: jedna A E B i druga D E C zawierają materiał krzepnący, pierwsza wydzielające się z masy płynnej kryształy stałego roztworu karbidu w żelazie, druga wydzielające się w płynie kryształy czystego karbidu. Krzep-

nięcie żelaza nie odbywa się więc raptownie, przy pewnej ściśle określonej temperaturze, ale stopniowo, poczynając się na linii AED, a kończąc na linii BEC. Przy pomocy tych linii oznaczyć możemy granice temperatury, w których żelazo krzepnie; chcąc np. dla żelaza o zawartości 3·20% węgla wyznaczyć temperaturę krzepnięcia, prowadzimy prostopadłą *ab* w punkcie oznaczającym zawartość 3·20% aż do przecięcia obu linii rozpoczynającego się (*c*) i kończącego (*d*) krzepnięcia. Poprowadziwszy z punktu *c* poziomą *cc'* odczytujemy, że krzepnięcie rozpoczęło się około temperatury 1235°; koniec krzepnięcia tak samo odczytujemy na poziomej *dd'* przechodzącej przez punkt B, która nam wskazuje temperaturę 1130°; żelazo więc o zawartości 3·20% węgla krzepnie w granicach 1235° a 1130°. Tylko chemicznie czyste żelazo (0% węgla) zastyga, jak widzimy z diagramu, od razu przy 1505° (punkt A) i żelazo o zawartości 4·2% węgla (punkt E) przy temperaturze 1130° t. j. tej samej, przy której ostatecznie krzepną wszystkie rodzaje żelaza węglatego o zawartości wyższej niż 1·7% węgla (punkt B). Punkt E nazywamy punktem eutektycznym (najłatwiejszej topliwości), a temperaturę odpowiadającą mu — temperaturą eutektyczną. Żelazo w tym miejscu składa się z mieszaniny bardzo drobno obok siebie rozłożonych kryształów roztworu stałego i kryształów karbidu ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) w stałym stosunku, zawierającym 4·2% węgla; nazywamy ją mieszaniną eutektyczną. Steżale żelazo po lewej stronie punktu E składać się będzie z takiej samej mieszaniny eutektycznej, w której znajdują się kryształy roztworu stałego o coraz mniejszej zawartości węgla w miarę oddalania się od E ku B, a w przeciwnym kierunku od E ku C tę samą mieszaninę eutektyczną, zawierającą ziarna karbidu w coraz większej ilości, w miarę oddalania się od E. Poniżej linii eutektycznej na powierzchni ograniczonej liniami CEBSR skład pozostaje podobny, tylko z powodu zmniejszającej się rozpuszczalności karbidu w żelazie, wydzielają się w miarę tężenia coraz liczniej kryształy karbidu, aż do chwili, gdy temperatura spadnie do 700° (linia PR); wtedy jak wiemy żelazo traci zupełnie własność rozpuszczania karbidu (przechodzi z odmiany  $\gamma$  w odmianę  $\alpha$ ) i wszystek karbid z niego się wydziela. Pozostaje nam jeszcze do omówienia

lewa strona diagramu, a więc najpierw powierzchnia ograniczona liniami A B S O. Tu stężenie odbyło się wcześniej, powyżej temperatury eutektycznej i żelazo przedstawia roztwór stały karbidu w żelazie o zawartości węgla niższej niż 1.7%. Ponieważ na linii B S łączącej punkt B (zawartość 1.7% węgla przy temperaturze eutektycznej) z punktem S (o zawartości 0.95% węgla przy temperaturze 700°) leży granica zupełnej rozpuszalności karbidu w żelazie, przeto z żelaza stygnącego o zawartości węgla między 0.95% a 1.7% wydzielają się na tej linii kryształki czystego karbidu w ilości przewyższającej odpowiadający mu stopień rozpuszczalności. W punkcie S mamy roztwór karbidu w żelazie (0.95%) i w punkcie tym następuje też jego rozkład na czyste żelazo i karbid, w postaci bardzo cienkich płytek obu tych ciał, naprzemian obok siebie ułożonych. Ponieważ punkt S jest punktem najniższej temperatury, przy której roztwór stały rozdziela się na swe składniki w stosunku zawsze niezmiennym, i ponieważ nie odbywa się to między dwiema granicami temperatury, ale w temperaturze stałej, jest ten punkt analogicznie do punktu eutektycznego E również punktem eutektycznym, a układ płytek żelaza i karbidu mieszaniną eutektyczną. Tę mieszaninę o niezmienniej zawartości 0.95% węgla spotykać będziemy poniżej linii P R t. j. poniżej temperatury 700° przy wszystkich zawartościach węgla, z tą różnicą, że przy zawartości 0.95% mamy do czynienia z czystą mieszaniną eutektyczną, powyżej niej spotykać będziemy obok niej wolne ziarna karbidu w coraz większej ilości, w miarę wzrostu zawartości węgla, poniżej zaś znajdować się będą obok niej kryształki czystego żelaza w ilości rosnącej w miarę ubytku węgla, tak, że przy zawartości 0% węgla będziemy mieli już tylko same ziarna czystego żelaza.

Dla uniknięcia nieporozumień zwrócić trzeba uwagę, że diagram przedstawiony na ryc. 1. odnosi się do żelaza zawierającego węgiel bez innych domieszek. Wpływ domieszek różnie oddziałują na zachowanie się żelaza przy tężeniu i powoduje przesunięcie poszczególnych typowych punktów diagramu, czy to ze względu na temperaturę, czy na zawartość węgla. O ile domieszki nie przekraczają jednak pewnych granic, zmiany te nie wpływają na ogólny kształt diagramu

i z tego powodu przy omawianiu własności technicznego żelaza węglistego będziemy się często nań powoływać.

Dalsze wyjaśnienie tego, co mówiliśmy o składzie żelaza węglistego przy różnej zawartości węgla, dają mikrofotografie różnych rodzajów tego żelaza \*). Z tego, co powiedziano o różnych stanach i składzie, jaki wykazuje żelazo węgliste, musi wynikać, że stany te i skład muszą mieć swój wyraz w mikroskopijnej budowie żelaza. I tak jest istotnie. Zaczynając od obrazu żelaza, mającego zawartość 0,95% węgla (ryc. 2) widzimy, że składa się ono z naprzemian ułożonych obok siebie płytek żelaza (ciemniejszych) i karbidu (jaśniejszych). Metalografia żelaza dla określenia składników tych przyjęła następujące nazwy: składnik będący czystym żelazem nazwano *ferrytem*, węgiel żelaza *cementytem*. W mieszaninie eutektycznej tych obu składników, którą widzimy na ryc. 2.

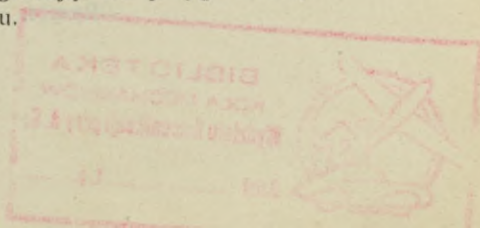


Ryc. 2.

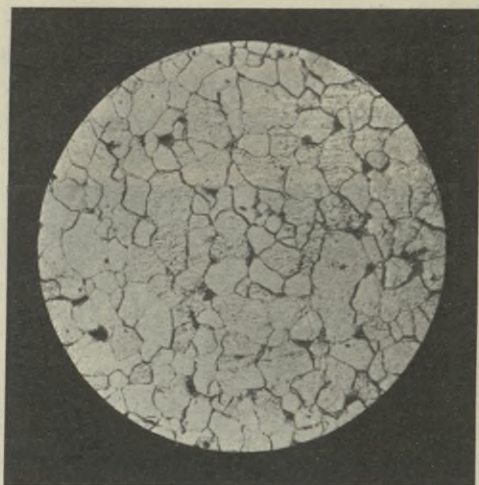
występują one w ścisłym ze sobą związku i w stałym stosunku, tworząc osobny składnik żelaza, który nazwano *perlitem* dlatego, że po wypolerowaniu i nagryzieniu mieni się w świetle na podobieństwo muszli perłowej.

Przy zawartościach węgla mniejszych występują obok perlitu, wolne ziarna ferrytu, którego ilość wzrasta, tak, że przy bardzo małych ilościach węgla wypełnia on całą powierzchnię obrazu,

\*) Mikrofotografie otrzymuje się, polerując do gładkości zwierciadlanej badane żelazo, następnie wytrawiając pewnymi płynami powierzchnię, przez co składniki odmiennej odporności chemicznej odmienną przybierają postać, a wreszcie fotografując tak przygotowaną powierzchnię w odpowiednim powiększeniu.

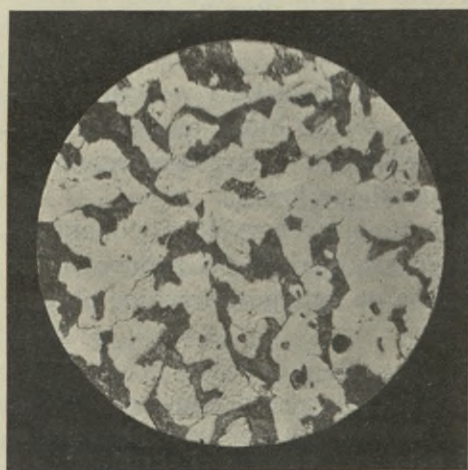


a perlit występuje tylko w małych gniazdach. Ryc. 3. przedstawia żelazo o zawartości 0·07% węgla; widzimy tu jasne ziarna ferryty i rzadko występujące skupienia perlitu; na ryc. 4. o zawartości 0·3% węgla ilość



Ryc. 3.

perlitu bardzo wzrosła, poczem przy 0·95% węgla, jak to widzieliśmy na ryc. 2., wolny ferryt zupełnie zniknął. O ile ilość węgla wzrośnie ponad 0·95%, zaczną się ukazywać w perlicie



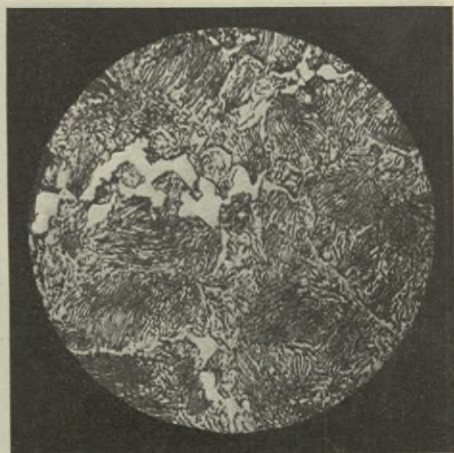
Ryc. 4.

ziarna wolnego cementytu, (białe pola) np. na ryc. 5. przy zawartości węgla 1·23%, i ilość jego będzie coraz większa; takie żelazo (*surowiec biały*) zawierające 3·68% węgla widzimy na rycinie 6.

Jeżeli żelazo perlityczne t. j. zawierające czystą mieszaninę eutektyczną z 0·95% węgla (ryc. 2) ogrzejemy ponad 700°, to przechodzi ono, jak już wiemy, w stan odmienny, nie zmieniając stanu skupienia, a więc pozostając stałym, gdzie cementyt rozpuszcza się w ferrycie o odmianie allotropijnej  $\gamma$  i tworzy z nim roztwór stały, który nazywamy *martenzytem* (ryc. 7), o zupełnie innej postaci mikroskopowej niż perlit. Obraz ten otrzymujemy z żelaza odpowiednio rozrzanego, a



następnie ostudzonego bardzo nagle, by roztwór stały nie miał czasu rozłożyć się napowrót na perlit, jak się to dzieje przy powolnym stygnięciu. Przemiana perlitu w martenzyt odbywa się tak samo powyżej jak i poniżej zawartości 0·95% węgla z tą różnicą, że wtedy temperatury krytyczne tych przemian leżą wyżej, jak to widzimy na ryc. 1. Przy bardzo wysokim ogrzaniu i bardzo szybkim studzeniu żelaza zawierającego wiele węgla, a także znaczną domieszkę manganu, otrzymuje się zamiast, lub obok martenzytu, inną postać roztworu stałego zwaną *austenitem*, mniej twardą i nie tak kruchą jak martenzyt. W technicznym zastosowaniu żelaza węglistego ta postać nie ma praktycznego znaczenia, natomiast spotykamy ją w stopach żelaza z innymi metalami, gdzie nosi także nazwę struktury *polyedrycznej* (ryc. 18).



Ryc. 5.

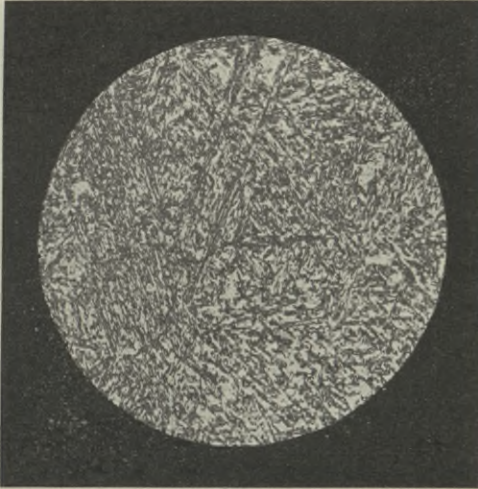
Poza linią BS, będącą jak wiemy, granicą tworzenia się czystego roztworu stałego, spotykamy po przejściu temperatury 700° obok niego (martenzytu) wolne ziarna cementytu, który się rozpuszcza z wolną w miarę wzrostu temperatury.

Jeżeli żelazo zawiera więcej węgla niż 1·7%, może się przy stygnięciu obok karbidu



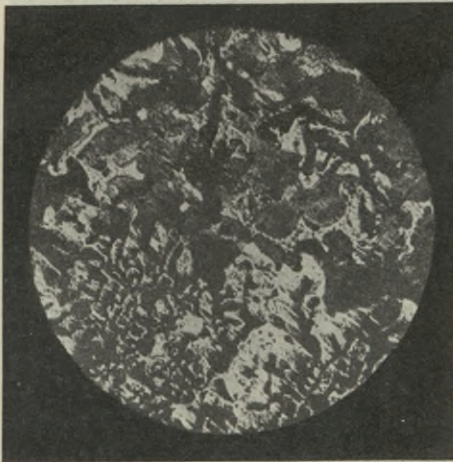
Ryc. 6.

wydzielić czysty węgiel w postaci krystalicznej jako *grafit*, tworzący heksagonalne płytki. Zależy to od szybkości ostygnięcia żelaza i zawartości innych składników, przede wszystkim



Ryc. 7.

krzemu. Żelazo zawierające grafity przedstawia ryc. 8; nazywamy je *surowcem szarym* z powodu barwy jaką mu nadają czarne kryształki grafitu. Różni się on bardzo znacznie od surowca białego pod względem własności, z powodu, że składniki obu, grafity i karbid mają własności zupełnie odrębne. Karbid jest ciałem niezmiernie twardym, grafity natomiast miękkim i krucho. Własności te wpływają na zastosowanie obu tych gatunków, i będziemy mieli niejednokrotnie sposobność mówienia o tem.



Ryc. 8.

W surowcu, który w stanie płynnym i przegrzanym zawiera więcej karbidu, niż go może zatrzymać w roztworze przy niższej temperaturze, wydziela się jeszcze przed zastygnięciem wolny karbid, rozpadając się równocześnie na swe składniki: żelazo i węgiel, który w postaci cienkich płatków grafity wydobywa się na powierzchnię, pokrywając ją jakby pianą. Tę formę węgla, spoty-



kaną tylko przy surowcu płynnym, nazwiemy *grafitem płynności* (niem. Garschaum-Graphit).

Jeżeli żelazo zawierające wolne ziarna karbidu (surowiec biały) poddaje się przez dłuższy czas żarzeniu, następuje rozkład karbidu żelaza ( $Fe_3C$ ) na żelazo i węgiel, który występuje wtedy bezpostaciowo, jako bryłki i proszek otoczony czystym żelazem. Węgiel ten nazywamy *węgłem żarzenia* (niem. Temperkohle). Ryc. 9. przedstawia surowiec biały żarzony, czarne wysepki na białym polu jest to węgiel żarzenia otoczony ferrytem. Powierzchnie szare przedstawiają perlit, który nie uległ procesowi żarzenia.

Wobec tego, że zawartość węgla w swych różnych odmianach bardzo oddziaływa na strukturę żelaza technicznego, a jak dalej będzie mowa, także na jego własności mechaniczne, rozróżniamy w zastosowaniu technicznym żelazo według zawartości węgla i na tej podstawie dzielimy je na dwie główne grupy: *surowiec*, o większej zawartości węgla (od 2,5%), oraz

*żelazo kujne*, o mniejszej zawartości węgla (mniej niż 1,4%). Żelazo o pośredniej zawartości (1,4% do 2,5%) węgla nie ma albo wcale zastosowania w praktyce, albo bywa używane tylko wyjątkowo.



Ryc. 9.

**Surowiec żelaza.** Nazwa surowca pochodzi stąd, że jest on pierwszym wyrobem, jaki się otrzymuje z rudy, materiałem »surowym«, który stanowi podstawę dalszej przeróbki, czy to na różne rodzaje żelaza kujnego, czy też na odlewy. Ze względu na własności mechaniczne spowodowane składem chemicznym i metalograficznym surowca, dzielimy go na dwa

rodzaje: surowiec *biały* i surowiec *szary*. Pod względem zawartości węgla te dwa rodzaje nie różnią się od siebie, w obu węgiel może się znajdować w tej samej ogólnej ilości, różnią się natomiast pod względem postaci, w jakiej jest w nich zawarty węgiel. W surowcu *białym*, który z powodu swej srebrzysto-białej barwy otrzymał tę nazwę, węgiel jest w związku chemicznym w postaci karbidu ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) czyli cementytu, struktura jego więc, jak to widzimy na ryc. 6, składa się z perlitu, w którym znajdują się w znacznej ilości i wielkości ziarna wolnego cementytu. Ponieważ cementyt jest najtwardszym składnikiem żelaza, wskutek tego surowiec biały jest niezmiernie twardy, bardzo trudno obrabialny i przez to tylko wyjątkowo bywa stosowany w budowie maszyn, natomiast stanowi materiał surowy do wyrobu żelaza kujnego. Surowiec biały powstaje wtedy, gdy stygnięcie żelaza odbywa się *szybk o*. W stanie płynnym według wszelkiego prawdopodobieństwa węgiel znajduje się w postaci karbidu rozpuszczonego w żelazie. Gdy surowiec zaczyna tężeć, a proces ten odbywa się *szybk o*, lub inne składniki zawarte w żelazie (mangan) sprzyjają temu, karbid w roztworze pozostaje, — wtedy powstaje surowiec biały; przy *tężeniu powolnem* i sprzyjających domieszkach (krzem) karbid wydziela się z roztworu i rozkłada na swoje składniki, żelazo czyste i węgiel, który wykryształizowuje się w postaci grafitu; tak otrzymujemy surowiec szary. Nazwę otrzymał on od zabarwienia żelaza wydzielonym grafitem. Obraz surowca szarego (ryc. 8) przedstawia się więc jako perlit, mieszczący w sobie płytki grafitu otoczone żelazem (ferrytem), powstałym z rozkładu karbidu. Surowiec szary wskutek zawartości kruchego grafitu jest miękki i łatwo obrabialny, dlatego nadaje się do odlewów.

Ze sposobu powstawania surowca białego i szarego wynika, że surowiec biały jest postacią o charakterze mniej stałym, która przy stosownych warunkach w chwili tężenia przekształca się w surowiec szary, wskutek rozkładu karbidu. Jak później będzie mowa, można ten rozkład wywołać także w stałym stanie przez żarzenie, wtedy węgiel wydzielający się z karbidu jest bezpostaciowy i zwie się węglem żarzenia. Ten objaw spowodował Heyna i Charpy'ego do ułożenia *podwójnego* diagramu tężenia żelaza: 1) dla postaci nie-

trwałej (wydzielanie się karbidu) i 2) dla stałej (wydzielanie się grafitu). Oba diagramy t. j. podwójny (Heyna) i pojedynczy (Wüsta) mają swych zwolenników. W książce tej przyjęliśmy diagram pojedynczy jako prościej rzecz przedstawiający, a motywowany przez swych zwolenników tem, że przemiana karbidu na grafit odbywa się przeważnie bezpośrednio po stężeniu, w temperaturze krytycznej, że więc dla obu postaci należy przyjąć tę samą temperaturę (1130°), kończącego się tężenia.

W pewnych rodzajach żelaza rozkład karbidu odbywa się tylko częściowo, wtedy w wystudzonym żelazie występuje obok niego grafit; surowiec ma wtedy własności pośrednie między białym a szarym i nosi nazwę *połowicznego*.

Dalsze różnice obu rodzajów surowca polegają na ich własnościach fizycznych: *ciężar gatunkowy* surowca białego wynosi przeciętnie 7,6, szarego z powodu zawartości grafitu tylko 7%.

Stopień *kurczenia się* żelaza przy zastyganiu ze stanu płynnego wynosi u surowca białego 1,6% do 2%, u szarego 0,8 do 1,1%; ta różnica polega na wydzieleniu się w surowcu szarym kryształków grafitu, które zwiększają objętość żelaza w chwili tężenia i przez to redukują wielkość skurczenia. Ta własność surowca szarego, że w chwili tężenia wydzielając grafit zwiększa objętość, przyczynia się do dokładnego wypełnienia formy i jest bardzo cenną własnością tego surowca w odlewnictwie.

*Topliwość*, jakkolwiek zawartość węgla może być jednokowa, a temperatura tężenia wskutek tego zbliżona, nie jest jednakowa; surowiec biały topi się łatwo, t. j. wymaga mniej ciepła do stopienia się niż surowiec szary. Powodem jest zawartość grafitu otoczonego osłoną czystego żelaza, w którym kryształki grafitu muszą się rozpuścić, zanim żelazo stanie się płynnym, — ten proces wymaga więcej czasu niż w surowcu białym i dlatego topienie surowca szarego trwa dłużej, zużywa więcej paliwa i stąd pochodzi często spotykane zdanie, że temperatura topliwości tego surowca jest wyższa niż białego. To także jest przyczyną, że przy topieniu żelaza nie dobrze jest mieszać gatunki białe z szarymi, bo biały topiąc się szybciej, wcześniej splywa do kotliny pieca i wcześniej



z niego bywa wypuszczany niż szary, a więc nie miesza się z nim przed wlaniem do formy.

Domieszki w surowcu. Na własności surowca wywierają doniosły wpływ zawarte w nim inne ciała; domieszki te i ich znaczenie omówimy kolejno.

*Mangan* podnosi rozpuszczalność węgla w żelazie, tak, że przez jego dodatek można zwiększyć ilość węgla w surowcu (przy zawartości 80% manganu w t. z. żelazo-manganie, zawartość węgla dojść może do 7%). Mangan tworzy z węglem karbid ( $Mn_3C$ ) podobnie jak żelazo w surowcu i występuje z nim równocześnie jako podwójny karbid. Karbid manganu jest związkiem stalszym niż karbid żelaza, dlatego surowiec zawierający go ma dążność do zastygania jako surowiec biały; — tem się tłumaczy, że wszystkie gatunki surowca białego zawierają mangan, gdy w surowcu szarym jego ilość nie może być wielka (do 1%), bo wtedy utrudniałby wydzielanie się grafitu. Mała ilość manganu w surowcu szarym korzystnie wpływa na jego wytrzymałość, prawdopodobnie dlatego, że mangan usuwa zawarte w surowcu płynnym tlenki żelaza, redukując je. Mangan wreszcie niweczy niekorzystny wpływ siarki na żelazo, łącząc się z nią w siarczek manganu ( $MnS$ ), który jest mniej szkodliwy niż siarczek żelaza, tworzący się w razie braku domieszki manganu. Mangan w surowcu zwiększa jego zdolność rozpuszczania w sobie, a przez to pochłaniania gazów.

*Krzem* działa w surowcu przeciwnie niż mangan, obniżając stałość karbidu, przez co ułatwia jego rozkład i wydzielanie się grafitu, a więc tworzenie się surowca szarego; możliwe jest też\*), że krzem, wchodząc w związek z żelazem ( $FeSi$ ), powoduje także rozkład karbidu. Nadto krzem zmniejsza rozpuszczalność karbidu w żelazie, wydzielając go tem samem. Zawartość krzemu w surowcu nie jest jednakże konieczna, by się grafit wydzielał, tak jak zawartość manganu, by temu wydzielaniu się zapobiedz, bo doświadczenia\*\*) wykazały, że surowiec o znacznej stosunkowo zawartości krzemu (1.62%) a małej manganu (0.15%) bardzo nagle ostudzony

\*) *Wüst Mitt.* 1908, str. 26.

\*\*) *M. Lewy Met.* 1911, str. 581.



zastygał jako biały, gdy znów surowiec o znacznej zawartości manganu (1·54%), a małej krzemu (0·14%) bardzo powolnie studzony stężał jako szary.

Zawartość krzemu, jak już wiemy, powoduje zmniejszenie się stopnia kurczenia żelaza przy tężeniu (przez wydzielanie grafitu) i utrudnia wydzielanie się gazów rozpuszczonych w żelazie. Gdy jednak ilość krzemu w żelazie zbyt wzrasta (powyżej 3%), żelazo staje się kruchem i łatwo łamliwym. Krzem w ilościach większych zawarty w surowcu, używany bywa do wyrobu stali sposobem *Bessemera* jako materiał wytwarzający ciepło i utrzymujący żelazo w stanie płynnym.

*Siarka* utrudnia wydzielanie się grafitu, zwiększa kruchość żelaza i twardość, a także współczynnik kurczenia się przy tężeniu. Wpływa też na wydzielanie się w żelazie mieszanin o zmiennym składzie chemicznym, co źle oddziałuje na jego wytrzymałość. Ponieważ siarka łączy się z żelazem w siarczek ( $\text{FeS}$ ), który tworzy z żelazem mieszaninę eutektyczną tężejącą przy  $960^{\circ}$ , przeto w żelazie zawierającym siarkę wydzielają się związki, które przy rozgrzewaniu żelaza przechodzą w stan płynny już wtedy, gdy żelazo jest jeszcze stałe. Dlatego zawartość siarki wpływa bardzo niekorzystnie na wytrzymałość żelaza ogrzanego do wysokiej temperatury. Siarka wreszcie zwiększa zdolność żelaza do pochłaniania gazów, powoduje gęstopłynność jego w stanie stopionym, tak, że przy zawartości 0·2% już nie wypełnia dobrze formy. Siarka utrudnia wydzielanie się grafitu, wpływa więc na powstawanie surowca białego.

Z wymienionych powodów jest siarka w surowcu bardzo szkodliwym dodatkiem i zawartość jej nie powinna przekraczać 0·1%.

*Fosfor* daje z żelazem związek chemiczny ( $\text{Fe}_3\text{P}$ ), który tworzy z żelazem mieszaninę eutektyczną płynną już przy  $950^{\circ}$ ; wskutek tego nie można używać żelaza fosforzystego do przedmiotów podlegających silnemu rozgrzaniu (np. na ruszty). W stanie zimnym zwiększa kruchość żelaza, dlatego o ile zawartość jego nie jest szkodliwa (do 0·75%) w częściach maszyn pracujących spokojnie, o tyle na części narażone na wstrząśnienia i uderzenia jego zawartość musi być więcej ograniczona (do 0·4%).

Fosfor z tego samego powodu, że tworzy z żelazem i węglem nisko-topliwą mieszaninę eutektyczną, obniża punkt topliwości żelaza i robi je rzadko-płynnem, zwiększając przez to jego zdolność wypełniania form, dlatego używa go się jako dodatku (do 1'25%) w żelazie przeznaczonem na bardzo cienkie odlewy (garnki, rury, odlewy artystyczne), byle nie były narażone na uderzenia. Dodatek fosforu zwiększa wielkość ziarn surowca, przez co surowiec fosforzysty jest gruboziarnisty. Podobnie jak dodatek krzemu jest potrzebny w przeróbce surowca na żelazo kujne sposobem Bessemera, stosuje się surowiec o wielkiej zawartości fosforu przy wyrobie żelaza kujnego sposobem *Thomasa*.

*Miedź* w surowcu wtedy jest szkodliwa, jeżeli równocześnie zawarta jest w nim siarka, z którą tworzy siarczek miedzi, działający podobnie, choć słabiej, jak siarka w żelazie.

*Gazy.* Żelazo w stanie płynnym rozpuszcza w sobie gazy, i im większemu ciśnienia podlega (np. w *wielkim piecu*), tem więcej ich pochłania; przy zmniejszeniu ciśnienia i zastyganiu zmniejsza się rozpuszczalność gazów w żelazie, które je wtedy wydziela. Jak długo metal jest płynny na powierzchni, gazy uchodzą swobodnie, gdy zastygnie, pozostają wewnątrz i nie mogąc się z niego wydobyć, zatrzymują się w postaci baniek, robiąc odlew porowatym i wadliwym.

Stężały surowiec zawiera zazwyczaj *wodór*, jaki się dostał w procesach metalurgicznych z rozkładu pary wodnej zawartej w powietrzu, a także, — choć w znacznie mniejszej ilości, *azot*. Ponieważ mangan zwiększa w żelazie zdolność rozpuszczania gazów, przeto surowiec biały zawiera ich o wiele więcej niż szary; zawarty w surowcu szarym krzem, utrudniając wydzielanie się gazów, powoduje, że przy tężeniu pozostają w roztworze i przez to nie tworzą szkodliwych baniek.

O ile surowiec zawiera tlenek (FeO), powstały pod wpływem tlenu powietrza, oraz tlenu powstającego przy rozkładzie pary wodnej, to tlenek ten pod wpływem węgla zawartego w żelazie doznaje redukcji, przyczem wytwarzający się tlenek węgla tworzy również banki w zastygłym żelazie. Przez dodatek w małej ilości *tytanu*, który redukuje tlenek zawarty w żelazie, oraz łącząc się łatwo z azotem, prawdopodobnie usuwa go z żelaza, można zmniejszyć szkodliwy

wpływ gazów w żelazie używanem na odlewy. Jakkolwiek zachowanie się tytanu w żelazie nie jest dotąd należycie wyjaśnione, stwierdzono nieraz, że jego dodatek korzystnie wpływa na wytrzymałość i jednolitość materiału odlanego.

**Żelazo kujne.** Nazwa pochodzi stąd, że materiały objęte tą grupą posiadają w stanie rozgrzanym, a do pewnego stopnia także w zimnym, pewną plastyczność, która pozwala przerabiać je przez kucie. Grupa ta obejmuje rodzaje żelaza od najmniejszej zawartości węgla (0·05<sup>o</sup>/<sub>o</sub> a nawet mniej), posiadające największą *kujność*, a zarazem *zgrzewalność*, aż do przyjętej poprzednio w praktycznie stosowanych rodzajach najwyższej zawartości węgla (1·4<sup>o</sup>/<sub>o</sub>), gdzie kujność i zgrzewalność już prawie znika, natomiast wzrasta wytrzymałość żelaza na działanie sił i objawia się inna jego właściwość zwana *hartownością*.

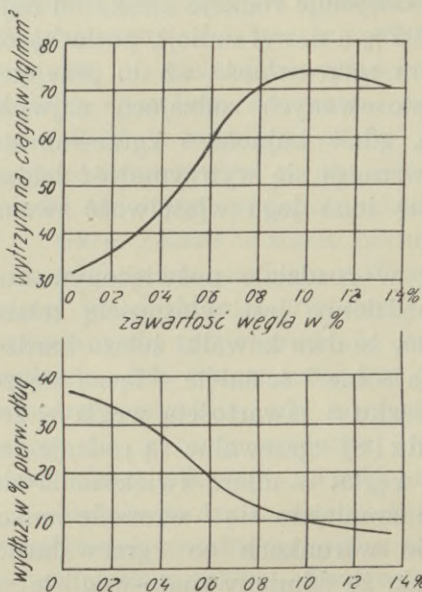
Zgrzewalność, o której w rozdziale poświęconym kuznictwu obszerniej mówić będziemy, jest własnością żelaza kujnego, objawiającą się w tem, że dwa kawałki żelaza bardzo silnie rozżarzone, położone na sobie i ściśnięte — łączą się ze sobą. Własność ta jest w związku z zawartością węgla w żelazie, a mianowicie najbardziej zgrzewalne są rodzaje żelaza najmniej zawierające węgla; w miarę zwiększania się dodatku węgla zgrzewalność zmniejsza się i wreszcie znika.

W tych samych prawie warunkach co zgrzewalność, zmienia się *kujność* żelaza, tak, że odmiany mało-węgliste są kujne t. j. plastyczne a nie kruche; z wzmagającą się zawartością węgla kujność się zmniejsza, materiał jest coraz mniej plastyczny, a coraz więcej kruchy.

Wytrzymałość na działanie sił pozostaje również w ścisłym związku z zawartością węgla, wzrastając ze zwiększaniem się jej w żelazie aż do pewnej granicy. Temu wzrostowi wytrzymałości towarzyszy zmniejszanie się *rozciągliwości* (kujności) żelaza a wzrost jego naturalnej *twardości*. Ryc. 10. przedstawia wpływ, jaki na wytrzymałość (na rozciąganie) oraz na ciągliwość żelaza wywiera zawartość węgla \*). Z powyższych

\*) Diagram ten odnosi się do pewnego tylko poddanego badaniom rodzaju żelaza, dla innych, przebieg linii, jakkolwiek w ogólnych

uwag wynika, że żelazo kujne nie jest materiałem o jednakowych własnościach mechanicznych, ale stosownie do zawartości węgla przedstawia gatunki bardzo między sobą różne. Te różnice spowodowały od najdawniejszych czasów, w których używano żelaza, podział na dwie grupy, objęte nazwą *stali* i *żelaza miękkiego*, często zwanego krótko *żelazem*. Stalą nazywamy rodzaje żelaza kujnego o większej zawartości węgla, a więc o wyższej wytrzymałości,



Ryc. 10.

węglu (np. 0.5%) za granicę między dwoma rodzajami jest również rzeczą zupełnie dowolną, bo nie charakteryzuje niczem wyraźnym różnic między dwoma gatunkami, jak tylko składem chemicznym, który przytem z powodu innych przyczyn oddziaływujących na materiał, nie określa wcale w sposób ścisły jego własności. Dlatego też nazywa się często *twardem żelazem* lub *miękką stalą* te same materiały.

Ponieważ nie można ściśle określić granicy, gdzie się

tworzy, a więc o wyższej wytrzymałości, twardości i kruchości, mniejszej rozciągliwości i zgrzewalności, a przytem hartowne, — żelazem miękkim rodzaje zawierające mało węgla, rozciągliwe, zgrzewalne, miększe, mniej wytrzymałe i niehartowne.

Podział między obu tymi rodzajami nie daje się ściśle przeprowadzić, bo określenie kiedy jakaś własność właściwa np. stali ustaje, a rozpoczyna się inna, odpowiadająca żelazowi miękkemu, nie jest możliwe wobec tego, że własności te zmieniają się nie nagle, ale stopniowo i w sposób ciągły. Przyjęcie pewnej zawartości

rysach podobny, będzie wykazywał pewne odmiany, zależnie od przyczyn, rodzaju poprzedniej przeróbki i t. d.

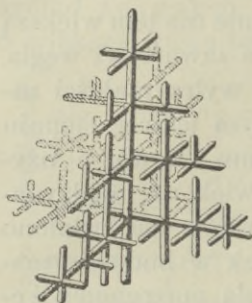


jeden gatunek kończy a drugi zaczyna, a jednak w stosunkach handlowych i fabrycznych takie określenie jest często potrzebne, starano się przyjąć określenie tej różnicy na podstawie jednej wybitnej cechy. Do tego najlepiej nadaje się określenie *wytrzymałości* ze względu na to, że materiały te służą do celów konstrukcyjnych, gdzie wytrzymałość stanowi podstawę obliczenia wymiarów konstrukcyi. Takie określenie ma tem większą doniosłość wobec np. określenia, opartego na zawartości węgla, że są nowe gatunki stali, których warunki wytrzymałości zależą nietylko od węgla, ale w większym jeszcze stopniu od innych składników (np. niklu, chromu i t. d.), a używane bywają do tego samego celu. Jakkolwiek na międzynarodowych kongresach dla badania materiałów nie ustalono dotąd normalnego określenia stali, to jednak w budowie maszyn i okrętów coraz częściej nazywają *stalą maszynową* żelazo z lewnie (otrzymane w stanie płynnym), którego wytrzymałość na rozciąganie wynosi 50 kg. na mm<sup>2</sup> lub więcej.

Struktura żelaza kujnego jest nam znana z tego, co powiedziane było o diagramie stygnięcia żelaza (ryc. 1, str. 6). Przy zawartości węgla 0·95% (punkt eutektyczny S) żelazo składa się z samego perlitu (ryc. 2, str. 9), przy mniejszej ilości węgla po lewej stronie punktu S znajdujemy ziarna ferrytu w perlicie lub odwrotnie (ryc. 4, str. 10), zależnie od tego, który składnik przeważa, tak że u granicy czystego węgla (punkt P) ferryt będzie wyłącznym składnikiem żelaza; po prawej stronie punktu eutektycznego, a więc przy zawartości węgla większej niż 0·95% występują ziarna wolnego cementytu w perlicie (ryc. 5, str. 11). Żelazo zawierające czysty perlit, mieszaninę bardzo cienkich płytek ferrytu i cementytu, ma budowę bardziej jednolitą niż żelazo o innej zawartości węgla, gdzie obok perlitu występuje czysty ferryt lub cementyt; ta jednolitość budowy perlitu objawia się w diagramie wytrzymałości (ryc. 10), której linia w okolicy oznaczającej perlityczne żelazo (około 1%) najwięcej się wznosi, a potem zaczyna opadać, bo wolne ziarna karbidu (cementytu) występujące w perlicie naruszają jego jednolitą i zwięzłą budowę.

Żelazo prócz tego, że ma strukturę złożoną z mikroskopijnie małych ziarn składników widocznych na mikrofotogra-

fiach, zbudowane jest, jak to wykazali Hove i Belajew\*), z większych utworów krystalicznych, nie zmieniających się pod wpływem temperatury, o budowie dendrytycznej (przypominającej gałązki drzew iglastych). Przy tężeniu wytwarzać się ma najpierw szkielec o ośmiobocznej budowie

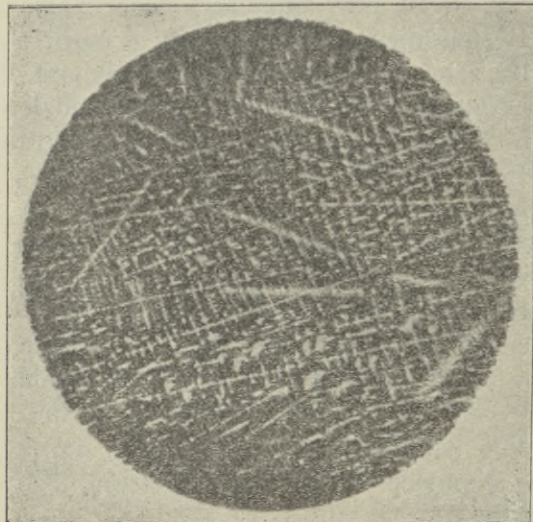


Ryc. 11.

z żelaza uboższego w węgiel (ryc. 11), na którym stopniowo osadza się żelazo o coraz większej zawartości węgla. W ten sposób jest zastygłe żelazo zbiorem takich kryształów. Ryc. 12. przedstawia w czterokrotnym powiększeniu obraz żelaza (0,45 węgla, 0,45 manganu, 1,25 niklu) z widoczną krystaliczną strukturą.

Wielkość kryształów bywa różna i zależy głównie od tego, jak szybko żelazo stężało; im stygnięcie było powolniejsze, tem większe i zupełniejsze utworzą się kryształy.

Im kryształy są mniejsze, tem lepsze są mechaniczne własności żelaza.



Ryc. 12.

Hartowność żelaza objawia się w ten sposób, że rozgrzane do czerwoności i nagle ostudzone, nabiera wyjątkowej twardości, znacznie większej, niż była jego naturalna twardość przed zahartowaniem, zarazem kruchość jego bardzo wzrasta. Hartowność nie istniejąca w odmianach o naj-

\*) St. u E. 1912, str. 996 i 1272.

niższej zawartości węgla, występuje z jej wzrostem i jest największa w gatunkach wysoko węglistych.

Hartowność objawiająca się tylko w twardych (więcej węgla zawierających) rodzajach żelaza kujnego tłumaczy przejście jego w odmienny stan allotropowy ( $\gamma$  żelazo), w którym karbid rozpuszcza się w ferrycie, tworząc jednolite kryształy stałego roztworu — martenzytu. Jeżeli przez bardzo szybkie ostudzenie tak zmienionego materiału nie dopuścimy do wydzielania się napowrót karbidu z żelaza, ale zachowamy go w stałym roztworze, będziemy mieli materiał zahartowany (ryc. 7, str. 12).

Niema dotąd zgodnej teorii hartowania stali, nie ulega jednak wątpliwości, że objaw ten występuje równocześnie z przemianą allotropową żelaza, rozpuszczającą karbid i powstawaniem stałego roztworu, a czy przemiana ta, czy roztwór karbidu, (którego zawartość ma, jak będzie dalej mowa, wielkie znaczenie dla osiągniętej twardości), czy też oba czynniki razem są powodem zahartowania, jest rzeczą dla praktyki dosyć obojętną. Natomiast wyjaśnienie, przy jakiej temperaturze żelazo przechodzi w stan hartowności (na ryc. 1, str. 6, linia OS i BS), ma dla praktyki wielką korzyść, od tego bowiem zależy stopień ogrzania hartowanego przedmiotu, który ogrzany, choćby tylko o parę stopni poniżej tej temperatury, wcale nie ulegnie zahartowaniu, zbyt znacznie zaś t. j. za wysoko ogrzany, narażony jest na uszkodzenie wskutek przegrzania i nagłego ostudzenia, a więc zbyt wielkiej różnicy temperatury przed i po zahartowaniu. Znając zawartość węgla w stali, możemy z diagramu (ryc. 1) odczytać odpowiadającą tej zawartości temperaturę *krytyczną* (przełomową), t. j. temperaturę przemiany żelaza w inną postać allotropową, i do tego zastosować stopień ogrzania. Jeżeli np. zawartość węgla wynosi 0,65%, to wyznaczysz na linii zawartości węgla odpowiedni punkt *h* (ryc. 1) i pociągnąwszy od niego linię pionową *hg*, odczytujemy w punkcie przecięcia się jej z linią OS diagramu, że punkt krytyczny leży około temperatury 785°, trzeba więc dany przedmiot ogrzać nieco wyżej niż stal o 0,95% węgla, by się dał zahartować. Idąc po tej samej linii *hg* w górę aż do przecięcia się z liniami diagramu AB i AE dowiadujemy się, że stal ta poczyna się topić około temperatury

1255°, a jest zupełnie płynna około 1460°. Z diagramu widać wyraźnie, że stal eutektyczna czyli perlityczna (o zawartości 0·95% węgla), której punkt krytyczny leży najniżej (700°), wymaga ze wszystkich odmian stali najniższego rozgrzania do hartowania, a różnica temperatury hartowania i ochłodzenia jest u niej najmniejsza, co musi korzystnie wpływać na dobroć materiału. Praktyka potwierdza to, gdyż najlepsze rodzaje stali narzędziowej węglistej mają zawartość około 1% węgla, są to więc stale perlityczne.

Gdybyśmy zamiast nagle studzić ogrzaną stal ponad temperaturę krytyczną, pozwolili jej powoli ostygnąć, następuje odwrotny proces: wskutek przemiany  $\gamma$ -żelaza w formę  $\alpha$ , nie rozpuszczającą karbidu, wydziela się on z roztworu i po ostudzeniu mamy znów stan pierwotny t. j. perlit z domieszką ferrytu lub cementytu, zależnie od zawartości węgla. Ta przemiana, zwana *odpuszczaniem* stali, jest stopniowa, stal nie traci ona swej hartowności odrazu, lecz stopniowo, stosownie do temperatury, przechodząc różne pośrednie stany między martensytem a perlitem, charakteryzujące się pewną przejściową strukturą, zmniejszeniem twardości i kruchości, zmianami wytrzymałości i pewnymi innymi własnościami, które tutaj pomijamy.

Te średnie postacie otrzymały w metalografii osobne nazwy \*); i tak: około 400° występuje odmiana nazwana *osmondytem*, między 400 a temperaturą normalną występujące odmiany objęto nazwą *troostytu*, a między 400 a 700° *sorbitu*.

Ubytek twardości stali perlitycznej zahartowanej, a następnie przy różnych temperaturach odpuszczonej wynosi procentowo \*\*):

przy temperaturze	100° . . . . .	2·5%
»	» 200° . . . . .	14·0%
»	» 300° . . . . .	41·0%
»	» 400° . . . . .	70·6%

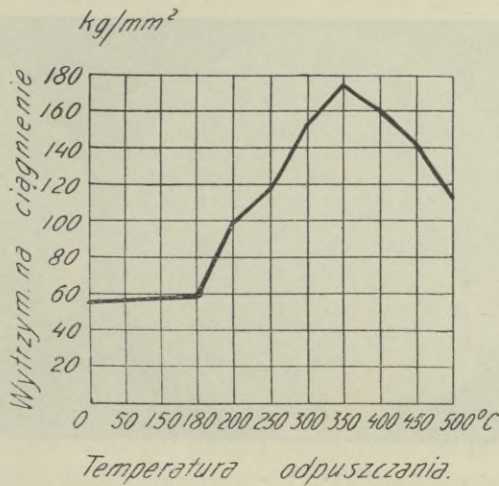
\*) Nazwy metalograficznych składników są przeważnie utworzone z nazwisk badaczy zasłużonych na polu metalografii, jak Roberts Austen, Martens, Troost, Osmond, Sorby.

\*\*) Jung, *Z. f. M.* 1911, str. 247.

przy temperaturze 500° . . . . . 87·5%  
 » » 600° . . . . . 95·7%

W przemyśle korzystamy z odpuszczalności stali przy hartowaniu narzędzi do obrabiania, ogrzewając je po zahartowaniu do pewnej temperatury, t. j. odpuszczając je, przez co wprawdzie zmniejsza się ich twardość, ale równocześnie zmniejsza się także kruchość, grożąca wykruszeniem się ostrza przy cięciu; korzystamy także z tej własności przy wyrobie części maszyn, zwłaszcza przy zastosowaniu stali specjalnych (stopów żelaza z innymi metalami), hartując je a następnie odpuszczając do pewnego stopnia, co niejednokrotnie korzystnie wpływa na polepszenie mechanicznych własności materiałów konstrukcyjnych.

Wpływ takiego procesu uwidocznia ryc. 13. Próbką stali zlewnej o składzie 1·33% węgla, 0·23% manganu, 0·024 % krzemu, 0·023% fosforu, o wytrzymałości przy rozciąganiu 65



Ryc. 13.

kg/mm<sup>2</sup> posiadała po zahartowaniu wytrzymałość 54·4 kg/mm<sup>2</sup>; poddana odpuszczaniu począwszy od 50° wykazywała podaną graficznie wytrzymałość na ryc. 13. Okazuje się, że przy odpuszczaniu wytrzymałość zrazu prawie nie uległa zmianie (do 180°), potem rosła szybko do maksimum przy 350°, by następnie do 500° z wolna zmniejszać się, pozostając jednak zawsze powyżej wytrzymałości materiału niehartowanego, a także zahartowanego, lecz nie poddanego odpuszczeniu\*).

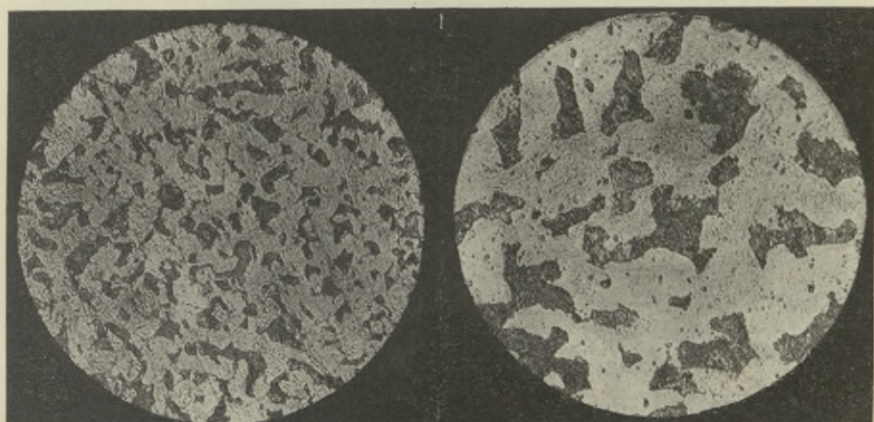
Jak widać z diagramu, warunki wymagane przy procesie hartowania mają wszystkie gatunki żelaza kujnego, a więc

\*) Hanemann, St. u. E. 1911, str. 1365.



i gatunki z bardzo małą zawartością węgla, które określiliśmy jako niehartowne; trzeba je tylko ogrzać do odpowiednio wysokiej temperatury, znacznie wyższej niż stal eutektyczną, z powodu wznoszenia się linii SO (ryc. 1, str. 6), aby przeszły w roztwór stały, a następnie nagle ostudzić, aby zachowały strukturę martenzytu.

Gdy jednak stal perlityczna osiąga po zahartowaniu bardzo wielką twardość, to w miarę ubytku zawartości węgla w stali twardość po zahartowaniu jest coraz mniejsza i przy małej ilości węgla (w żelazie miękkim) różnica twardości przed



Ryc. 14 a.

Ryc. 14 b.

i po zahartowaniu jest zbyt mała, aby miała dla praktyki jakiegokolwiek znaczenie. Wynika z tego, że w procesie hartowania węgiel, a raczej karbid ma praktycznie decydujące znaczenie, nadając twardość żelazu, do której przy tym procesie dążymy.

Wpływ ogrzania na żelazo. *Przegrzanie.* Jeżeli żelazo kujne przez dłuższy czas ogrzewamy, zmienia się jego struktura w ten sposób, że kryształki (ferrytu lub perlitu) łączą się ze sobą, tworząc większe kryształy; wskutek tego procesu materiał staje się gruboziarnistym, a zarazem nieodpornym na uderzenia. Na ryc. 14 a. widzimy strukturę żelaza (powiększenie 250-ciokrotne) o zawartości 0,135% węgla, w stanie normalnym; wskutek 6-ciogodzinnego żarzenia powyżej 1000° i powolnego

następnie studzenia struktura stała się grubo-ziarnistą, jak to widać na ryc. 14 b. (w tem samym powiększeniu).

Doświadczenia Joistena \*) wykazały, że ten wpływ ogrzewania objawia się już przy 400°, jednak bardzo słabo, ze wzrostem temperatury zwiększa się i przy 700° jest największy; przy dalej podnoszącej się temperaturze objaw ten dalej trwa, ale w mniejszym stopniu. Jeżeli żelazo o strukturze grubo-ziarnistej wskutek przegrzania (n. Überhitzen), t. j. żelazo przegrzane, ponownie ogrzejemy, jednak ponad temperaturę krytyczną, to wskutek jego przemiany allotropowej ( $\alpha$ -żelaza na  $\gamma$ ) i powstania roztworu stałego, grubo-ziarnistość znika. Jeżeli tak ogrzane żelazo szybko ostudzimy (nie tak szybko jednak, by się zahartowało), staje się napowrót drobno-ziarnistym; przy studzeniu powolnem grubo-ziarnistość zostaje.

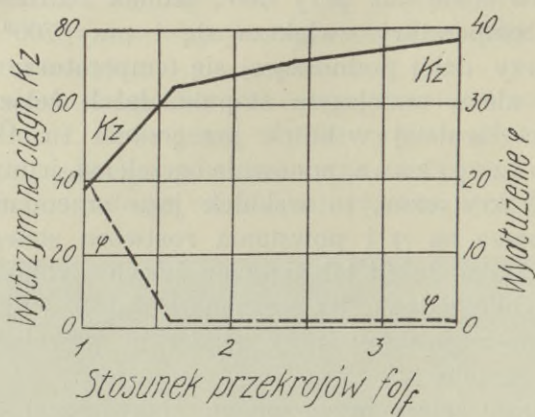
Kruchości żelaza przegrzanego, objawiającej się w małej odporności na uderzenie, można też zapobiedz, obrabiając je w stanie rozżarzonym pod młotem; korzysta się z tego często, zgrzewając części żelazne ze sobą.

*Temperatura niebieskiego nalołu.* Żelazo rozgrzewane nabiera coraz większej ciągliwości, przy równoczesnem zmniejszaniu się wytrzymałości. Przebieg tych objawów nie jest jednakże jednostajny, ale zmienia się w temperaturze 150—300°. Wytrzymałość żelaza ogrzewanego ponad normalną temperaturę najpierw nieco się obniża, poczem od 150° zaczyna się podnosić, osiągając około 300° maksimum, następnie już prawie jednostajnie spada. Ciągliwość przy rozgrzaniu wzrasta początkowo, poczem, przy tych samych temperaturach znacznie się obniża, by po ich przejściu napowrót wzrastać. Objawy te świadczą, że w okresie 150—300° własności mechaniczne żelaza doznają zmiany, przez co obróbka jego staje się trudniejszą, a materiał kruchym. Praktyka niejednokrotnie stwierdziła, że obrabianie żelaza przy tej temperaturze wywołuje rysy i pęknięcia.

Ponieważ przy temperaturze 300°, kiedy objaw ten najślimiej występuje, oczyszczona powierzchnia żelaza pokrywa się warstewką tlenku, nabierając barwy niebieskiej (t. z. barwa

\*) Mitt. 1911, str. 176.

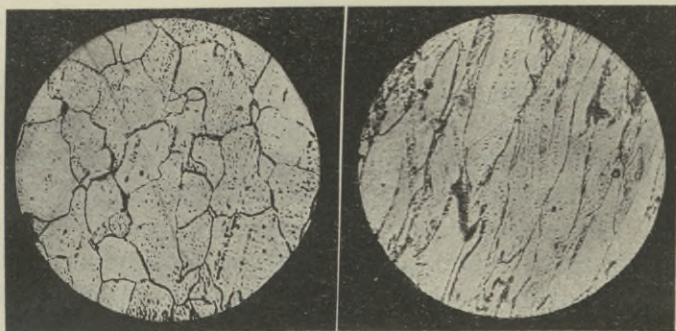
nalotowa), nazywamy to temperaturą niebieskiego nalotu, a uszkodzenia przy niej powstające, pęknięciami w okresie niebieskiego nalotu.



Ryc. 15.

Przyczyny powyższego objawu nie są dotąd należycie wyjaśnione.

Obróbka zimna. Obrabianie żelaza w normalnej temperaturze t. j. na zimno, przez kucie, walcowanie, wyciąganie i t. p., powoduje również podobne zmiany własności mecha-



Ryc. 16 a.

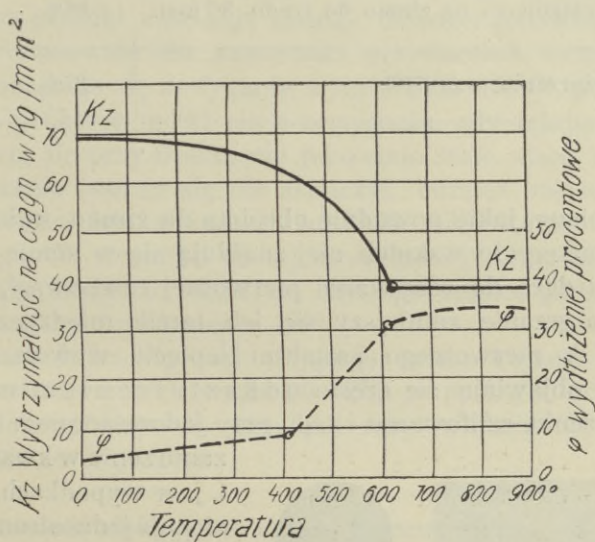
Ryc. 16. b.

nicznych, jak powyżej opisane. Żelazo tak obrabiane staje się coraz twardszem, jego wytrzymałość się zwiększa, a ciągliwość bardzo zmniejsza. Na ryc. 15. widzimy wpływ zimnej



obróbki na żelazo. Na poziomej osi oznaczone są zmiany przekroju wskutek obróbki, jako stosunek  $f_0/f$  przekroju pierwotnego ( $f_0$ ) do zmienionego ( $f$ ), na pionowych wytrzymałość materiału ( $Kz$  w  $\text{kg/mm}^2$ ) i towarzyszące rozerwaniu badanego pręta wydłużenie procentowe ( $\varphi$ ).

Skutek obróbki zimnej daje się dobrze zauważyć na mikrofotografii. Na ryc. 16 a. widzimy obraz miękkiego żelaza w stanie normalnym, obok (ryc. 16 b) to samo żelazo silnie na zimno przekute; ziarna żelaza przybrały po obróbce postać mocno wydłużoną. Równocześnie ze zmianą własności me-



Ryc. 17.

chanicznych odbywa się zmiana innych własności, jak zmniejszenie ciężaru gatunkowego, zwiększenie oporu elektrycznego oraz zwiększenie rozpuszczalności żelaza w kwasie siarkowym. Te wszystkie objawy towarzyszące zimnej obróbce znikają, gdy żelazo wyżarzymy, przyczem i ziarna odzyskują pierwotny kształt. Ryc. 17. uwiadcza wpływ żarzenia przy różnych temperaturach na wytrzymałość przy rozciąganiu ( $Kz$  w  $\text{kg/mm}^2$ ) i wydłużenie ( $\varphi$ ) żelaza przerabianego na zimno. Widzimy, że wpływ ten obja-

wia się już między 100 a 200°, a kończy powyżej 600°, gdzie mechaniczne własności żelaza już się ustalają.

Wpływ zimnej obróbki i żarzenia na te własności przedstawia także następująca tabelka dla drutu o zawartości 0·05% węgla:

Stan materiału	$Kz$ w $kg/mm^2$	$\varphi\%$
Przed obróbką grubość 5·22 mm.	36·9	24·7
Pó wyciągnięciu na zimno do średn. 3·7 mm.	68·8	5·0
Po wyżarzeniu przy 616°	37·8	32·7

Zmiany, jakie powoduje obróbka na zimno, wykazują, że ziarna materiału wskutek niej znajdują się w stanie naprężenia i dążą do odzyskania pierwotnej równowagi, i kiedy przez rozgrzanie zmniejszy się ich tarcie międzycząstkowe, wracają do pierwotnego kształtu. Napięcia wywołane zimną obróbką objawiają się często odkształceniem materiału przy toczeniu, szlifowaniu i t. p., przy jednostronnem ogrzaniu,

zanurzeniu w kwasach i t. p., t. j. w wypadkach, gdy następuje jednostronna zmiana napięć w materiale.

Zbyt daleko posunięta obróbka zimna obniżająca ciągliwość żelaza do minimum,

a przekraczająca jego wytrzymałość, wywołać może pęknięcia i złamania. Ryc. 18. przedstawia przekroje drutu (w silnem powiększeniu), w którym wskutek zbytniego wyciągania (na zimno) powstały regularne, z ruchem cząstek w czasie przeróbki zgodne pęknięcia. Taką, zbyt daleko posuniętą obróbką zimną tłumaczy się niespodziewane napozór pęknięcia części żelaznych np. łańcuchów u wind, haków noszących ciężary i t. p., które pracując w normalnej tempera-



Ryc. 18.

turze doznają częstych, choćby słabych wstrząśnień i uderzeń; ta zwolna ale stale postępująca obróbka zimna, powodując stopniowe odkształcenie cząstek, doprowadza do trwałych zmian, objawiających się jako złamania, pęknięcia, urwania i t. p.

Inne własności żelaza kujnego. *Ciężar gatunkowy* żelaza kujnego wynosi około 7,8, zmieniając się zależnie od przymieszek i sposobu przeróbki.

*Topliwość.* Temperatura topliwości żelaza kujnego zależy od zawartości węgla, a także innych przymieszek, i ze wzrostem ich obniża się. Temperatura topliwości czystego żelaza wynosi 1505°, inne gatunki zastygają między dwiema granicami temperatury; stosownie do zawartości przymieszek temperatura rozpoczynającego się zastygania wynosi 1400—1500°, ponieważ jednak w praktyce mówi się o zastyganiu, gdy tężejąca masa przedstawia się przy dotknięciu jako ciało stałe, choć wistocie proces tężenia jeszcze się nie skończył, określa się temperaturę topliwości żelaza kujnego na 1350—1500°, stosownie do ilości węgla. W stosunku do tej zawartości przyjąć można na każde 0,1% dodatku węgla do czystego żelaza podniesienie się temperatury topliwości o 100°.

*Stopień kurczenia* się tężejącego żelaza kujnego wynosi zależnie od zawartości węgla 1,6—2%, w praktyce przyjmuje się zwykle współczynnik ten dwa razy większy niż dla surowca szarego (t. j. 2%).

*Własności elektryczne i magnetyczne żelaza.* Żelazo ma zdolność przewodzenia elektryczności 6 razy mniejszą niż miedź; im jest czystsze, tem lepszym jest przewodnikiem, im więcej zawiera domieszek, tem przewodnictwo jego się zmniejsza. Żelazo zahartowane traci w znacznym stopniu zdolność przewodzenia; badany stalowy drut wykazał w stanie normalnym opór elektryczny 15 ohmów, w stanie zahartowanym blisko 50. Przy odpuszczaniu opór szybko maleje w miarę wysokości ogrzania i po odpuszczeniu przy 400° powraca prawie całkowicie do wysokości oporu w stanie niezahartowanym.

Własności magnetyczne żelaza są ważne ze względu na jego zastosowanie w elektrotechnice, która raz potrzebuje ma-

teryałów łatwo dających się namagnetyzować i po ustaniu tego działania tracących swój magnetyzm zupełnie, drugi raz materiałów zatrzymujących trwale własności magnetyczne. Do pierwszego celu potrzebne są materiały zwane magnetycznie *miękkimi*, które mają wielką *magnetyczną pojemność* (n. Induktion) i wielką *przepuszczalność magnetyczną* (n. Permeabilität). Bardzo dobrym do tego celu materiałem jest żelazo bardzo miękkie t. j. zawierające jak najmniej węgla i innych przymieszek; ze wzrostem zawartości węgla zmienia się jego pojemność i przepuszczalność magnetyczna. Używane ze względów technologicznych do maszyn elektrycznych odlewy stalowe nie mogą zawierać wiele węgla ani innych przymieszek; najwyższa zawartość obcych ciał w takim odlewie nie powinna przekraczać 0·25% węgla, 0·20% krzemu, 0·50% manganu, 0·08 fosforu i 0·05% siarki. O ile stosuje się żelazo lane (surowiec szary), to również zawartość węgla nie powinna być wielka, a węgiel powinien mieć postać grafitu.

Na blachy do maszyn elektrycznych wymagany jest magnetycznie miękki materiał o wielkiej przepuszczalności, a małej *oporności magnetycznej* (Hysteresis). Do niedawna używano do tego celu bardzo miękkiego żelaza, dziś stosuje się żelazo o zawartości nie większej niż 0·1% węgla z dodatkiem 2—3·5% krzemu, który wymagane własności w wysokim stopniu podnosi, nie zwiększając oporności magnetycznej, a zmniejszając elektryczne przewodnictwo żelaza, przez co maleją opory spowodowane prądami wirowymi (n. Wirbelströme).

Ten sam skutek sprawia dodatek glinu do blachy (do 1·3%).

Sposób obróbki ma również znaczenie, np. przypadkowe uderzenia, jakim podlega blacha, obróbka na zimno przez kucie, walcowanie, obcinanie i t. p., wogóle czynności zmieniające miejscowo strukturę żelaza (kształt ziarn) i czyniące ją niejednorodną, zmniejszają wymagane własności magnetyczne blachy. Dlatego dla usunięcia wpływu takich procesów poddaje się blachę wyżarzeniu i powolnemu studzeniu.

Do drugiego celu t. j. do wyrobu magnesów *trwałych* potrzebny jest materiał magnetycznie *twardy*, o znacznym *magnetyzmie szczątkowym* (n. Remanenz) i dużym *nateżeniu de-*

*magnetyzującym* (Koerzitivkraft)\*). Tu używa się stali o znacznej zawartości węgla, bo z jej wzrostem rośnie również magnetyzm szczałkowy; granicą według badań Marsa \*\*) jest stal o zawartości 0·97% węgla, a więc stal eutektyczna, poczem własności te zmniejszają się, a około 1·6% mają zupełnie ustawać. Własności wymagane (zmniejszenie przenikliwości, zwiększenie oporności magnetycznej i remanencji) zwiększają się blisko trzykrotnie przez hartowanie stali (przy 900—950°), dlatego tylko takiej się tutaj używa. Dodatek wolframu (do 5%), a także chromu podnosi własności magnetyczne stali używanej do magnesów trwałych. W magnesach z zahartowanej stali magnetyzm szczałkowy zmniejsza się zrazu szybciej, potem coraz wolniej. Zjawisko to nazywa się starzeniem się (n. Altern) magnesu. Chcąc mieć w przyrządach mierniczych magnesy o stałej wartości magnetyzmu szczałkowego, pozostawia się nowe magnesy dłuższy czas bez użytku dla starzenia się. Proces ten odbywa się szybciej przy podwyższonej temperaturze, dlatego dla sztucznego zestarzenia poddaje się nowe magnesy przez szereg godzin ogrzaniu do temperatury 90—100°.

Domieszki w żelazie kujnem. Wskutek procesów hutniczych dostają się do żelaza kujnego podobnie jak do surowca inne ciała, które wywierają wpływ na jego mechaniczne własności. Te przymieszki *naturalne* odróżnić trzeba od przymieszek *umyślnie* dodawanych do żelaza dla osiągnięcia pewnego stopu o wymaganych i przewidzianych z góry własnościach. Temi umyślnie dodawanymi przymieszkami, choćby były temi samemi ciałami, które wymieniamy jako naturalne dodatki, zajmiemy się osobno w ustępie o stopach żelaza.

Do przymieszek naturalnych należą, podobnie jak w surowcu, mangan, krzem, siarka, fosfor, czasem arsen, antymon, miedź i cyna; inne pomijamy jako rzadko zachodzące i nie mające przez to większego znaczenia.

*Mangan* podnosi wytrzymałość żelaza, nie obniżając jego plastyczności (kujności) aż do zawartości 1·5%, powyżej tej

---

\*) Nazwy tu stosowane przyjęte są te, jakich używa prof. Dzieślewski w wykładach elektrotechniki na lwowskiej Politechnice.

\*\*) G. Mars. *Die Spezialstähle* 1912, str. 181.

cyfry kujność szybko się zmniejsza, powyżej 2·5% wytrzymałość zmniejsza się również. Na zgrzewalność żelaza domieszki manganu do 0·8% wpływają korzystnie\*), większe ją zmniejszają.

Mangan jako składnik chciwie łączący się z tlenem i siarką usuwa rozpuszczone w żelazie związki tych ciał i przez to żelazo oczyszcza; w hutnictwie ma z tego powodu obszernie zastosowane jako czynnik odtleniający i odsiarczający.

Krzem podnosi w pewnym stopniu wytrzymałość żelaza aż do 4% zawartości, równocześnie jednak zmniejsza jego rozciągliwość, która przy 4% krzemu zupełnie znika; wynika z tego, że dodatek krzemu obniża kujność żelaza, również źle działa na jego zgrzewalność. Natomiast jako ciało łatwo łączące się z tlenem jest bardzo dobrym środkiem odtleniającym i oczyszczającym żelazo z zawartych w niem tlenków, poprawia jego własności mechaniczne. Krzem utrudnia także wydzielanie się w czasie tężenia gazów rozpuszczonych w żelazie, przez co zapobiega porowatości odlewów. Z tych powodów bywa obszernie stosowany przy wyrobie żelaza kujnego.

O wpływie krzemu na własności elektryczne i magnetyczne żelaza mówiliśmy w odnośnym ustępie.

Siarka w małych ilościach nie wpływa na mechaniczne własności żelaza przy normalnej temperaturze; zawartość jej jednak źle bardzo działa na wytrzymałość żelaza rozgrzanego, które przy obróbce pęka, dlatego, że zawartość siarki odbiera żelazu kujność — czyni je kruchem na gorąco. Powodem tego jest głównie siarczek żelaza, tworzący się wskutek obecności siarki; siarczek w temperaturze 770° rozpuszcza się w żelazie, tworząc kryształy mieszane o wielkiej kruchości i niższym punkcie topliwości, niż ma żelazo. On to powoduje złą kujność żelaza rozgrzanego do czerwoności. Siarka jest więc bardzo szkodliwą przymieszką, dlatego zawartość jej w żelazie nie powinna przekraczać 0·05%.

Fosfor podnosi wytrzymałość żelaza, ale równocześnie tak zwiększa jego kruchość w stanie zimnym, że żelazo pęka pod

---

\*) Diegel »Das Schweissen und Hartlöten«, Zft. d. Ver. z. Bef. d. Gewerbefleisses 1908.

uderzeniem; ze wzrastającą zawartością węgla ta kruchość na zimno rośnie i najsilniej występuje w stali zahartowanej; wskutek tego stal narzędziowa o zawartości około 1% węgla nie powinna zawierać więcej fosforu niż 0.025%, podczas gdy żelazo miękkie znosi 0.1% fosforu.

Kujności na gorąco fosfor nie szkodzi aż do zawartości 0.3%, zachowuje się więc odwrotnie niż siarka; nie wywiera też większego wpływu na zgrzewalność żelaza.

*Arsen i antymon* zwiększają kruchość żelaza w podobny sposób jak fosfor.

*Miedź* w żelazie zawarta nie jest sama z siebie szkodliwą przymieszką, owszem polepsza jego mechaniczne własności; przy równoczesnej jednak większej zawartości siarki w żelazie tworzy się siarczek miedzi, który wywiera podobny, choć słabszy wpływ, jak zawartość siarki.

*Cyna*, która może się dostać do żelaza przy przeróbce odpadków blachy cynowanej, czyni żelazo kruchem i dlatego jest dodatkiem szkodliwym.

Żelazo podobnie jak i inne metale rozpuszcza w sobie gazy; w miarę wzrostu temperatury rozpuszczalność ta wzrasta, a w stanie stopionym jest znacznie większa niż w stałym. Przy stygnięciu wskutek zmniejszającej się rozpuszczalności gazów żelazo je wydziela, — tak np. według Sievertsa jeden kilogram kujnego żelaza wydziela przy tężeniu 130 cm. wodoru \*).

Jeżeli tężenie odbywa się pod ciśnieniem, które podwyższa rozpuszczalność gazów, wtedy wydzielanie ich jest słabe i przy pewnym ciśnieniu zupełnie ustaje; gazy pozostają wtedy w stężałym żelazie w stanie rozpuszczonym, w przeciwnym razie wydzielają się i uchodzą z płynnego żelaza, a gdy powierzchnia jego stężeje, zatrzymują się w nim w postaci baniek, szkodząc jego jednolitości i wytrzymałości. Częściowo tworzą gazy z żelazem i jego składnikami płynne połączenia (żużel), mające po stężeniu znacznie mniejszą wytrzymałość, — lub gazy, np. tlenek węgla.

W żelazie kujnym spotyka się w stanie rozpuszczonym *wodór*, pochodzący z rozkładu pary wodnej, zawartej w po-

\*) M.-H. II. A. str. 421.

wietrze użytem do świeżenia żelaza przy przeróbce surowca na żelazo kujne, *azot* z powietrza, *tlen* z powietrza, który jednak łączy się z żelazem pozostając w niem w postaci tlenku, a wskutek obecności węgla redukuje się i daje *tlenek węgla* (gaz), lub np. z manganem lub krzemem odpowiednie płynne tlenki (żużel).

W żelazie spotykamy więc trzy gazy: wodór, azot i tlenek węgla. Doświadczenia Müllera \*) z zawartością gazów w różnych rodzajach żelaza kujnego wykazują, że w zawartych w niem gazach wodór zajmuje objętościowo 55—92%, azot 45—6%, tlenek węgla do 2%. Przez ogrzewanie żelaza o zawartości 0·49% węgla, 0·35% krzemu, 0·72% manganu i po 0·02 siarki i fosforu w próżni aż do stopienia otrzymał Wesley Austin \*\*) w 100 częściach wydzielonych gazów około 0·6% dwutlenku węgla, 45·1% tlenku węgla, resztę wodoru i azotu.

Co do wpływu na żelazo gazów, to oprócz tego, że czynią je porowatym i przez to obniżają jego mechaniczne własności, wpływ ich jest następujący:

*Wodór* rozpuszcza się w żelazie nie tylko płynnym, ale i w stałym, w stanie rozżarzenia np. przy nawęglaniu zapomocą gazu świetlnego, i zawarty w żelazie czyni je twardym i bardzo kruchem, zmniejsza też jego własności magnetyczne; przez żarzenie żelaza w stanie stałym można wodór z niego wydzielić.

*Azot* ma zwiększać wytrzymałość, a zmniejszać ciągliwość i przez to powodować kruchość żelaza w wyższym stopniu niż fosfor \*\*\*).

*Tlen* łącząc się z żelazem i pozostając w niem w postaci tlenków (rozpuszczonych albo jako delikatna emulsja, co nie jest dotąd wyjaśnione) \*\*\*\*) czyni je kruchem w stanie

\*) M.-H. II. A. str. 429.

\*\*) *St. u E.* 1912, str. 1752.

\*\*\*) W. Giesen w dziełku »*Die Spezialstähle in Theorie und Praxis*« twierdzi, że ciągliwość żelaza przy zawartości 0·041% azotu zupełnie znika. Stal, zwłaszcza w stanie zahartowanym ma być bardzo wrażliwa na działanie azotu. Potwierdzają to badania Andrewa, *St. u E.* 1912, str. 1753.

\*\*\*\*) M.-H. II. A. str. 426.



gorącym (żelazo spalone), przez co jego kujność i wytrzymałość się zmniejsza. Przez odpowiednie dodatki redukujące (mangan, krzem, glin) można go z żelaza usunąć. Z węglem zawartym w żelazie tworzy tlenek węgla, wydzielający się w postaci baniek.

Tlen wskutek swego powinowactwa do żelaza powoduje rdzewienie, nadto żelazo w stanie rozgrzanym szybko utlenia, przez co powstają przy obróbce wielkie straty żelaza, które tworzy odpadki pod postacią omłotków, zendry i t. p., pokrywające cienką warstwą rozgrzane żelazo w czasie kucia, walcowania, żarzenia i t. p.

Przy słabszem rozgrzaniu (200—350°) oczyszczona powierzchnia żelaza pokrywa się bardzo cienką warstewką tlenku, zabarwiającą je, stosownie do stopnia rozgrzania, kolejno na żółto, czerwono, fioletowo, niebiesko, zielono, aż do szarej barwy.

Barwy te noszą nazwę barw n al o t o w y c h i są pomocne przy odpuszczaniu narzędzi hartowanych jako wskaźnik temperatury odpuszczania.

**Rdzewienie.** Żelazo pod działaniem tlenu, powietrza i wilgoci pokrywa się warstwą wodorotlenku żelaza, zwanego *rdzą*, i jeżeli stale temu działaniu podlega, zamienia się z czasem w zupełności na ten związek. Rdzewienie przypisywane bywa często zawartości bezwodnika węglowego w powietrzu, jako głównemu czynnikowi powodującemu rdzewienie; badania Heyna i Bauera\*) wykazały, że tak nie jest, gdyż żelazo podlega rdzewieniu nawet przy zupełnem wykluczeniu bezwodnika węglowego, jedynie pod działaniem tlenu zawartego w wodzie; — działanie bezwodnika przyczynia się do rdzewienia żelaza, podobnie jak działanie kwasów, pewnych soli i t. p. zawartych w powietrzu, w wodzie słodkiej, a zwłaszcza morskiej, wogóle wszelkie czynniki chemicznie oddziałujące na materiał tak stosunkowo mało odporny jak żelazo, powodują jego niszczenie. Niema też wątpliwości, że prądy elektroli t y c z n e powstające między żelazem a innymi w tych samych płynach zanurzonymi metalami, a nawet między odmiennymi rodzajami żelaza, przyczyniają się w wielkim stopniu do rdze-

---

\*) M. G. L. 1908.

wienia. Ponieważ warunki, w jakich żelazo podlega działaniu czynników atmosferycznych, wody różnie zanieczyszczonej i innych płynów, w których bywa zanurzone, naczyń w jakich te płyny się mieszczą i t. d. są bardzo zmienne, a nadto samo żelazo stosownie do zmiennej zawartości węgla i innych przymieszek oraz przeróbki, jakiej doznało, jest materiałem wcale niejednorodnym, nie doprowadziły dotychczas liczne badania w tym kierunku do jakiegokolwiek pewności, jakie rodzaje żelaza i w jakich warunkach podlegają więcej lub mniej rdzewieniu. Co do surowca jako materiału stosowanego do odlewania, wyniki spostrzeżeń i badań jego odporności przeciw rdzewieniu w porównaniu z pewnymi gatunkami żelaza kujnego, nie mają znaczenia rozstrzygającego, sprawa ta nie jest dotąd należycie wyjaśniona i jest wogóle wątpliwe, czy może być wyjaśniona. Jedno jest tylko pewne, że każde żelazo (więc i surowiec) podlega rdzewieniu i używając wyrobów wykonanych z niego tam, gdzie niebezpieczeństwo rdzewienia zachodzi, należy je odpowiednio zabezpieczyć.

## 2. INNE METALE.

W budowie maszyn używane bywają prócz żelaza następujące metale, już to same dla siebie (rzadziej), już to (o wiele częściej), jako stopy z innymi.

**Miedź** otrzymuje się z rud, będących połączeniami tlenu i siarki z miedzią, głównie z *chalkopirytu* (siarczek żelaza i miedzi). Wyrabia się ją na drodze suchej przez wytopienie lub na drodze mokrej zapomocą chemicznych procesów i przez elektrolizę.

Posiada barwę czerwoną, ciężar gat. ok. 8,9, topi się przy 1084°, o ile jest czysta i chroniona od dostępu powietrza. Stopień kurczenia się przy zastyganiu wynosi 1'2 do 1'4%. Jest bardzo rozciągliwa, daje się kuć, walcować, wyciągać w drut, posiada przytem znaczną wytrzymałość, zależnie od sposobu przeróbki, zwłaszcza obróbka w stanie zimnym podnosi ją bardzo, ale równocześnie zwiększa twardość a także kruchość; przez wyżarzenie (około 500°) przywraca się jej pierwotną ciągliwość. Ogrzanie to nie powinno być jednak za silne, gdyż miedź przy 600—700° nabiera struktury gruboziarnistej i staje się kruchą; objaw ten podobnie jak u żelaza nazywamy tak samo przegrzaniem.

Przeciętne cyfry wytrzymałości miedzi są według Wüsta \*) następujące:

---

\*) F. Wüst »Legier- und Lötunst«, Lipsk 1908.

	Kz kg/mm <sup>2</sup>	φ <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
W stanie odlanym . . . .	14—19	
Walcowana na zimno . . .	27—30	22—25
» i żarzona . . . . .	20—24	40—50
Wyciągnięta w drut i nie żarzona . . . . .	31—34	6—9

Miedź ogrzewana traci na wytrzymałości i ciągliwości stosownie do podwyższenia temperatury. Ryc. 19. przedstawia graficznie\*\*) według badań Rudeloffa wpływ ten na pręt miedziany wyciągany na zimno (pełna linia) i ten sam pręt wyżarzony (linia kreskowana). Widzimy, że miedź przez wyciąganie nabrała wytrzymałości około 45 kg/mm<sup>2</sup>, po żarzeniu miała tylko 30 kg/mm<sup>2</sup>. Natomiast wydłużenie w pierwszym wypadku wynosiło niespełna 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, w drugim blisko 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Przy ogrzewaniu wytrzymałość miedzi żarzonej spada wolno, ciągnionej prędkiej do temp. 300<sup>0</sup>, poczem spadek jest znacznie szybszy, a przy 500<sup>0</sup> wytrzymałość obu gatunków jest mało co większa niż 10 kg/mm<sup>2</sup>. Ponieważ rury przewodzące parę przegrzaną bywają ogrzewane do 300<sup>0</sup> i wyżej, trzeba przy ich obliczaniu liczyć się z tem zachowaniem się ogrzanej miedzi. Widzimy także z wykresu, że mała rozciągliwość miedzi ciągnionej zachowuje się prawie bez zmiany do 300<sup>0</sup>, potem nieco spada, a od 400<sup>0</sup> nagle wrasta, — materiał traci własności nabyte przy ciągnięciu na zimno i staje się plastycznym. Miedź wyżarzona w temp. 300—400<sup>0</sup> traci bardzo swą ciągliwość, dopiero od 400<sup>0</sup> staje się plastyczną.

Miedź jest doskonałym przewodnikiem ciepła i elektryczności i wskutek tego używana bywa w olbrzymich ilościach na przewody elektryczne. Miedź obrabiana w zimnym stanie (n. p. drut wyciągany) ma wyższy współczynnik oporu elektrycznego, niż w stanie wyżarzonej.

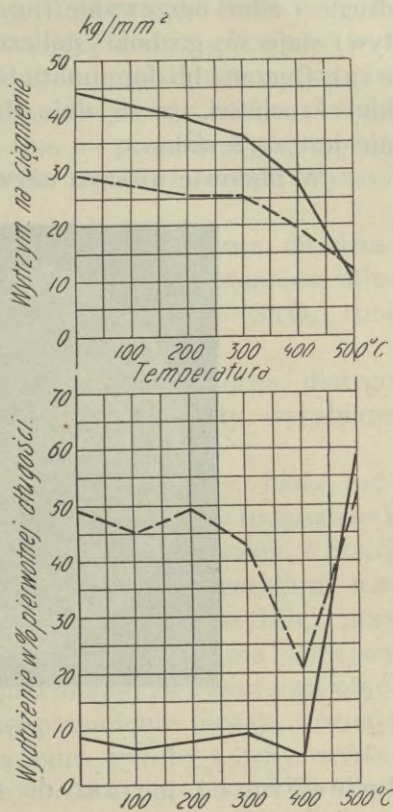
Na działanie powietrza odporna, w atmosferze wilgotnej i nasyconej bezwodnikiem węglowym pokrywa się warstewką zasadowego węglanu miedzi. Ogrzana (400 do 500<sup>0</sup>) pokrywa się szybko warstwą tlenku, która jest krucha i odpada przy

\*) Rudeloff »Einfluss erhöhter Temperaturen auf die mech. Eigenschaften der Metalle«, Ding. 1909, str. 393.

kuciu lub walcowaniu. Miedź stopiona, o ile nie zabezpieczy się jej powierzchni od dostępu powietrza, bardzo szybko się utlenia na tlenek miedziawy ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), rozpuszczający się w miedzi i tworzący z nią stop o temperaturze topliwości  $1064^\circ$ . Ponieważ miedź handlowa jest często w ten sposób zanieczyszczona, a przy topieniu bardzo łatwo następuje nasycenie jej tlenkiem, dlatego za punkt topliwości miedzi bywa często podawana powyższa temperatura, podczas gdy istotnie leży ona o  $20^\circ$  wyżej. Miedź zanieczyszczona tlenkiem jest gęsto-płynna, ciągliwość jej zmniejsza się, materiał staje się kruchym. Ryc. 20. przedstawia miedź zanieczyszczoną tlenkiem.

Zanieczyszczenie to bywa czasami niebezpieczne, gdy miedź w stanie rozgrzanym styka się z gazem zawierającym wodór np. przez nieogłędne lutowanie lub żarzenie przy pomocy gazu świetlnego. Miedź w stanie rozżarzonego pochłania wodór, który w zetknięciu z tlenkiem miedzi ( $\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ ) redukuje się, przyczem powstaje para wodna. Ponieważ para przy tej temperaturze ma bardzo wysokie ciśnienie, a zamknięta jest w otworkach pozostałych po redukcji tlenu, wskutek tego powstają deformacje i pękanie miedzi<sup>\*)</sup>. Czysta miedź temu niebezpieczeństwu nie podlega.

Zanieczyszczenia miedzi innymi ciałami również dają jej kruchość i obniżają obrabialność.



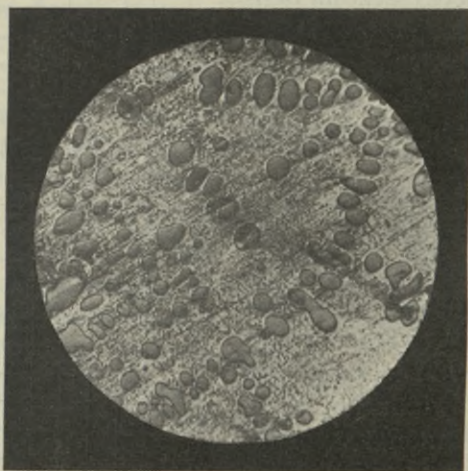
Ryc. 19.

<sup>\*)</sup> Heyn »Krankheitserscheinungen in Eisen und Kupfer«, Z. d. V. 1902.

Miedź stopiona rozpuszcza z łatwością gazy jak wodór, tlenek węgla, bezwodnik siarkawy, wydzielając je przy zastygnięciu, z tego względu jest w stanie czystym bardzo trudna do odlewania, bo daje porowate odlewy.

Miedź ma strukturę bardzo drobnokrystaliczną, — przez długie i silne ogrzewanie (np. blachy w paleniskach lokomotyw) staje się grubokrystaliczną i kruchą (objaw przegrzania). Ogrzana blisko punktu topliwości nabiera twardości i takiej kruchości, że się daje tłuc na proszek; z tego powodu nie jest zgrzewalna.

W budowie maszyn używa się miedzi do wyrobu naczyń,



Ryc. 20.

kotłów, rur i t. p., oraz do najważniejszych stopów (bronz, mosiądz i i.).

Cyna wyrabiana bywa z *kasyterytu* (tlenek cyny) przez wytapianie; otrzymuje się też wiele cyny z odpadków, z blach żelaznych cynowanych i t. p. drogą elektrolityczną.

Cyna ma barwę białą, połysk metaliczny, przełom krystaliczny; przy zginaniu wskutek wzajemnego tarcia się kryształków wydaje charakterystyczny chrzęst, zwany *zgrzytem* cyny. W cynie zanieczyszczonej ołowiem zgrzyt jest słabszy, przy 30% ołowiu jeszcze go można odróżnić, przy 50% zupełnie znika. — Praktycy rozpoznają z tego do pewnego

stopnia zawartość cyny w stopach ołowiu, których używa się do lutowania.

Ciężar gat. cyny zmienia się zależnie od sposobu obróbki, wynosi około 7·3. Cyna topi się przy 232°, paruje przy 1200°.

Twardość ma nieznaczną, wytrzymałość na rozciąganie 3·5—4 kg/mm<sup>2</sup>, natomiast jej rozciągliwość jest bardzo wielka już w zwykłej temperaturze; przy rozgrzaniu wzrasta jeszcze do 100°, poczem szybko maleje, materiał staje się kruchym i przy 200° daje się tłuc na proszek. Cynę można dobrze odlewać, stopień kurczenia się przy tężeniu wynosi ok. 0·5%.

W zwykłej temperaturze jest bardzo odporna na działanie powietrza i czynników atmosferycznych, stopiona utlenia się łatwo, przyczem wytwarzający się tlenek (SnO<sub>2</sub>) robi ją gęsto-płynną, a po zastygnięciu kruchą.

Na działanie słabych kwasów cyna jest odporna, dlatego powlekają nią dla ochrony naczyń i przedmioty wyrabiane z innych metali.

Są dwie allotropowe odmiany cyny, *biała* (odmiana β), metaliczna, używana w przemyśle, i *szara* (odmiana α), w postaci proszku o ciężarze gat. 5·8, która powstaje z białej w temperaturze niższej niż 18°; im niższa temperatura, tem przemiana odbywa się szybciej i łatwiej, najszybciej przy —48°\*). Ponieważ cyna szara jest proszkiem i ma mniejszy cięż. gat. niż biała, a więc przy przemianie zwiększa swą objętość, przeto przedmioty, które tej przemianie ulegają, doznają zupełnego zniszczenia; podlegają temu wyroby z cyny, wystawione dłuższy czas na działanie mrozu, np. piszczalki organowe w kościołach, kawałki surowej cyny w magazynach, — podlegają im jednak i przedmioty przechowywane w wyższej temperaturze np. okazy muzealne.

Szara cyna działa na białą katalitycznie, dlatego gdy przemiana raz się rozpocznie, postępuje bardzo szybko; z tego powodu C o h e n, który pierwszy tę właściwość cyny naukowo zbadał, nazwał tę przemianę *zarazą cyny*. Zapobiedz jej można, przechowując przedmioty cynowe w temperaturze powyżej 18°, przy której przemiana ustaje.

\*) Doświadczenia C o h e n a *Ding.* 1909, str. 90.

Cyny w budowie maszyn używa się do ochronnego pokrywania innych metali i do wyrobu cennych stopów. Wysoka i wciąż podnosząca się jej cena powoduje potrzebę zastępowania jej innymi, tańszymi, ale mniej cennymi metalami.

**Cynk** otrzymuje się z *blendy* cynkowej (siarczek cynku) i *galmanu* (węglan cynku) przez prażenie i destylację. Ma on barwę niebieskawo-białą, przełom krystaliczny, ciężar gat. 7·1. Topi się przy 419°, paruje przy 918°. Jest kruchy, jednak ogrzany ponad 100° a poniżej 150° jest bardzo plastyczny, daje się wybornie kuć, walcować w blachy, wyciągać w pręty i druty. Powyżej 150° traci napowrót plastyczność, a przy 200° jest tak kruchy, że się daje tłuc na proszek.

Cynk pozwala się dobrze odlewać, stopień kurczenia się wynosi 1·4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Używamy go z tego powodu do tanich odlewów ozdobnych. W suchem powietrzu nie ulega zmianie, w wilgotnem i zawierającym bezwodnik węglowy pokrywa się warstwą zasadowego węglanu cynku, która jest tak zwiezła, że nie dopuszcza działania czynników atmosferycznych do głębszych warstw i dobrze je chroni. Na działanie kwasów nie jest wytrzymały. W handlu bywa zanieczyszczony ołowiem i żelazem; ołów w ilości ponad 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> czyni go kruchym, żelazo przy większej zawartości (5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) — twardym.

Używany bywa w budowie maszyn do ochronnego polewania innych metali i do wyrobu wielu ważnych stopów.

**Ołów** otrzymuje się z *galenitu* (siarczek ołowiu) i z *ceruzytu* (węglan ołowiu) przez prażenie i przetapianie. Ma barwę niebieskawo-szarą, ciężar gat. 11·4, topi się przy 327°; jest bardzo miękki, ma małą wytrzymałość, jest nadzwyczajnie plastyczny i rozciągliwy. Daje się dobrze odlewać, stopień kurczenia się wynosi 1·1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. W wilgotnem powietrzu pokrywa się cienką warstwą tlenku, która dobrze chroni głębsze warstwy od utlenienia; stopiony utlenia się szybko. Na działanie kwasu solnego i siarkowego bardzo odporny, w azotowym się rozpuszcza.

Używany w budowie maszyn, do wyrobu naczyń, blach, rur, — dla przemysłu chemicznego, na druty a także do tanich stopów.

**Antymon** otrzymuje się z siarczku (*antymonit*) i tlenku przez prażenie i sublimację, wydzielenie z roztworów i elektro-



lizę. Jest srebrzysto-biały, bardzo kruchy, topi się przy  $630^{\circ}$ , około 1200 uatnia się; jego ciężar gat. wynosi 6.7. Na powietrzu się nie zmienia, na działanie lekkich kwasów odporny.

Używany w budowie maszyn do stopów łożyskowych i t. p., jako czynnik zwiększający twardość stopu.

**Nikiel** otrzymuje się z siarczków, arsenków (*nikielin*) i krzemianów (*garnieryt*), przez żarzenie i przetapianie lub przez elektrolizę. Zawarty jest w znacznej ilości (do 20%) w żelazie meteorycznym.

Ma barwę srebrzysto-białą z żółtawym odcieniem, topi się przy  $1451^{\circ}$ , ciężar gat. około 9. Ma twardość żelaza kujnego, wytrzymałość na rozciąganie około  $50 \text{ kg/mm}^2$ , przy wydłużeniu do 40%, wskutek czego daje się kuć, walcować, wyciągać. Jest zgrzewalny podobnie jak żelazo. Na działanie powietrza i wilgoci bardzo odporny. Ma dwie allotropowe odmiany, magnetyczną  $\alpha$  poniżej  $350^{\circ}$  i niemagnetyczną  $\beta$  powyżej tej temperatury. Do odlewania nie jest łatwy, gdyż pochłania gazy, szczególnie tlenek węgla i daje porowate odlewy.

Używany w budowie maszyn jako bardzo cenny składnik w stopach żelaza i miedzi, a także do zabezpieczającego pokrywania przedmiotów wyrobionych z żelaza. Żelazo zawierające nikiel jest odporne przeciw rdzewieniu.

**Glin** (*aluminium*) otrzymuje się z tlenku (*bauksyt*) i fluorku (*kryolit*) działaniem prądu elektrycznego. Ma barwę srebrno-szarą, ciężar gat. 2.7, topi się przy  $657^{\circ}$ , po stopieniu jest gęsty i aby dał się odlewać musi być przegrzany, przez co staje się rzadko-płynnym. Stopień kurczenia się wynosi 1.7%. Wytrzymałość na ciągnięcie posiada w stanie odlanym 8–11  $\text{kg/mm}^2$ , w walcowanym i wyżarzonym do 18, w wyciąganym stanie na zimno do 27. Wyżarzony ma znaczną ciągliwość ( $\varphi = 16\text{--}20\%$ ), najlepiej daje się obrabiać przy temp. 100–150°, powyżej tej temperatury ciągliwość jego maleje, a przy  $530^{\circ}$  jest bardzo kruchy. Na powietrzu słabo się oksyduje, przy ogrzaniu również, o ile jest w stanie zbitym, natomiast sproszkowany i zmieszany ze związkami tlenowymi, oraz ogrzany do  $800^{\circ}$  utlenia się gwałtownie, wywiązując w bardzo krótkim czasie wiele ciepła (z jednego kg. 6274 kal.). Mieszanka drobnziarnistego glinu z tlenkiem żelaza, zwana *termitem*, służy (przez spalenie) jako związek szybko doprowadza-

2,7 — 270  
0,9 — 100

jący ciepło na małej przestrzeni. Glinu używa się z tego samego powodu także w hutnictwie jako środka odtleniającego.

Na działanie lekkich kwasów dość odporny, jedynie kwas solny szybko go rozpuszcza, tak samo płyny zasadowe.

Obróbka na zimno ujemnie wpływa na chemiczną odporność glinu; zauważono, że naczynia z glinu w zetknięciu z wodą ulegają zniszczeniu w ten sposób, że powstają na nich wypukłości lub oddzielają się płatki blachy. Badania \*) wykazały, że niszczenie blachy odbywa się w kierunku walcowania jej i im walcowanie (odbywające się na zimno) było silniejsze, a więc stwardzenie materiału większe, tem naczynie szybciej podlegało zniszczeniu; wyżarzenie metalu przy 450° usuwało zupełnie tę wadę, ale zmniejszało jego twardość i odporność na mechaniczne zużycie.

Chemiczne badanie miejsc uszkodzonych wykazało przemianę glinu na wodorotlenek glinowy, którą mogą wywołać różne czynniki, a którą w codziennem życiu powoduje woda wskutek zawartych w niej przymieszek.

Z powodu swej lekkości używany w budowie maszyn na części motorów samochodowych i latawcowych, a także do wyrobu stopów z miedzią (bronz glinowy) i stopów lekkich.

**Magnez** ma barwę jasno-szara, ciężar gat. 1,74; topi się przy 650°, w stanie rozgrzanym jest ciągliwy. Utlenia się łatwo, a w stanie sproszkowanym bardzo nagle, — z tego powodu ma w hutnictwie zastosowanie jako środek odtleniający. Na działanie chemiczne bardzo mało odporny.

Z powodu wielkiej lekkości używany (w połączeniu z glinem i innymi metalami) do wyboru stopów lekkich, a stosunkowo wytrzymałych.

**Mangan** ma cięż. gat. 7,4, topi się przy 1247°, jest twardy i kruchy. Z powodu łatwego utleniania się używany w hutnictwie jako środek odtleniający; prócz tego ma zastosowanie w stopach żelaza i miedzi.

**Chrom** ma barwę srebrzystą, ciężar gat. 6,5, topi się przy 1514°, jest twardy i bardzo kruchy. Używany do wyrobu stopów żelaza o wielkiej wytrzymałości.

---

\*) M. G. L. 1911 str. 1.

**Wolfram** ma barwę białą, jest kruchy, bardzo twardy, ciężar gat. wynosi 19, topi się około 2570°. Używany do wyrobu twardych stopów żelaza do narzędzi, pocisków i i.

**Wanad i molibden** bywają stosowane w metalurgii do wyrobu stopów żelaza, posiadających wielką wytrzymałość.

### 3. STOPY W OGÓLNOŚCI.

---

Różne metale, które wymieniliśmy w poprzednim ustępie nie przedstawiają w czystym stanie, same dla siebie, takich zalet mechanicznych, któreby je pozwoliły stosować do celów konstrukcyjnych. Czyste metale odznaczają się zwykle znaczną plastycznością, ale równocześnie wytrzymałość ich jest stosunkowo niska, twardość mała, pochłaniają w stanie płynnym wiele gazów, nie nadając się przez to dobrze do odlewania, przytem punkt topliwości mają zazwyczaj wysoki. Z tych i innych jeszcze względów, o jakich będzie sposobność mówić, korzystnie jest stapiać je ze sobą, bo często mały dodatek innego metalu lub składnika niemetalicznego podnosi pewne własności materiału w pożądanym sposób. Widzieliśmy na żelazie, którego również nie używa się w czystym stanie, ale jako stopu z węglem, jak bardzo mały, nie dochodzący 1% dodatek węgla zmieniał jego własności i czynił je wybranym materiałem konstrukcyjnym, jakim bez tego nie byłoby czyste żelazo. Podobnie jest z innymi metalami, które wskutek tego bywają używane przeważnie jako stopy, choćby z małymi tylko obcymi dodatkami.

Nazywamy je *stopami*, gdyż wyrabia się je prawie wyłącznie stapiając je ze sobą. Jak to zjednoczenie odbywa się, zależy od właściwości składników, a mianowicie ich wzajemnej rozpuszczalności w sobie w stanie płynnym i po stężeniu. Jedne metale (n. p. cynk i ołów), i tych jest najwięcej,

są w sobie w stanie płynnym zupełnie rozpuszczalne, tworząc jednolite płynne ciała (jak alkohol z wodą); stopy takie są więc roztworami metali w sobie. Inne (np. cynk i ołów) rozpuszczają się częściowo w sobie (jak eter i woda) dzieląc się według cięż. gat., przyczem jednak dolna warstwa składa się z ołowiu zawierającego cynk, górna z cynku zawierającego pewną ilość ołowiu. Inne metale wreszcie (n. p. żelazo i ołów) nie rozpuszczają się w sobie i stopione oddzielają się podług ciężaru gatunkowego (jak oliwa i woda). Ponieważ wyrób stopów wymaga, aby po stopieniu składniki tworzyły ze sobą jednolity płyn, pozwalający się wlewać w formę czy to dla uzyskania pewnego kształtu (odlewu), czy dla wytworzenia surowego materiału do dalszej przeróbki (kucie, walcowanie i t. d.), jest jasne, że drugi i trzeci rodzaj stopów powstających ze składników nierozpuszczalnych w sobie, nie może mieć praktycznego zastosowania, i mówiąc o stopach możemy mieć na myśli tylko rodzaj pierwszy, t. j. stopy będące w stanie płynnym roztworami składowych metali.

Rozpuszczalność wzajemna metali nie jest zawsze jednokowa, ale zależy od ciśnienia i temperatury, i ze zmianą tych czynników zmienia się tak, że jedne stopy po stężeniu pozostają w zupełnym ze sobą roztworze (np. złoto i srebro) inne częściowo, wydzielając z roztworu o pewnym wzajemnym stosunku obu metali przekraczającą ten stosunek zawartość jednego składnika w postaci kryształów, inne wreszcie przy zastygnięciu są w sobie nierozpuszczalne i tworzą po stężeniu stop złożony z odrębnych od siebie kryształów.

Ponieważ w budowie maszyn może być prawie jedynie mowa o zachowaniu się stężałych metali przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym, przeto zmiany rozpuszczalności metali w sobie zależeć będą, w warunkach przez nas oznaczonych, tylko od zmian temperatury.

Jest jeszcze jedna możliwość zachowania się metali względem siebie w stopie, t. j. tworzenie ze sobą *połączeń chemicznych*, które występują i zmieniają się przy pewnym stosunku składników, lub przy pewnej temperaturze, (np. żelazo i węgiel w karbidzie żelaza:  $Fe_3C$ ). Stop, będący chemicznym połączeniem, ma tak samo jak stop będący stałym roztworem — krystaliczną strukturę, różni się jednak tem, że w pierwszym

wypadku składniki kryształu są w stałym i niezmiennym stosunku atomowym, podczas gdy w roztworze stałym wzajemny stosunek obu składników może się zmieniać.

Mamy więc trzy możliwości istnienia stopów w temperaturze normalnej: 1) jako roztwory stałe o zupełnie jednolitej krystalicznej budowie rozpuszczonych w sobie składników, albo 2) mieszanina kryształów odmiennych, albo 3) jednolite chemiczne połączenie.

Te trzy możliwości mogą stosownie do zawartości składników i temperatury występować obok siebie, tak, że w stopach z dwu lub więcej składników, przy pewnym ich stosunku ilościowym i temperaturze, może istnieć roztwór stały, przy innym stosunku i innej temperaturze mieszanina odrębnych kryształów, lub wreszcie chemiczne połączenie, — może też zachodzić równoczesna kombinacja poszczególnych stanów. Z wymienionych powodów struktura stopów powstałych z tych samych składników przy dwu różnych stosunkach może być zupełnie odmienna, własności chemiczne i mechaniczne odrębne i oba stopy stanowić mogą zupełnie od siebie różne ciała. Dlatego teoretyczne badanie stopów, wyjaśniające bardzo nieraz zawikłane warunki ich budowy i zachowania się, mogły wytłomaczyć objawy często dla praktyka zupełnie niezrozumiałe i rozwinać tę gałąź metalurgii, dawniej jedynie na empirji polegającą, a przez to nie postępującą naprzód.

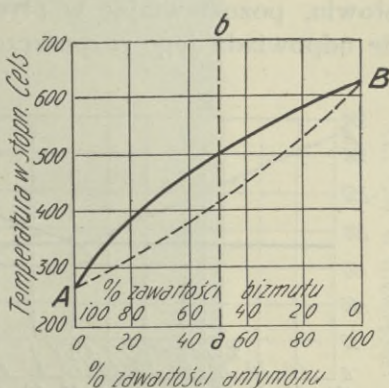
Nie mogąc z powodu obszerności tego działu nauki o materiałach wdawać się w bliższe jej rozpatrywanie, poprzestaniemy na ogólnem omówieniu własności stopów, posługując się dla objaśnienia wymienionych trzech wypadków najprostszymi przykładami.

1) Ryc. 21. przedstawia diagram tężenia stopów bizmutu i antymonu, które także po stężeniu tworzą roztwór stały. Widzimy tu dwie linie o przebiegu ciągłym: górną, przedstawiającą początek tężenia, i dolną (kreskowaną, z powodu, że nie została dokładnie wyznaczona), określającą koniec tężenia. Obie schodzą się w punktach topliwości bizmutu  $268^{\circ}$  i antymonu  $630^{\circ}$ , rozchodząc się w środkowym przebiegu, z powodu, że stopy odnośnie nie tężą przy stałej temperaturze, ale między dwiema granicami. Dzieje się to dlatego, że jakkolwiek

tężą one jako roztwory, to jednak roztwory te nie mają jednakowego nasycenia i np. przy zawartości 45% antymonu (linia *a b*) z początkiem tężenia wydzielają się kryształy roztworu więcej nasyconego składnikiem posiadającym wyższy punkt topliwości (antymon), pozostawiając roztwór płynny o mniejszej ilości tego składnika, pokąd wreszcie wzajemny stosunek obu składników w roztworze nie będzie taki, przy którym roztwór krzepnie.

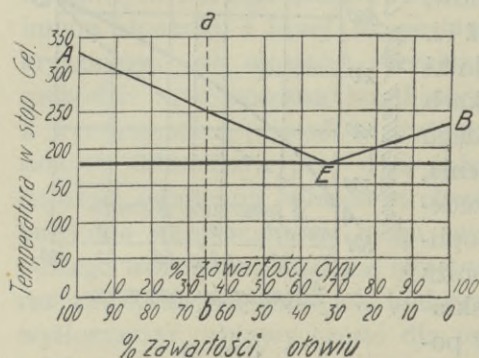
2) Dla wyjaśnienia drugiego przypadku tężenia wybierzemy stop z dwu metali, które przy zastyganiu tracą wzajemną rozpuszczalność. Do takich stopów należy antymon i ołów, cyna i ołów, srebro i miedź i i. Stapiając takie dwa składniki ze sobą w różnych stosunkach i wyznaczając dla każdego stosunku temperaturę tężenia, przekonujemy się przede wszystkim, że punkt topliwości każdego z nich obniża się przez dodatek drugiego składnika, i że, podobnie jak w poprzednim wypadku, tężenie nie odbywa się przy jakiejś stałej temperaturze jak u metali czystych, ale w pewnych granicach, z których górna jest zmienna, dolna zaś stała dla wszystkich stosunków mieszaniny. Znajdziemy wreszcie taki stosunek obu składników, przy którym będzie tylko jeden punkt topliwości a zarazem tężenia przy temperaturze tej samej, co niższe punkty tężenia innych stosunków mieszaniny. Będzie to więc, tak jak to mieliśmy przy stygnięciu żelaza, temperatura eutektyczna, i stosunek mieszaniny eutektyczny. Znając dla różnych stosunków mieszaniny temperaturę tężenia, wykreślamy podobnie jak dla żelaza (Ryc. 1, str. 6) diagram tężenia stopu.

Ryc. 22. przedstawia diagram tężenia stopu cyny i ołowiu. Podobnie jak w diagramie tężenia żelaza oznacza się na



Ryc. 21.

osi poziomej stosunki procentowe mieszaniny, na pionowej temperaturę. Punkt A oznacza temperaturę topliwości ołowiu 327°, punkt B cyny 232°, punkt E jest punktem eutektycznym, odpowiadającym zawartości 67% cyny i 33% ołowiu; leży on na linii poziomej odpowiadającej temperaturze eutektycznej 180°. Pociągnąwszy dla pewnego stosunku, n. p. po lewej stronie punktu E przy 65% ołowiu, a 35% cyny pionową linię *ab*, odczytujemy na niej, że powyżej punktu przecięcia się jej z linią AE stop jest płynny, w punkcie tym (250°) rozpoczyna się tężenie t. j. z płynnego stopu wydzielają się kryształki ołowiu, pozostawiając w płynie tyle rozpuszczonego ołowiu, ile odpowiada jego rozpuszczalności w cynie przy danej temperaturze.



Ryc. 22.

W miarę dalszego ochładzania się płynu wydzielają się kryształki ołowiu coraz więcej, bo rozpuszczalność jego w cynie jest coraz mniejsza. Trwa to tak długo, aż zawartość ołowiu spadnie do 33%, t. j. powstanie eutektyczna mieszanina cienkich płytek ołowiu (33%) i cyny (67%), która zastyga przy 180°. Przy tej temperaturze ustaje zupełnie rozpuszczalność

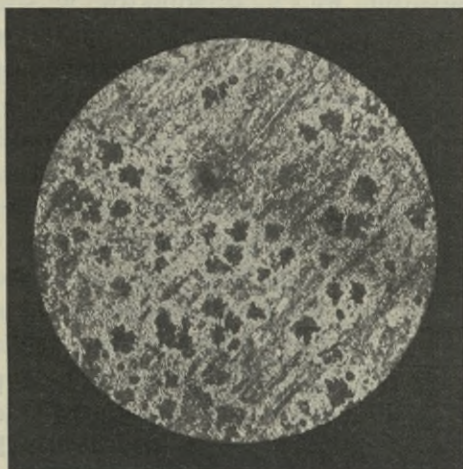
ołowiu w cynie (i na odwrót) i reszta ołowiu musi się wydzielić. Gdybyśmy linię *ab* pociągnęli z prawej strony punktu E, mielibyśmy taki sam przebieg z tą różnicą, że wydzielalyby się kryształki nie ołowiu ale cyny, aż do osiągnięcia stosunku eutektycznego przy temp. eutektycznej. Ryc. 23. przedstawia obraz stopu ołowiu (80%) i cyny (20%), widzimy tu kryształki ołowiu w mieszaninie eutektycznej.

3) Ostatni przypadek przedstawia ryc. 24, str. 54; jest to diagram stopu cyny i magnezu, które przy stosunku 70:95% cyny i 29:05 magnezu tworzą chemiczne połączenie  $\text{SnMg}_2$ .

Linia poczynającego się krzepnięcia, rozpoczynająca się w A (punkt topliwości magnezu 650°) a kończąca w B (punkt topliwości cyny 232°) ma przebieg  $\text{AE}_1\text{CE}_2\text{B}$ , wznosząc się



w punkcie C, (na linii *ab*) przedstawiającym czysty związek chemiczny, do temp. 783° i spadając z obu stron do najniższych punktów eutektycznych  $E_1$ , na linii *cd* (565° eutektyczna mieszanina magnezu i związku  $\text{SnMg}_2$ ) i  $E_2$ , na linii *f* (210°, mieszanina eutektyczna cyny i związku  $\text{SnMg}_2$ ). Przebieg krzepnięcia będzie więc następujący: Na gałęzi  $AE_1$  wydzielają się kryształy magnezu w mieszaninie eutekt.  $E_1$ , na gałęzi  $E_1C$  i  $CE_2$  kryształy związku  $\text{SnMg}_2$ , w pierwszym razie w mieszaninie eutekt.  $E_1$ , drugi raz w mieszaninie  $E_2$ .



Ryc. 23.

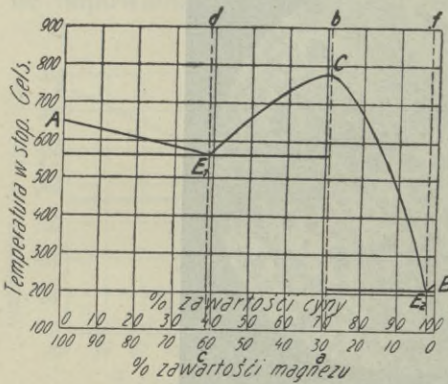
Wreszcie na krótkiej gałęzi  $E_2B$  wydzielają się kryształy cyny w mieszaninie eutekt.  $E_2$ .

Ze względu na częściową rozpuszczalność w stanie stałym, jaką posiada wiele metali, powyższy przebieg stygnięcia kombinuje się często z procesem opisanym pod 1), t. j. że wydzielone kryształki z mieszaniny eutekt. nie są czystymi składnikami stopu, ale roztworami zawierającymi małe ilości drugiego składnika. Podobnie i mieszanina eutekt. składać się będzie z takich roztworów. Diagram ten składa się więc jakoby z dwu diagramów  $AE_1C$  i  $CE_2B$ , tego rodzaju jak na ryc. 22.

Dla wszystkich niemal stopów dwu metali używanych w przemyśle zestawiono diagramy tężenia określające przemiany struktury, jakim podlegają; przy przeróbce stopów i ich

zastosowaniu stanowi to wielką pomoc i ułatwienie, czy to z powodu znajomości temperatur topliwości, czy możliwości wyprowadzenia wniosków co do innych własności fizycznych stopu.

Jako przykład posłużyć może omówione poprzednio żelazo węgliste, którego diagram stygnięcia (ryc. 1, str. 6) jest kombinacją owych prostych przypadków, jakieśmy poprzednio opisali. Poniżej 700° bowiem żelazo składa się z dwu składników, z czystego żelaza (ferrytu) i połączenia chemicznego żelaza z węglem (cementyt,  $Fe_3C$ ), składników w sobie nierozpuszczalnych i występujących w eutektycznej mieszance (per-



Ryc. 24.

lit); powyżej temperatury krytycznej (wzdłuż linii OSB ryc. 1.), oba składniki rozpuszczają się w sobie, tworząc roztwór stały (martenzyt). Znając ten diagram możemy przy wiadomym składzie chemicznym żelaza wyznaczyć temperaturę, przy jakiej będzie się ono topiło, przy jakiej je należy hartować, kiedy może się wydzielić grafit i t. d.

Prócz stopów z dwu metali używa się stopów składających się z trzech i więcej składników, — budowa takich stopów jest bardzo zawiła i nastęrcza wielkie trudności przy badaniu.

Przy pomocy opisanych poprzednio warunków powstawania stopów i na podstawie doświadczeń z praktyki można scharakteryzować ogólnie ich własności. Przedewszystkiem stwierdzić należy, że wyprowadzanie wniosków o własnościach fizycznych stopów z własności materiałów składowych, bardzo często zawodzi, charakter bowiem stopu, zależnie od tego, czy on jest roztworem stałym, czy mieszaniną kryształów, czy połączeniem chemicznym, czy wreszcie kombinacją tych stanów, może być bardzo różnorodny.

*Punkt topliwości*, o ile mamy do czynienia ze stopami składników nierozpuszczalnych w sobie w stanie stałym lub

o małej rozpuszczalności, jest zwykle niższy niż u poszczególnych składników, a przynajmniej niż u jednego z nich; w szeregu stopów utworzonych z takich metali, będzie jeden o temperaturze najniższej i najbardziej jednolitej budowie, tężejący i topiący się przy stałej temperaturze, — jest to stop eutektyczny.

U stopów powstałych z metali rozpuszczalnych w sobie nawet w stanie stałym, punkt topliwości leży poniżej punktu topliwości metalu trudniej topliwego, a powyżej łatwiej topliwego, chociaż zdarzają się wypadki, że leży albo poniżej, albo powyżej obu.

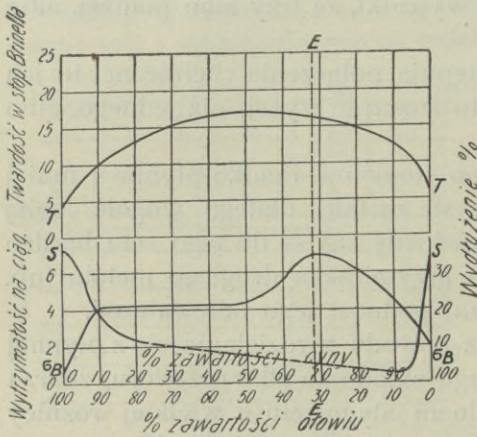
Jeżeli w stopach występują połączenia chemiczne, to ich punkt topliwości leży często znacznie wyżej, niż jednego, albo nawet obu składników.

Stopy są zazwyczaj po stopieniu rzadko-płynne i mniej pochłaniają gazów, niż czyste metale, dlatego wogóle lepiej nadają się do odlewania, niekiedy zaś są do tego celu bardzo dobre. Często bardzo mała przymieszka drugiego metalu (np. cyny do miedzi) nadzwyczaj podnosi jego odlewalność.

Przy tężeniu stopów z powodu wydzielania się z płynnej masy kryształów odmiennego składnika albo roztworu, zdarza się, zwłaszcza przy powolnem stygnięciu a wielkiej różnicy ciężarów gat. obu metali, że różnice te są bardzo znaczne. Wtedy w tym samym odlewie zdarzają się miejsca o odmiennych własnościach tak co do wytrzymałości, jak i rozciągliwości, twardości, barwy i t. d. Objaw ten zwany *wydzieleniem* (niem. Seigerung) jest bardzo niepożądany i szkodliwy; zapobiedz mu można przez szybkie studzenie odlewu, albo stosowanie stopów eutektycznych, które są niezmienne. Ponieważ jednak stopy te nie zawsze posiadają żądane własności, i potrzeba używać innych, skłonnych do wydzielania, pamiętać należy, że im więcej skład stopu różni się od stosunku eutektycznego i bardziej odbiega od czystego metalu, tem niebezpieczeństwo wydzielenia jest większe.

*Wytrzymałość* stopów jest prawie zawsze większa, niż metali czystych, — tak samo *twardość*; natomiast *ciągliwość* ich zmniejsza się, tak że często dwa bardzo plastyczne metale (np. miedź i cyna) tworzą stop bardzo kruchy. Na ryc.

25. podane są graficznie\*) dla stopów cyny i ołowiu (w odniesieniu do znanego już diagramu tężenia tych stopów ryc. 22.) twardość (krzywa TT), wytrzymałość na ciągnięcie (krzywa  $\sigma_B$ ), na granicy wytrzymałości i odpowiadającego jej wydłużenia (krzywa SS) w stosunku procentowym do pierwotnej długości badanego pręta. Widzimy, że twardość każdego stopu jest większa niż składników, tak samo znacznie zwiększa się wytrzymałość, dochodząc do maximum w stopie eutektycznym (co zauważyliśmy także u żelaza węglowego ryc. 10, str. 20); rozciągliwość natomiast już przy małej domieszce bardzo spada, mając wogóle niską wartość, (linia wytrzymałości podana na diagramie ma tylko przybliżoną wartość, zwłaszcza w części kreskowanej, gdyż do zestawienia jej nie było dostatecznie pewnego materiału).



Ryc. 25.

Z dodatkiem nowego składnika do stopu wytrzymałość i twardość zazwyczaj jeszcze więcej wzrastają, a ciągliwość się zmniejsza.

Ciepło właściwe stopu, współczynnik rozszerzalności przy ogrzaniu, ciężar gatunkowy — nie są cyfrą przeciętną zawartości składników w sobie, lecz odmienną, wyższą lub niższą.

Przewodnictwo ciepła i elektryczności jest mniejsze u stopów, niż u metali czystych i mały już dodatek innego metalu wywiera znaczny wpływ.

Barwa stopu nie jest również przeciętną barwy jego składników, o ile nie są jednakowo zabarwione. Ponieważ większość metali czystych ma barwę białą z odcieniem szarym, niebieskim lub żółtym, a tylko miedź i złoto mają zabarwienie odmienne, przeto te dwa metale mogą wpływać na zmianę

\*) Podług M.-H. II. A. str. 327.

barwy stopu lub doznawać zmiany własnej barwy. Najsilniej na zmianę barwy miedzi wpływa dodatek cyny, niklu i glinu. Mały dodatek cyny zmienia jej czerwoną barwę na żółtą, a przy dodatku 30<sup>0</sup>/<sub>0</sub> zupełnie ją zakrywa, tak samo działa 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> niklu (np. monety zdawkowe z niklu zawierają wistocie 75<sup>0</sup>/<sub>0</sub> miedzi, a tylko 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> niklu, tymczasem barwa miedzi jest w nich zupełnie niewidoczna).

Dodatki niemetaliczne również działają odbarwiająco, np. dodatek 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> fosforu nadaje miedzi barwę białą.

**Stopy mieszane i ubijane.** Wobec tego, że stopy metali, o ile nie są połączeniami chemicznymi, nie mają stałej temperatury topliwości, lecz topienie ich odbywa się w pewnych granicach temperatur, można w każdym stopie oznaczyć temperaturę, przy której znaczna część kryształów unosi się w płynnej reszcie, tworząc z nią plastyczną masę. Ten znany objaw zastosował prof. Friedrich\*) do nowego pomysłu, sypiąc do stopu znajdującego się w stanie plastycznym, proszek innego metalu i przy stałej temperaturze plastyczności stopu, wyrabiając go z owym dodatkiem w jednolitą masę. Np. do stopu z 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> antymonu i 98<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ołowiu dodał on 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opilek żelaza, otrzymując po ostudzeniu twardy materiał, zbliżony do stopu ołowiu o znacznej zawartości antymonu.

Pomysł Friedricha pozwala więc mieszać różne ciała, byle o wyższym punkcie topliwości, i otrzymywać materiały nowe, o własnościach i postaci od zwykłych stopów bardzo odmiennej. Będą one miały znacznie mniejszą wytrzymałość, większą kruchość, odmienną twardość, gorzej będą przewodziły ciepło i elektryczność, nie dadzą się odlewać i przez to zastosowanie ich musi być odmienne. W budowie maszyn dadzą się one prawdopodobnie zastosować do wyrobu materiałów na panewki łożysk, powierzchnie ślizgawek i t. d.

Inną drogą poszedł G ü r t l e r\*\*) w wyrobie mieszanin metali naśladowujących stopy. Miesza on ze sobą dwa sproszkowane metale w pewnym stosunku i następnie w formie prasuje, by utworzyły całość; w ten sposób np. wyrabia metal łożyskowy, również z ołowiu i żelaza.

\*) Met. 1910. str. 97.

\*\*) Met. 1910, str. 264.

Nie można mieć wątpliwości, że oba sposoby znajdują zastosowanie w przemyśle jako nowa klasa materiałów.

Ze względu na składniki stopów i ich zastosowanie techniczne omawiać je będziemy w czterech następujących grupach:

1) *Stopy żelaza*, w których głównym materiałem jest żelazo z pewnym dodatkiem węgla, a składnikami wpływającymi na zmiany jego własności mechanicznych są dodatki metali, z których niektóre do niedawna były bardzo mało stosowane w budowie maszyn jak chrom, wolfram, molibden, wanad. Stopy te używane są jako główne materiały konstrukcyjne zamiast żelaza węglistego; oprócz tego pewne z nich służą do wyrobu stali narzędziowej.

2) *Stopy miedzi*, stanowiące szereg materiałów odporniejszych od żelaza na wpływy czynników atmosferycznych i gazy działające chemicznie, a także mające mniejszy współczynnik tarcia; używa ich się do wyrobu wentyli, kurków, przewodów dla cieczy, części maszyn pracujących w wodzie (zwłaszcza morskiej) lub w otoczeniu grzących gazów, wrzecie w chemicznych fabrykach, nadto do wyrobu panewek łożyskowych, wykładania powierzchni będących w ruchu, i lutów do spajania metali trudno topliwych.

3) *Stopy białe* wyrabiane z cyny, ołowiu, cynku, antymonu, a używane jako materiały do panewek łożysk, powierzchni ruchowych, osłon, odlewów bardzo dokładnych a tanich na przyrządy miernicze, lutów do metali łatwo topliwych i t. d.

4) *Stopy lekkie*, stosowane do celów automobilowych i awiatycznych, na przybory do podróży, do celów wojskowych i t. p., od których obok dobrych własności mechanicznych koniecznie wymaga się lekkości i dlatego głównymi materiałami składowymi są w nich glin albo magnez.

#### 4. STOPY ŻELAZA.

Stopy żelaza węgliste powstają przez dodanie jednego, dwóch a czasem więcej metali, które wywołują odpowiednie zmiany w jego własnościach. Zależnie od rodzaju dodatków i ich ilości posiada żelazo w normalnej temperaturze pewną strukturę, charakteryzującą jego zachowanie się. Rozróżniamy na tej podstawie trzy rodzaje struktury żelaza:

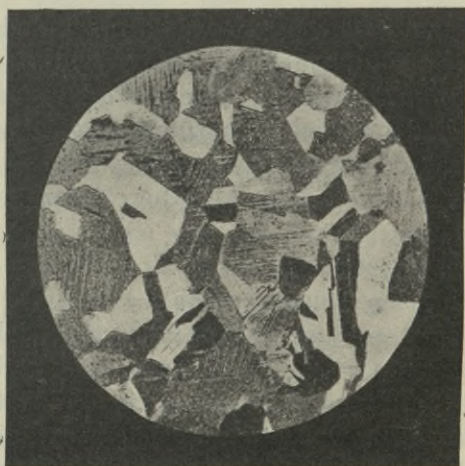
- 1) perlityczną;
- 2) martenzytyczną;
- 3) polyedryczną (austenityczną).

1) Struktura perlityczna jest taka sama, jaką ma żelazo węgliste perlityczne (ryc. 2, str. 9), i daje materiałowi podobne własności; w perlicie może być zawarty wolny ferryt lub cementyt podobnie jak w żelazie węglistem. Różnica polega na tem, że wskutek zawartości nowego dodatku ferryt może nie być czystym żelazem, lecz zawierać w roztworze ciało dodane, a cementyt nie być czystym karbidem żelaza, lecz mieszaniną karbidów żelaza i nowego dodatku. Te możliwe zmiany zarówno w składzie ferrytu, jak i cementytu wywołują różnice własności mechanicznych, zmiany wzajemnej rozpuszczalności składników, trwałości roztworów i t. p. Stopy perlityczne mają najobszerniejsze zastosowanie, gdyż przy znacznej wytrzymałości są dostatecznie plastyczne, a cena ich niezbyt wysoka.

2) Struktura martenzytyczna jest taka sama jak przy żelazie węglistem hartowanym (ryc. 7, str. 12), jest więc stałym roztworem karbidu w ferrycie, istniejącym już w temperaturze normalnej; znaczy to, że albo szybkość rozkładania się roz-

tworu stałego na swe składniki (ferryt i cementyt) jest tak mała, że nawet powolne ostudzenie stopu nie powoduje rozkładu, albo że temperatura krytyczna (wzajemnej rozpuszczalności ferrytu i karbidu) leży poniżej temperatury normalnej. Stopy martenzytyczne są bardzo twarde i kruche, więc jako bardzo trudno obrabialne i nie wytrzymałe na uderzenia, nie mają większego zastosowania w budowie maszyn, mimo wysokiej wytrzymałości na ciągnięcie.

3) Struktura polyedryczna przedstawia się (ryc. 26) jako zbiór figur wielobocznych, przypominających nieco swym kształtem obraz struktury ferrytycznej (ryc. 3, str. 10), będących



Ryc. 26.

jednak podobnie jak martenzyt stałym roztworem składników, tylko w odmiennej formie. Podobną strukturę żelaza węglistego zawierającego mangan otrzymano przez bardzo wysokie ogrzanie i bardzo nagłe ostudzenie żelaza węglistego i nazwano *austenitem*.

Stopy o strukturze polyedrycznej mają mniejszą twardość niż martenzytyczne, znaczną wytrzymałość i ciągliwość, są jednak trudniej obrabialne od perlitycznych, a ponieważ zawierają zwykle znaczne ilości drogich dodatkowych materiałów, jest ich cena bardzo wysoka i przez to tylko wyjątkowo mają zastosowanie w budowie maszyn.



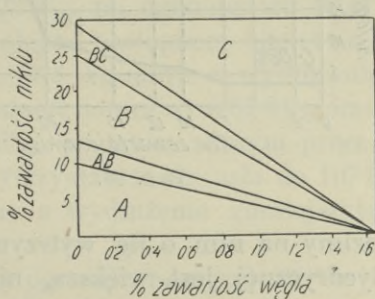
Przez zmianę zawartości składników (np. węgla) materiały z jednej struktury przechodzi w drugą.

Nie wszystkie stopy mają powyższe trzy rodzaje struktury, u niektórych występuje tylko perlityczna, u innych perlityczna i martenzytyczna, — nadto niekiedy spotykamy zamiast polyedrycznej strukturę *karbidyczną*, gdzie składniki tworzą z żelazem podwójne karbidy, trudno w niem rozpuszczalne.

Jakkolwiek badanie stopów żelaza nie jest rzeczą zbyt niedawną, to jednak z powodu trudności jaką nastęrcza kombinacja kilku, a już najmniej trzech składników, wiadomości nasze teoretyczne i praktyczne o tych stopach nie są jeszcze tak obszerne, jakby tego życzyć sobie należało wobec ich szerokiego zastosowania. Z pomiędzy wielu używanych stopów pewna tylko ilość znalazła trwałe zastosowanie w budowie maszyn i jedynie tymi się zajmujemy, wspominając tylko o innych, które albo już wyszły z użycia, albo też są zanadto nowe i za mało zbadane, aby już dziś można je było postawić na równi z materiałami obszernie używanymi w praktyce i lepiej zbadanymi.

Stopy omawiać będziemy w ten sposób, że najpierw rozpatrzmy stopy żelaza i węgla z pojedynczymi, a następnie z dwoma i więcej dodatkami.

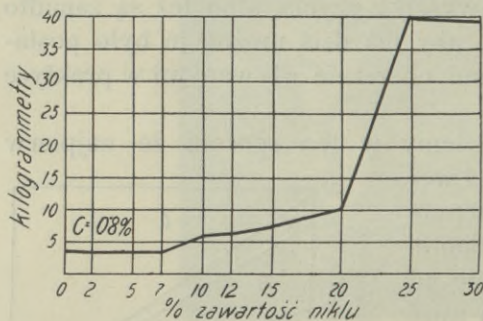
Stopy z niklem zależnie od ilości węgla i niklu mogą mieć wszystkie wyżej wymienione rodzaje struktury, jak to przedstawia diagram (ryc. 27), gdzie na poziomej osi podane są zawartości węgla, na pionowej niklu; linie łączące odpowiednio zawartości obu ciał dzielą całe pole na trzy większe i dwie mniejsze części, z których A oznacza materiał perlityczny, z ewentualną zawartością wolnego ferrytu, lub cementytu, B martenzytyczny, C polyedryczny, zaś AB i BC materiały przejściowe między nimi. Co do postaci, jaką nikiel w żelazie przybiera, należy zaznaczyć, że rozpuszcza się on w żelazie, prawdopodobnie nie łącząc się z węglem, a więc



Ryc. 27.

ferryt w tej stali bogaci się w nikiel, zaś cementyt nie doznaje zmiany; temu należy przypisać wysoką wytrzymałość na rozciąganie tego stopu w stalach perlitycznych, przewyższającą stal węglistą o takiej samej zawartości węgla, i nadzwyczajną ciągliwość. Tak np. w pewnej próbie\*) miękkie żelazo bez niklu miało wytrzymałość na rozciąganie 47·3 kg/mm<sup>2</sup>, a wydłużenie przy rozerwaniu 23% pierwotnej długości, z dodatkiem zaś 4·7% niklu wytrzymałość wzrosła do 63·9 kg/mm<sup>2</sup> a wydłużenie do 25%.

Stopy martenzytyczne z powodu trudnej obróbki i kruchości nie bywają używane; stopy polyedryczne mają wytrzymałość na rozerwanie wyższą niż perlityczne, a ciągliwość również znacznie większą. Np. stop o zawartości 0·95% węgla, a 30% niklu wykazywał wytrzymałość 88·4 kg/mm<sup>2</sup>, przy wydłużeniu 38·6%. Z tego powodu stopy niklowe ze wzrastającą ilością niklu przy większej zawartości węgla są bardzo od-



Ryc. 28.

porne na uderzenia, co przy maszynach narażanych na wstrząśnienia jest cennym przymiotem. Wykres\*\*\*) na ryc. 28. podaje w kilogrammetrach pracę użytą na złamanie przez uderzenie pręta z żelaza niklowego o zawartości 0·8% węgla i różnych zawartościach niklu; wi-

dzimy na nim o ile wytrzymałość stopów o strukturze polyedrycznej jest większa, niż innych. Trudna obrabialność z powodu znacznej twardości, i wysoka cena tych stali stoi na przeszkodzie ich szerszemu zastosowaniu, i do celów konstrukcyi używa się prawie wyłącznie stali perlitycznych.

Przez nawęglanie (t. zw. cementowanie) powierzchni przedmiotu wyrobionego ze stali niklowej perlitycznej, można wskutek zwiększenia zawartości węgla nadać jej bez harowania strukturę martenzytyczną, jak to wynika z ryc. 27,

\*) Mars str. 348.

\*\*) Mars str. 350.

str. 61. Przez takie postępowanie daje się częściom maszyn (np. czopom osi) znacznie większą twardość na powierzchni, a więc odporność na zużycie przy tarciu, nie odbierając im zresztą potrzebnej ciągliwości, zabezpieczającej je od złamania przy wstrząśnieniu, bo wewnątrz struktura perlityczna nie doznaje zmian. To samo da się zrobić ze zwykłą stalą węglistą, ale różnica procesu polega na tem, że stal węglistą trzeba po nawęgleniu zahartować, by miała strukturę martenzytyczną, a więc nagle oziębić, co dla przedmiotu gotowego może być niebezpieczne, bo może spowodować naprężenia, pęknięcia, wygięcia i t. p. wady powstające przy nagłej zmianie temperatury, — tymczasem stal nikłowa nabierając bez hartowania ale tylko przez nawęglenie struktury martenzytycznej, nie podlega owemu niebezpiecznemu procesowi nagłego studzenia. Z tej właściwości korzysta się często w budowie maszyn.

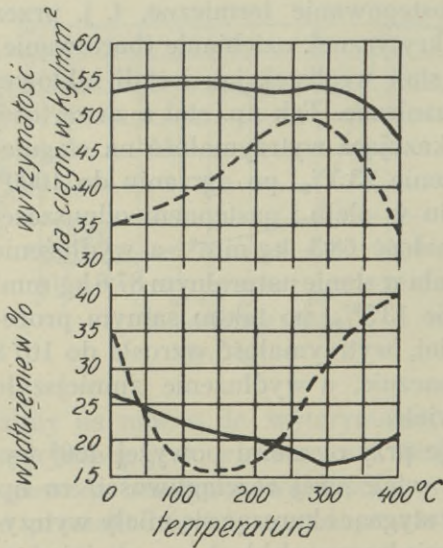
Przez odpowiednie postępowanie termiczne, t. j. przez ogrzewanie do temperatury krytycznej, oziębianie (hartowanie) i odpuszczanie, można tak stali węglistej, jak i stali nikłowej nadać lepsze warunki mechaniczne. Tak np. stal o zawartości 0·2<sup>o</sup>/<sub>o</sub> węgla i 3<sup>o</sup>/<sub>o</sub> niklu wykazująca wytrzymałość na ciągnięcie 59·4 kg/mm<sup>2</sup>, a wydłużenie 23·5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, po ogrzaniu do 1000<sup>o</sup>, natychmiastowem ostudzeniu w oleju i następnem odpuszczeniu do 490<sup>o</sup> miała wytrzymałość 68·3 kg/mm<sup>2</sup>, a wydłużenie 25<sup>o</sup>/<sub>o</sub>; inna stal (5<sup>o</sup>/<sub>o</sub> niklu) miała w stanie naturalnym 87·6 kg/mm<sup>2</sup> wytrzymałości, a wydłużenie 13·5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, po takim samym procesie termicznym jak poprzedni, wytrzymałość wzrosła do 107·8 kg/mm<sup>2</sup>, a więc bardzo znacznie, a wydłużenie zmniejszyło się do 12·5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>, a więc nie wiele.

Stal nikłowa zachowuje przy ogrzaniu powyżej 400<sup>o</sup> wytrzymałość, nie zmieniając wiele swej rozciągliwości, co np. przy nitach jest ważne, aby stygnąc i kurcząc się miały wytrzymałość potrzebną do zaciśnięcia łączonych blach (zapewniającego szczelność nitowania), a chroniącą przytem nit od nateżeń ścinających. Ryc. 29. przedstawia graficznie dla różnych temperatur wytrzymałość na rozerwanie i odpowiadające mu wydłużenie procentowe żelaza na nity o zawartości 0·15<sup>o</sup>/<sub>o</sub> węgla i 3·2<sup>o</sup>/<sub>o</sub> niklu (linie pełne) w porównaniu z miękkim żelazem węglistem (pudlarskim) używanem na nity (linie kreskowane).

Stal niklowa daje się dobrze odlewać, nie wydzielając w czasie stygnięcia swych składników, a więc zachowując swą jednorodność, jest kujna i daje się dobrze zgrzewać. Z powodu wielkiej odporności niklu na działanie tlenu są stale niklowe o wiele mniej, niż węgliste narażone na rdzewienie, nie podlegają również działaniu chemicznemu gazów gorących, dlatego wentyle motorów wybuchowych robione ze stali o zawartości 9% niklu zachowują się bardzo dobrze. Jeżeli gazy są bardzo gorące i wilgotne, używa się drogiego stopu o zawartości 36% niklu, chemicznie zupełnie odpornego. Ten sam stop ma nadzwyczaj mały współczynnik rozszerzalności i pod nazwą *Invar* używany bywa do instrumentów mierniczych i miar normalnych. Stop o zawartości 46% niklu ma współczynnik rozszerzalności taki sam jak szkło i dlatego pod nazwą *Platinoid* zastępuje

platynę w żarówkach elektrycznych na zatapiane w szkłe części przewodów doprowadzających prąd do włókna świecącego.

Stal niklowa ma w budowie maszyn bardzo rozległe zastosowanie na rury bez szwu, blachy (1—2% niklu), nawęglane części maszyn (2.5—3.5% niklu), koła zębate, czopy (4—6% niklu), przy bardzo małej zawartości węgla (0.05—0.15%); przy większej (0.2—0.45%) na blachy kotłowe, konstrukcje mostowe (1.5—3.5% niklu), działa, wały korbowe, osi, łączniki (3—4% niklu) i t. d.

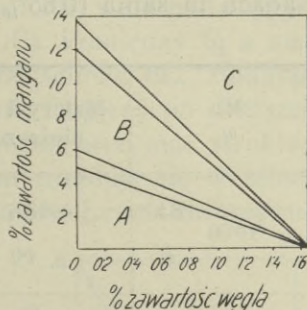


Ryc. 29.

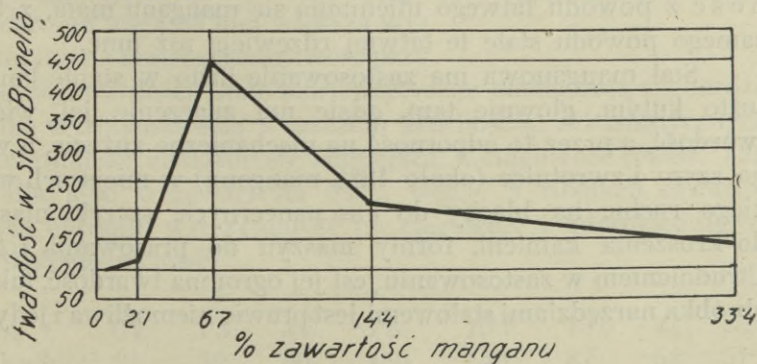
Stopy z manganem mogą mieć podobnie jak jak poprzednie wszystkie trzy rodzaje struktury (ryc. 30), A perlityczną, B martenzytyczną i C polyedryczną, z materiałami przejściowymi między nimi. Odmiennie niż przy dodatku niklu, mangan

nie tylko rozpuszcza się w ferrycie, ale wchodzi także z węglem w związek chemiczny (węgiel manganu  $Mn_3C$ ) i tworzy przez to podwójny karbid żelazo-manganowy; o ile przemieszka manganu w ferrycie nie wiele zdaje się zmieniać jego mechaniczne własności, o tyle w cementycie mangan podnosi jego twardość, przez co i perlit stopu, jako mieszanina eutektyczna ferrytu i cementytu, nabiera większej twardości. Z tego samego powodu stale manganowe o strukturze martenzytycznej są niezmiernie twarde. Wykres ryc. 31. przedstawia w stopniach Brinella zmiany twardości żelaza o zawartości 0,2% węgla przy różnych ilościach manganu; widać z niego, jak wielka jest twardość stopów martenzytycznych w porównaniu z perlitycznymi i polyedrycznymi.

Co do własności mechanicznych, to stale perlityczne wykazują przy małych zawartościach manganu wytrzymałość na rozciąganie nieco większą niż żelazo węgliste, mniejszą jednak ciągliwość; ze wzrostem domieszki manganu wytrzymałość rośnie do pewnego stopnia, potem przy stalach martenzytycznych spada, ciągliwość zaś stale się zmniejsza. Stale polyedryczne mają wytrzymałość większą, ciągliwość małą. Zwiększenie zawartości węgla podnosi znacznie wytrzymałość, jeszcze więcej jednak obniża ciągliwość. Przez wyżarzenie



Ryc. 30.



Ryc. 31.

zwiększa się przy wyższych zawartościach manganu wytrzymałość, a zwłaszcza ciągliwość. Najciekawszą właściwością stali o znacznej zawartości manganu jest to, że rozżarzona do białości i nagle ostudzona zyskuje znacznie zarówno na wytrzymałości jak i na ciągliwości, przyczem większa szybkość studzenia (np. w wodzie zamiast w oleju) działa korzystnie. Następująca tabelka \*) daje wyobrażenie wpływu studzenia na wytrzymałość w  $\text{kg/mm}^2$  ( $Kz$ ) i odpowiadające jej wydłużenie procentowe ( $\varphi$ ), i znaczenie, jakie przytem posiada zawartość manganu. Zawartość węgla jest w obu podanych przykładach ta sama ( $0.85\%$ ).

Mn %	Materyał kuty nieżalony	Materyał rozżarzony a następnie ostudzony			
		w powietrzu	w oleju	w wodzie	
10.60	$Kz$	53.6	64.5	66.2	63.0
	$\varphi$	4.0	17.0	19.0	17.0
14.01	$Kz$	56.7	75.6	86.6	105.5
	$\varphi$	2.0	14.0	27.0	44.0

Inne własności stali manganowych są następujące: kujność przy wysokiej temperaturze jest dobra, zgrzewalnosc z powodu łatwego utleniania się manganu mała, z tego samego powodu stale te łatwiej rdzewieją niż inne.

Stal manganowa ma zastosowanie już to w stanie lanym, już to kutym, głównie tam, gdzie ma znaczenie jej wielka twardość, a przez to odporność na mechaniczne zużycie, a więc na szyny i zwrotnice (około  $12\%$  manganu) w miejscach wielkiego ruchu, na blachy do kas pancernych, szczęki maszyn do kruszenia kamieni, formy maszyn do prasowania i t. p. Utrudnieniem w zastosowaniu jest jej ogromna twardość, tak, że obróbka narzędziami stalowymi jest prawie niemożliwa i jedynie

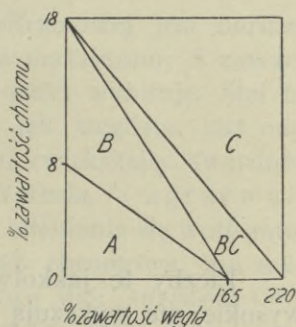
\*) Mars, str. 232.

przez odlewanie i kucie oraz szlifowanie twardymi ciałami można nadawać jej żądaną postać.

Stopów manganowych używa się także w hutnictwie, dzięki łatwemu utlenianiu się manganu, jako środka redukującego (desoksydującego) dla usunięcia tlenku żelaza zawartego w żelazie zlewnem po procesach świeżenia.

**Stopy z chromem** mają ustrój (ryc. 32) odmienny od niklowych i manganowych, gdyż wprawdzie przy niższych zawartościach chromu mają strukturę perlityczną A, a przy większych martenzytyczną B, to zamiast polyedrycznej przy wysokich zawartościach chromu stal składa się z podwójnych karbidów chromu i żelaza (struktura C). Pomiedzy tą a martenzytyczną jest jeszcze struktura przejściowa BC, znikająca przy wysokich zawartościach chromu. Dopiero po dłuższym ogrzaniu i oziębieniu (hartowaniu) można otrzymać strukturę polyedryczną. Postać w jakiej chrom znajduje się w żelazie jest podobna jak manganu w stali manganowej, część chromu rozpuszcza się w żelazie (ferycie), nie wywołując, zdaje się, ważniejszych zmian w jego własnościach, zresztą tworzy z węglem i żelazem podwójne karbidy bardzo zwiększające twardość materiału.

Z takiej budowy wynika, że stale o strukturze perlitycznej muszą mieć własności mechaniczne zbliżone do stali węglistej, jednak z powodu wpływu chromu mają od niej większą wytrzymałość a mniejszą ciągliwość przy większej twardości; stale martenzytyczne odznaczają się bardzo wielką wytrzymałością a zarazem kruchością, u karbidycznych wytrzymałość znacznie się zmniejsza, a ciągliwość rośnie. Tak np. dla stali o zawartości 0·2% węgla, a różnych zawartościach chromu, wytrzymałość na ciągnięcie i odpowiednie jej wydłużenie wynosi:



Ryc. 32.

Cr %	0·7	1·3	4·5	7·8	10·1	13·6	22	25·3
Kz kg/mm <sup>2</sup>	35	55	60	150	140	87	64	57
φ%	28	13	15	0·3	0·2	0·2	15	17

Przez ogrzewanie i stosowne chłodzenie zmieniają się własności mechaniczne stopów; tak np. stopy o zawartości około 2% chromu wykazywały następującą wytrzymałość na rozerwanie ( $Kz$   $\text{kg/mm}^2$ ) i wydłużenie procentowe ( $\varphi$ ) przy zawartości raz (a) 0.32%, drugi raz (b) 0.5% węgla.

	$Kz$	$\varphi$
Stop kuty nieżarzony	a 72.9	26
	b 84.7	20.3
rozgrzany do 950° przez 30 minut i wystudzony w powietrzu	a 72.3	26
	b 96.1	20
żarzony przy 950° przez 35 godzin i powoli w piecu studzony	a 47.9	37
	b 59.2	28
ogrzany do 800° i nagle w wodzie oziębiony, a następnie odpuszczony:		
a) przy 400°	a 157.5	9.5
	b 179.7	9.0
b) » 550°	a 125.4	15.0
	b 141.1	13.0
c) » 700°	a 86.3	22.5
	b 98.3	21.0

Liczby te jakkolwiek w porównaniu ze stałą węglistą wysokie, nie wykazują jednak tak korzystnych własności mechanicznych, aby w porównaniu np. ze stalami niklowymi warto było stale chromowe stosować do celów konstrukcyjnych.

Inne własności stopów żelaza z chromem są następujące: kujność dobra, wymaga tylko silnego rozgrzania stali, — zgrzewalność bardzo mała. Stal chromowa z powodu swej wielkiej twardości posiada w wysokim stopniu magnetyzm szczątkowy i znaczne natężenie demagnetyzujące (p. str. 32), dlatego jest bardzo dobrym materiałem do wyrobu magnesów trwałych.

Stal chromowa ma zastosowanie dzięki swej twardości do wyrobu łożysk kulkowych (pierścieni i kulek), walców do



walcowania, blach walcowanych na zimno, granatów do ostrze-  
liwania okrętowych pancerzy i t. p. Na magnesy trwale nie  
bywa dotąd szerzej stosowana z powodu, że wyrób stali wol-  
framowej na ten cel przedstawia większą łatwość techniczną.

**Stopy z wolframem** przy zawartości do 10% wolframu  
i 1·6% węgla mają strukturę perlityczną, poza temi granicami  
karbidyczną, jak stale chromowe. Wolfram częściowo roz-  
puszcza się w ferrycie, częściowo tworzy z węglem karbidy,  
występujące obok żelaza jako podwójne karbidy wolframowo-  
żelazowe.

Dodatek wolframu do żelaza zwiększa jego wytrzyma-  
łość, równocześnie jednak zmniejsza ciągliwość. Tak np. stal  
o zawartości 1·2% wolframu wykazywała wytrzymałość na  
rozciąganie około 50 kg/mm<sup>2</sup> a wydłużenie około 25%; przy  
10% wolframu wytrzymałość 110 kg/mm<sup>2</sup> i wydłużenie 2%,  
a więc zwiększona zawartość węgla podnosi wytrzymałość  
a obniża ciągliwość.

Twardość naturalna stali wolframowej jest bardzo  
znaczna i około 15% wolframu osiąga maksimum; z zawar-  
tością węgla rośnie twardość, jednak mniej wybitnie. Stal ta  
daje się hartować w podobny sposób jak węgliста; jest ona  
kujna, jakkolwiek dodatek wolframu zwiększając twardość  
stopu zwiększa też pracę potrzebną do kucia, — zgrzewal-  
ność niewielka z powodu łatwego utleniania się wolframu.

Stal wolframowa zupełnie tak jak chromowa, ma wy-  
bitne własności magnetyczne i pod nazwą stali *Allewarda* (5%  
wolframu i 0·6% węgla) używana bywa w stanie zahartowa-  
nym do wyrobu trwałych magnesów.

Stali wolframowej używa się wszędzie tam, gdzie zależy  
na wielkiej twardości przedmiotu, a więc na formy do prasowa-  
nia, lufy karabinowe (dla ochrony od szybkiego wycierania  
się lufy od pocisków) i t. p. oraz na trwale magnesy.

**Stopy z molybdenem** zachowują się podobnie jak wolfra-  
mowe; granica między perlityczną, a karbidyczną strukturą  
leży przy zawartości 2·5% molybdenu a 1·6% węgla. Zawar-  
tość molybdenu podnosi wytrzymałość stali i jej twardość,  
zmniejsza ciągliwość; żarzenie i hartowanie wywiera podobny  
wpływ jak przy wolframie, jednak dodatek molybdenu czyni  
stal bardzo wrażliwą na procesy termiczne, tak, że łatwo po-

wstają pęknięcia. Z tego powodu, jak też dla wysokiej ceny molybdeny nie można się spodziewać w obecnych warunkach zwiększenia zastosowania jego użycia przy wyrobie stali.

Następująca tabelka podaje wpływ zawartości węgla i molybdeny oraz przeróbki termicznej na wytrzymałość stali.

Zawartość węgla:	Zawartość molybdeny:	Proces termiczny:	Kz kg/mm <sup>2</sup>	φ%
0·19	1·03	1) w stanie normalnym (walcowanym)	55·9	33·3
		2) ogrzana do 900° i ostudzona na powietrzu	47·6	35·5
		3) żarzona przy 950° przez 4 godziny i bardzo wolno studzona	41·1	35·5
		4) zahartowana w oleju i odpuszczona przy 550°	63·3	27·5
0·49	4·01	jak 1)	132·3	13·5
		» 2)	84·3	22·0
		» 3)	54·2	28·3
		» 4)	132·8	11·26
0·77	7·85	jak 1)	136·3	9·85
		» 2)	103·0	15·7
		» 3)	61·6	22·2
		» 4)	173·8	7·74

**Stopy z wanadem** mają strukturę perlityczną, karbidyczną lub mieszaną. Z powodu bardzo silnego powinowactwa wanadu do węgla są karbidy wanadowe tak trwałe, że żadnym procesem nie można ich przeprowadzić w roztwór, — jest to wielką wadą tych stopów, dlatego tylko stopy perlityczne (do 1% wanadu) mają praktyczne zastosowanie; pozwalają się one hartować i polepszają własności mechaniczne stali. Wanad ma również bardzo wielkie powinowactwo do tlenu i z tego powodu jest wybornym środkiem do oczyszczania płynnego żelaza z zawartych w niem tlenków i w tym kie-



runku jest jego zastosowanie największe. W tym wypadku nie tworzy jednak właściwego stopu, ale zużywa się na desoksydację, wypływa w postaci żużla i w żelazie jako składnik nie zostaje.

**Stopy z tytanem i glinem.** Podobne znaczenie jako środek odtleniający a nie składnik stopów ma tytan, używany szczególnie do oczyszczania żelaza przerabianego na szyny kolejowe. Przypisują mu własność usuwania ze stali azotu i jego złego wpływu, co jednak dotąd nie zostało należycie wyjaśnione.

Glin, jako stop ma zastosowanie tylko do wyrobu blach do maszyn elektrycznych, o czym była już mowa przy własnościach magnetycznych żelaza (str. 32), ma zresztą również tylko znaczenie środka odtleniającego.

**Stopy z krzemem.** Zastosowanie krzemu do stopów żelaza ma także podwójny charakter. Z powodu wielkiego powinowactwa do tlenu jest on wybitnym i bardzo do oczyszczania płynnego żelaza używanym środkiem odtleniającym; poza tą własnością bywa stosowany jako istotny składnik stopów żelaza.

Według dotychczasowych badań krzem nie tworzy z węglem połączeń w żelazie, ale wyłącznie rozpuszcza się w niem jako krzemek żelaza, tworząc stały roztwór w ferrycie. Ponieważ, jak wiemy, zawartość krzemu wpływa na rozkład karbidu żelaza (cementytu), przeto składnik ten w stali krzemowej występuje tylko w formie perlitu, a nie jako wolny cementyt, gdyż wtedy rozpada się zaraz, wydzielając czysty węgiel (grafit). Dlatego struktura stopów z krzemem składa się z perlitu z dodatkiem ferrytu zawierającego krzemek żelaza, zależnie od ilości krzemu w stopie. Ponad 5% zawartości krzemu zaczyna się rozkład cementytu zawartego w perlicie, tak, że przy 7% krzemu perlit znika i obok ferrytu zostaje tylko grafit. Ze względu, że składnik ten źle wpływa na obrabialność i wytrzymałość żelaza, jest 5% zawartości krzemu w stali granicą jej stosowania. Zawartość rozpuszczonego krzemku żelaza w ferrycie nie zmienia jego własności do 2% krzemu, powyżej powoduje nadzwyczajną gruboziarnistość stopu, źle wpływającą na własności mechaniczne; z tego wynika znów, że stal krzemowa jako materiał do konstrukcyi nie może zawierać więcej niż 2% krzemu.

Wytrzymałość stopów krzemowych do 2% zawartości

krzemu podnosi się bez większej zmiany ciągliwości; następująca tabelka dla dwu porównawczo zestawionych zawartości węgla z rosnącym dodatkiem krzemu, wykazuje wpływ na zmianę granicy wytrzymałości ( $Kz$  w  $\text{kg/mm}^2$ ) i odpowiadającego jej wydłużenia procentowego ( $\varphi$ ):

Węgiel	Krzem	$Kz$	$\varphi$
1.30	0.29	87.0	6.7
1.30	0.60	104.0	6.0
1.25	0.83	101.2	3.3
1.25	1.00	103.7	3.1

Zawartość krzemu wpływa także na elastyczność stali i o ile do 1% nie zmienia granicy elastyczności, o tyle powyżej 1% podnosi ją. Tak np. stal o zawartości 0.8% węgla miała przy 0.5 do 1% krzemu granicę elastyczności 63  $\text{kg/mm}^2$ , a przy wzroście dodatku krzemu do 2% podniosła się ona do 78  $\text{kg/mm}^2$ .

Żarzenie, powodujące rozkład perlitu i wydzielanie się czystego węgla w stali, nie oddziałują dobrze na jej własności. Inne własności stali krzemowych są następujące: kujność dobra, zgrzewalność pogarsza się, zdolność do przeróbki na zimno przez wyciąganie i prasowanie dobra.

Dodatki krzemu do stali podnoszą jej opór elektryczny właściwy, który z podwyższeniem temperatury mało się zmienia; na tej podstawie spodziewać się można zastosowania tej stali do opornic elektrycznych w miejsce drogich stopów niklowych.

Własności magnetyczne stali krzemowej znane nam są już z tego, co było mówione ogólnie o własnościach magnetycznych żelaza (str. 32). Dodatek krzemu nieznacznie tylko zmniejszając przepuszczalność magnetyczną żelaza, nie zwiększając jego odporności magnetycznej, a zwiększając opór elektryczny, czyni go bardzo dobrym składnikiem blach do maszyn elektrycznych.

Z tego, cośmy powiedzieli o wpływie krzemu na własności stopów z żelazem, wynika ich zastosowanie techniczne do wyrobu sprężyn o znacznej granicy elastyczności, form i narzędzi do prasowania oraz blach do maszyn elektrycznych.

**Stopy żelaza wielokrotne.** Jak widać z przeglądu stopów utworzonych przez dodatek jednego składnika do stali węglistych, tylko stopy z niklem mają wybitne znaczenie jako materiały konstrukcyjne, wszystkie inne zaś, jakkolwiek nadają się do pewnych poszczególnych celów, mają jednak dość ograniczone zastosowanie. Powodem tego są własności użytych metali, które się przenoszą w pewnym stopniu na stopy, wykluczając u nich te mechaniczne własności, jakich same nie posiadają. Chcąc zakres własności i zastosowania stopów żelaza wzbogacić i rozszerzyć, dodaje się do stopów o znanych korzystnych własnościach — nowych metali, które pozwalają wnosić, że spowodują uzupełnienie lub podniesienie własności ulepszonego w ten sposób stopu. Tak powstają stopy żelaza z dwoma i trzema dodatkami, które nazywamy *wielokrotnymi*.

Naturalną jest rzeczą, że jako materiał podstawowy użyty tu będzie przede wszystkim stop żelazo-niklowy, jako posiadający najbogatsze własności mechaniczne, które przez odpowiednie dodatki dadzą się jeszcze więcej podnieść lub uzupełnić w pewnym wytkniętym kierunku.

Poza stopami z niklem, będącymi materiałami stosowanymi do *konstrukcji*, istnieje drugi rodzaj stopów wielokrotnych, w których niema niklu, używanych na stale *narzędziowe*. Tymi zajmiemy się na końcu.

**Stopy z niklem i manganem** nie mają na razie zastosowania w przemyśle, ze względu jednak na ich własności zbliżone do niklowych, a większą tanią skuteczną zmniejszenia zawartości niklu, jest prawdopodobne, że się będą rozpowszechniać.

Dodatek manganu zwiększa w perlitycznych stalach niklowych wytrzymałość na rozciąganie, podnosi granicę elastyczności, a zmniejsza ciągliwość. Stale martenzytyczne są twarde i kruche przy wysokiej wytrzymałości. Stale poliedryczne mają mniejszą wytrzymałość na ciągnięcie, niską granicę elastyczności, małą twardość, a bardzo wielką ciągliwość; np. według badań Hadfielda stop z 14,5% niklu, 5% manganu i 0,6% węgla o strukturze poliedrycznej, wykazywał przy rozciąganiu wydłużenie 75%.

**Stopy z niklem i chromem** stanowią najbardziej dziś stosowany stop żelaza, jako materiał konstrukcyjny w budowie

maszyn a zwłaszcza motorów, przedewszystkiem motorów automobilowych, latawcowych i t. p.

Struktura stali, stosownie do własności obu składników przedstawia się podobnie jak w stali niklowej, z tą różnicą że w stalach martenzytycznych i polyedrycznych może występować wolny karbid (wpływ chromu). Stale perlityczne mają większą wytrzymałość i twardość, nieco mniejszą ciągliwość, — martenzytyczne, jeszcze twardsze z powodu kruchości, nie są wcale używane; stale polyedryczne nie zawierające wolnego karbidu mają większą wytrzymałość niż czysto-niklowe, bez obniżenia ciągliwości, — wolny karbid powoduje jej zmniejszenie. Przez *ulepszanie termiczne* (hartowanie i odpuszczanie) podnoszą się mechaniczne własności bardzo wybitnie; np. stale konstrukcyjne o zawartości 0·25 do 0·45% węgla, 2·5 do 2·75% niklu i 0·25 do 0·5% chromu, wykazują w normalnym stanie wytrzymałość na rozciąganie 55 do 75 kg/mm<sup>2</sup>, przy wydłużeniu 25 do 15%; po ulepszeniu termicznym wytrzymałość wzrasta na 85 do 115 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie spada na 12 do 9%. Inna stal (0·3% węgla, 5% niklu, 1% chromu) miała w stanie wyżarzonym wytrzymałość 69 kg/mm<sup>2</sup>, przy 25% wydłużeniu, po zahartowaniu w wodzie i odpuszczeniu przy 550° wytrzymałość 95·2 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie 21%, wreszcie stal niklowo-chromowa o zawartości 3% niklu a 1% chromu (węgiel nie podany) wykazywała wyżarzona wytrzymałość 70 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie 16%, zahartowana w oleju i odpuszczona przy 600° wytrzymałość 120 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie 8%, a odpuszczona przy 400° wytrzymałość 180 kg/mm<sup>2</sup> i 2% wydłużenia.

Ulepszanie termiczne ma wielkie znaczenie dla własności mechanicznych tych stali i udawało się przy bardzo wielkiej oględności i staranności osiągać wytrzymałość 170 kg mm<sup>2</sup> przy 6 do 8% wydłużenia. Stale te podobnie jak niklowe nadają się do nawęglania na powierzchni (cementowania), nabierając w normalnej temperaturze struktury martenzytycznej, przez co odpada potrzeba niebezpiecznego dla materiału nagłego oziębiania.

Przeciętny skład stali niklowo-chromowych wynosi 2 do 3·5% niklu, 1 do 1·5% chromu, i 0·25 do 0·5% węgla; używane bywają do wyrobu osi, wałów, sprężyn, kół zębatach,

płyt pancernych, granatów, a szczególnie na części najbardziej nateżane w motorach samochodowych.

**Stopy z niklem i wanadem** tworzą różne struktury, z których jednak tylko perlityczna okazała się dla techniki wartościową, wobec tego, że stale te po zahartowaniu bez dodatkowego odpuszczenia, a więc przez łatwy proces termiczny, zwiększają bardzo znacznie swą wytrzymałość, zachowując przytem w wysokim stopniu ciągliwość. Za przykład może służyć następujące zestawienie dla trzech stali o zbliżonej zawartości węgla (0.15 do 0.19%) i niklu (5.5 do 6.2%) a zmiennej wanadu:

Wanad %	Stan materiału	Kz	$\varphi$
0.12	wyżarzony	61.0	24.5
	hartowany	154.0	10.0
0.35	wyżarzony	57.6	18.0
	hartowany	157.0	11.0
0.60	wyżarzony	72.5	19.0
	hartowany	144.0	10.0

Zestawienie to poucza, że najkorzystniejsza zawartość wanadu w stopie wynosi 0.1 do 0.35%.

**Stopy niklowo-chromowo-wanadowe** mają również wyborne własności mechaniczne, zwłaszcza po ulepszeniu termicznym, przyczem niewątpliwie gra rolę własność desoksydacyjna wanadu.

Stop o zawartości 0.30% węgla, 1.51% chromu, 3.45% niklu i 0.085% wanadu miał w stanie wyżarzonym  $Kz = 68 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\varphi = 28.5\%$ , zahartowany przy  $900^\circ$  i odpuszczony przy  $550^\circ$  wykazywał  $Kz = 112 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\varphi = 17\%$ . Inny stop o składzie 0.45% węgla, 2.25% niklu, 0.6% chromu i 0.07% wanadu miał w stanie wyżarzonym  $Kz = 70 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\varphi = 20\%$  po zahartowaniu przy  $800^\circ$  i odpuszczeniu przy  $400^\circ$   $Kz = 150 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\varphi = 6\%$ . Wreszcie stop o niepodanym bliżej składzie miał po zahartowaniu i odpuszczeniu  $Kz = 190 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\varphi = 14\%$ .

**Stopy chromowo-wanadowe.** Nawet stopy bez dodatku niklu odznaczają się bardzo dobrymi własnościami mechanicznymi, przyczem ich odporność *dynamiczna* (na uderzenie) jest zna-

czna. Przez ulepszanie termiczne można te korzystne własności jeszcze lepiej wyzyskać. Stal o składzie 0·3% węgla, 1% chromu i 0·16% wanadu miała:

	Kz	φ
W stanie wyżarzonym . . . . .	65	25
Zahartowana w oleju przy 900° i odpuszczona przy 550° . . . . .	106	16
Inna stal o składzie 0·5% C, 1% Cr i 0·2% Va miała w stanie wyżarzonym przy 800° .	72	26
Po zahartowaniu w oleju przy 900° i odpuszczeniu przy 600° . . . . .	131	15·5
Zahartowana w oleju przy 825° i odpuszczona przy 400° . . . . .	182	8

**Stopy z niklem i wolframem.** Przez dodatek wolframu wzrasta wytrzymałość stopu niklowego, zwłaszcza w stanie zahartowanym, bez większego obniżenia ciągliwości; poza tem stopy te mają jeszcze podobieństwo pewne do niklowo-chromowych choć im pod względem własności mechanicznych nie dorównują.

**Stopy z niklem i molybdenem** są twarde i trudno obrabialne, mają znaczną wytrzymałość, która podnosi się przez zahartowanie, przyczem jednak materiał nabiera kruchości; przez wyżarcie twardość ich się zmniejsza. Zresztą zachowują się podobnie jak chromowo-niklowe, od których są znacznie droższe i dlatego nie mają dotąd zastosowania w przemyśle.

**Stopy wielokrotne narzędziowe.** Stal węglista perlityczna jest najwięcej rozpowszechnionym i najtańszym materiałem do wyrobu narzędzi, służących do obrabiania metali; wielką jej wadą jest łatwość z jaką odpuszcza się, przyczem traci swą twardość, bo już ogrzana powyżej 200° szybko się tępi przy przeróbce i przestaje ciąć. Do szybkiego obrabiania, przy którym odcina się wiele materiału, jest stal węglista zupełnie niezdatna, dlatego oddawna starano się znaleźć takie gatunki stali, których odporność byłaby większa, aby ciepło wytwarzające się podczas cięcia, nie mogło wpływać odpuszczająco na narzędzia, przez co długo zachowywałyby swoją



ostrość. W r. 1868 zauważył Mushet, badając różne stopy żelaza, że dodatek wolframu powoduje bez nagłego oziębienia ale tylko przez ostudzenie w zwykłej temperaturze, wielką twardość stali. Stal ta wprowadzona w handel jako stal narzędziowa do obrabiania twardych przedmiotów, miała następujący skład: 1,5 do 2% węgla, 7 do 8% wolframu i 1 do 2% manganu; ze względu na bardzo trudną obrabialność jej (struktura martenzytyczna) rozpowszechnienie jej było słabe, i dopiero około r. 1890, kiedy wskutek rozwoju przemysłu maszynowego zwiększenie szybkości obrabiania okazało się konieczne, zaczęła się rozpowszechniać stal Musheta. W roku 1900 wywołały na paryskiej wystawie ogromne wrażenie doświadczenia Taylora i White'go ze znalezioną przez nich w r. 1898 po długich badaniach, szczególnie nad wysokością temperatury hartowania, stalą, zawierającą obok węgla (1,85%) chrom (3,8%) i wolfram (8%). Stal ta przy bardzo energicznym cięciu rozgrzewała się do czerwoności, a mimo to doskonale cięła. Od owego czasu prace nad tą »szybko obrabiającą« stalą, zwaną także »szybkosprawną«, doprowadziły do ulepszenia jej składu, który dziś w przeważnej ilości stopów jest następujący: 0,6 do 0,8% węgla, 5 do 6% chromu, 17 do 19% wolframu, przy zawartości krzemu i manganu nie przekraczającej 0,15% i jak najmniejszej przymieszce siarki i fosforu. Niektóre gatunki zawierają jeszcze molybden (1,6 do 2,3%) jako składnik podobnie działający jak wolfram. Zawartość chromu, wolframu, a czasami molybdeny wytwarza w stali wielokrotne karbidy, które przy hartowaniu muszą wskutek rozgrzania stali przejść w roztwór, a ponieważ ich trwałość (zwłaszcza wolframowych) jest wielka, dlatego stal trzeba silnie rozgrzewać (1000 do 1200°, a niekiedy nawet więcej), poczem dopiero następuje ostudzenie czyli hartowanie. Ta czynność nie musi się jednak odbywać tak szybko jak u stali węglistej, ponieważ procesy krystalizacyjne wskutek zawartości dodatków innych metali odbywają się bardzo powoli i wystarcza ostudzenie stali np. w prądzie powietrza, aby potrzebne zahartowanie nastąpiło.

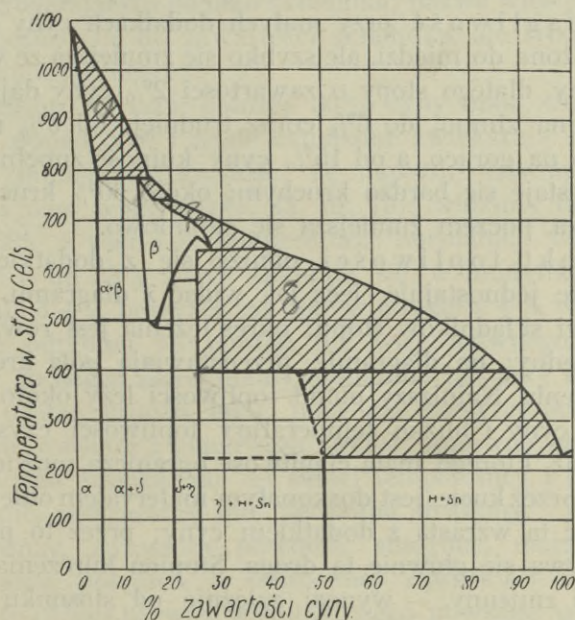
Jest to bardzo korzystna właściwość tej stali, która będąc znacznie gorszym przewodnikiem ciepła niż stal węglista, łatwo pęka i psuje się przy nagłym studzeniu, tem bardziej, że ró-

żnice temperatury są tutaj znacznie większe (od 1200°) niż przy hartowaniu stali węglistej (od 800°). Stal w tym stanie ma strukturę polyedryczną i nie jest tak krucha po zahartowaniu, jak stal węglista, dlatego bez odpuszczania bywa używana do cięcia. Odpuszczenie, które u stali węglistej rozpoczyna się około 200°, tu ma granicę o wiele wyższą, rozpoczyna się bowiem między 550° a 600° i odbywa się bardzo wolno, a dopiero około 700° szybciej. Z tego powodu stal ta, pracując i rozgrzewając się, nie traci swej twardości, owszem nawet rozgrzawszy się do ciemnej czerwoności (powyżej 500°), lepiej pracuje niż przy niższej temperaturze. Zjawisko to tłumaczy się z wielkiem prawdopodobieństwem tem, że w tej temperaturze następuje częściowe odpuszczenie i struktura polyedryczna przechodzi w martenzytyczną, a więc twardość stali się zwiększa.

Zjawiska hartowania, odpuszczania i wogóle działania stali narzędziowej wielokrotnej nie są dotąd należycie wyjaśnione, nie jest także dostatecznie wykazane, jaką rolę odgrywają w niej dodatki wolframu i chromu. Jest prawdopodobne, że wolfram powoduje trudną odpuszczalność stali, a więc jej trwałą hartowność, a zawartość jego daje stali kujność (powyżej 900°), a więc potrzebną obrabialność. Chrom ma do pewnego stopnia ułatwiać odpuszczalność stali i powodować korzystne jej działanie w temperaturze czerwonego żaru (przemiana struktury polyedrycznej w martenzytyczną).

## 5. STOPY MIEDZI.

Stopy te wyrabia się, stapiając miedź z cyną (spiż, bronz), cynkiem (mosiądz), glinem, niklem, i kombinując te dodatki ze sobą, a dla polepszenia pewnych własności używając w małych ilościach przymieszek ołowiu, żelaza, manganu, krzemu i t. p.



Ryc. 33.

**Stopy z cyną (bronz).** Te dwa metale dają cały szereg połączeń, tworzących ze sobą roztwory stałe, dlatego diagram tężenia tych stopów (ryc. 33) powstaje na zasadzie wypadku

przedstawionego na ryc. 24, str. 54, jest tylko o wiele więcej złożony z powodu wielkiej liczby składników (oznaczanych literami  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  i H), z których jedne utrzymują się w normalnej temperaturze, inne w podwyższonej, tak, że otrzymać je można tylko przez ogrzanie do pewnej temperatury i nagłe ostudzenie. W wielu gatunkach bronzu znajdują się także dodatki cynku i ołowiu.

Z powodu różnej budowy chemicznej roztworów cyny z miedzią, są chemiczne własności tych stopów bardzo zmienne między sobą, tak, że chociaż się różnią tylko stosunkiem składników, zachowują się jak zupełnie odrębne metale. Wytężalność na rozciąganie bronzu wzrasta z dodatkiem cyny aż do 15% (około 27 kg/mm<sup>2</sup>), poczem znowu się zmniejsza bardzo nagle, tak, że przy 30% wynosi zaledwie 4 kg/mm<sup>2</sup>. Twardość wzrasta znacznie już przy małych dodatkach cyny i przy zawartości około 26% jest największa, poczem spada; ciągliwość przy małych dodatkach cyny jest znaczna, zbliżona do miedzi, ale szybko się zmniejsza ze wzrostem ilości cyny, dlatego stopy o zawartości 2% cyny dają się dobrze kuć na zimno, do 6% coraz trudniej, od 6% można je kuć tylko na gorąco, a od 15% cyny kujność zupełnie ustaje, materiał staje się bardzo kruchym; około 30% kruchość jest największa, poczem zmniejsza się stopniowo.

Punkt topliwości obniża się z dodatkiem cyny, jednak nie jednostajnie, lecz jak widać z diagramu, zależnie od postaci składników stopu; okres tężenia jest również bardzo względny; na diagramie przedstawiają pola kreskowane okres tężenia. Najniższy punkt topliwości leży około 98% zawartości cyny i blisko temperatury topliwości czystej cyny.

Bronz, którego mała ciągliwość ogranicza możliwość obrabiania go przez kucie, jest doskonałym materiałem odlewniczym i zdolność ta wzrasta z dodatkiem cyny; przez to przeróbka jego odbywa się głównie tą drogą. Stopień kurczenia się jest znaczny i zmienny, — wynosi zależnie od stosunku składników 1:4 do 1:7%. Jednakże zdatność bronzu na odlewy zależy od jego czystości; wiemy, że zarówno miedź jak i cyna utleniają się bardzo łatwo w gorącym stanie. Ze względu na większe powinowactwo cyny do tlenu niż miedzi, tworzy się w roztopionym a nie dobrze od dopływu powietrza chronio-

nym lub z nieczystych składników wyrobionym bronzie, trudno topliwy tlenek cyny ( $\text{Sn}_2\text{O}$ ), który w kształcie błonek pływa w roztopionej masie, czyniąc ją gęsto-płynną, a przy dużej zawartości kaszowatą i niezdatną do odlewania; wykonane z takiego bronzu odlewy są kruche.

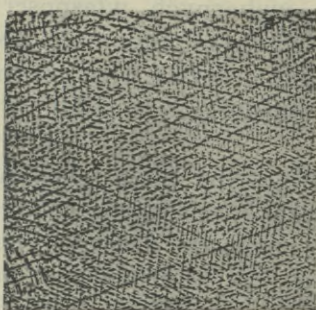
Chcąc bronz zanieczyszczony tlenkiem oczyścić, używa się środków odtleniających, z których najlepszy jest fosfor w postaci stopu z cyną lub miedzią; dodatek fosforu tworzy z tlenkiem żużel wypływający na powierzchnię. Tak oczyszczony bronz daje się wybornie odlewać i ma wysoką wytrzymałość. Dodatek fosforu musi być zastosowany do potrzeby i nie może być w nadmiarze, gdyż wtedy czyni bronz kruchym. Tak zwany *bronz fosforowy*, bardzo używany w budowie maszyn z powodu swych wybornych własności mechanicznych, jest bronzem oczyszczonym zapomocą fosforu, ale nie zawierającym go jako składnika; nazwa więc jest mylna, bo nie odnosi się do zawartości składnika, ale tylko do procesu metalurgicznego.

Niektóre bronzы poniżej 30% cyny mają własność, że ogrzane ponad 500° i nagle ostudzone zwiększają swą ciągliwość a zmniejszają twardość. Tę napozór dziwną własność wyjaśnia nam wykres (ryc. 33, str. 79); widzimy tam, że poniżej 500°, a więc i w temperaturze normalnej, bronz o zawartości 5 do 25% cyny znajduje się w modyfikacji  $\alpha + \delta$ , względnie  $\delta + \gamma$ , powyżej zaś 500° w postaci  $\alpha + \beta$ , względnie  $\beta$ , zupełnie odrębnej od tamtej; nic więc dziwnego, że ostudzwszy go nagle, zatrzymamy, podobnie jak przy hartowaniu żelaza, postać bronzu taką, jaką ma powyżej 500°, w tym wypadku miększą i ciągliwszą. Przez ponowne ogrzanie tak zmienionego bronzu do tej samej temperatury i powolne ostudzenie, powracamy mu pierwotną strukturę.

Bronzy, zwłaszcza powolnie studzone, mają własność wydzielania połączeń o odmiennej zawartości składników i przez to różnej barwie, wskutek czego powstają plamy dla piękności bronzu szkodliwe (np. na posągach). Zapobiega się temu przez dostateczną szybkość studzenia odlewu. Diagram (ryc. 33, str. 79) tłumaczy nam znowu to zjawisko. Widzimy, że wszystkie rodzaje bronzu począwszy od 6% zawartości cyny składają się z mieszaniny dwóch roztworów, a więc mię-

dzy kryształami jednego rodzaju, znajdują się kryształy drugiego składnika o odmiennej zawartości cyny i miedzi, a przeto i innej barwie. Przy szybkim studzeniu kryształy są bardzo małe, oko więc nie zauważy różnicy barwy, gdy jednak bronz stygnie powoli, kryształy rosną i skupiają się w większe grupy, które materiałowi nadają odmienną barwę. Ryc. 34 a. przedstawia bronz szybko studzony (drobnokrystaliczny), rycina 34 b. wolno studzony i przez to grubokrystaliczny, co tłumaczy również zjawisko powyższe.

Ciężar gat. bronzu zmienia się zależnie od stosunku jego składników w granicach ciężaru gatunkowego miedzi i cyny, podobnie zmienia się barwa od czerwonej (miedzi)



Ryc. 34 a.



Ryc. 34 b.

do białej (cyny); ponieważ jednak cyna ma silne własności odbarwiający, a przytem wchodzi z miedzią w różne połączenia, przeto już od 2% cyny barwa bronzu jaśnieje i nabiera żółtawego odcienia, poczem staje się żółtą (około 10% cyny), szarą (30%) i wreszcie białą (50%).

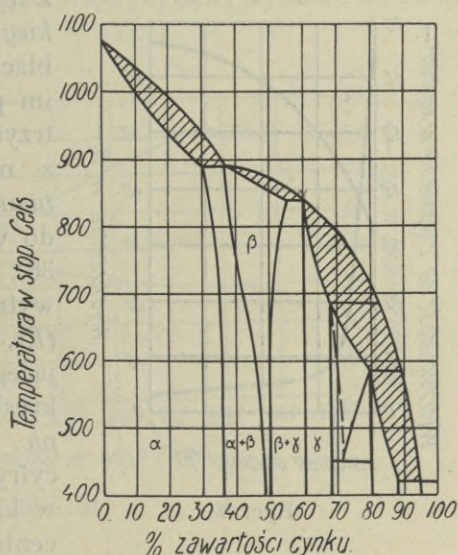
Bronzy używane w budowie maszyn zawierają zwykle obok miedzi i cyny pewną, czasem znaczną ilość cynku i ołowiu. Dodatek cynku podnosi płynność stopionego bronzu, który przez to lepiej wypełnia formy; większy dodatek, stosowany zwykle dla obniżenia ceny (bo cynk jest znacznie tańszy niż cyna), zmniejsza jego twardość i wytrzymałość. Ołów daje bronzowi łatwiejszą obrabialność narzędziami tnącymi (toczenie, piłowanie i t. p.), natomiast wywołuje wydzielanie się odmiennych składników i niejednorodność stopu w odlewie,

dlatego należy go używać w bardzo małej ilości (do 0.5%). Bronz maszynowy zawiera zwykle 80 do 90% miedzi; dla obniżenia ceny dodaje się cynku zamiast pewnej części cyny.

Dodatek manganu do bronzu (*bronz manganowy*) działa oczyszczająco, podobnie jak fosfor, ale znacznie słabiej, nadwyżka manganu nie szkodzi jednak tak, jak fosforu, owszem podwyższa jego wytrzymałość i twardość, nie zwiększając kruchości, dlatego stosuje się go do 5%.

Podobnie oczyszczająco działa dodatek krzemu (0.02 do 0.07%), podnosząc jeszcze więcej wytrzymałość na ciągnięcie, ale zarazem obniżając ciągliwość. Bronz ten zwany *krzemowym* używany bywa na druty telegraficzne i telefoniczne.

**Stopy z cynkiem** (mosiądz) tworzą cały szereg roztworów ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\eta$ ) o różnej zawartości składników (diagram tężenia ryc. 35), między którymi stwierdzono jedno połączenie chemiczne ( $\text{Cu}_2\text{Zn}_3$ ); podobnie jak w stopach cyny własności ich są najzupełniej odrębne. Dla przemysłu mają wartość tylko stopy (roztwór  $\alpha$ ) o zawartości do 35% cynku i w granicach od 35 do 45% cynku (roztwór  $\alpha + \beta$ ). Stopy  $\alpha$



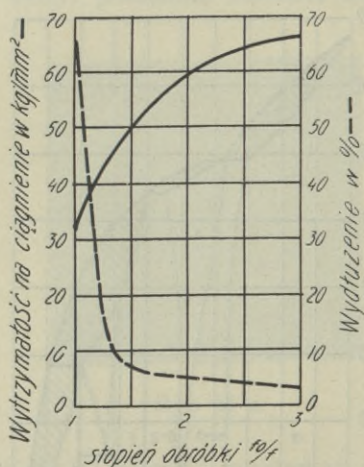
Ryc. 35.

odznaczają się nadzwyczajną ciągliwością, większą niż czystej miedzi i miękkością w stanie zimnym, dają się wybornie walcować w blachę, wyciągać w drut i prasować; na gorąco obrabiane są kruche, nie dają też dobrych odlewów. Stopy  $\alpha + \beta$  są twardsze i kruchsze, jednak rozgrzane stają się miękkimi i kowalnymi, dają też dobre odlewy.

Wytrzymałość mosiądzu zależy od postaci, w jakiej się stop znajduje, a zatem od stosunku składników. Stopy miękkie ( $\alpha$ ) mają wytrzymałość mniejszą, do 35 kg/mm<sup>2</sup>,

a zato nadzwyczajną ciągliwość (do 60<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), wytrzymałość twardej rośnie do 50 kg/mm<sup>2</sup>, a ciągliwość się zmniejsza. Od 40<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wytrzymałość spada, ciągliwość również, a przy zawartości około 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cynku stop staje się zupełnie kruchym.

Twardość stopów  $\alpha$  jest bardzo mała, stopów  $\alpha + \beta$  znacznie większa, z dodatkiem cynku wzrasta szybko i jest przy 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub> największa. Stopów ponad 45<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cynku nie używa się z powodu ich twardości i kruchości. Stopy miękkie ( $\alpha$ ) wskutek obróbki (kucie, walcowanie, prasowanie) na zimno nabierają wielkiej twardości, nabierając również znacznie wyższej wytrzymałości, równocześnie jednak tracą ciągliwość.



Ryc. 36.

Z tej własności mosiądzu *miękkiego* korzysta się wyrabiając blachy, druty i t. p. i nadając im przez obróbkę wielką wytrzymałość i twardość, a więc z *miękkiego* robiąc mosiądz *twardy*, który bywa stosowany do wielu celów. Diagram (ryc. 36), wskazuje zmiany granicy wytrzymałości na rozerwanie ( $K_z$ , linia pełna) i odpowiadającego jej wydłużenia ( $\varphi$ , linia kreskowana), wskutek obróbki na zimno. Na osi pionowej cyfry oznaczają wytrzymałość w kg/mm<sup>2</sup>, równocześnie procentowe wydłużenie; na pozi-

mej stopień obróbki, będący stosunkiem powierzchni przekroju przed przeróbką ( $f_0$ ) i po niej ( $f$ ), a więc stosunku ( $f_0/f$ ), który jest zawsze większy niż 1. Diagram odnosi się do mosiądzu o zawartości 67<sup>0</sup>/<sub>0</sub> miedzi, a 33<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cyny.

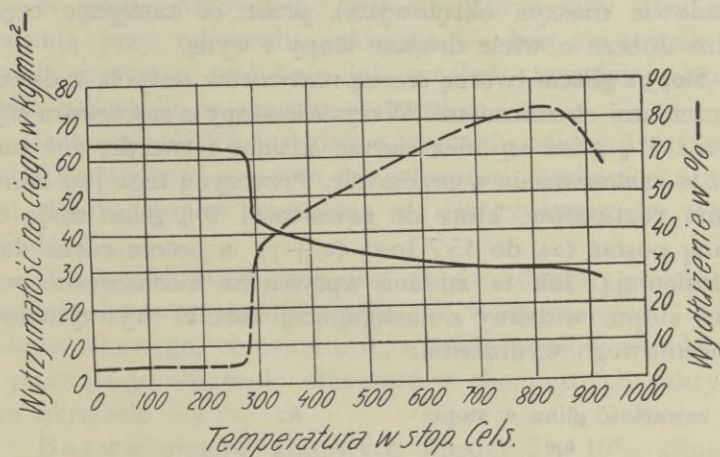
Obróbka na zimno musi mieć pewne granice, gdyż za daleko posunięta wywołuje (jak w żelazie kujnem) wewnętrzne pęknięcia i rysy w materiale, które zmniejszają jego wytrzymałość, zwłaszcza przy uderzeniach, a nie dadzą się niczem usunąć.

Stopy stwardniałe wskutek obróbki na zimno odzyskują poprzednie własności (miętkość i ciągliwość) przez wyżarzenie.



Diagram (ryc. 37) przedstawia wpływ żarzenia na wytrzymałość i ciągliwość stopu o wyżej podanej zawartości miedzi i cynku, poprzednio stwardzonego. Widzimy z niego, że wpływ ogrzewania objawia się dopiero około 275°, jest jednak bardzo nagły aż do 300°, poczem działanie żarzenia jest łagodniejsze. Powyżej 800° ciągliwość zaczyna się zmniejszać, gdyż stop zbliża się do granicy topliwości (ryc. 35, str. 83), a przytem przechodzi w inną modyfikację ( $\alpha + \beta$ ). W praktyce wyżarzanie odbywa się około 600°.

Punkt topliwości mosiądzu zależy od jego składu i da się odczytać z diagramu, stopień kurczenia się jest większy u stopów zawierających więcej cynku i wynosi 2 do 2·2%.



Ryc. 37:

Barwa stopu zmienia się z dodatkiem cynku do miedzi: do 7% cynku zachowuje się czerwona barwa miedzi, do 14% zmienia się na żółto czerwoną, przy 30% jest żółta, przy 50% złoto-żółta, następnie jaśnieje i około 65% cynku przechodzi w niebieskawo-białą barwę czystego cynku. Widzimy z tego, że cynk ma słabsze własności odbarwiającej niż cyn.

Mosiądz używany w budowie maszyn na odlewy, mające zastąpić drogi bronz tańszym materiałem (na oliwiarki, kurki, tanie armatury i t. p.), zawiera pewne przymieszki cyny, która podnosi jego wytrzymałość, twardość i odporność chemiczną, zwiększając jednak cenę, oraz ołów, który cenę

obniża, zwiększa obrabialność narzędziami tnącymi, powoduje jednak wydzielenie się składników i zmniejsza przez to jednolitość materyału.

W przemyśle używa się mosiądzu z małymi, zwykle nie przekraczającymi 2% dodatkami innych metali jak mangan, żelazo, glin, antymon; stopy takie znane są pod różnemi fantastycznemi nazwami: Delta, Durana, Yellow, Sterro i i. Stopy te przez owe dokładnie wypróbowane dodatki, bardzo staranne oczyszczenie z tlenków przy topieniu i umiejętne postępowanie termiczne, osiągają znakomite nieraz warunki wytrzymałości i obrabialności w stanie lanym i kutym, odporność chemiczną (np. na działanie wody morskiej, ważną w budowie maszyn okrętowych), przez co zastępują często bardzo dobrze o wiele droższe stopy z cyną.

Stopy z glinem tworzą szereg roztworów stałych, z dwoma połączeniami chemicznemi. Wszystkie stopy o zawartości wyższej niż 9% glinu są niezmiernie kruche i twarde, nie mają przez to zastosowania w przemyśle. Przyczyną tego jest znowu zmiana roztworów, które do zawartości 9% glinu mają odmienną postać ( $\alpha$ ), do 15.7 inną ( $\alpha + \gamma$ ), a potem coraz dalej się zmieniają. Jak ta zmiana wpływa na mechaniczne własności stopu, widzimy z następującej tabelki wytrzymałości i procentowego wydłużenia:

zawartość glinu w stopie %	Kz	$\varphi$
5.5	44	64
8.5	50	52.5
9	57.5	32
9.5	62	19
10	64	11
11	68	1
11.5	80	1.5

Widzimy, że ze wzrostem powolnym wytrzymałości obniża się nieznacznie wydłużenie aż do 9% glinu (granica roztworu  $\alpha$ ), poczem wytrzymałość dalej wzrasta a ciągliwość szybko spada; jest to skutek domieszki twardych i kruchych kryształów  $\gamma$  do roztworu  $\alpha$ .

Stopy z glinem obok bardzo znacznej wytrzymałości posiadają dużą twardość, mogą więc być użyte niejednokrotnie w miejsce stopów z cyną, t. j. bronzów, od których są tańsze. Ta możliwość zastępowania nimi prawdziwych bronzów spowodowała, że fabryki wyrabiające je dały im nazwę *bronzów glinowych*.

Stopy glinowe są bardzo dobrze obrabialne w stanie gorącym i pozwalają się wybornie prasować w formach. Nie ulega wątpliwości, że dobre mechaniczne własności zawdzięczają one desoksydacyjnemu działaniu glinu, którego część nie pozostaje w stopie, ale zużywa się na odtlenienie miedzi i wypływa w postaci żużla.

W stanie zimnym nie dają się dobrze kuć, gdyż łatwo powstają przy uderzeniu pęknięcia, — dają się jednak walcować, przyczem podobnie jak mosiądz twardnieją i przed dalszą przeróbką wymagają wyżarzenia.

Odlewalność ich jest dobra, w stanie odlanym są jednak grubokrystaliczne i przez to ich własności mechaniczne nie są zbyt dobre; stopień kurczenia się jest znaczny, bo wynosi 1·65 do 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Odporność chemiczna jest bardzo dobra, zarówno na działanie kwasów organicznych, jak wody morskiej, bezwodnika siarkawego, chloru i t. d., a także płynów zasadowych, co pozwala je obszernie stosować w chemicznych fabrykach i na okrętach.

Barwa stopów glinowych między 5 a 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> glinu jest złoto-żółta, ciężar gat. zależy od ilości glinu, przy 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wynosi 8·3, przy 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> obniża się do 7·5, — przeciętnie jest niższy niż stopów z cyną, używanych w budowie maszyn.

**Stopy z niklem.** Jakkolwiek w przemyśle do innych celów stosowane (naczynia kuchenne i stołowe i t. p.), w budowie maszyn z powodu wysokiej ceny niklu nie były do niedawna używane; prawdopodobnie wskutek zastosowania niklu do stopów żelaza zaczynają od niedawna używać ich, jednak w połączeniu z innymi składnikami. Nową np. zupełnie grupę stopów stanowią stopy R ü b e l ' a (nazwisko wynalazcy), które złożone w odpowiednich stosunkach atomowych tworzyć mają chemiczne połączenia i osiągać przez to wyjątkowe warunki fizyczne. Pomijając tę zasadę, naukowo dotąd wcale nie zba-

daną i dość wątpliwą co do swego prawdopodobieństwa, stopy te wskutek zastosowania różnych, nieraz drogich, a pod względem mechanicznym wybitnych metali, w różnych kombinacjach, stosownie do przeznaczenia (gatunki oznaczone są literami) i przez bardzo staranne przygotowanie i przeróbkę, mają dobre własności mechaniczne i bywają dlatego w przemyśle stosowane. Tak np. stop używany na odlewy, zawierający 33·1% miedzi, 29·2% żelaza, 30·6% niklu i 7·1% glinu (według »wzoru«  $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ni}_2\text{Al}$ ) posiada wytrzymałość na rozciąganie 75 kg/mm<sup>2</sup> i wydłużenie przy powolnem studzeniu 4%, przy nagłem natomiast większe: (podobnie jak u bronzów) 13%; mosiądz o zawartości 66·1% miedzi i 33·9% cynku (»wzór«  $\text{Cu}_2\text{Zn}$ ) z pewnymi dodatkami stopu podobnie jak poprzedni złożonego (w innych nieco stosunkach) oraz manganu, osiąga wytrzymałość do 70 kg/mm<sup>2</sup> i wydłużenie do 22%.

Podobny jest w swych składnikach z Ameryki pochodzący metal *Monel*'a składający się zasadniczo z około 67% niklu i 27% miedzi z różnymi dodatkami żelaza i manganu, barwy białej, bardzo odporny na wpływy atmosferyczne i chemiczne, o wytrzymałości w stanie kutyim dochodzącej do 56 kg/mm<sup>2</sup> przy wydłużeniu 30%.

## 6. STOPY BIAŁE.

Największe ich zastosowanie jest do wylewania panewek łożyskowych, w czym współzawodniczą z bronzami, używanymi do wyrobu panewek. Panewki bronzowe mają większą wytrzymałość, co pozwala na mniejsze wymiary panewek; bronz nie zużywa się tak prędko jak metal miękki, ma jednak znacznie wyższą cenę, trudniejszy jest do obrabiania, a w razie niedokładnego dostosowania panewki do czopa nie poddaje się i dlatego łatwiej wywołać może rozgrzanie i uszkodzenie czopa.

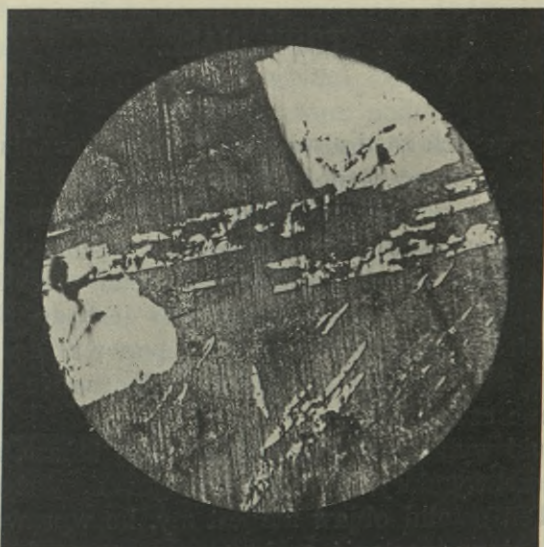
Panewki wylane miękkim metalem są tańsze, ale muszą mieć większe wymiary, a w razie rozgrzania łożyska wytopią się. Ten ostatni objaw nie jest zły, bo wprawdzie przez wytopienie stopu nastąpić może przerwa w ruchu maszyny, ale wypadek taki jako ostrzegający może zapobiedz gorszym skutkom, jak wytarcie się czopa, pęknięcie łożyska lub czopa itd.

Korzystną własnością miękkich metali łożyskowych jest podatność, wskutek czego w razie niezbyt dokładnego dostosowania czopa naddają się do niego. Aby stop łożyskowy działał należycie powinien się składać z dwu składników, twardego służącego za oparcie czopa, i miękkiego, w którym spoczywają twarde kryształy mogące w razie wielkiego nacisku czopa zagłębić się w otaczającej je miękkiej masie. Stosunek obu składników musi być odpowiedni, by z jednej strony było dosyć twardych kryształów dla dostatecznego podparcia czopa, z drugiejby ich nie było za dużo, bo wtedy opierając się wzajemnie na sobie nie miałyby możliwości poddawania

się i zanurzania w miękkim otoczeniu drugiego składnika i powodowałyby pęknięcie stopu, albo wycieranie czopa.

Z tego co powiedzieliśmy wynika, że stopy będące jednolitym roztworem nie są odpowiednie na materiały łożyskowe, tak samo nie będą się nadawać do tego stopy eutektyczne jako mające bardzo jednolitą i drobną strukturę. Z pomiędzy stopów łożyskowych są najbardziej rozpowszechnione i najlepsze:

**Stopy cyny z antymonem i miedzią** znane pod nazwą *metalu białego*, składające się głównie z cyny, antymonu (8—



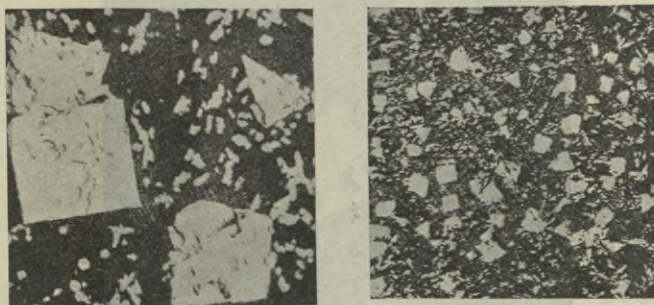
Ryc. 38.

18%) i miedzi (3—9%). W stopie takim (ryc. 38: 86% cyny, 9% antymonu i 5% miedzi) widzimy trzy rodzaje składników: 1) wielkie sześciennie kryształy roztworu antymonu z małą ilością cyny, a więc bardzo twarde i będące owym czynnym składnikiem stopu; 2) drobne, podłużne, bardzo kruche kryształki roztworu miedzi z małą ilością cyny, które z powodu licznych szczelin jakie tworzą, zatrzymują na powierzchni panewki smar i 3) miękką masę eutektyczną, obejmującą oba rodzaje kryształów, głównie zawierającą cynę. Aby kryształy twarde miały swobodne położenie zawartość antymonu nie może przekraczać 20%. Metal powinien po wlaniu do panewki

szybko ostygnąć, aby kryształy twarde miały małe rozmiary, a była ich wielka liczba (ryc. 39 z prawej strony); przy wolnym stygnięciu kryształy rosną nadmiernie, jest ich przez to mało (ryc. 39 z lewej strony) i czop nie ma należytego podparcia.

Ponieważ biały metal jest drogi z powodu wielkiej ilości zawartej w nim cyny, przeto używają do tego samego celu innych stopów, w których twardym składnikiem jest zwykle antymon, a miękkim ołów lub cynk.

**Stopy ołowiu z antymonem** zawierają do 20% antymonu, a resztę ołowiu. Jak widać z obrazu mikroskopowego (ryc. 40, str. 92), składa się stop z twardych kryształów antymonu zanu-



Ryc. 39.

rzonych w miękkiej eutektycznej mieszaninie, złożonej głównie z ołowiu (87% ołowiu, 13% antymonu). Kryształy antymonu wskutek procesu krystalizowania się i tężenia zawierają drobne ilości mieszaniny eutektycznej. Stopy te znacznie od poprzednich tańsze, są od nich miększe i o wiele mniej trwałe. Niekiedy zawierają przymieszki cyny do 20% i miedzi do 10%, które polepszają ich własności i pozwalają je stosować do wylewania łożysk. Do takich stopów należy metal *Magnolia* zawierający przeciętnie 78% ołowiu, 18% antymonu i 4% cyny, czasem mały dodatek miedzi; inny stop łożyskowy zawiera 64,5% ołowiu, 20% cyny, 15% antymonu i 0,5% miedzi.

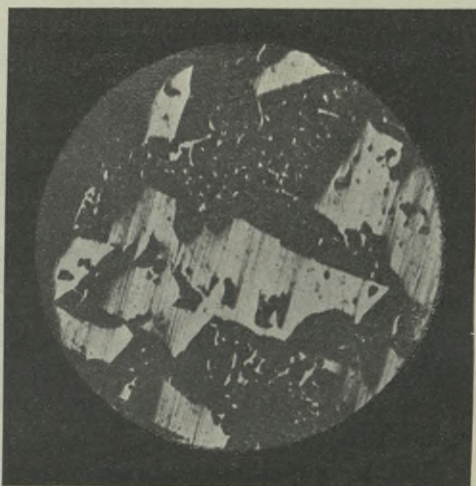
Trzecią grupę stopów łożyskowych stanowią:

**Stopy cynku 1. z cyną i antymonem,**

**2. z cyną i miedzią.**

Pierwsze zawierają oprócz cynku 10—15% antymonu (twarde kryształy) i taką samą ilość cyny, drugie, znane pod nazwą *metal antyfrykcyjnego*, składają się prócz cynku z 15—20% cyny i około 5% miedzi (jako metalu tworzącego z cyną twarde kryształy).

Te stopy, ogłaszane często dla reklamy jako biały metal, zajmują pod względem swej wartości a także i ceny pośrednie miejsce między dwoma poprzednio opisanymi rodzajami stopów. Zawierają często oprócz cynku jako głów-



Ryc. 40.

nego składnika dodatki glinu, cyny i ołowiu, miedzi, a nawet żelaza.

Są wreszcie **stopy glinu** z różnymi dodatkami, stosowane do łożysk, np. 95·5% glinu, 3% miedzi, i 1·5% cyny.

Stopów białych używa się także do nadzwyczaj precyzyjnych odlewów, jak czcionki drukarskie, stereotypy, części składowe maszyn do liczenia obrotów, rachowania i t. p., które odlewane w metalowych formach przez wtłaczanie ich pompą lub wciąganie zapomocą wytworzonej próżni, albo wreszcie z zastosowaniem równoczesnym obu tych sposobów, są po wyjęciu z formy gotowe do użytku bez żadnej dalszej obróbki, mając kształty nieraz nadzwyczaj delikatne.



Do przedmiotów nie podlegających większym nateżeniom stosuje się ołów z dodatkiem antymonu i cyny (np. metal *Linotyp* zawiera 83% ołowiu, 12% antymonu, 5% cyny), do nieco twardszych, w których taniać ma większe znaczenie, stosuje się stopy cynku z cyną, miedzią, a czasem glinem (np. 74% cynku, 15% cyny, 5% miedzi i 6% glinu). Stopy cynku mają pewne złe własności, a mianowicie zmieniają swą objętość, co w odlewach służących np. do przyrządów liczących jest niedopuszczalne, oksydują się na powierzchni, a czasami rozpadają. Przyczynia się do tego także dodatek glinu.

Do odlewów najlepszych t. j. twardych, wytrzymałych, odpornych na działanie powietrza i wody stosuje się najdroższe ze wszystkich stopy cyny z dodatkiem miedzi i antymonu, a więc zbliżające się składem swym do t. zw. metalu białego, o którym mówiliśmy wyżej.

Stopy białe używane bywają także jako *lut* do łączenia metali o niskim punkcie topliwości. Najczęściej używany w blacharstwie jest stop cyny i ołowiu (ryc. 23, na str. 53), który mając obszerną skalę temperatur topliwości, (diagram ryc. 22, na str. 52) może służyć do lutowania różnych materiałów. Ponieważ temperatury topliwości rosną w obie strony od punktu eutektycznego, korzysta się ze znajomości tego diagramu, by zamiast droższych stopów zawierających więcej cyny, wybierać stopy bogatsze w ołów i przez to znacznie tańsze, a topiące się w tej samej temperaturze.

Wreszcie mają one zastosowanie w pewnych przyrządach do mierzenia temperatury, a więcej jeszcze w przyrządach chroniących od pożaru.

**Stopy o niskiej temperaturze topliwości** składają się z cyny, ołowiu z dodatkiem bizmutu i kadmu. Ze stopów tych najwięcej są znane:

Stop *Rosego* (1 część ołowiu, 1 cz. cyny, 2 cz. bizmutu) topi się przy 95°. *Stopy Lipowitza*:

8 cz. ołowiu, 3 cz. cyny, 8 cz. bizmutu, 10 cz. kadmu temp. topl. 75°

8 » » 4 » » 15 » » 3 » » » » 66°

Przez kombinację składników można osiągnąć dokładnie każdy punkt topliwości stopu.

**Stopy mieszane.** Wynalazki Friedricha i Gürtlera (p. str. 57) wprowadzają możliwość wyrobu drogą mechaniczną

materyałów łożyskowych zbliżonych do stopów, zwłaszcza przy użyciu ołowiu jako składnika plastycznego a żelaza w proszku, jako twardego. Pierwszy z nich dodaje żelaza do stopu ołowiu z antymonem w stanie rozgrzanym i plastycznym, i urabia razem, — drugi miesza ołów z żelazem w stanie sproszkowanym i prasuje w formie, przyczem mieszaninę rozgrzewa na 250—300°, by ołów nabral większej plastyczności, pozostając w stanie stałym.

Nie można dziś przewidzieć, jaki będzie rozwój obu pomysłów w praktyce; jako materyały łożyskowe zapewne odegrają pewną rolę.



## 7. STOPY LEKKIE.

Dzięki dwóm metalom o małym ciężarze gat.: glinowi i magnezowi, które wyrabia się fabrycznie, zaczęto od stosunkowo niedawnych czasów zajmować się przygotowywaniem stopów, które nie będąc o wiele cięższymi od powyższych metali, miałyby więcej od nich zadawalające warunki wytrzymałości, obrabialności i twardości. Potrzeba takich metali objawiła się zwłaszcza od czasu nadzwyczajnego rozwoju balonów motorowych i latawców, poza tem jednak potrzebuje ich przemysł samochodowy, a także przemysł wyrabiający przybory podróżne, szczególnie do celów wojskowych, gdzie lekki a silny metal mogący zastąpić raz ciężkie żelazo, drugi raz nietrwałe drewno, ma widoki obszernego zastosowania. Za podstawę wyrobu lekkich stopów służy jeden z wymienionych metali, cięższy ale stosunkowo tani i odporniejszy na wpływy chemiczne *glin*, i znacznie lżejszy, ale drogi i bardzo nieodporny *magnez*. Dodatek innych metali, a nawet oba ze sobą tworzą stopy twardsze, wytrzymałsze, odporniejsze i przez to dające się daleko obszerniej stosować niż metale czyste. Osiągnięcie żądanych, do pewnych celów koniecznych warunków fizycznych, jest rzeczą niełatwą a dochodzi się do tego różnemi drogami; stąd pochodzi stosunkowo znaczna liczba stopów bardzo nieraz odrębnie złożonych od stopów dotąd znanych. Skład ich okrywa się tajemnicą, nazywa fantastycznie lub dziwacznie, nazwami zwykle nic nie mówiącemi.

Z powodu nowości rzeczy, zapotrzebowania stopów tych w przemyśle i walki konkurencyjnej między nimi, przy wspo-

mnianej tajemniczości składu i wyrobu, trudno jeszcze obecnie, i niezawodnie będzie tak jeszcze długo, podać dostateczny obraz istniejących dziś stopów lekkich, scharakteryzować ich własności i wyrobić sobie o nich zdanie, a to tem bardziej, że literatura jest w tym kierunku bardzo uboga, badania nieliczne, a przynajmniej nie ogłaszane, a doświadczenia bardzo niedawnej daty.

Większe zainteresowanie się kół technicznych stopami lekkimi datuje się od wystawy lotniczej w Frankfurcie n. M. w r. 1909, kiedy wyznaczono nagrody za trzy najlepsze lekkie stopy. Ze stopów wówczas nagrodzonych, ten który uzyskał pierwszą nagrodę, dotychczas nie pojawił się w handlu, bo okazało się, że jest nietrwały i leżąc na składzie rozpada się — nie zdołano jeszcze tej wady usunąć, — stop odznaczony drugą nagrodą nie znalazł dosyć odbiorców i przestano go wyrabiać, a więc jego własności nie musiały być zadawalające; za ledwie stop który uzyskał trzecią nagrodę, a widocznie na pierwszą zasługiwał, znalazł uznanie i zastosowanie. Z tego objawu mającego za sobą kilkoletnią historię możemy wnosić, że z wielu wyrabianych dziś nowych lekkich stopów tylko część, po przejściu próby praktycznej utrzyma się; ponieważ dziś niepodobna tego przewidzieć, dlatego i należyte omówienie lekkich stopów, konieczne dla doniosłości samej rzeczy, jest rzeczą trudną i nie może być oparte na pewnych podstawach, jakimi mogą być tylko liczne i bezstronnie a poprawnie przeprowadzone badania.

**Stopy glinu** są znacznie więcej rozpowszechnione, niż magnezu, co się tłumaczy o wiele niższą ceną głównego składnika i jego lepszymi własnościami technicznymi. Najdawniejszym stopem znanym w przemyśle jest stop *glinu z magnezem*, którego w małym dodatku użyto dla poprawienia niedostatecznej wytrzymałości i nie dość zadawalającej obrabialności glinu. Stop ten nazwany *Magnalium* składa się z 70—98% glinu i 30—2% magnezu, posiada piękną białą barwę, daje się kuć, walcować w blachy, wyciągać w druty, obrabiać nożami. Ciężar gat. ma mniejszy niż glin, zależnie od stosunku obu składników. Metal używany na odlewy zawiera 12—15% magnezu, topi się około 750°, dobrze wypełnia formy; metal na blachy i druty zawiera zwykle więcej magnezu i posiada

większą twardość. Wytrzymałość na rozciąganie wynosi 30—40 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie odpowiadające jej 10%, a przy materiale kuty i wyżarzonym więcej. Przez obróbkę na zimno (3—5% magnezu) można wytrzymałość jego podwyższyć, jednakże z obniżeniem ciągliwości.

Stopów tych nie używa się dlatego powyżej zawartości 30% magnezu, ponieważ około 55% magnezu powstaje połączenie chemiczne (Al<sub>3</sub>Mg<sub>4</sub>) tworzące roztwory stałe z glinem o zupełnie innych własnościach, i to połączenie wchodzi w skład roztworów począwszy od 30% magnezu.

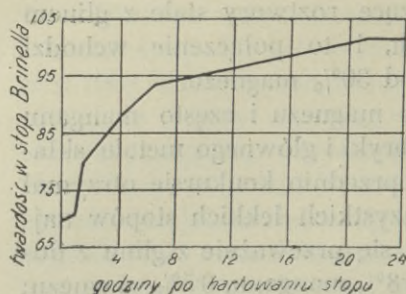
**Stop z miedzią** z dodatkiem magnezu i często manganu zwany *Duralumin* (od nazwy fabryki i głównego metalu składowego), który na opisanym poprzednio konkursie otrzymał trzecią nagrodę, jest dziś ze wszystkich lekkich stopów najlepiej zbadany i znany\*). Składa się przeważnie z glinu z dodatkiem 3·5—5·5% miedzi, 0·5—0·8% manganu, 0·5% magnezu; topi się około 650°, ciężar gat. ma około 2·8. Jest odporny na wpływy atmosferyczne, działanie wody i kwasu, daje się kuć, prasować, walcować, wyciągać i obrabiać nożem. Obróbka sposobami kuźniczymi (kucie, walcowanie, prasowanie) odbywać się musi przy wysokiej temperaturze, najkorzystniej przy 400°.

Wytrzymałość na rozciąganie wynosi 35—45 kg/mm<sup>2</sup> przy wydłużeniu 25—18%. Przez przeróbkę na zimno podnosi się wytrzymałość na 50 do 60 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie spada równocześnie na 4—2%. Niezmiernie ciekawą jego własnością jest *hartowność\*\**), objawiająca się w tem, że ogrzany do 500° i nagle ostudzony w wodzie jest w pierwszej chwili tak samo miękki jak przedtem, po pewnym czasie zaczyna szybko twardnieć i po kilkunastu godzinach lub nawet kilku dniach osiąga maximum twardości, która mu trwale zostaje, przyczem ciągliwość nie zmienia się albo nawet wzrasta. Ryc. 41. (str. 98) przedstawia graficznie wzrost twardości zahartowanego stopu w ciągu 24 godzin. Wzrost ten w pierwszej godzinie po zahartowaniu nieznaczny, odbywał się w drugiej bardzo szybko,

\*) Cohn *Technische Mitteilungen über Duralumin. Verh. d. Ver. z. Bef. d. Gewerbefleisses* 1910, str. 643.

\*\*\*) Wilm. Met. 1911, str. 225.

poczem do szóstej wolniej, od szóstej był coraz powolniejszy i w 23 godzinie osiągnął trwale pozostającą twardość. Wytrzymałość metalu przez obróbkę na zimno zwiększa się i przez następujące potem zahartowanie podnosi się już nieznacznie dalej, ale że ciągliwość wskutek tego procesu również się podnosi, może być znów obrabiany na zimno, przez co wytrzymałość dalej wzrasta. Materiał obrabiany na zimno i wygrzany



Ryc. 41.

doznaje we wrzącej wodzie zmniejszenia twardości, a zato powiększenia ciągliwości. Jako przykład takiej obróbki może posłużyć badanie\*) przeprowadzone na stopie (w postaci 7 mm blachy) składającym się z 96% glinu, 3,5% miedzi i 0,5% magnezu, walcowanym przy 400° i poddanym kolejno niżej opisanej przeróbce; po każdej czynności badano twardość (według Brinella), wytrzymałość (Kz w kg/mm<sup>2</sup>), i wydłużenie procentowe (φ):

Opis przeróbki:	Twardość	Kz	φ
W stanie pierwotnym . . . . .	70	26	17
Po walcowaniu na zimno z 7 na 2 mm .	103	36	3
Po zahartowaniu w wodzie i upływie 4 dni	110	40	22
Po ponownem walcowaniu na zimno . .	158	53	23
Po wygrzaniu we wrzącej wodzie . . .	152	51	6

Widzimy z cyfr powyższych, jak można własności mechaniczne stopu polepszyć przez szereg zabiegów termicznych.

**Stopy z cynkiem** (C y m a l i u m) należą do najczęściej zbadanych lekkich stopów. Bywają wyrabiane w stosunku 65—92% glinu i 35—8% cynku, czasem z dodatkiem miedzi; najkorzystniejsza zawartość cynku ma być 15—20%. Ciężar gat. mają około 3. Są ciągliwe, obrabialne, bardzo dobrze dają się odlewać, przyczem powoli studzone mają strukturę grubokrystaliczną i wtedy wytrzymałość ich jest znacznie mniejsza

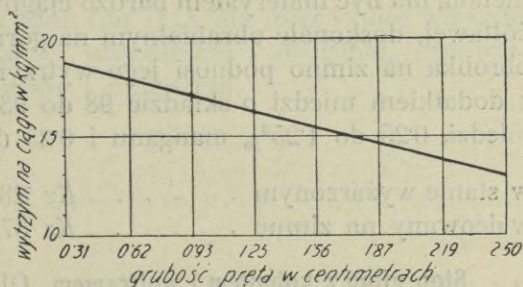
\*) Met. 1911, str. 225.

niż przy szybkim studzeniu, które daje im budowę drobno-kryształiczną. Współczynnik kurczenia się przy krzepnięciu wynosi ok. 1%. Następująca tabelka \*) daje wyobrażenie o wpływie zawartości obu składników oraz przeróbki termicznej na wytrzymałość ( $K_z$ ) i wydłużenie ( $\varphi$ ).

Zawartość % glinu	Zawartość % cynku	Rodzaj przeróbki:	$K_z$	$\varphi$
94·7	5·3	1) pręty lane o średnicy 50 mm	7·9	8·5
		2) kute przy 350° do średnicy 20 mm	13·6	19
		3) żarzone przy 300° przez 1 godzinę	9·6	30
89·8	10·2	jak 1)	9·3	2·5
		» 2)	18·2	33·5
		» 3)	14·8	38
84·0	16·0	jak 1)	17·1	2
		» 2)	25·4	23
		» 3)	23·2	28
79·0	21·0	jak 1)	18·36	1
		» 2)	31·3	14
		» 3)	31·5	14·5

Jak widać z powyższych cyfr, kucie podnosi bardzo wytrzymałość i ciągliwość stopu; przez następne żarzenie wytrzymałość się obniża a ciągliwość podnosi, — szczególnie u stopów o mniejszej zawartości cynku.

Wpływ stygnięcia badano \*\*), odlewając w zupełnie tych samych warunkach ze stopu o składzie



Ryc. 42.

\*) Met. 1912, str. 244.

\*\*) Met. 1911, str. 719.

81·5% glinu 16% cynku i 2·5 miedzi pręty różnej grubości, których szybkość tężenia była przez to zmienna. Wykres ryc. 42, (str. 99) przedstawia ten wpływ; na osi poziomej oznaczone są w cm. długości prętów, na pionowej ich wytrzymałość na rozciąganie w  $\text{kg/mm}^2$ .

Przy ogrzaniu zmniejsza się szybko wytrzymałość stopu. Badany w tym kierunku\*) stop złożony z 65% glinu a 35% cynku miał wytrzymałość w normalnej temperaturze  $25 \text{ kg/mm}^2$ , przy ogrzaniu na  $200^\circ$   $16\cdot4 \text{ kg/mm}^2$ , t. j. 64·4% pierwotnej, przy ogrzaniu na  $260^\circ$   $11\cdot9 \text{ kg/mm}^2$ , t. j. 47·6% pierwotnej wytrzymałości.

Stopom z cynkiem zarzucają skłonność do pęknięcia pod wpływem częstych wstrząszeń; rzecz ta nie jest jednak udowodniona. Stwierdzono przecież, że w odlewach z tych stopów, o ile zawierają ostre kąty, występują rysy i pęknięcia przy dłuższym, nawet spokojnym leżeniu (na składzie), co się tłumaczy wpływem karbu. O tem będzie mowa w następnym rozdziale; ten objaw wyjaśnia do pewnego stopnia powyższy zarzut i zarazem wskazuje, jak zabezpieczyć się od takich pęknięć.

**Stopy ze srebrem i dodatkiem metali z grupy żelaza (kobalt, chrom, nikiel, mangan) wyrabiają od niedawna we Francji. Dodatek srebra ma zapobiegać wykrystalizowaniu się owych dodatków w czasie krzepnięcia stopu i zapewniać przez to materiałowi potrzebną jednolitość. Stop tego rodzaju złożony z 80 do 85% glinu, 5—10% srebra i 15—5% dodanego metalu, ma być materiałem bardzo ciągliwym, twardym, barwy żółtawej, doskonale obrabialnym na gorąco i zimno, przyczem obróbka na zimno podnosi jego wytrzymałość. Podobny stop z dodatkiem miedzi o składzie 98 do 93·5% glinu, 1·5 do 4% miedzi, 0·25 do 1·25% manganu i 0·25 do 1·25% srebra, miał**

w stanie wyżarzonym . . . . .	Kz 28 $\text{kg/mm}^2$	$\varphi$ 14%
walcowany na zimno . . . . .	Kz 37	» $\varphi$ 1—2%

**Stop glinu z kobaltem i wolframem.** Obszerne próby\*\*) z zastosowaniem kobaltu i wolframu w różnych stosunkach wy-

\*) Met. 1911, str. 719.

\*\*) Met. 1911, str. 650.



kazały, że stop ten ma bardzo korzystne własności, jednakże przy ściśle ograniczonych stosunkach składników, a mianowicie: 9 do 10% kobaltu i 0·8 do 1·2% wolframu, reszta glinu. Wytrzymałość jego jest przynajmniej dwukrotnie większa niż czystego glinu, barwa żółtawo-biała, ciężar gat. 2·8—2·9, punkt topliwości 850—950°; jest zupełnie niezmienny na powietrzu, ma bardzo mały współczynnik kurczenia się, daje się łatwo obrabiać przez kucie i walcowanie.

**Stopy glinu z żelazem** (Albidur) o cięż. gat. ok. 3, mają wytrzymałość 18—24 kg/mm<sup>2</sup> przy wydłużeniu 5—1%; są chemicznie odporne.

**Stopy magnezu** mają wyższość nad glinowymi w swej lekkości; z powodu wysokiej ceny magnezu i małej odporności chemicznej są dotychczas o wiele mniej rozpowszechnione od glinowych. Jeden z najdawniejszych *Elektron* składa się z 80 do 99·5% magnezu i 20 do 0·5% glinu, do czego wchodzić mają pewne niewyjawione dotąd dodatki. Ciężar gat. około 1·8.

Stop w stanie lanym posiada . . .  $Kz = 15, \text{ kg/mm}^2 \varphi = 3\%$   
 w stanie kutym . . . . . 30 » 15%

Jest to stop, który na konkursie w Frankfurcie, jak była mowa, otrzymał pierwszą nagrodę, lecz z powodu pewnych wad nie zjawiał się dotąd w handlu.

Inny stop magnezowy wynaleziony przez R ü b e l a składa się z 90—96% magnezu z dodatkiem cynku 10 do 4%, a czasami miedzi (do 9%) i glinu (do 1%). Ma mieć dobre warunki obrabialności przez kucie, walcowanie i struganie, oraz odporność na działanie wody i powietrza.

## 8. BADANIE MATERIAŁÓW.

W poprzednich ustępach opisywaliśmy różne metale i ich stopy, podając ich własności, skład chemiczny, wytrzymałość na ciągnięcie, wydłużenie, jakiego doznały zanim nastąpiło rozerwanie, twardość, zachowanie się przy przeróbce mechanicznej i termicznej i t. d. Z tych własności korzysta się przy konstrukcyi, stosując w obliczeniach znane daty co do wytrzymałości materiału, aby otrzymać części maszyn dostatecznie wytrzymałe na działanie sił występujących w czasie pracy maszyny; części te nie mogą być za grube, (niepotrzebnie zwiększające ciężar maszyny), aby zaoszczędzić drogiego nieraz materiału, i jeszcze większych często kosztów obrabiania, a przez zmniejszenie ciężaru maszyny uczynić ją zdatną do specjalnych celów np. w lotnictwie.

Z twardości materiału korzysta się przy projektowaniu części maszyn podlegających wycieraniu i zużyciu w zetknięciu z twardymi materiałami, które maszyna przerabia. Korzystamy wreszcie ze znajomości przemian, jakim metal podlega, aby jego własności polepszyć w pewnym kierunku, np. twardość przez hartowanie, ciągliwość przez wyżarzanie, wytrzymałość przez stosowne odpuśczenie po zahartowaniu lub obrabianie na zimno.

Żaden materiał nie jest jednak ciałem jednolitem i niezmiennem, owszem wskutek właściwości procesów hutniczych mogą powstać przy jego wyrobie zmiany, czy to w stosunku składników istotnych, czy przypadkowych przymieszek, nie zauważonego albo źle zastosowanego procesu termicznego lub mechanicznego. Z tego wynika, że stosując do konstrukcyi

pewien rodzaj materiału o znanych ogólnie własnościach, nie mamy jednak wcale pewności, czy materiał, jakim w danej chwili rozporządzamy, jest pod względem swego składu i własności jednolity i dokładnie taki sam, jaki dla konstrukcyi przepisano i jakiego dostawca zobowiązał się dostarczyć, — czy może wskutek różnych przyczyn nie posiada wymaganych warunków. Przez obejrzenie takiego materiału nie dowiadujemy się niczego; często stosowane rozpatrywanie *przełomu* t. j. barwy, ziarnistości, kształtu, daje tylko słabo przybliżone wyobrażenie, a często myli. Ziarnistość np. zmieniać się może pod działaniem pewnych składników i procesów termicznych, — co pozwalałoby przy odpowiedniej wprawie wyciągać trafne wnioski o wartości materiału, ale zmienia się także zależnie od sposobu wykonania przełomu; w żelazie np. inaczej wygląda przełom, gdy złamiemy pręt nienaruszony, a inaczej gdy go przed złamaniem zakarbuujemy pilnikiem lub dłutem, — inaczej wygląda, gdy go łamiemy z wolna, gnąc i prostując wielokrotnie, niż krusząc go nagłym uderzeniem.

Rozpowszechnione u praktyków osądzanie materiału np. stali konstrukcyjnej w razie złamania, albo surowca przy kupnie, z przełomu, powinno być zarzucone wobec n a j z u p e ł n i e j s z e j niepewności takiego sądu. Nie znaczy to, żeby przełom nie dawał żadnych wskazówek na własności materiału, owszem przy należytej wprawie mając j e d n a k o w y rodzaj żelaza, zupełnie tę samą przeróbkę, — wogóle jednakie warunki, dające racjonalną podstawę porównawczą, można wyrobić sobie sąd z przełomu; stosuje się to np. przy wykończaniu naboju żelaza w piecu martinowskim, odlewając próbkę żelaza, przekuwając ją i hartując, a potem łamiąc; bez żadnych jednak wiadomości o rodzaju materiału i jego poprzedniej przeróbce termicznej nie można z jakąkolwiek pewnością wydawać sądu, który tylko przy p a d k o w o może być trafny.

Chcąc mieć wyobrażenie o istotnych własnościach materiału, trzeba wykonać nad nim stosowne, celowe badania, dla stwierdzenia, czy posiada przypisywane mu własności. Nie znaczy to, że każdy użyty do konstrukcyi kawałek materiału ma być zbadany, ale że wybiera się z dostarczonego w większej ilości materiału próby według ułożonego planu

i poddając je badaniom, otrzymuje się przez to średnie wartości dla całej dostarczonej ilości. Przy takim systemie badania mogą się wprawdzie zdarzyć niespodzianki wskutek wyjątkowych wypadków, na ogół jednak otrzyma się wyniki wystarczające, aby na nich mógł się oprzeć przy konstrukcyi.

Badania materiału są potrzebne nie tylko dla celów konstrukcyi i bezpieczeństwa maszyn; są one jeszcze z innych względów ważne: aby dla braku kontroli nie zakupywać materiałów mniej wartościowych niż miały być dostarczone, by w razie nieudania się wyrobu stwierdzić, czy niepowodzenie ma swe źródło w wadach materiału, czy w błędach przeróbki, a w razie powstałego sporu rozstrzygnąć, która gałąź fabrykacyi zawiniła (odlewnia, kuźnia, hartownia, warsztat mechaniczny), rozstrzygnąć go bezstronnie i pewnie, a wreszcie, by odbiorcy występującemu z zarzutami, że otrzymał wadliwy wyrób, mógł w wielu wypadkach udowodnić, że wina leży nie w dostarczonym wyrobie (np. narzędziu, przyrządzie, maszynie), ale w nieumiejętnem obchodzeniu się z nim, lub w nieodpowiednim stosowaniu.

Badania materiałów wykonują większe zakłady same u siebie, mając do tego należycie urządzone laboratoria. Zakłady małe posługiwać się mogą stacyami doświadczalnemi\*), które za niewielką opłatą wykonują badania. Zysk jaki się osiąga jednorażowo z wykrycia mniejwartościowego, a zwykle tańszego materiału, dostarczonego zamiast droższego, pokrywa często całoroczne koszty przeprowadzanych badań.

Dla uzupełnienia więc ogólnych wiadomości o materiałach, których własności będziemy mieli w dalszym ciągu jeszcze nieraz sposobność szczegółowo omawiać, opiszemy w krótkości zasady używanych dziś w budowie maszyn sposobów badania materiałów. Rozróżniamy trzy rodzaje badań, stosowane w miarę potrzeby i wzajemnie się uzupełniające:

1. Badania chemiczne.
2. Badania metalograficzne.
3. Badania mechaniczne.

---

\*) We Lwowie istnieje taka stacja przy Politechnice.

**Badania chemiczne.** Mają one zadanie wykazać za pomocą analizy chemicznej istotną zawartość głównych składników w materiale (np. węgla, chromu i niklu w stali niklowo-chromowej, albo cyny w bronzie), albo przymieszek naturalnych, wpływających na właściwości metalu, czy to potrzebnych i w pewnych granicach pożytecznych (np. krzemu i manganu w żelazie węglistem), czy szkodliwych (np. fosforu i siarki), — wyznaczyć postać w jakiej się znajdują (np. w surowcu żelaza czy jest czysty węgiel, czy karbid, czy oba) i w jakim stosunku; zbadać inne zanieczyszczenia (np. tlenkami w miedzi, bronzie, żelazie i t. p.), podać sposób ich usunięcia i t. d. i t. d.

Widzimy z tego, że badanie chemiczne jest niezmiernie ważnym działem badania materiałów, dowiemy się później, że wszystkie niemal procesy metalurgiczne na niem się opierają, a racjonalne prowadzenie odlewni nie da się bez niego pomyśleć. Sposoby wykonywania tych badań należą do technologii chemicznej, są zakresem działalności chemika-metalurga i leżą poza zadaniami, działaniem i wiedzą inżyniera budowy maszyn, zaznaczamy więc je tylko tutaj jako konieczne, nie rozpatrując bliżej.

**Badania metalograficzne.** Wykonywa się je za pomocą mikroskopu, oglądając w pewnym powiększeniu wypolerowaną powierzchnię metalu, którą za pomocą pewnych odczynników działających chemicznie na materiał tak przygotowano, by struktura była widoczna. Ponieważ materiał jest nieprzezroczysty, nie można go oglądać tak, jak inne ciała w świetle przepuszczonym, lecz tylko w świetle odbitem w ten sposób, że na powierzchnię badaną rzuca się promień silnego światła, które odbite dostaje się do obiektywu i okularu mikroskopu. Schemat jednego z takich urządzeń przedstawia ryc. 43: promień światła *a* pada na pryzmat *G*, odbija się od jego wewnętrznej powierzchni w kierunku badanego materiału *D*, a od-



Ryc. 43.

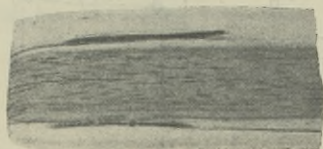
biwszy się ponownie od jego gładko wypolerowanej powierzchni, wpada do mikroskopu B, (w szkicu A przedstawia jego obiektyw, C okular).

Przez stosowanie różnych powiększeń można, znając właściwości jakich materyał nabywa w przeróbce, składniki z których jest złożony i wpływy przeróbki oddziałujące na strukturę, rozpoznawać i odróżniać od siebie materyały, np. żelazo zgrzewane od zlewnego (zob. odnośne ustępy zarysu hutnictwa), żelazo miękkie od twardego, surowiec szary i biały, materyał hartowany i odpuszczony, stwierdzić zmiany spowodowane przeróbką np. przegrzanie, przepalenie, obróbkę na zimno, zawartość żużli lub porowatość, zanieczyszczenia tlenkiem (np. w miedzi) drobną lub grubą budowę kryształów (np. w stopach łożyskowych i t. d.); znajomość diagramu tężenia oddaje w wielu wypadkach doniosłe usługi.

Obok mikroskopu stosuje się t. zw. analizę termiczną dla wywołania przy pomocy ciepła zmian struktury (odpuszczanie hartowanej stali, wyżarzanie, przegrzanie i t. p.), które pozwalają wyprowadzać wnioski o własnościach materyału i kontrolować spostrzeżenia mikroskopowe. Wyniki, jakie dają badania metalograficzne, pozwalają określić często same dla siebie albo też w związku z badaniem chemicznym i mechanicznym, jakim zmianom podlegał materyał w ciągu przeróbki i stąd wyprowadzać wnioski, co było przyczyną jego uszkodzenia lub zepsucia.

Nie trzeba dodawać, że badanie metalograficzne wymaga wielkiej znajomości materyału i znacznej wprawy, aby prowadziło do wniosków prawdziwych, a nie fałszywych.

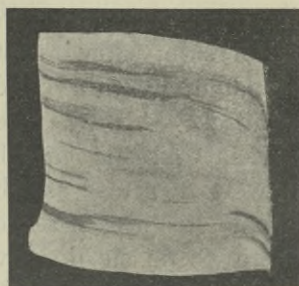
Obok mikroskopu stosuje się często oglądanie badanego przedmiotu bez powiększenia, — gołem okiem, po poprzednim wypolerowaniu i nagryzieniu powierzchni, aby struktura była widoczna. W ten sposób można ujawnić wady materyału np.



Ryc. 44.

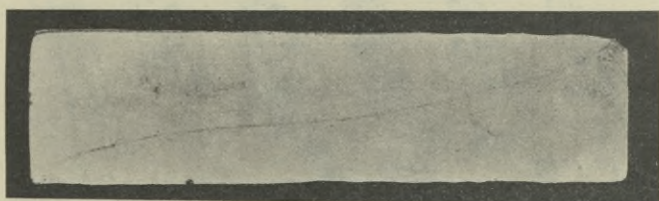
jego porowatość, niejednorodność i zanieczyszczenie w pewnych warstwach szkodliwymi przymieszkami. Ryc. 44. przedstawia blachę kołową, która wykonana z wadliwego surowego bloku wykazuje między zewnętrznymi zdrowymi

warstwami, warstwę zawierającą wiele fosforu. Analiza chemiczna potwierdziła to spostrzeżenie, wykazując że blacha w warstwach zewnętrznych zawierała 0·088% fosforu, w środku średnio 0·168%, w pewnych zaś (na rycinie najciemniejszych miejscach) 0·203%. Tym samym sposobem można stwierdzić wskutek ujawnionego przesunięcia włókien, że otwory na nity nie były wiercone, ale wytłaczane



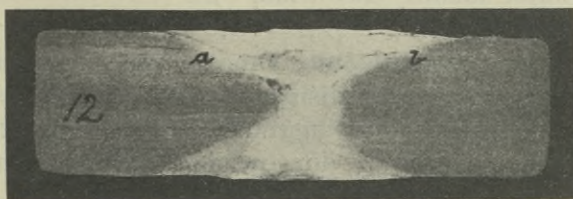
Ryc. 45.

(Ryc. 44. z lewej strony: wygięte włókna wskutek wytłoczenia), lub, że blacha była przecinana nożycami a nie piłą (Ryc. 45. włókna odkształcone, pęknięcia, warstwy odstające; — przy przecinaniu piłą niema żadnej zmiany struktury); można dalej



Ryc. 46.

stwierdzić sposób łączenia, wykrywając miejsce połączenia przedmiotów. Ryc. 46. przedstawia połączenie blach przez zgrzewanie w postaci cienkiej ukośnej linii, ryc. 47. połączenie

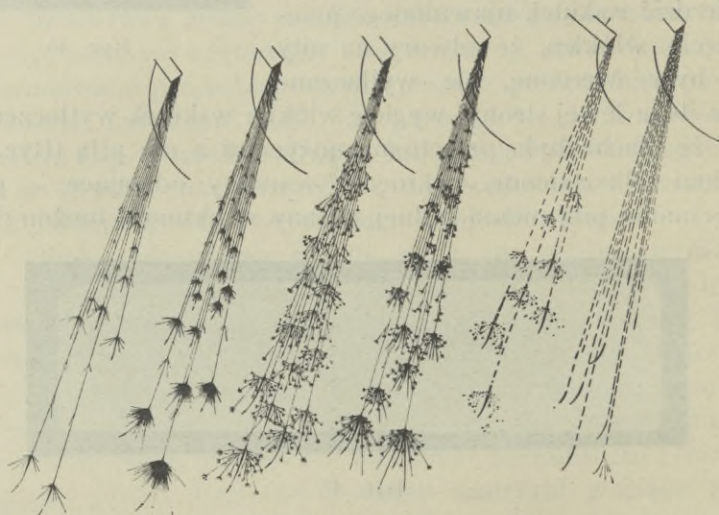


Ryc. 47.

zapomocą stapiania, gdzie jest widoczna przestrzeń wypełniona stopionym materiałem.

Mówiąc o badaniach wykonanych przez obserwację, wspomnieć należy o spostrzeżeniu, zresztą nie nowem Ber-

mana \*), że różne rodzaje stali dają przy obróbce na tarczy szlifierskiej iskry o postaci charakterystycznej dla chemicznego składu materiału (Ryc. 48): na tej zasadzie wyprowadził on wniosek, że przy należytej wprawie można ze znaczną ścisłością określić nie tylko rodzaj stali i w ogóle żelaza, ale nawet zawartość składników (węglą, wolframu i t. d.). Twierdzenie to jest przesadne, bo wprawdzie przy dostatecznej wprawie da się do pewnego stopnia rozpoznać gatunek stali



Ryc. 48.

z postaci iskier, niema jednak mowy o tem, aby próba taka mogła zastąpić analizę chemiczną \*\*).

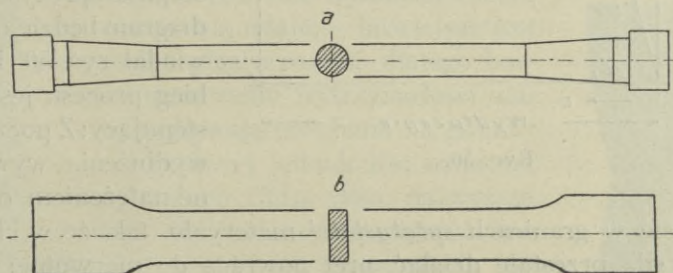
**Badania mechaniczne.** Omawiając własności mechaniczne materiałów podawaliśmy zwykle wytrzymałość ich na ciągnięcie (natężenie  $Kz$  w  $\text{kg}/\text{mm}^2$ , jakie jest potrzebne, by pręt z pewnego materiału doprowadzić do przzerwania), oraz

\*) Zft. d. Ver. d. Ing. 1909, str. 171. St. u. E. 1909, str. 1441. Czasopismo techn. 1909, str. 59 i 232.

\*\*) Nie można także raz na zawsze utrwalić kształtu iskry danego materiału przez fotografowanie, gdyż zmienna barwa ich żaru (od białej do czerwonej) nie pozwala sfotografować wszystkich szczegółów iskry. (Ryc. 48. przedstawia postać iskier według ręcznego rysunku Bermana, a nie na podstawie fotografii).



wydłużenie ( $\varphi$ ) przedstawiające zwiększenie długości badanego pręta w chwili rozerwania, w stosunku procentowym do pierwotnej długości. By zrozumieć, jakie znaczenie mają te cyfry przy obliczaniu części maszyn, należy rozpatrzyć zachowanie się pręta w czasie rozciągania we wszystkich okresach badania, aż do chwili, gdy następuje rozerwanie. Aby wyniki prób można było ze sobą porównywać, daje się badanym prętom przez stosowną obróbkę przepisany kształt i wymiary, najczęściej pręta okrągłego (ryc. 49 a.) z główkami do osadzenia w maszynie służącej do doświadczeń (czasami, jeżeli wymiary badanego przedmiotu są małe, zaopatruje się pręt w gwinty zamiast główek) lub o ile bada się blachę, stosuje się pręt o przekroju prostokątnym (ryc. 49 b.)\*.



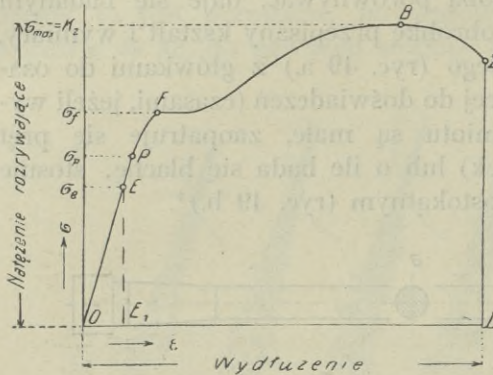
Ryc. 49.

Jeżeli siła rozciągająca pręt jest  $P$ , a powierzchnia (pole) jego przekroju  $F$ , to iloraz  $\frac{P}{F}$  określający siłę przypadającą na jednostkę pola, nazywamy *natężeniem*. Pod działaniem siły  $P$  pręt, którego długość wynosiła  $l$ , zostanie rozciągnięty do długości  $l_1$  a różnica obu długości  $l_1 - l$  wskazuje nam o ile pręt został wydłużony; wielkość rozciągnięcia najlepiej charakteryzuje wzrost długości pręta na jednostkę długości

\*) Aby stosunki wymiarów próbowanych prętów były stałe przy różnych wymiarach i kształcie ich przekroju, przyjęto jako ilość stałą stosunek długości pręta do pierwiastka jego przekroju ( $1:\sqrt{F}$ ), najczęściej stosowane pręty t. z. normalne mają grubość 2 cm., długość 20 cm., wskutek czego stosunek powyższy wynosi  $20:\sqrt{\pi} = 11.3$ . Ten stosunek zachowuje się także przy użyciu prętów płaskich i prętów okrągłych cieńszych.

$\frac{l-l_0}{l_0}$ , *rozciągnięcie jednostkowe*, które najdogodniej jest wyrazić liczbą procentową  $\varphi = 100 \frac{l-l_0}{l_0}$ , nazwaną *wydłużeniem*.

Przebieg procesu rozciągania pręta aż do jego przerwania ilustruje rycina 50, gdzie na osi pionowej oznacza się nateżenia działające na pręt, na poziomej wydłużenia spowodowane powyższymi nateżeniami, wskutek czego otrzymujemy



Ryc. 50.

*diagram nateżeń i wydłużeń*, charakteryzujący zachowanie się materiału.

Jeżeli materiał badany jest rozciągliwy i do pewnego stopnia sprężysty, to diagram będzie odpowiadał ryc. 50. Przebieg procesu jest następujący: Z początku wydłużenia wywołane nateżeniem odby-

wają się w granicach *sprężystości* materiału, tak, że w chwili kiedy siła przestaje działać, pręt powraca do pierwotnej długości. Ze wzrostem nateżeń nastaje chwila, kiedy wydłużenie pozostaje trwale; nateżenie, przy którym sprężyste wydłużenie kończy się, nazywamy *nateżeniem na granicy sprężystości* ( $\sigma_e$ ), a punkt krzywej odpowiadający mu *granica sprężystości* E. Powyżej tego nateżenia wydłużenia są trwałe. Jeszcze inny objaw można równocześnie zauważyć, a mianowicie, że początkowo wydłużenia są *proporcjonalne* do nateżeń, diagram przedstawia więc linię prostą. Gdy ta proporcjonalność nateżeń i wydłużeń dobiegnie kresu, mamy do czynienia z *nateżeniem na granicy proporcjonalności* ( $\sigma_p$ ), co na diagramie oznacza punkt P, *granica proporcjonalności*; odtąd wydłużenie materiału wzrasta w stosunku nieco większym niż nateżenie, jednakże jeszcze zawsze powoli, aż do punktu F, zwanego *granica plastyczności* z odpowiadającym mu *nateżeniem u granicy plastyczności* ( $\sigma_r$ ), od którego materiał stając się plastycznym, zaczyna się bardzo szybko wyciągać, przy niezmien-  
nem a czasem chwilowo zmniejszającym się nateżeniu. Objaw



ten, jakby rozplywanie się materiału, nazywamy *plynięciem*. Po pewnej chwili plynięcie staje się słabsze, tak, że do dalszego wydłużenia pręta potrzeba wzrostu ciśnienia; przyrost wydłużenia jednak jest wciąż bardzo znaczny, i przy powolnym wzroście nateżeń rozciągających, które wreszcie osiągają maksimum  $\sigma_{\max} = Kz$ , nateżenie na granicy wytrzymałości, czyli nateżenie *rozrywające*. Od tej chwili zmniejsza się siła potrzebna do dalszego rozciągania pręta, a jednocześnie w jednym miejscu pojawia się znaczne trwałe *zwężenie* przekroju pręta (Ryc. 51), który w tem miejscu wreszcie pęka (punkt Z diagramu).

Oznaczenie granicy sprężystości i proporcjonalności, które zwykle blisko siebie leżą, jest z powodu bardzo nieznacznego wzrostu towarzyszących mu wydłużeń rzeczą trudną i nie zawsze się udaje, — łatwiejsze jest oznaczenie granicy plastyczności, dlatego bardzo często przy oznaczaniu wytrzymałości materiału podawane bywają nateżenia na granicy plastyczności. Najłatwiej jednak jest oznaczyć nateżenie rozrywające ( $Kz$ ), jako najwyższe, i z tego powodu wykazy wytrzymałości materiałów przedewszystkiem to nateżenie podają, obok nateżeń na granicy plastyczności, a często same tylko dla siebie, — równocześnie z procentowem wydłużeniem  $\varphi$ , towarzyszącem rozerwaniu pręta. Wszystkie daty wytrzymałości podane dotychczas w poprzednich ustępach zawierają te dwie liczby  $Kz$  i  $\varphi$ .



Ryc. 51.

Liczb tych konstruktor nie może wprost stosować do obliczeń, gdyż w jego konstrukcyi dopuszczalne nateżenia nie mogą przekraczać granicy sprężystości, inaczej powstałyby odkształcenia trwałe, które są niedopuszczalne ze względu na konieczność niezmienności wymiarów części maszyn. Ponieważ jednak dla danego materiału na podstawie znajomości jego zachowania się, można ocenić stosunek nateżeń elastycznych do rozrywających, więc nie popełniając znacniejszego błędu, przyjmuje się pewien współczynnik, zwany *współczynnikiem bezpieczeństwa*, mniejszy zawsze niż 1, który

cyfrę nateżeń rozrywających redukuje do wielkości odpowiadającej nateżeniom elastycznym.

Badanie materiałów przez rozciąganie, jako dające się najłatwiej przeprowadzić i pozwalające wysnuwać wnioski o zachowaniu się materiału przy innych rodzajach nateżeń, jest prawie wyłącznie stosowane; w pewnych jednak wypadkach wskazane są i odbywają się badania materiałów na inne rodzaje obciążenia np. na ściskanie, ścinanie, skręcanie, zginanie, lub wyboczenie, zależnie od tego, jakim celom ma służyć materiał. W dalszych częściach wykładu będziemy mieli sposobność omówić ich zastosowanie w szczególnych wypadkach.

Rozpatrując własności mechaniczne materiału podajemy zawsze obok jego *wytrzymałości* także *wydłużenie*, jakiemu on podlega przy rozciąganiu i to aż do granicy wytrzymałości, mimo, że wydłużenie to dla należytego funkcjonowania maszyny nie ma znaczenia, bo przyjmując w jej częściach za dopuszczalne tylko nateżenia elastyczne, przy których wydłużenie jest bardzo nieznaczne, nie robimy użytku z całkowitego wydłużenia.

Pomijając ten ważny powód, że znajomość wydłużeń jest potrzebna ze względu na przeróbkę materiału sposobami kuźniczymi (kucie, walcowanie, wyciąganie i t. d.), nie jest rzeczą obojętną, czy materiał użyty do konstrukcyi posiada prócz odpowiedniej wytrzymałości także możliwość znacznego wydłużania się. Jeżeli bowiem skutek jakiegoś wypadku, powodującego nagły wzrost nateżeń poza granicę elastyczności, nastąpi trwałe odkształcenie danego elementu, to jednak dla całości i bezpieczeństwa innych składowych części maszyny, sąsiednich urządzeń warsztatowych, ludzi przy maszynie zajętych i t. d., o wiele lepiej jest, jeżeli nie nastąpi nagłe złamanie materiału, ale tylko plastyczne odkształcenie, wytrzymaujące w każdym razie ewentualny dalszy wzrost nateżeń, w przeciwieństwie do materiału kruchego.

Rozpatrując diagram nateżeń i wydłużeń (Ryc. 50, str. 110) widzimy, że powierzchnia zawarta między linią diagramu a osią poziomą OL i linią pionową ZL, oznaczającą kres wydłużenia, pomnożona przez objętość  $F \cdot l$  pręta, przedstawia *pracę* jaką wykonano, by pręt doprowadzić do urwania. Gdy narysujemy w diagramie przez punkt E pionową  $E_1$ , to zobaczymy, że

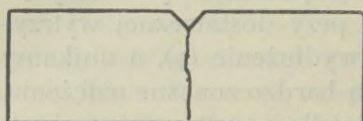
powierzchnia  $OEE_1$  przedstawiającą pracę materiału do chwili osiągnięcia granicy elastyczności jest bardzo mała w porównaniu do całości, a więc materiał po przekroczeniu granicy elastyczności przyjmie jeszcze bardzo wiele pracy, zanim ulegnie pęknięciu; ta możliwość stanowi niezmiernie ważny czynnik bezpieczeństwa. Z tego więc powodu wybieramy do budowy maszyn materiały, które przy dostatecznej wytrzymałości ( $Kz$ ) mają także znaczne wydłużenie ( $\phi$ ), a unikamy takich, które wprawdzie wytrzymują bardzo znaczne nateżenia, ale mają małe wydłużenie. Tu ma źródło powstawanie wszystkich stopów żelaza, i różne procesy termiczne, zmierzające do ulepszenia materiału.

W pewnych wypadkach, gdy chodzi o możliwie lekkie konstrukcje, obniża się wymogi co do ciągliwości materiału wobec jego wielkiej wytrzymałości, albo też skoro cena wyrobu odgrywa decydującą rolę, np. przy stosowaniu żelaza lanego, które jako zupełnie kruche nie daje przy rozciąganiu praktycznie wymierzalnych wydłużeń. W tym drugim wypadku jednak tak używamy materiału, aby nie podlegał niebezpiecznym nateżeniom, albo zwiększamy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji.

**Badania dynamiczne.** Powyższy sposób badania materiałów przez poddawanie ich spokojnemu i stopniowo wzrastającemu obciążeniu, nie odpowiada bardzo często warunkom występującym w praktyce, gdzie części maszyn podlegają nieraz nagłym i zmiennym obciążeniom lub narażone są na wstrząśnienia i uderzenia. Materiały w takich warunkach pracujące okazują często zupełnie inną wytrzymałość niż przy spokojnym obciążeniu. Z tego względu wprowadzono obok badań przez spokojne obciążenie, które noszą nazwę *statycznych*, także badania *dynamiczne*, gdzie materiał w postaci krótkiego walca bywa poddawany uderzeniu spadającego pionowo ciężaru, lub ciężar wahadłowo zawieszony uderza w środek pręta na obu końcach podpartego.

Ten ostatni rodzaj badania dynamicznego rozpowszechnił się przy zastosowaniu uderzenia w pręt, w którym nacięto karb, t. j. żłobek ostry o głębokości kilku milimetrów

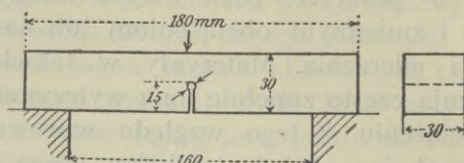
(ryc. 52). Materiał, w którym znajduje się taki karb, zachowuje się o wiele mniej odpornie wobec uderzenia niż materiał bez karbu. Znany jest sposób ucinania przez kowali prętów żelaznych w ten sposób, że naciąwszy je płytko, łamią je silnym uderzeniem w miejscu nacięcia, bez czego nawet kilkakrotne uderzenia byłyby bezskuteczne i spowodowałyby tylko wygięcie pręta. W przecie naciętym powstaje przy obciążeniu tak wielkie napięcie w karbie, że materiał dalej pęka, tworząc karb coraz głębszy, i działanie to przenosi się dalej, powodując szybkie złamanie pręta.



Ryc. 52.

Działanie karbu znane jest oddawna w budowie maszyn i oddawna istnieje reguła, że przy zmianie grubości albo wygięciu nie można w przejściu od cieńszego do grubszego przekroju, oraz w wygięciach robić ostrych kątów, o ścianach przecinających się w jednej krawędzi, ale przechodzić należy łagodnymi, łukowymi przegubami. Ponieważ kształt karbu, t. j. nachylenie jego boków i większe lub mniejsze naostrzenie noża, którym się karb nacina, wywołuje znaczne różnice w zachowaniu się materiału, przyjęto dla ujednostajnienia próby\*), że karb do próby z uderzeniem wykonywa się wierząc otwór o średnicy 4 mm. i przecinając aż do otworu badaną sztabkę, której wymiary również przepisano (ryc. 53). W tym

wypadku działanie karbu nie jest tak silne, jak przy wcięciu ostrem (ryc. 52), ale zato osiąga się możliwość porównywania ze sobą odporności badanych materiałów.

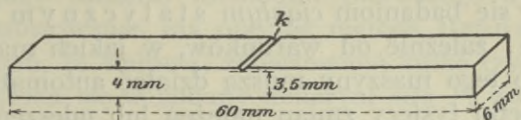


Ryc. 53.

\*) Na Kongresie międzynarodowym dla badania materiałów w Kopenhadze 1909.

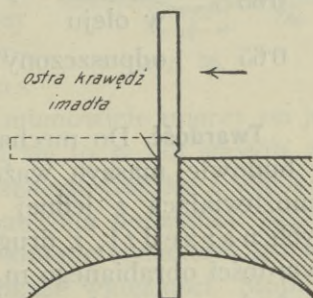
Doświadczenia wykazały, że materiał, którego struktura doznała zmiany przez pewien rodzaj przeróbki (obróbka na zimno, przegrzanie i i.) o wiele łatwiej się łamie, niż materiał niezmieniony, jeżeli oba poddany próbie z karbem.

Dla ułatwienia próby z karbem i umożliwienia wykonania jej na małych kawałkach materiału podał He yn na-



Ryc. 54.

stępujący sposób: Badany materiał ma kształt sztabki prostokątnej (ryc. 54) o wymiarach podanych na rysunku, z karbem  $k$  na środku; celem próby chwyta się sztabkę w wysokości karbu w szczęki imadła ryc. 55., i następnie uderza młotkiem od strony karbu aż do wygięcia o  $90^\circ$  (w położenie na ryc. punktowane). Skoro sztabka nie złamała się przy tym pierwszym wygięciu, wykonywa się drugie, prostując ją w pierwotne położenie, poczem daje się jej trzecie przegięcie tak samo jak z początku, i t. d., powtarzając tę czynność aż do złamania sztabki. Liczba wygięć jest porównawczą miarą wytrzymałości badanego pręta w porównaniu do pręta wyciętego z materiału nienaruszonego. Materiał dobry, nienaruszony wykazać może 3 do 4 zgięć, przegrzany pęka przy pierwszym, często liczba zgięć nie dochodzi  $1\frac{1}{2}$ .



Ryc. 55.

**Badania ciągłe.** Okazało się wielokrotnie, że części maszyn, poddawane częstym a stosunkowo małym natężeniom, doznają z czasem obniżenia wytrzymałości i pękają; nazwano to *zmęczeniem* materiału (n. Ermüdung). Objaw ten występuje przy spokojnem obciążeniu poniżej granicy sprężystości materiału, gdy nieustanne natężenia rosną od 0 do pewnego maksimum i napowrót spadają do 0, albo kierunek działania

siły zmienia się w granicach takiego maksimum; takim natężeniom podlega np. wał korbowy maszyny parowej. Podobne zmiany wytrzymałości mogą być spowodowane słabemi ale częstemi uderzeniami, np. u osi wozów kolejowych wskutek uderzeń kół o styki szyn.

By wytrzymałość materiału zbadać w tym kierunku, poddaje go się badaniom *ciągłym* statycznym lub dynamicznym, zależnie od warunków, w jakich ma pracować; używane do tego maszyny muszą działać automatycznie, wytwarzając setki tysięcy zmian natężeń lub uderzeń.

Wpływ ciągłego badania (statycznego na ciągnięcie) na żelazo węgliste podaje następująca tabelka\*):

Zawartość węgla	Stan materiału	Kz w kg/mm	K'z wytrzymałość na ciągnięcie po 1 milionie natężeń	Stosunek K'z: Kz	
0·11	wyżarzony	35·0	34·1	16	0·45
0·40	zahartowany w oleju	77·2	15·6	28	0·36
0·40	odpuszczony	58·2	23·8	22	0·38
0·65	zahartowany w oleju	106·2	11·0	38	0·36
0·65	odpuszczony	81·6	14·3	25	0·31

**Twardość.** Do mechanicznych własności materiału, które w budowie maszyn ważną odgrywają rolę, należy twardość, umożliwiającą z jednej strony obróbkę przy pomocy twardego narzędzi, z drugiej strony utrudniającą ją z powodu twardości obrabianego materiału, wreszcie występująca jako doniosła własność części maszyn narażonych na szybkie zużycie wskutek tarcia i nacisku innych części, albo zetknięcia się z przerabianym materiałem.

Określenie stopnia twardości jest bardzo potrzebne dla odpowiedniego do niej stosowania materiału w konstrukcyi. Z używanych do badania sposobów rozpowszechnione są najwięcej dwa:

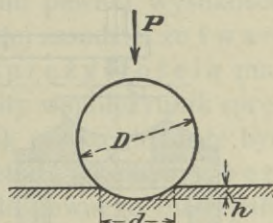
\*) St. u. E. 1912, str. 1756.



1. Oznaczanie twardości przez wciskanie w powierzchnię badanego ciała twardego przedmiotu, najczęściej stalowej kulki.

2. Oznaczenie jej przez zarysowanie innym twardym ciałem.

1. Między różnymi metodami pierwszego systemu największe zastosowanie ma obecnie metoda Brinella, polegająca na tem, że stalową, zahartowaną kulkę (ryc. 56) o średnicy  $D$  wciska się w badany materiał siłą  $P$ , wskutek czego powstanie wklęsłość o głębokości  $h$  i średnicy  $d$ ; zmierzwszy (najlepiej zapomocą mikroskopu) średnicę wklęsłości, odczytuje się z gotowej tabelki odpowiadającą jej liczbę, którą nazywać będziemy *stopniem twardości*, a która jest ilorazem wywartego ciśnienia przez powierzchnię wykonanej wklęsłości. Ponieważ wyniki próby zmieniają się ze zmianą obciążenia i średnicą kulki, przyjął Brinell stałą średnicę kulki: 10 mm., a siłę wciskającą przy badaniu żelaza i stali 3000 kg, dla metali miękkich 500 kg, i dla tych wielkości ułożył swą tabelę twardości.

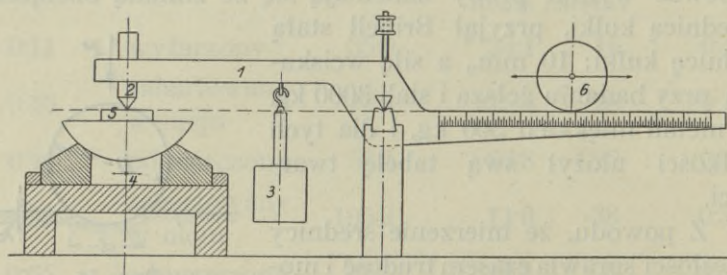


Ryc. 56.

Z powodu, że mierzenie średnicy wklęsłości sprawia czasem trudność i może nie być dokładne, podał Martens inną metodę mierzenia wklęsłości, a mianowicie mierzy on jej głębokość ( $h$  na ryc. 56). Wykonywa się to w ten sposób, że kulka komunikuje się zapomocą szczelnego tłoczka z włoskową rurką napelnioną rtęcią i zaopatrzoną podziałką; zagłębiając się w materiał powoduje ona zmianę wysokości słupka rtęci, który przez to wskazuje głębokość wklęsłości. Stopień twardości oznacza dla przyrządu Martensa ciśnienie, potrzebne by kulkę o średnicy 5 mm. wcisnąć w materiał do głębokości 0.05 mm. Metoda Martensa ma pewne ważne zalety. Przy wciskaniu kulki w metal następuje jak przy każdej obróbce na zimno stwardnienie materiału na powierzchni; im głębiej wciska się kulkę, tem twardość więcej wzrasta, przez co zmniejsza się prawdziwość oznaczenia istotnej twardości ciała, a tem samem i wartości badania. Ponieważ Martens wciska kulkę bardzo płytko, a więc wywołuje możliwie

mały wzrost twardości badanego ciała, a przytem głębokość, o jaką kulkę wciska, jest zawsze ta sama, muszą być jego wyniki więcej zbliżone do rzeczywistości niż u Brinella.

Ze względu, że twardość jest w związku z wytrzymałością materiału, zastosowano z odpowiednimi zmianami (głównie na kolejach przy badaniu szyn) próbę kulkową do oznaczenia wytrzymałości zamiast próby przez rozciąganie, co umożliwiła badanie przedmiotów będących w użyciu, bez niszczenia ich na wyrobienie próbnego pręta; sposób ten daje się więc stosować jako metoda kontrolująca stan urządzeń mechanicznych, będących w użyciu. Do takich prób trzeba jednak przeprowadzić poprzednio badania z danym rodzajem materiału dla cyfrowego wyznaczenia stosunku między wytrzymałością a twardością, a wartość próby zależy



Ryc. 57.

głównie od dokładności tego badania. Stosunek ten wynosi dla żelaza zależnie od zawartości węgla i poprzedniej przeróbki 0·32—0·36\*).

2. Do badania twardości przez zarysowanie jest najwięcej w użyciu przyrząd Martensa wydoskonalony na podstawie pomysłu Turnera (ryc. 57). Do wykonania rysy służy ostry dyament (2) przyciskany do przedmiotu (5) zapomocą ciężarka (3) zawieszzonego na jednym ramieniu (1) dźwigni dwuramiennej, której drugie ramię z przesuwalnym ciężarkiem (6) pozwala regulować nacisk ciężarka 3 na dyament. Badany przedmiot po przyłożeniu dyamentu przesuwają się wraz z podstawą (4), na której spoczywa, i w ten sposób wytwarzają rysę.

\*) St. u. E. 1912, str. 1797.

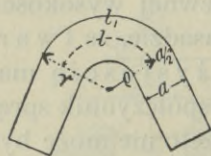
Zwykle bada się twardość przy niezmiennem obciążeniu dyamentu, mierząc pod mikroskopem szerokość wykonanej rysy i przyjmując pewną stałą szerokość jako miarę porównawczą.

**Skleroskop.** Opisane metody badania twardości nie odpowiadają często potrzebom praktyki. Tak np. kontrola czy powierzchnia gotowych części maszyn (np. zęby kół, szybko się obracających, narzędzia miernicze hartowane na powierzchni i t. p.) posiada wymaganą twardość, nie da się przeprowadzić przy ich pomocy bez uszkodzenia badanej powierzchni czy to wskutek wkleśnięcia od kuli, czy rysy od dyamentu; okazuje się więc potrzeba metody, któraby dawała pojęcie o twardości bez naruszenia przedmiotu. Takim przyrządem jest skleroskop Shore'a, w którym młoteczek o ciężarze paru gramów zakończony kulisto obrobionym dyamentem spada na badaną powierzchnię i wskutek jej elastycznego oddziaływania odbija się i podskakuje do pewnej wysokości, która zmierzona daje cyfrę twardości, na tej zasadzie, że twardość jest w związku także ze sprężystością materiału. Ponieważ różne ciała mają rozmaity współczynnik sprężystości (np. kauczuk, drzewo, ołów, stal), przeto nie może być mowy o powszechnem stosowaniu tej metody jako miary bezwzględnej, jednakże w odniesieniu do pewnego materiału należycie zbadanego o stałym współczynniku sprężystości, jest bardzo dobrą porównawczą metodą badania i dlatego ma obszerne zastosowanie, np. u stali hartowanej i w różnym stopniu odpuszczonej (co prawie nie wpływa na zmianę jej współczynnika sprężystości), gdy stopień zahartowania przedmiotu odgrywa ważną rolę i przed oddaniem do użytku musi być skontrolowany.

**Obrabialność.** Inny wypadek nieodpowiedniości metod badania twardości zachodzi wtedy, gdy materiał przeznaczony do obróbki chcemy zbadać pod względem jego obrabialności t. j. wyznaczyć opór, jaki on stawia narzędziu tnącemu. Tutaj czynnikiem wpływającym na opór nie jest tylko twardość, ale także wytrzymałość i plastyczność materiału, co najlepiej charakteryzuje diagram pracy przy rozciąganiu (rycina 50, str. 110); wpływ na obrabialność ma także w większym lub mniejszym stopniu jednorodność jego budowy, zależna od procesów wyrabiania surowca (przy żelazie zmienna

zawartość węgla, krzemu, manganu i t. d., porowatość, zmienna twardość różnych warstw, nierówny stopień odpuszczenia i t. d.); te własności najodpowiedniej jest badać przez próbną obróbkę i istotnie badanie obrabialności materiału wykonywa się, wierząc go świdrem o pewnych stałych rozmiarach, jednakowej twardości i ostrości, przy stałym obciążeniu, i mierząc głębokość do jakiej się pograża w materiał oraz liczbę wykonanych przytem obrotów. Miarą obrabialności bywa np. głębokość otworu odpowiadająca stu obrotom. Pomysł tego sposobu badania, dziś wielokrotnie udoskonalony podał pierwszy Keep.

Obok poznania obrabialności materiału może zachodzić potrzeba zbadania zdolności cięcia narzędzia np. dla poznania wartości nowego rodzaju stali narzędziowej, co również da się najlepiej ocenić z zachowania się narzędzia przy cięciu, wykonywując taką samą próbę jak poprzednia.



Ryc. 58.

**Próby technologiczne.** Tą nazwą obejmuje się szereg prób dających się wykonać bez maszynowych urządzeń środkami, jakie są do rozporządzenia w każdej kuźni, — prób, które należy i ze zrozumi-

mieniem przeprowadzone dają możność osądzenia przydatności materiału do pewnych celów i ogólnego osądzenia jego dobroci. Najważniejsze z nich są *próby zginania*, stosowane najczęściej do badania blachy lub płaskich prętów. Pręt o grubości  $a$  wygina się (ryc. 58) tak długo, pokąd albo nie zegniesz się o  $180^\circ$ , albo dopóki na zewnętrznej stronie wygięcia, gdzie włókno doznaje największego wydłużenia ( $l_1$ ) nie okaże się pęknięcie. Kąt, o jaki pręt dał się wygiąć, albo promień zgięcia  $\rho$  włókna neutralnego o niezmienionej długości  $l$  pozwala wnioskować o dobroci materiału. Zwykle żąda się, aby kąt zgięcia wynosił  $180^\circ$ , aby więc obie połowy pręta zetknęły się ze sobą. Często używa się też dla cyfrowego określenia wygięcia wzoru Tetmajera na wielkość wygięcia  $= \frac{50a}{\rho}$  wyznaczając  $\rho$  z promienia zewnętrznej krzywizny  $r$  (bo  $\rho = r - \frac{a}{2}$ ), przyczem  $r$  określa się zapomocą płytki, mającej łukowe wygięcia różnej średnicy; przykładając płytkę do wygiętego pręta,

dobiera się najbardziej zbliżone wycięcie i odczytuje przynależny do niego promień  $r$ . Ponieważ przy wygięciu o  $180^\circ$  t. j. wygięciu najkorzystniejszym, wielkość jego według powyższego wzoru jest 100, a przy każdym innym jest mniejsza, daje wzór Tetmajera bardzo dogodną i zrozumiałą miarę dobroci materiału.

Zginanie wykonywa się w różnych warunkach:

a) Na zimno i to w stanie dostarczenia, wyżarzenia i zahartowania; pierwsze dwa sposoby pozwalają rozpoznać czy materiał dostarczony posiadał naprężenia spowodowane poprzednią obróbką, które wyżarzenie usunęło; zginanie po zahartowaniu wykonywa się, dla rozpoznania, czy materiał jest hartowany i w jakim stopniu. Próba na zimno daje również wskazówki na ewentualną zawartość fosforu w żelazie.

b) W temperaturze niebieskiego nalotu (około  $300^\circ$ , patrz str. 27), dla rozpoznania stopnia kruchości żelaza w tej temperaturze.

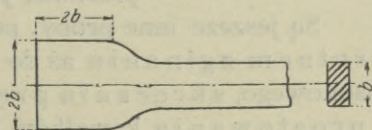
c) W temperaturze ciemno-czerwonego żaru dla rozpoznania kujności żelaza na gorąco, która może być niedostateczna przy znacznej zawartości siarki, lub zanieczyszczeniu tlenkami.

d) Z karbem, przyczem materiał dający się giąć w stanie normalnym o wiele łatwiej pęka w miejscu zakarbowania, z powodu omówionego poprzednio działania karbu; próba ta daje dobre wskazówki przy żelazie przegrzanem i obrabianem na zimno.

e) Z przedziurawieniem zapomocą przebiccia stemplem lub przez przewiercenie świdrem, co w każdym wypadku wydaje odmienne wyniki i pozwala wnioskować o plastyczności, względnie kruchości materiału.

Drugi rodzaj stanowią próby kucia w stanie rozgrzanym do czerwoności lub zimnym, mające na celu rozpoznanie zachowania się materiału przy obróbce i bywają rozmaicie wykonywane:

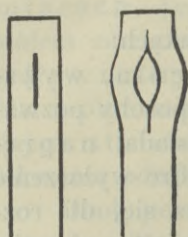
a) Rozklepywanie na gorąco i na zimno (ryc. 59) przez kucie wążką stroną



Ryc. 59.

młota, pokąd się materiał w obu kierunkach dwukrotnie nie rozszerzy lub nie powstaną pęknięcia.

b) Spęszczanie (n. Stauchen) stosowane często dla próbowania żelaza używanego na nity, w ten sposób, że okrągły słupek pewnych wymiarów (zwykle o długości równej podwójnej średnicy), rozgrzany do czerwoności, uderza się młotem tak długo, pokąd nie wystąpią na brzegach pęknięcia. Różnica wysokości słupka przed i po próbie daje miarę dobroci materiału. Dobre żelazo nitowe pozwala się spęczyć przynajmniej do jednej trzeciej długości pierwotnej.

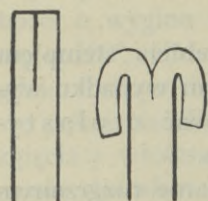


Ryc. 60.

c) Przebijanie. Pasek blachy lub płaską sztabę przebija się na końcu na gorąco i następnie wbija stożkowaty trzpień tak długo, pokąd sztaba nie pęknie, lub trzpień nie przejdzie na drugą stronę (ryc. 60). Dobry materiał znosi tę próbę bez pęknięcia.

d) Rozcięcie i wygięcie. Sztabę rozgrzaną rozcina się na końcu, następnie końce rozcięte rozgina, uderzając z góry młotem (ryc. 61). Żelazo kruche na gorąco (przeżalone, zawierające siarkę, dużo krzemu), pęka w dalszym ciągu (działanie karbu), żelazo dobre pozwala się całkiem rozgiąć bez pęknięcia.

e) Zgrzewanie (spawanie, n. Schweissen) wykonywa się dla zbadania zgrzewalności żelaza, skuwając dwa do białości rozżarzone pręty, a po wystudzeniu zginając je na zimno w miejscu złączenia aż do zetknięcia się oburamion (jak przy próbach zginania), przy-



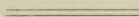
Ryc. 61.

czem miejsce zgrzewania nie powinno pęknąć. Tak samo bada się wytrzymałość połączenia wykonanego przez stopienie ze sobą końców prętów; w tym wypadku wytrzymałość spojenia, o ile nie było dobrze przekute, jest znacznie mniejsza.

Są jeszcze inne próby, polegające na jedno lub dwukrotnem zginaniu aż do zetknięcia się blachy, i żelaza fasonowego, skręcaniu prętów, wielokrotnem zginaniu i prostowania kawałków drutu aż do złamania i i., sto-

sowane w szczególnych wypadkach, stosownie do przeznaczenia materiału.

Opisane próby nie wyczerpują sposobów badania poszczególnych materiałów, w celu poznania ich własności dla celów przeróbki i zastosowania. W dalszych częściach wykładu, traktujących o przeróbce materiałów i wymaganiach, jakie stawiają poszczególne jej rodzaje, będziemy mieli sposobność opisać jeszcze inne sposoby badania, skierowane do potrzeb owych specjalnych działów technologii.



II. ZARYS HUTNICTWA ŻELAZA





## I. WYRÓB SIERDWA

## II. ZARYS HUTNICTWA ŹELAZA





## 1. WYRÓB SUROWCA.

Rozróżniamy, jak to była już mowa w rozdziale poprzednim, dwa główne rodzaje żelaza (str. 13) surowiec i żelazo kujne; pierwszy z nich wytapia się wprost z rud, połączeń chemicznych żelaza, jakich przyroda i przemysł dostarczają, drugi wyrabia się nie wprost, ale pośrednio ze surowca. Rudy żelaza przerabiamy w piecu, nazwanym dla swych rozmiarów *wielkim piecem*, odbierając im tlen w wysokiej temperaturze przy pomocy węgla, a wytworzone żelazo nawęglając następnie do tego stopnia, by się dało stopić i w płynnym stanie odprowadzić z pieca. Rozpatrując więc proces wytapiania surowca, należy omówić najpierw surowe materiały do niego potrzebne t. j. rudy wraz z pewnemi pomocniczymi ciałami (topnikami), i węgiel, oraz powietrze, które do pieca wtłaczamy dla spalania węgla.

**Rudy żelaza** są związkami chemicznymi żelaza z tlenem, bezwodnikiem węglowym lub siarką (inne połączenia nie mają w hutnictwie znaczenia), i zależnie od zawartości żelaza, rodzaju połączenia jakie tworzą, łatwości wydobywania z ziemi i dowozu do huty, bywają przerabiane na żelazo. Najważniejszą rzeczą przy osądzeniu użyteczności pewnej rudy do celów hutniczych, jest procentowa zawartość w niej czystego związku żelaza, rudy bowiem wyjątkowo tylko są takimi czystymi połączeniami, zresztą zawierają różne przymieszki mineralne, nie będące związkami żelaza, a więc do celów hutniczych nie przydatne, a tylko zwiększające kosztą wytapiania. Przymieszki te, zwane *złożem*, dają się usunąć częściowo przed procesem

wytapiania, częściowo w ciągu procesu, przy współudziale t. zw. topników; usuwanie to jednak pociąga za sobą koszty, które mogą być tak wielkie, że proces wytapiania staje się za droгим, wtedy rudy nie są przydatne do przeróbki. Rudy o niższej zawartości żelaza niż 30% rzadko się przerabia, są jednak wypadki, że i mniej bogate można zużyć, jeżeli są do tego sprzyjające warunki, np. tani opał, łatwość usunięcia złoza (przez t. zw. wzbogacanie rudy) i t. d. Forma związku, a więc rodzaj połączenia chemicznego, odgrywa tu również rolę, z jednych bowiem połączeń wydzielić można żelazo mniej uciążliwie, a więc taniej niż z innych, lub też przy wytapianiu, dzięki naturalnym właściwościom przymieszek znajdujących się obok rudy, można obejść się zupełnie lub ograniczyć dodatek *topników*, t. j. materiałów ułatwiających usunięcie domieszek w czasie procesu wytapiania.

Uwzględnić też należy postać, w jakiej ruda się znajduje, czy w wielkich bryłach, które trzeba kruszyć, czy w rozmiarach pozwalających je wprost przerabiać, czy jako proszek utrudniający przewiew w piecu i przez to nie dający się użyć, o ile nie można go przekształcić w inną postać.

Wreszcie zawartość szkodliwych przymieszek ma znaczenie decydujące o użyteczności rudy; — związki np. bogate w żelazo, które jednak obok niego zawierają znaczne ilości arsenu lub siarki, nie mogą być używane z powodu, że zawartość ich jest w żelazie szkodliwa, a zwykłymi sposobami, używanymi do usunięcia innych przymieszek, pozbyć się ich nie można.

Najważniejsze rudy żelaza czyli *żeleziaki*, są następujące:

Żeleziak magnetyczny, (*magnetyt*), jest tlenkiem żelazowo-żelazowym ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) lub mieszaniną tlenku żelazawego i żelazowego w różnych stosunkach; w stanie chemicznie czystym zawiera 72,4% czystego żelaza; rudy przemysłowe zawierają go 50—70%. Należy on więc do najbogatszych rud żelaza. W naturze znajduje się krystaliczny, częściej jednak w zbitych lub ziarnistych masach, barwę ma stalowo szarą, połysk metaliczny, rysę czarną, posiada własności magnetyczne, należy do rud trudno się redukujących (odtleniających) w wielkim piecu. Najlepszy magnetyt zawierający mało fosforu pochodzi z północnej Szwecyi.

Żeleziak czerwony, (*hematyt*), jest tlenkiem żelazowym ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), w stanie chemicznie czystym zawiera 70% żelaza, — rudy używane do wytapiania posiadają go 45—68%; ma barwę rozmaitą, czerwoną do szarej, zależnie od rodzaju, rysę zawsze czerwoną, tworzy skupienia krystaliczne zbite lub włókniste. Gatunek o barwie stalowo szarej i połysku metalicznym nosi nazwę *blyszczu żelaza*, miewa także postać nerkowatą i ziemistą.

Żeleziak brunatny, (*limonit*), jest wodorotlenkiem żelazowym ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ); w stanie chemicznie czystym zawiera 60% żelaza, w rudach przerabianych hutniczo 30—52%. Ma barwę różną, od żółtej do czarnej, rysę zawsze żółtą; tworzy krystaliczne skupienia o budowie włóknistej a postaci naciekowej, gronkowej, nerkowatej, bobowej, — także bardzo drobnokrystalicznej (ruda oolitowa), zwanej »minette«, która tworzy olbrzymie pokłady w Lotaryngii i Luxemburgu.

Osobnym rodzajem limonitu jest t. zw. ruda bagienna i ruda darniowa, tworząca się w bagniskach i na mokrych łąkach.

Żeleziak spatowy, (*syderyt*), jest węglanem żelazowym ( $\text{FeCO}_3$ ); w stanie chemicznie czystym zawiera 48.3% żelaza, w rudach hutniczych 25—45%. Przez prażenie w osobnych piecach, albo wprost w piecu wielkim, wydziela bezwodnik węglowy zamieniając się na tlenek i w tej postaci podlega redukcji. Posiada budowę grubo-krystaliczną, ziarnistą, czasem ziemistą (syderyt ilasty), często występuje w bulwiastych skupieniach (sferosyderyt); jeżeli znajduje się w pokładach węgla, nazywa się żeleziakiem węglowym. Barwę posiada różną, od szarawo-białej do brunatnej, zwykle zawiera mało fosforu.

Inne materiały. Oprócz naturalnych rud zużywa się w przemyśle hutniczym różne rodzaje odpadków, zawierające żelazo, jak *żuźle* z pieców pudlarskich i kuźniczych (przeważnie krzemiany żelaza), *zendrę* (utlenione żelazo odpadające przy kuciu) z kuźni i walcowni, *zgorzyny* i *skrzyku* żelaza, które jako połączenie siarki nie nadają się wprost do wytapiania żelaza, ale po wyprażeniu w przeróbce na kwas siarkowy, a następnie po procesach chemicznych, celem wydobycia zawartej w nich miedzi (a czasem srebra i niklu),

stanowią dobry materiał zawierający 60—65% żelaza. Również pył wydostający się z wylotu wielkiego pieca i osadzający się w przewodach odprowadzających gazy, zawiera żelazo i bywa zużywany do jego wyrobu. Pył ten, podobnie jak rudy proszkowe, może być tylko w niewielkiej ilości doprowadzany do pieca obok innych rud, gdyż zatyka szczeliny między nimi, potrzebne dla krążenia gazów. Uformowany w cegielki, t. zw. brykiety, nie posiada powyższej wady.

W przemyśle hutniczym bywają jeszcze przerabiane rudy, zawierające obok tlenku żelaza także tlenek manganu ( $MnO_2$ ), oraz czysty spát manganowy ( $MnCO_3$ ) o zawartości do 58% manganu. Służą one do wyrobu surowca o znacznej zawartości manganu, mającego zastosowanie w procesach hutniczych

**Przygotowanie rudy.** Rudy mające kształt większych brył, bywają z grubsza *rozdrabiane* na mniejsze kawałki, łatwiej ulegające reakcyi; robi się to zwykle ręcznie, zwłaszcza gdy równocześnie oddziela się złoże, o ile w zbitych kawałkach znajduje się w rudzie. W przeciwnym wypadku rozdrabianie rud rzadko bywa stosowane ze względu na koszt roboty podrażające produkcję żelaza.

Częstszą natomiast czynnością jest *prażenie* rud, dla nadania im kruchości, a u syderytu dla przemiany węglanu w tlenek. Jest to więc czynność w pierwszym razie o znaczeniu mechanicznem; przy prażeniu uwalnia się częściowo rudy od szkodliwych przymieszek, szczególnie siarki i fosforu.

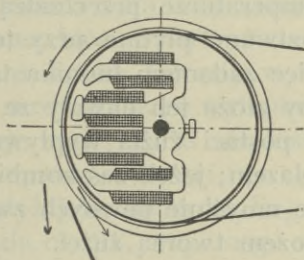
Prażenie wykonywa się w osobnych piecach tylko wtedy, kiedy proces ten przedstawia korzyść lub potrzebę, zresztą przeprowadza się wprost w piecu, gdzie rudy pozostają przez dłuższy czas pod działaniem wysokiej temperatury zanim podlegną redukcji. Najczęściej praży się żeleziak spátowy, czasami magnetyt, który jako zwykle zbity jest trudny do redukcji. Do prażenia używa się niskich pieców szybowych, w których naprzemian układa się paliwo (drobny, tani węgiel) i rudę.

O ile rozdrabianie i prażenie rzadko bywa stosowane, o tyle coraz więcej wchodzi w użycie *magnetyczne wzbogacanie* rudy, przez usunięcie złoża. Tę czynność stosuje się do

rud silnie przerośniętych i pomieszanych ze złożem, które w stanie naturalnym zawierają za mało czystej rudy, by je warto było wytapiać, a przez usunięcie złoża stają się doskonałym materyałem.

Sortowanie magnetyczne musi poprzedzać miażdżenie rudy na drobne kawałki zapomocą miażdżarek walcowych, gniotowników \*) i t. d., a jeżeli ziarna rudy i złoża są z natury drobne, miele się je na pył w obrotowych bębnach, splukuje wodą i na drodze mokrej poddaje sortowaniu.

Sortowniki magnetyczne bywają różnie urządzone; na ryc. 62 widzimy sortownik Gröndala do sortowania na sucho kawałków rozdrobionej rudy, o grubości ziarn 2—4 cm. Bęben obraca się około czterech silnych, nieruchomych elektromagnesów, które przytrzymują magnetyczne kawałki rudy i odnoszą dalej niż niemagnetyczne złożo. Materyał donosi pas gumowy otaczający bęben. Do sortowania na mokro używa się podobnych bębnów, wlewając płynną masę do płaskiego naczynia, nad którym obraca się bęben magnetyczny i porywa cząstki magnetyczne (rudę).



Ryc. 62.

Rudy wzbogacone proszkowe wymagają uformowania w większe kawałki, podobnie jak wogóle rudy proszkowe i pył z wielkiego pieca. Koszta tej roboty nie mogą być duże, gdyż inaczey przeróbka rud nie oplaca się. Formowanie odbywa się a) przez *brykietowanie*, t. j. zgniecenie rudy w cegiełki (brykiety) przy pomocy jakiegoś spoiwa, albo wskutek samej tylko adhezji cząstek, przyczem ciśnienie musi być bardzo wielkie; b) przez *spiekanie* się cząstek ze sobą pod działaniem wysokiej temperatury, co się uskutecznia w długich, obrotowych, pochyło ustawionych bębnach, ogrzewanych gorącymi gazami, przez które przesypuje się ruda proszkowa, formując się po drodze w coraz większe bryłki ze spiekających się ze sobą cząsteczek rudy. Według innego sposobu, rudy

\*) Maszyny rozdrabniające będą bliżej omówione w rozdziale »Odlewnictwo« (II część Wykładów), przy opisywaniu przyrządzenia piasku formierskiego.

proszkowe wymieszane z miałem węglowym rozgrzewa się w piecu, spalając przy pomocy powietrza zawarty w mieszaninie węgiel, — ciepło stąd powstałe spieka rudę w bryły, które następnie z łatwością rozbija się na mniejsze kawałki.

**Złoże, topniki i żużel.** Rudy żelazne nigdy nie są chemicznie czyste, ale zawierają przymieszki czyli złoże, jak glinę, kwarc, wapień, dolomit i t. d., — składają się więc przeważnie ze związków już to kwasowych, już to zasadowych. Wszystkie te związki same dla siebie posiadają wysoką temperaturę topliwości, przewyższającą zwykle temperaturę panującą w wielkim piecu, wskutek czego usunięcie ich z pieca nasuwałoby trudność, gdyby równocześnie nie były z sobą z natury, albo sztucznie tak pomieszane, że już przy niższej temperaturze przechodzą w żużel, tworząc połączenia lub roztwory płynne przy temperaturze panującej w piecu. Jest więc zadaniem hutnika tak dobrać ze sobą różne rodzaje rud, aby złoża ich dawały ze sobą łatwo topliwe związki, które w postaci żużla wypływają z pieca na równi z roztopionem żelazem; jeżeli zaś kombinacja taka nie jest możebna, dodaje się umyślnie pewnych związków, tzw. topników, które ze złożem tworzą żużel.

Ponieważ wytworzenie płynnego żużla wymaga znacznej ilości ciepła, staje się proces wytapiania tem droższym, im więcej złoża zawierają rudy, a także im więcej trzeba dodawać topników. Aby się proces opłacał, nie powinna ilość wytworzonego żużla być objętościowo większa niż 2—4-krotna od ilości wytwarzanego surowca; jest to ogólna reguła, od której bywają wyjątki.

Topniki stosuje się do charakteru złoża; jeżeli jest zasadowe, dodaje się topników kwaśnych i odwrotnie. Głównym składnikiem żużli są związki krzemionki, którą albo zawierają rudy, albo się dodaje jako topnika.

Ponieważ rudy zawierają w złożu najczęściej krzemionkę (kwarc, piasek) i glinę, jest najwięcej używanym topnikiem wapień. Jeżeli naodwrot w rudach znajduje się wapień, dolomit i t. p. dodaje się jako topnika piaskowca lub kwarcu.

Dodatek topników służy również do przeprowadzenia w żużel popiołu z węgla spalonego przy wytapianiu żelaza.



Wapno przyczynia się też do tego, by siarkę z rud i popiołu częściowo przeprowadzić w żużel, tworząc z nią siarczek.

Czasami znajduje się w piecu za mało związków tworzących żużel, wtedy ruda wskutek wielkiego gorąca, bo go nie pochłania topienie żużla, stapia się przed redukcją i przechodzi w żużel; żeby zapobiedz wynikającej stąd stracie żelaza, zwiększa się w piecu ilość żużla, przez dodanie go do rud wrzucanych do wielkiego pieca.

Niekiedy wyrabia się surowiec zawierający umyślnie pewne składniki, np. wiele krzemu lub manganu; wtedy dodaje się odpowiednich ciał np. krzemionki dla wytworzenia żelazo-krzemu, rud manganowych dla żelazo-manganu, i t. d.

Fosfor zawarty w rudach i węglu nie daje się przeprowadzić w żużel i w całości przechodzi w żelazo.

Dla usunięcia siarki należy się starać o małą ilość krzemu w żużlu, a wielką wapna lub manganu, które z siarką tworzą topliwe związki i odpływają z żużlem; krzem zawarty w żelazie utrudnia siarce dostęp, dlatego surowiec szary wytapiany w tych samych warunkach, przyjmuje mniej siarki niż biały.

Żużel w wielkim piecu ma oprócz chemicznego także mechaniczne znaczenie, gdyż jako znacznie lżejszy od stopionego żelaza (ciężar gat. żużla ok. 2,8, stopionego surowca ok. 7), utrzymuje się na jego powierzchni i chroni surowiec, zbierający się w kotlinie pieca od utlenienia pod wpływem powietrza, wtłaczanego do pieca.

**Paliwo.** Paliwo stosowane w wielkim piecu odpowiadać musi warunkom, w jakich odbywa się wytapianie rudy. Nie może to być węgiel o dużej zawartości gazów, ale węgiel dający wiele żaru; powinien on posiadać znaczną wartość kaloryczną, zawierać jak najmniej popiołu (który trzeba przeprowadzać w żużel dla usunięcia z pieca), jak najmniej składników szkodliwych, któreby się udzielały żelazu (siarka i fosfor), mieć znaczną wytrzymałość, by pod naciskiem mas wypełniających piec nie uległ pokruszeniu, być porowatym, aby powietrze wtłaczane do pieca dla spalania węgla stykało się z nim na wielkiej powierzchni. Takim warunkom nie odpowiada (z bardzo nielicznymi wyjątkami) żadne

paliwo naturalne, ale tylko paliwa sztucznie wytworzone, t. j. węgiel drzewny i koks.

Węgiel drzewny, materiał wolny od szkodliwych przymieszek, dawniej do wytapiania żelaza wyłącznie używany, dziś stosowany bywa w bardzo ograniczonej ilości tylko tam, gdzie niewytrzebione jeszcze lasy mogą go dostarczyć, a dobre rodzaje rudy pozwalają wytapiać wyborowe rodzaje surowca. Z powodu niewielkiej wytrzymałości węgla drzewnego, mają piece nim opalane znacznie mniejsze wymiary i przez to mniej wyrabiają surowca.

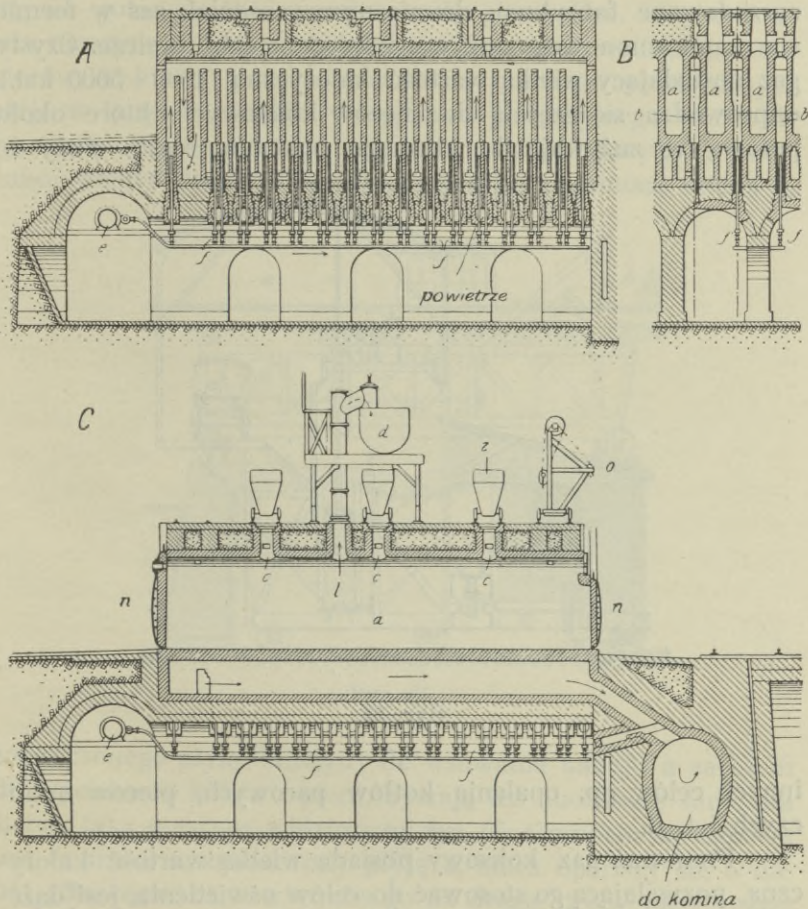
Koks. W wielkim przemyśle hutniczym, spotrzebowującym olbrzymie ilości opału do swych istotnie wielkich pieców, ma zastosowanie wyłącznie prawie koks, wyrabiany z węgla kamiennego przez suchą destylację, ponieważ można go mieć w każdej potrzebnej ilości, a posiada dostateczną wytrzymałość, by znieść nacisk wysokiej warstwy materiałów wypełniających piec.

Węgiel używany do wyrobu koksu nie powinien zawierać za wiele mineralnych przymieszek, które dają popiół, oraz jak najmniej siarki; powinien nadto posiadać własność spiekania się, aby wyrobiony koks był twardy i wytrzymały. Ponieważ węgla spiekającego się jest wogóle mało, podnosi się często tę własność przez rozdrabnianie węgla i usuwanie z niego części mineralnych, utrudniających spiekanie, zapomocą stosownego sortowania i płukania, (przez co wartość koksu polepsza się także wskutek zmniejszenia zawartości popiołu), a następnie silnego ubijania przed przeróbką.

Wyrób koksu odbywa się w murowanych, szczelnie zamkniętych komorach, ogrzewanych gazami i zbudowanych obok siebie w wielkiej liczbie, tak że tworzą tzw. baterię pieców. Uchodzące przy destylacji palne gazy odprowadza się i używa ich do ogrzewania pieców, więc piec koksowy nie tylko nie potrzebuje obcego paliwa, ale nawet nie zużywa sam wytworzonych gazów, których większa część służy do celów opalowych w hucie.

Urządzenie pieca koksowego według systemu Otto'na jest widoczne w przekrojach z ryc. 63. Wązkie a wysokie i długie komory *a*, (szkic *B* i *C*) z obu stron zamknięte drzwiami *n*, podnoszonemi do góry przy pomocy przesuwal-

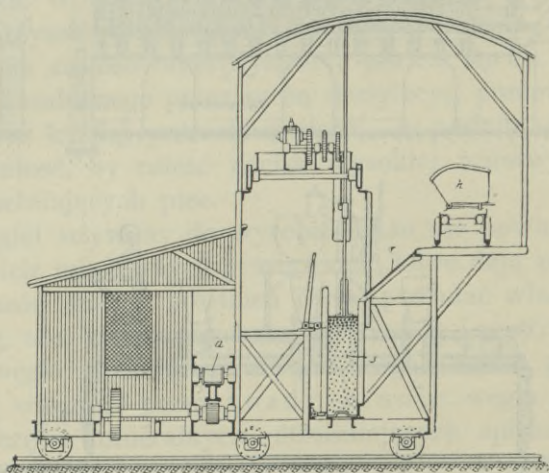
nej windy *o* (szkic *C*), napelnia się węglem (6—8 ton) z wózka *Z*, otworami *c* i ogrzewa gorącymi gazami, krążącymi przez przewody *b* (szkic *B*) między komorami. Gazy palne dopływają z głównego przewodu *e* (szkic *A* i *C*) i cieńszymi prze-



Ryc. 63.

wodami dostają się do palników bunzenowskich *f*, w których łącząc się z powietrzem ssanym do palnika, wpływają do prze- gród w kanałach opałowych (szkic *A*) i spalają się, a od- dawszy swe ciepło ścianom pieca, uchodzą następnie przewo- dami umieszczonymi pod komorą koksową (szkic *B* i *C*) do

kanalu prowadzącego do komina. Gazy wywiązujące się przy destylacji wypływają u szczytu komory wylotem *l* do przewodów *d* i bywają odprowadzane do zakładu oczyszczającego, gdzie z nich wydziela się produkty znacznej wartości, jak smoła, benzol i amoniak, z których pierwsze bywają sprzedawane fabrykom chemicznym, amoniak zaś w formie siarczanu amonowego zużywany bywa na cele rolnicze. Czysty gaz posiadający wielką wartość kaloryczną (4000–5000 kal.), odprowadza się częścią do pieców koksowych, które około połowę ich zużywają do własnego opalania, reszta służy do



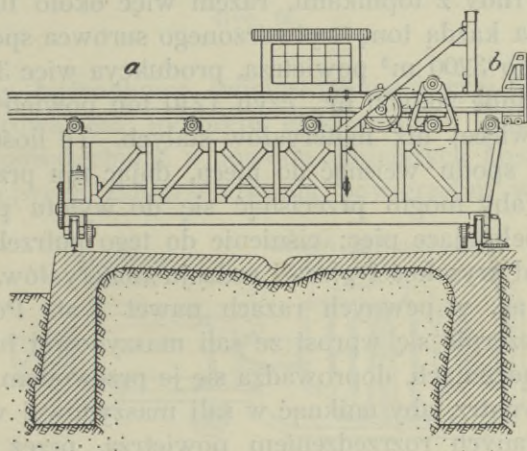
Ryc. 64.

innych celów np. opalania kotłów parowych, pieców hutniczych i t. d.

Ponieważ gaz koksowy posiada wielką wartość kaloryczną, pozwalającą go stosować do celów oświetlenia, jest dążenie aby gazu tego zupełnie nie używać w piecach koksowych, zastępując go tańszym gazem z wielkich pieców lub z generatorów, opalanych tanim węglem, a gazy koksowe korzystniej zużywać, np. do celów oświetlenia i t. p. na równi z gazem świetlnym, mającym podobny skład. Gaz koksowy można tłoczyć przewodami na bardzo wielkie odległości i korzystnie go sprzedawać w miastach i fabrycznych osadach.

Są różne systemy pieców koksowych zmierzające do jak najlepszego wyzyskania ciepła; bliżej zajmować się nimi nie będziemy.

Jeżeli do wyrobu koksu używa się węgla mielonego, wtedy ubija go się przed piecem w żelaznym korycie i następnie gotowy nabój wsuwa się do pieca. Ryc. 64 przedstawia maszynę do tego używaną, przesuwalną wzdłuż baterii pieców, w której tłuczka, poruszana motorem elektrycznym ubija w korycie s węgiel wysypany z przechylnego wózka *k*; w miarę ubijania tłuczka posuwa się wzdłuż koryta. Gotowy nabój wsuwa do pieca ta sama maszyna zapomocą trzona *a*,



Ryc. 65.

zakończonego płytą. Maszyny do wsuwania naboju a zarazem do wyciskania koksu z pieca, bywają też budowane same dla siebie; taką maszynę widzimy na ryc. 65. Czynnym narzędziem jest tu trzon *a*, zakończony płytą *b*, która oparłszy się o nabój gotowego koksu wypycha go na drugą stronę pieca, gdzie po pochyłej płycie spada na pomost; robotnicy zlewają go zaraz strumieniem wody, by przestał się żarzyć a następnie wrzucają do wózków.

Z jednej tony węgla otrzymuje się średnio 750 kg. koksu, 28 kg. smoły, 12 kg. siarczanu amonowego, 8 kg. benzolu i 300 m<sup>3</sup> gazów. Wyrób jednego naboju trwa 24—48 godzin.

Dobry koks hutniczy nie powinien zawierać więcej niż

9% popiołu, 4% wilgoci, 1% siarki i 6% miazgu, powinien być przytem twardy i porowaty.

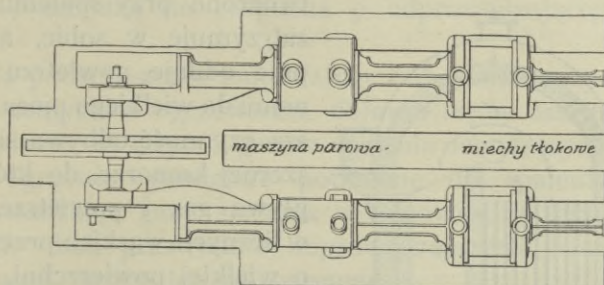
**Powietrze.** Powietrze potrzebne do spalania paliwa w wielkim piecu, w celu wytworzenia gazów potrzebnych do redukcji rudy, oraz ciepła, jakie zużywa się tak w procesie redukcji jak i przy nawęglaniu i topieniu żelaza, musi być doprowadzane w olbrzymich ilościach do pieca, — o wiele większych, niż inne materyały. Następujący przykład to objaśnia: piec wielki wytapiający na dobę 300 ton surowca z rud, wydających średnio 40% żelaza, zużywa około 270 ton koksu i 750 ton rudy z topnikami, razem więc około 1020 ton ciał stałych. Na każdą tonę wytworzonego surowca spotrzebowuje piec średnio 3200 m<sup>3</sup> powietrza, produkcya więc 300 ton wymaga na dobę 960.000 m<sup>3</sup>, czyli 1240 ton powietrza, a zatem znacznie więcej niż materyałów stałych. Tę ilość powietrza trzeba ze spodu wcisnąć do pieca, dając mu przytem takie ciśnienie, aby mogło przecisnąć się do wylotu przez materyały wypełniające piec; ciśnienie do tego potrzebne wynosi, zależnie od wysokości pieca i rodzaju materyałów, zazwyczaj około 0.5 at., w pewnych razach nawet 1 at. Powietrze do miechów czerpie się wprost ze sali maszynowej lub, w nowszych urządzeniach, doprowadza się je przewodem prowadzącym z zewnątrz, aby uniknąć w sali maszynowej wstrząśnień, spowodowanych rozrzedzeniem powietrza, przez co podnosi się kurz zanieczyszczający je; przez to unika się też wprowadzania do miechów powietrza ogrzanego w sali maszynowej i wskutek tego zawierającego więcej wilgoci niż zewnętrzne.

Do wtłaczania takiej olbrzymiej ilości powietrza służą *miechy mechaniczne*, bezpośrednio pędzone motorami; istnieją dziś dwa typy tych miechów, tłokowe i odśrodkowe.

Miechy tłokowe, obustronnie działające, budowane bywają zwykle po dwa obok siebie (ryc. 66) i pędzone maszynami sprzężonemi, których przedłużone trzony tłokowe są zarazem trzonami miecha. Za motor służy albo maszyna parowa kilkostopniowa albo częściej motor gazowy, zwykle dwutaktowy, poruszany gazem z wielkiego pieca.

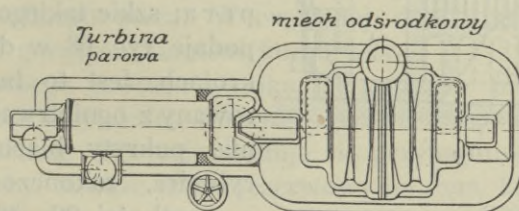
Ponieważ ruch maszyny tłokowej nie daje jednostajnego ciśnienia zgęszczonego powietrza, zaopatruje się takie miechy

w zbiorniki wyrównujące ciśnienie, umieszczone przed ujściem powietrza do przewodów prowadzących do pieca.



Ryc. 66.

Miecze odśrodkowe (wielostopniowe) ryc. 67, pędzone turbiną parową lub motorem elektrycznym, zaczynają się szybko rozpowszechniać z powodu mniejszych kosztów założenia, mniejszego zapotrzebowania powierzchni w budynku



Ryc. 67.

i zwłaszcza dla jednostajności ciśnienia zgęszczonego powietrza wskutek obrotowego działania miecha.

Ogrzewanie powietrza. Powietrze wciskane do pieca podlega przedtem silnemu ogrzaniu ( $700-850^{\circ}$  a nawet więcej), w t.zw. ogrzewaczach, zapomocą palnych gazów wylotowych, uchodzących z wielkiego pieca.

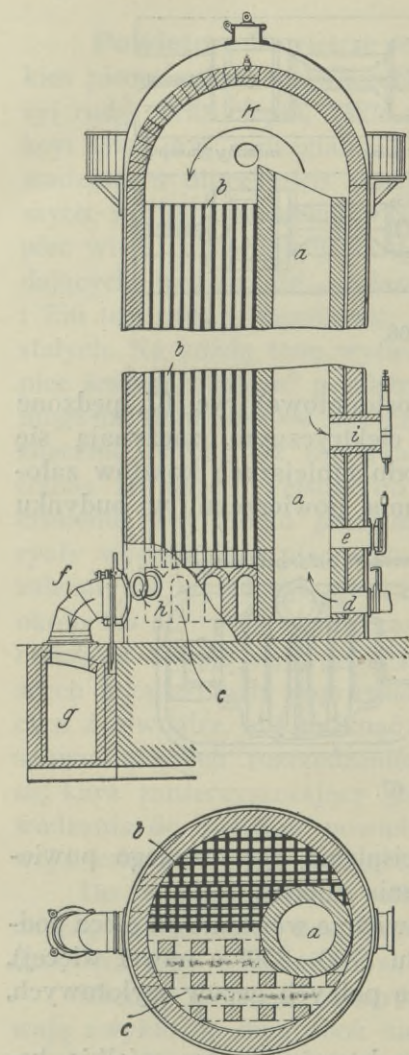
Ogrzewanie powietrza przedstawia bardzo wielkie korzyści, bo piec zużywa przez to mniej koksu i więcej wyrabia żelaza, a procesy chemiczne, jakie się w nim odbywają, mają przebieg korzystniejszy, co również objawia się w zaoszczędzeniu paliwa.

Ogrzewacze powietrza spełniają podwójne zadanie: 1-sze

pieca, w którym palne gazy mieszają się z powietrzem i spalają; 2-gie akumulatora (regeneratora), który ciepło wy-

tworzone przy spaleniu gazów zatrzymuje w sobie, a następnie oddaje powietrzu tłoczonemu do wielkiego pieca. Pierwsza czynność odbywa się w obszernej komorze, do której dopływa gaz i powietrze, druga w licznych, wązkich przewodach o wielkiej powierzchni, zbudowanych z cegły, które odbierają i zatrzymują ciepło gorących gazów przepływających przewodami, by je później napowrót oddać zimnemu powietrzu.

Ogólnie bywają ogrzewacze budowane podług systemu Cowpera; szkic takiego urządzenia podaje ryc. 68 w dwóch przekrojach. Jest to budynek murowany z ogniotrwałego kamienia, pokryty blachą, kształtu cylindra, zakończony kopułą, o wysokości 20—40 m., a średnicy 6—8 m.; wewnątrz podzielone jest na dwie części, mniejszą *a* kształtu okrągłego lub owalnego, w której się gazy mieszają i spalają, i większą *b*, która swymi wązkimi i długimi przewodami, spoczywającymi na sklepieniu, chłonie ciepło z przepływających gazów. Przebieg ogrzewania jest następujący: otworem *d* dopływa do



Ryc. 68.

komory *a* gaz wylotowy, miesza się z powietrzem dochodzącym w *e*, a zapaliwszy się od gorących ścian komory, spala się wytwarzając gorące gazy; te wznoszą się do góry wy-



pełniając wewnątrz kopuły  $K$  i stąd dostają się do licznych przewodów  $b$ , przepływają je, oddając im swe ciepło i przewodem  $f$  uchodzą do czopucha  $g$  odprowadzającego je do komina.

Dla podwyższenia temperatury i obniżenia zużycia ilości gazów palnych w ogrzewaczu, objawia się w ostatnich czasach dążność, by ciepłem gazów spalania uchodzących z ogrzewacza ogrzewać powietrze potrzebne do spalania gazów. Przeprowadzając gazy spalania w odpowiednio urządzonych kanałach obok przewodów doprowadzających powietrze do ogrzewacza, można ten cel osiągnąć.

Gdy przez krążenie gazów (około dwóch godzin) przewody się dokładnie ogrzeją, wtedy zamyka się otwory  $d$  i  $e$  a gazy i powietrze wpuszcza się do innego ogrzewalnika, do tego zaś, który został ogrzany, wtlacza się otworem  $h$  w przestrzeni  $c$  powietrze zgęszczone, dochodzące z miechów, przeciska je przewodami  $b$  w odwrotnym, niż poprzednio kierunku do komory  $a$ , a stąd ujściem  $i$  do przewodu prowadzącego do wielkiego pieca. W ciągu tej drogi powietrze się ogrzewa od gorących kamieni komory  $b$ .

Z przebiegu procesu wynika, że potrzeba przynajmniej dwóch ogrzewaczy; jeden sam się ogrzewa, drugi oddaje swe ciepło powietrzu. Wistocie buduje się przynajmniej 3 ogrzewacze, aby był zawsze jeden rezerwowy na czas, kiedy zachodzi potrzeba czyszczenia przewodów lub naprawy któregośkolwiek ogrzewacza. Aby jednak różnica temperatury ogrzanego powietrza w chwili wyłączenia ostudzonego a załączenia gorącego ogrzewacza nie była wielka, posiada każdy piec wielki 4 a czasem 5 ogrzewaczy, z których zawsze jeden ogrzewa powietrze, jeden jest w rezerwie a reszta bywa ogrzewana i kolejno załączana. Różnice temperatury powietrza w chwili rozpoczęcia i zakończenia okresu ogrzewania jednym przyrządem, wynoszą 50—150°.

Osuszanie powietrza. Powietrze wtlaczane do pieca zawiera parę wodną, której ilość wzrasta z temperaturą, tak że powietrze o temperaturze 0° nasycone parą zawiera wody 0·38%, przy 15°—0·9%, przy 25° blisko 2%. Zawarta w powietrzu para jest dla procesu wytapiania szkodliwa, bo rozkładając się przy wysokiej temperaturze panującej

w piecu, pochłania wiele ciepła i ochładza piec, a nadto źle oddziaływa na chemiczną stronę procesu wytapiania. Ze względu przytem na zmienność zawartości wilgoci w powietrzu, proces ten doznaje częstych zmian, utrudniających prowadzenie pieca. Stwierdzono niejednokrotnie, że w czasie mroźnej zimy wielki piec zużywa mniej opału i znacznie jednoliciej pracuje niż w lecie; przyczyna tego leży w znacznej różnicy zawartości w powietrzu pary w porze zimnej a ciepłej.

Są usiłowania, aby te straty i niejednostajność pracy pieca usunąć przez osuszenie powietrza ssanego przez miechy i następnie tłoczonego do ogrzewaczy i pieca. Jedna metoda, wprowadzona w roku 1904 w Ameryce przez Gayley'a, polega na *wymrożeniu* wody z powietrza; do tego celu służy komora, w której znajduje się system rur zawierających krążący nieustannie roztwór chlorku wapniowego, oziębionego do  $-5^{\circ}$ . W tej temperaturze zawartość pary nasyconej w powietrzu spada do  $0.26\%$  (2.6 gr. w 1 kg. powietrza) i co również ważne, nie zmienia się.

Urządzenia do wymrażania systemu Gayley'a, jakkolwiek bardzo kosztowne, okazały się korzystnymi i z wolna rozpowszechniają się w Ameryce i w Europie.

Druga metoda wprowadzona w r. 1911 \*) w Differdingen (Niemcy), polega na osuszaniu powietrza przez pochłanianie wilgoci przy pomocy ciał hygroskopijnych i używa do tego suchego chlorku wapna, który powietrze wybornie osusza, a po nasyceniu się wilgocią, daje się w łatwy sposób wysuszyć i znowu może działać.

Ten sposób osuszania na razie tylko w jednej hucie wypróbowany, ma dawać lepsze wyniki, niż sposób Gayley'a, zawartość wilgoci przy  $15^{\circ}$  ma spadać do 0.5 gr. w 1 kg. powietrza, a więc do zawartości przeszło pięciokrotnie mniejszej, niż przy wymrażaniu do  $-5^{\circ}$ ; urządzenie zakładu i kosztą prowadzenia mają być również znacznie mniejsze.

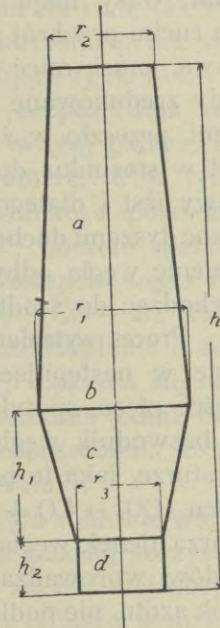
**Wielki piec.** Zasadniczy kształt szybu (wnętrza) pieca podaje szkic ryc. 69. Składa się on z dwóch ściętych stożków, szerszą stroną zetkniętych i części walcowej u dołu; niekiedy

---

\*) St. & E. 1911, str. 814.

stożki przedziela krótka przestrzeń walcowa. Części szybu noszą następujące nazwy; górny stożek *a* zwie się gardzielą, a otwór jego będący zakończeniem szybu wylotem; część najszersza *b* w miejscu zetknięcia się stożków przestronem, dolny stożek *c* spadkiem, część walcowa *d* przystawą, której dolna część zamknięta dnem i będąca dolnym zakończeniem szybu, nosi nazwę kotliny. Wymiary szybu w piecach wielkich są zmienne, zależnie od ilości wytapianego surowca, rodzaju przerabianych rud i paliwa; średnio są następujące: cała wysokość *h*: 25—30 m, wysokość spadku *h*<sub>1</sub>: 4 do 6 m, przystawy *h*<sub>2</sub>: 2—3,5 m, średnica przestronu *r*<sub>1</sub>: 6—7 m, wylotu *r*<sub>2</sub>: 3,5—5 m, przystawy *r*<sub>3</sub>: 2,5—4 m.

Kształt szybu pieca uzasadniony jest ruchem materiałów wypełniających go i ich zachowaniem się w czasie wytapiania. W górze u wylotu wrzucane bywają w pewnych odstępach czasu naboje koksu naprzemian z rudą, z którą razem wrzuca się topniki. Te stałe masy z wolna opadają na dół, przechodzą cały proces wytapiania i w postaci surowca oraz żużla bywają na dole wypuszczane spustami z kotliny. Odwrotną drogę robi powietrze włączane *dyszami* w górnej części kotliny, gdzie spala koks, wytwarza gazy i wznosząc się do góry uchodzi z pieca u wylotu. Kształt szybu pieca powinien umożliwiać z jednej strony ruch gazów z dołu ku górze, a ruch ciał stałych z góry ku dołowi, i rozmiarami swymi stosować się do zmniejszających się objętości materiałów.



Ryc. 69.

Materyały stałe wrzucane do wylotu są twarde i posuwając się po ścianach pieca niszczyłyby je; zapobiega temu kształt stożka ku dołowi rozszerzonego, tak że naboje bez tarcia o ściany zesuwać się, przyczem gazy mogą między nimi swobodnie płynąć w górę. Ponieważ przytem rudy zawierając pewną ilość wilgoci, która paruje, kruszeją i pękają, zwiększając swą objętość, a także rozszerzają się wskutek ciepła, jest zwiększenie

objętości pieca w miarę opadania rud pożądane. Skoro jednak w niższych warstwach koks spalając się zmniejsza swą objętość, rudy się spiekają, a złoże i topniki przechodzą w żużel, przez co ich objętość również się zmniejsza, muszą się do tego stosować rozmiary pieca, i dlatego w części zwanej spadkiem, piec zwęża się lejkowato. Tutaj niebezpieczeństwo niszczenia murów wskutek tarcia opadających mas jest mniejsze, bo płynny żużel chroni je i zmniejsza tarcie, działając jak smar. Gazy mają również swobodną drogę, bo w kierunku ich ruchu przekrój pieca się zwiększa. Sam spód pieca, — przystawa, musi mieć średnicę o wiele mniejszą, gdy bowiem rudy zredukowane i nawęglone stopiły się, a złoże z topnikami przeszło w żużel, węgiel zaś spalił się, objętość mas jest w stosunku do pierwotnej bardzo mała; średnica przystawy jest i dlatego także bardzo mała, aby powietrze wciskane dyszami dochodziło do całego przekroju, inaczej bowiem spalanie węgla odbywałoby się tylko w sąsiedztwie dysz, nie dochodząc do środka pieca.

**Proces wytapiania** surowca odbywa się w ogólnym zarysie w następujący sposób: Powietrze wciskane w dolnej części pieca spotykając się z rozżarzonego węgla spala go na bezwodnik węglowy ( $\text{CO}_2$ ), który jednak w wysokiej temperaturze, jaka tu panuje, podlega rozkładowi na tlenek węgla i tlen ( $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ ); ten znów wobec nadmiaru węgla wytwarza tlenek węgla, tak, że w niedalekiej odległości od przewodów wprowadzających powietrze do pieca znajduje się obok azotu, nie podlegającego zmianom, już tylko tlenek węgla, który wznosząc się w górę i dążąc ku wylotowi pieca spotyka się z ciałami stałymi wypełniającymi piec (rudami, topnikami i koksem).

Gazy wznosząc się w górę zabierają ze sobą wielki zapas ciepła z dolnej części pieca, gdzie się odbywa spalanie węgla, i spotykając stałe ciała odbywające drogę z góry na dół, oddają im ciepło, same zaś uchodzą do wylotu ochłodzone do temperatury 200 do 300° (niekiedy jeszcze chłodniejsze albo gorętsze).

Paliwo i rudy z topnikami, wrzucane do wylotu pieca, przede wszystkim tracą swą wilgoć wskutek zetknięcia się z gorącymi gazami. Zawartość wilgoci w rudach pochodzi

z jednej strony z powietrza i opadów atmosferycznych, z drugiej występuje jako woda krystaliczna np. w żeleziaku brunatnym. Usuwanie wilgoci zaczyna się już przy rozgrzaniu ciała do 100°, trwa jednak aż do znacznego podwyższenia temperatury i kończy się około 500°.

**Redukcja.** Najważniejszym zadaniem procesu wytapiania żelaza jest redukcja rudy zapomocą węgla, t. j. odtlenienie jej i przemiana na żelazo. Odbywać się ona może w dwojaki sposób, przez bezpośrednie działanie węgla na rudę ( $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$ ): *redukcja bezpośrednia* i pośrednio przez wytworzenie tlenku węgla, który działa redukująco ( $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ ): *redukcja pośrednia*. Redukcja bezpośrednia wymaga znacznie więcej ciepła, zużywa więc więcej paliwa, zachodzi też tylko przy wysokiej temperaturze, t. j. tylko w dolnych warstwach pieca wielkiego. Redukcja pośrednia odbywa się głównie między 800° a 1000°, poczem słabnie, gdyż powyżej 1000° wytwarzający się dwutlenek węgla napowrót się rozkłada, wydzielając tlen ( $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ ), który działa utleniająco, a więc niweczy redukcyjne działanie tlenku węgla. Im temperatura wyższa, tem łatwiej rozkłada się bezwodnik, powyżej więc 1000° redukcja pośrednia coraz bardziej słabnie, natomiast zwiększa się bezpośrednia, której szybkość rośnie z podnoszeniem się temperatury.

Redukcja bezpośrednia jako wymagająca znacznie więcej ciepła, jest dla przebiegu procesu wytapiania mniej korzystna niż pośrednia. Mimo to jednak nie można się bez niej obejść, bo rudy trudno redukujące się odtleniają się dopiero w niskiej strefie pieca, a więc już w wysokiej temperaturze, tak samo rudy stopione przed redukcją t. j. znajdujące się już w żużlu; wreszcie krzem i mangan dają się tylko zapomocą węgla t. j. bezpośrednio zredukować.

Zresztą oba procesy redukcji nie są sposobami oddzielnymi, ściśle odgraniczonymi pewną temperaturą, przeciwnie, o ile w chłodniejszych częściach pieca odbywa się tylko redukcja pośrednia, a w gorących tylko bezpośrednia, o tyle w częściach pośrednich zachodzą obie obok siebie, w różnym stopniu, stosownie do panującej temperatury.

Wytwarzający się przy redukcji dwutlenek węgla miesza się z tlenkiem węgla i osłabia jego zdolność redukcyjną; im

go jest więcej, tem powolniej odbywa się redukcya pośrednia, rudy niezredukowane opadają niżej i częściowo przechodzą w żużel, z którego żelazo odzyskuje się przez redukcję bezpośrednią.

**Nawęglanie.** Tlenek węgla w zetknięciu ze zredukowanym żelazem, doznaje rozkładu, wydzielając węgiel ( $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ ), który rozpuszcza się w żelazie; wskutek tego procesu nawęglania tak obniża się temperatura topliwości żelaza, że skoro zawartość węgla osiągnie wysokość normalną dla surowca (około 3%), żelazo topi się i ściekając w kroplach pomiędzy rozżarzonym koksem, wypełniającym spód pieca, zbiera się w kotlinie i w pewnych odstępach czasu bywa z pieca wypuszczane.

Równocześnie z właściwym procesem wytapiania t. j. redukcją rudy i nawęglaniem żelaza, odbywają się w piecu inne jeszcze procesy. Do pieca dostają się połączenia bezwodnika węglowego, już to jako ruda, (syderyt t. j. węglan żelazawy), już to jako topniki (np. wapień, t. j. węglan wapniowy i inne); te związki w temperaturze 700 do 800° rozkładają się tworząc tlenki odnośnych metali (żelaza, wapnia i i.), i wydzielają bezwodnik węglowy, który miesza się z tlenkiem węgla i osłabia jego zdolność redukcyjną. Z tego powodu poddawano dawniej takie związki prażeniu, dla usunięcia bezwodnika węglowego; w dzisiejszych piecach o wielkich rozmiarach wpływ rozkładu węglanów jest mniej wybitny, tak że osobnego prażenia węglanów zwykle się nie przeprowadza.

Razem z rudami zawarte w nich złoża i zmieszane z niemi topniki dostają się do gorętszych warstw pieca, gdzie łatwiej topliwe związki zaczynają się topić, a powstający stąd żużel ułatwia rozpuszczanie się t. j. topienie złoża, które jako rzadko-płynny żużel ścieka na dno pieca. Żużel będąc lżejszym od żelaza gromadzi się nad niem i przez spust umieszczony powyżej spustu dla żelaza, wypływa z pieca.

Procesy odbywające się w piecu zużywają, jak widzieliśmy, dużo ciepła, zabierają je ze sobą również produkty wydobywające się z pieca, wreszcie powstają straty ciepła, wskutek chłodzenia wodą pewnych części pieca dla ochrony od zniszczenia, straty wskutek promieniowania i t. d. Te ilości są zmienne zależnie od materiałów przerabianych, konstrukcyi

pieca, rodzaju wytapianego surowca, ilości złoża i t. d. Jako przykład zużytych ilości ciepła w wielkim piecu podajemy (w cyfrach zaokrąglonych) bilans ciepła pewnego pieca wyrabiającego biały surowiec na stal Thomasa\*).

Przychód ciepła:

Koks . . . . .	78·5%
Powietrze ogrzane . . . . .	21·5%

Rozchód ciepła:

Wyparowanie i rozkład wody . . . . .	9·3%
Redukcja rud . . . . .	44·8%
Redukcja innych związków (krzem, mangan, fosfor i i.)	5·2%
Rozkład węglanów . . . . .	8·5%
Ciepło w surowcu wypuszczonym z pieca . . . . .	7·4%
Ciepło w żużlu . . . . .	10·6%
Ciepło w gazach wylotowych (z pyłem) . . . . .	8·7%
Woda do chłodzenia . . . . .	5·5%

**Konstrukcja pieca wielkiego.** Piec musi być zbudowany z materiału wytrzymałego na działanie gorąca jak i odpornego chemicznie na wpływy gorących gazów i płynnego żużla.

Pierwszy warunek zwany ogniotrwałością wymaga, aby kamień budowlany nie topił się przy temperaturze panującej w piecu, nie pękał, nie kurczył się ani rozszerzał i nie zmieniał swego kształtu. Drugi żąda, aby kamień nie ulegał zniszczeniu pod działaniem gorących gazów, przepływających przez piec, które przytem niosą ze sobą pył i pary z ciał w tej temperaturze lotnych, (pewne węglowodory, cynk, sole alkaliczne, osadzające się na ścianach pieca przy ochłodzeniu). Gazy te, wskutek rozkładu tlenku węgla, wydzielają nadto węgiel proszkowy, wciskający się w szczeliny muru i powodujący dalsze pęknięcia.

O wiele od gazów niebezpieczniejszy jest płynny, żużel, złożony z tych samych ze sobą stopionych składników z jakich wyrabia się kamienie do budowy pieca (glinka, krze-

\*) Gillhausen »Untersuchungen über die Stoff- und Wärmebilanz des Hochofens«. St. u. E. 1910, str. 1960.

mionka, wapno i t. d.), a więc rozpuszczający je w sobie. Aby kamień był na te wpływy odporny, powinien być wyrabiany ile możliwości z najczystszych materiałów, które jak krzemionka, glinika, magnezyt i inne, mają bardzo wysoki punkt topliwości i odporność chemiczną w stanie czystym, zanieczyszczone jednak, choćby w małym stopniu innymi związkami, nawet równie ogniotrwałymi, tracą te własności w stosunku do stopnia zanieczyszczenia. Tak np. glinika ( $Al_2O_3$ ) w stanie czystym topi się powyżej  $2000^{\circ}$ , w połączeniu z krzemionką ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2 + 2H_2O$ ) zaczyna mięknąć przy  $1850^{\circ}$ , zanieczyszczona piaskiem i tlenkami żelaza t. j. taka, jakiej się używa do wyrobu zwykłych cegieł do budowy, nie wytrzymuje wyższej temperatury niż  $1000^{\circ}$ .

Czyste materiały o wielkiej odporności termicznej i chemicznej są w naturze rzadkie, dlatego do budowy pieców hutniczych używać się musi kamieni, wyrobionych z materiałów mniej odpornych, ochraniając je od zniszczenia sztucznem chłodzeniem, gdyż przy niższej temperaturze są o wiele więcej wytrzymałe.

Do budowy wielkich pieców używa się kamieni *szamotowych*; tak nazywa się materiał wyrobiony z bardzo ogniotrwałej gliny, wypalony i zmielony, a następnie po zmieszaniu z małą ilością takiej samej gliny niewypalonej (dla osiągnięcia plastyczności), wyrobiony w formach w cegły stosowanego kształtu i bardzo silnie wypalony.

Do dolnych części pieca używa się kamieni szamotowych bardziej trwałych ale droższych, do górnych warstw, z powodu niższej temperatury, cegieł mniej odpornych ale znacznie tańszych.

Cegła ma niekiedy takie wymiary, by sięgała przez całą szerokość pieca, częściej jednak są one mniejsze. Powodem tego jest trudność takiego zastosowania ze sobą wielkich cegieł, aby szczeliny między nimi były bardzo wąskie, podczas gdy przy małym formacie da się to wykonać bardzo dokładnie przez doszlifowanie. Szczelin należy unikać, gdyż pomiędzy nie bardzo łatwo dostają się gazy i żużel, oddziaływujące, jak wiemy, bardzo szkodliwie na kamień budowlany. Przy stosowaniu małych kamieni jest wprawdzie szczelin więcej niż

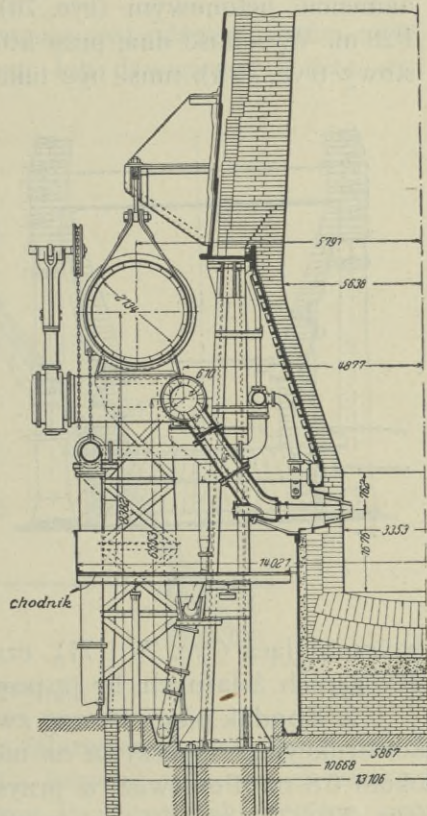


przy wielkich, ale zato są one o wiele węższe i przez to mniej szkodliwe.

Do dolnych części pieca gdzie panuje najwyższa temperatura, bywają stosowane także kamienie węglowe, wyrabiane w formach z dobrego koksu sproszkowanego, zarobionego ze smołą, a następnie wypalone przy wysokiej temperaturze, bez przystępu powietrza. Takie cegły znoszą bardzo wysokie ogrzanie, muszą być jednak chronione od wilgoci, od zetknięcia z gorącym powietrzem i płynnym żelazem. Przy budowie pieca wykłada się z tego powodu mur z kamieni węglowych od wewnątrz kamieniami szamotowymi, dla zabezpieczenia go od zetknięcia z powietrzem i żelazem, a od zewnątrz pancernem żelaznym, po którym ścieka woda chłodząca, nie stykając się z kamieniem.

Dla dodania murom wytrzymałości, która wobec małej grubości dzisiejszych ścian pieca byłaby niedostateczna do oparcia się ciśnieniu mas, znajdujących się wewnątrz pieca i ciśnieniu samych ścian, musi być mur wzmocniony z zewnątrz. Uskutecznia się to przez otoczenie przystawy i spadku p a n c e r z e m z płyt żelaznych, gardzieli o b r ę c z a m i żelaznymi, umieszczonemi w blizkich odstępach i połączone mi śrubami i klinami. Czasami także przystawa i spadek bywają otoczone pancernem zamiast obręczami.

Dno pieca jest wybudowane z kamieni ułożonych w kształcie sklepienia odwróconego (ryc. 70 i 71), aby płynne



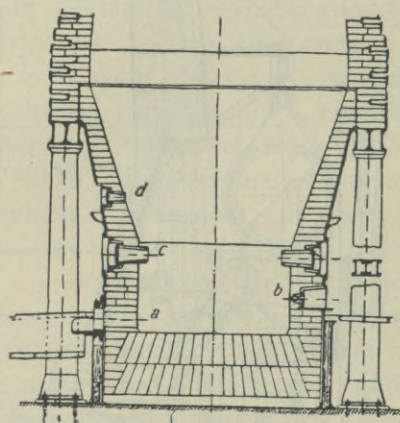
Ryc. 70.

żelazo dostawszy się szczelinami pod spód kamieni, nie mogło ich podnieść, inaczej bowiem kamienie jako gatunkowo lżejsze od żelaza, spłynęłyby na jego powierzchnię i rozpuściły się w żużlu.

Pod względem konstrukcyjnym składa się piec z następujących czterech części:

1. Przystawa z kotłiną spoczywają bezpośrednio na fundamencie betonowym (ryc. 70) i mają grubość ścian 0,9 do 1,20 m. Wysokość dna, przy którym znajduje się otwór spustowy (ryc. 71 a), musi być taka nad poziomem otoczenia, by

wypróżnianie pieca było możliwe. W piecach, które produkują surowiec w kawałkach (t. z. *gęsiach*), potrzeba około 3 m. wzniesienia ponad powierzchnię hali, do której go się spuszcza dla odlania w formy; surowiec przerabiany na miejscu na żelazo kujne spuszcza się z pieca wprost do kadzi przewozowych, ustawionych na torze ułożonym 5 m. poniżej otworu spustowego w piecu.



Ryc. 71.

Ze względu na możliwość chłodzenia jest kotlina często wolno stojąca (ryc. 70 i 71), czasami nawet opiera się ją na dźwigarach żelaznych, by ją powietrze mogło z dołu chłodzić.

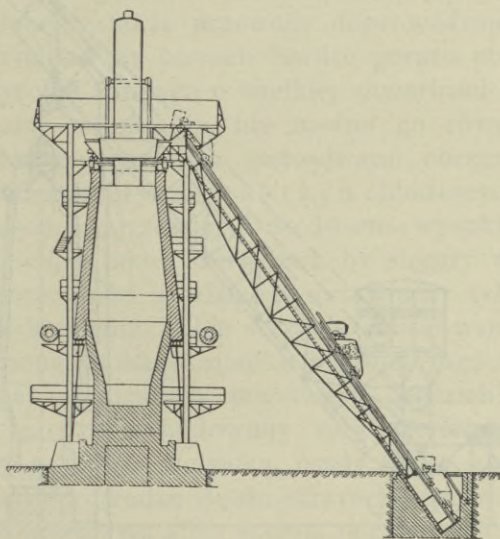
2. Spadek pieca tworzy zwykle z przystawą jedną całość konstrukcyjną i spoczywa na niej. Grubość ściany wynosi tu około 0,8 m. Ponieważ w przystawie utwierdzone są dysze (ryc. 70 i 71), przez co się ją osłabia, nadto wskutek rozpuszczającego działania żużli jej mury stają się stopniowo coraz cieńsze, jest obciążanie jej ciężarem spadku niebezpieczne, dlatego ciężar ten przenosi się zwykle na otaczający pancierz, który albo wspiera się na fundamencie albo wisi na słupach dźwigających górną część pieca.

Przystawa i spadek stanowią dolną część wielkiego pieca, nie łączącą się, ale tylko stykającą z górną, tak że ruchy ich



pod wpływem pęcznienia rozgrzanych kamieni nie udzielają się wcale górnym częściom. Zetknięcie to urządzone jest na podobieństwo dławików (ryc. 71), w ten sposób, że górna część spadku ma na zewnątrz kształt walca, który jest wsunięty w cylindryczne wnętrze dolnej części gardzieli i może się w niej podnosić i opadać bez przeszkody; zetknięcie może się też odbywać przy pomocy stożkowo zbudowanych powierzchni (ryc. 70).

3. Gardziel, której ciężaru nie może dźwigać dolna część pieca, spoczywa na płycie lanej lub dźwigarach kolisto wy-



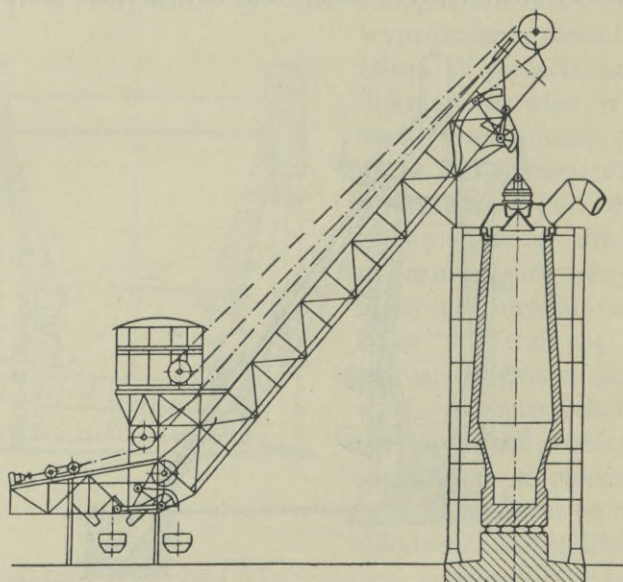
Ryc. 72.

giętych, wspierających się na żelaznych słupach, ustawionych na fundamencie (ryc. 70 i 71); czasami wisi ona na żelaznej konstrukcyi, na której wspiera się górny pokład pieca, oraz przyrządy do zasilania i chwytania gazów. Grubość murów gardzieli wynosi u dołu 0·9 do 1 m., u góry około 0·7 m. Zakończenie gardzieli stanowi wylot pieca, połączony z przyrządem do zasilania (ryc. 72 i 73).

4. Szczyt pieca. Ta część nie może wspierać się na gardzieli, której wytrzymałość na to nie pozwala i której nie można narażać na nieuniknione wstrząśnienia, jakim wciąż

ulegają urządzenia do zasilania. Dlatego ta cała część utwierdzona jest na osobnych dźwigarach, ustawionych dokoła pieca na fundamencie, które równocześnie służą za oparcie dla schodów wiodących na szczyt pieca i dla galeryi otaczających piec w różnych wysokościach, służących do nadzorowania go i naprawiania.

Od kilkunastu lat odbywają się próby zastąpienia murów pieca żelaznymi ścianami, wyłożeniemi wewnątrz cegłą szamotową na grubość 50 do 60 cm. i chłodzonymi silnie wodą



Ryc. 73.

z zewnątrz. W ten sposób wykonano (wynalazca Burgers r. 1899) kilkanaście pieców, które się okazały zupełnie dobrymi.

Chłodzenie. Wysokie temperatury panujące w piecu i gorące gazy są, jak już wiemy, czynnikiem bardzo niszczącym, któremu mur nie może się opierać przez dłuższy czas. By jego wytrzymałość zwiększyć i przez to trwałość pieca przedłużyć, stosuje się sztuczne chłodzenie. W górnych murach gardzieli, gdzie niema jeszcze żużla, a temperatura jest niezbyt wysoka (poniżej 1000° w dolnych częściach gardzieli), wystarcza zwykle, przy cienkich ścianach dzisiaj-

szych pieców, chłodzenie pieca przez otaczające go powietrze; w dolnej części gardzieli, a zwłaszcza spadku i przystawie, jest konieczne chłodzenie wodą.

Można to wykonać dwojako: 1) Jeżeli piec jest całkiem opancerzony blachą, chłodzi go się wodą, ściekającą po całej powierzchni; woda dopływa w pewnej wysokości rurą okalającą piec i rozprowadzana z niej pionowymi rurkami tryska na powierzchnię pieca, ściekając po niej ku dołowi, gdzie zbiera się w rynnie spustowej i odpływa; zamiast tego może być pancierz otoczony śrubowo biegnącą rynną, w której płynie woda chłodząca. Ten sposób widzimy na ryc. 70, str. 149, gdzie oznaczone są także przewody doprowadzające i odprowadzające wodę. Przy piecach bardzo gorąco prowadzonych (np. przy wyrobie surowca o wielkiej zawartości krzemu) nie wystarcza takie urządzenie, nie można go również używać tam, gdzie zamiast pancierza zastosowano obręcz. Do energicznego chłodzenia używa się skrzyń chłodzących, żelaznych lub brązowych, najczęściej 8 do 10 cm. wysokich, a 70 do 100 cm. długich, o takiej szerokości, by sięgały w głąb muru (ryc. 71. u góry, spód gardzieli), zostawiając tylko warstwę 10 do 20 cm. kamienia. Takie skrzynie wmurowane są w kilku warstwach ponad sobą w spadku i górnej części przystawy, czasem nawet w niższych warstwach gardzieli; w okolicy dysz bywa często wybudowany cały pierścień ze skrzyń chłodzących, w które wchodzi osady dysz, również chłodzone. Wodę doprowadza się do skrzyń i odprowadza rurami; zwykle woda przepływa kilka skrzyń, poczem zagrzana uchodzi do rynny odpływowej.

Zużycie wody wynosi zależnie od rodzaju surowca i wielkości pieca 2 do 4 m<sup>3</sup> na min., czyli 3 do 6 tysięcy m<sup>3</sup> na dobę. Jest to więc olbrzymia masa wody, dlatego przy piecach wielkich ustawia się często chłodnice studzące wodę, by jej można było napowrót używać.

Doprowadzanie powietrza. Powietrze gorące dochodzi do pieca z przewodu pierścieniowego okalającego piec (ryc. 70), skąd poszczególnymi przewodami, dającymi się zamykać i odejmować, dopływa do pieca rurami noszącymi nazwę *dysz*.

Zarówno przewód główny, jak i przewody prowadzące do dysz są wyłożone materiałem ogniotrwałym. Ujście dyszy

styka się szczelnie z przewodem krótkim zwanym *formą*, wsuniętym do wnętrza pieca (20 do 50 cm.), którym się wciska gorące powietrze (ryc. 70. i 71. litera c). Ta część musi być bardzo energicznie chłodzona, dlatego formy wyrabia się z miedzi lub brązu, jako przewody o podwójnych ścianach, przez które krąży woda chłodząca, a formę umieszcza się w osadzie również chłodzonej. Szczegóły doprowadzenia powietrza do pieca widoczne są z ryc. 70, odnoszącej się do pewnego pieca wielkiego istniejącego w Anglii\*).

Do obsługi dysz urządzony jest dookoła pieca *chodnik* (ryc. 70, str. 149). Aby można było śledzić przebieg procesu w piecu, umieszcza się w przewodach po przeciwnej stronie dysz okienka zamknięte szkłem kolorowem. Otworem, jaki stanowi okienko można wprowadzić drąg żelazny dla przetkania dyszy, gdy się zatka.

Ilość dysz zależy od średnicy pieca, zwykle liczy się jedną na 1 m. wewnętrznego obwodu pieca; liczba ich wynosi 4 do 12, stosownie do wielkości pieca, średnica wylotu form 15 do 20 cm., u małych pieców jest mniejsza.

W wyższych częściach spadku znajdują się w pancerzu otwory zasłonięte blachą dla wstawiania w razie potrzeby małych form pomocniczych do rozgrzewania wnętrza pieca w czasie zaburzeń, jakie się czasem zdarzają (ryc. 70, lit. d.).

**Spusty.** Do wypuszczania z pieca żużła znajduje się poniżej płaszczyzny dysz otwór (ryc. 71, lit. b), który jest tak samo jak dysze zaopatrzony formą, chłodzoną wodą, o średnicy wylotu 25 do 50 mm. Ponieważ ilość żużła jest rozmaita, zależnie od rodzaju rudy, umieszcza się zwykle w piecu 2 i 3 formy, jedną czynną, a inne rezerwowe, zatkanie ogniotrwałą zatyczką.

Do wypuszczania surowca z pieca służy *spust* (ryc. 71. lit. a). Jest to rama z żelaza lanego z owalnym otworem, zatkanym ogniotrwałą zatyczką, którą się przebija, chcąc wypuścić surowiec z pieca.

**Zasilanie pieca i chwytnie gazów.** Dowożenie materiałów do pieca odbywa się w trojaki sposób:

---

\*) *St. u E.* 1909, str. 315.

1. Zapomocą *wyciągów pionowych*. W tym wypadku obok pieca znajduje się pionowa wieża, w której na kołach liny porusza się lina z zaczepionymi na niej wózkami, do wożącymi materiały; gdy jeden wózek pełny podnosi się do góry, drugi pusty równocześnie spada na dół. W ten sposób maszyna wyciągowa podnosi tylko materiały, nie dźwigając ciężaru wózka. Wózek ustawiony jest na kółkach i po wyciągnięciu na wierzch, przetaczają go robotnicy po moście łączącym wieżę z piecem i wypróżniają do pieca.

Ponieważ ten system zasilania pieca wymaga kosztownej obsługi wielu ludzi, którzy zbliżając się do wylotu pieca narażeni są na zetknięcie z trującym gazem wylotowym, zarzucono już system ten jako nieekonomiczny i niebezpieczny, i można go spotkać tylko w starszych urządzeniach.

2. Zapomocą *wyciągów ukośnych*. Na konstrukcyi żelaznej otaczającej piec wspiera się ukośny wyciąg, który wciąga ponad piec wózki (ryc. 72, str. 151) albo kosze, (kubły, ryc. 73, str. 152) i wypróżnia je do pieca bez pomocy robotników. Do poruszania wózków służy lina pędzona motorem albo też wózki mają popęd elektryczny; kosze podnosi się zawsze przy pomocy liny. Wszystkie z tem połączone czynności może spełniać maszynista, kierujący maszyną wyciągową, tak, że przy tym systemie obecność ludzi na wierzchu pieca jest zbyteczna. To jest powodem, dlaczego ten rodzaj wyciągów ma obecnie najszersze zastosowanie.

3. Zapomocą *kolei linowej*. Tak zasila się piece wtedy, jeżeli dowóz materiałów odbywa się z daleka, a wielkie piece są obok siebie blisko zbudowane i jedna kolej linowa może wszystkie obsługiwać. Przy tem urządzeniu wózki czy kosze doprowadza lina umieszczona w wysokości pieca; wózki dowieszone do pieca wypróżniają się i powracają, jedna lina obsługuje wszystkie. Popęd wózkom nadaje albo sama lina poruszana motorem, albo też każdy wózek ma własny elektromotor, który czerpie prąd z przewodów, biegnących obok liny.

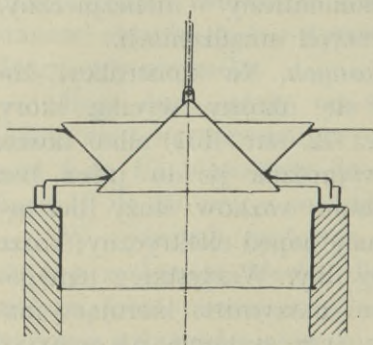
Wywiezione w wózkach czy koszach materiały muszą być wsypane do pieca, którego wylot ze względu na palne i przez to wartościowe dla przemysłu gazy, jest stale zamknięty i połączony z przewodem odprowadzającym gazy.

Przyrząd zamykający piec powinien umożliwiać zasilanie go rudą i koksem, a więc w pewnych chwilach musi się otwierać dla wypuszczenia materiałów do wnętrza.

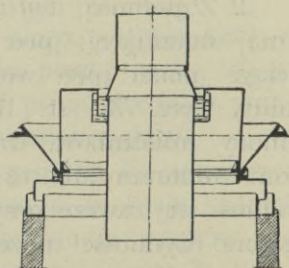
Rozróżniamy dwa główne rodzaje zamknięć, z których powstały wszystkie inne dziś używane:

1. Stożek Parry'ego (ryc. 74).
2. Dzwon Langena (ryc. 75).

W obu systemach wsypuje się naboje paliwa i rudy z topnikami do lejkowatego zbiornika, osadzonego u wylotu pieca; dno lejka jest zamknięte w pierwszym razie stożkiem otwierającym otwór w dół, w drugim dzwonem cylindrycznym, podnoszącym się do góry, przez co materiał z lejka dostaje



Ryc. 74.



Ryc. 75.

się do pieca. Gazy przy tym systemie uchodzą otworami w ścianach pieca, przy dzwonie rurą osadzoną pionowo w środku.

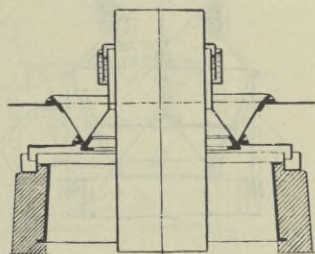
Zarówno sposób odprowadzania gazów jak i wsypywania materiałów do pieca jest w obu systemach odmienny. Odprowadzanie gazów bocznymi otworami powoduje ruch ich ku ścianom pieca, a ponieważ one i tak mają skłonność do posuwania się wzdłuż nich, gdyż tam znajdują najczęściej szczelin między materiałami, powoduje umieszczenie odpływu przy ścianie niejednolity ruch gazów, słabszy w środku, na czem cierpi równomierność redukcji rudy. Z tego powodu stożek Parry'ego stosować można tylko do rud łatwo się redukujących. Odprowadzanie gazów bokami ma także tę złą stronę, że ściany pieca w pobliżu ujścia gazów łatwiej ulegają zniszczeniu.



Przy chwytaniu gazów rurą w środku, jak przy dzwonie Langena, zmusza się gazy do ruchu ku środkowi pieca, regulując przez to jednostajność redukcji. Nadto z powodu, że przyrząd otwiera się ku górze, nie ku dołowi, można piec napęlić wyżej, tuż prawie do wylotu, tak że rura gazowa zapuszczona jest w materiał wypełniający piec, przez co ułatwia ruch i odpływ gazów środkiem pieca.

Dla wsypywania materiałów do pieca jest stożek Parry'ego dogodniejszy, pozwala bowiem doprowadzać je w dowolne miejsce. Jeżeli stożek tylko mało opuścimy, uderzają zsuwające się po nim ciała o ściany pieca, odbijają się i padają w środek; gdy go opuścimy nisko, materiały zsuwają się po stożku niżej, bez odbicia, wprost na warstwę poprzednią i układają się około obwodu wnętrza. Korzysta się z tego wpuszczając naboje koks więcej w środek pieca, a rudy bardziej ku obwodowi, wskutek czego środek pieca jest więcej przepuszczalny i ułatwia ruch gazów, odchylając je od ścian.

Przy systemie dzwonowym rudy i węgiel wsypuje się ku środkowi, dokoła rury wylotowej, regulowanie warstw jest tu trudniejsze. Zasilanie odbywa się



Ryc. 76.

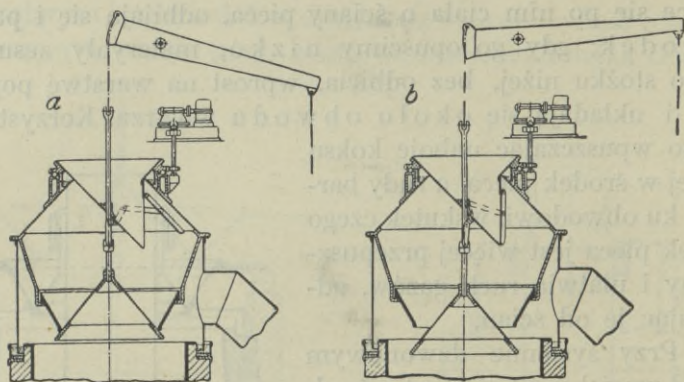
w ten sposób, że najpierw wsypuje się nabój koks, który około rury tworzy stożek, przez co ruda wrzucona następnie, musi się zsuwać po nim ku ścianom.

Kombinacją zalet obu systemów jest zamknięcie Van Hoffa (ryc. 76), posiadające rurę centralną do chwytania gazów i stożek do wpuszczania nabołów.

Przyrządy do zamykania i zasilania pieca jako bardzo ciężkie, nie mogą opierać się na murze piecowym, lecz spoczywają na żelaznej konstrukcji otaczającej piec; zamknięcie musi być szczelnie połączone z piecem, aby gazy nie mogły uchodzić. Ponieważ piec pod wpływem zmian temperatury zmienia swą wysokość, musi to połączenie być swobodne, pozwalając na swobodne ruchy pieca bez szkody dla szczelności. Uskutecznia się to w ten sposób (ryc. 74. i dalsze), że

na murze znajduje się korytko żelazne, wypełnione wodą, w które wchodzi walec blaszany, złączony z zamknięciem pieca; przy ruchach muru piecowego walec ten głębiej lub płycej, ale zawsze zanurza się w wodzie i tym sposobem łączy szczelnie obie części pieca.

Dzisiejsze zamknięcia pieca, będące udoskonaleniem wyżej opisanych sposobów, mają na celu zupełne zapobiegnięcie uchodzenia gazów przy otwieraniu pieca, nie tylko dla uniknięcia ich straty, ale więcej jeszcze dla zabezpieczenia pieca od nagłych zmian ciśnienia gazów w piecu przy otwarciu wy-



Ryc. 77.

lctu, co niekorzystnie wpływa na jednostajność przebiegu procesu. Obok tego zasilanie powinno być jak najbardziej jednostajne, mimo usunięcia ludzi ze szczytu pieca i nie dopuszczać do kruszenia się materiałów, przez co wytwarza się miał, utrudniający ruch gazów w piecu.

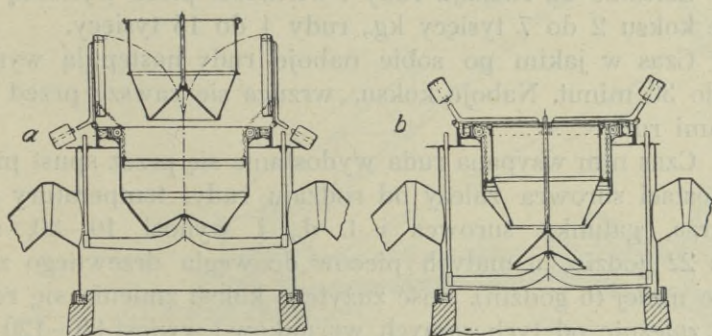
Uchodzeniu gazów zapobiega podwójne zamknięcie pieca, które, zależnie od systemu, umożliwia także w większym lub mniejszym stopniu spełnienie warunków należytego zasilania pieca. Z pomiędzy wielu istniejących sposobów opiszemy dla przykładu dwa, jeden stosujący napełnianie pieca wózkami, drugi koszami.

Pierwszy (ryc. 77, a i b) przedstawia zamknięcie pieca stożkiem Parry'ego, nad którym umieszczony jest zbiornik, zakończony obracającym się lejkiem, zamykanym klapą; wózek przechyliwszy się (jak na ryc. 72, str. 151), wysypuje swą

zawartość przez otwarty lejek do zbiornika. Gdy cały jedno-razowy nabój znajduje się w zbiorniku, kłapa się zamyka, poczem stożek opuściwszy się wpuszcza materiał do pieca; strata gazów nie przekracza objętości zbiornika przy każdym napełnieniu.

Zbiornik obejmuje jak wiemy naraz zawartość większej liczby wózków, dlatego aby był jednostajnie napełniony, po każdym wypróżnieniu wózka obraca się lejek o pewien kąt, tak że po zupełnem napełnieniu, t. j. wtedy kiedy cały zapas bywa wpuszczany do pieca, lejek znajduje się w miejscu początkowem, wykonawszy zupełny obrót.

Wadą zasilania wózkowego jest dwukrotne przesypywa-



Ryc. 78.

nie naboii, raz z wózka do zbiornika, drugi raz ze zbiornika do pieca; przez ten podwójny ruch powstaje więcej mialu, niż gdyby nabój wprost z wózka dostawał się do pieca. Tej niedogodności nie ma zasilanie koszowe (ryc. 78 a i b), w którym cylindryczny kosz ma dno stożkowate, zawieszone na drążku.

Opierając się na tem dnie kosz sam się zamyka; gdy jednak brzegi kosza oprą się o brzegi zbiornika, do którego się kosz wpuszcza, a dno stożkowate zamykające ów zbiornik opuści się, opada z niem równocześnie stożkowate dno kosza i nabój wsypuje się do pieca.

Podwójne zamknięcie polega na tem, że po wpuszczeniu kosza do zbiornika, a przed opuszczeniem dna, opadają na kosz dwie płaskie kłapy i w ten sposób zamykają zbiornik.

Przy zasilaniu pieca wsypuje się osobno węgiel, osobno rudę i topniki. Dawniej mieszano różne rodzaje rud i topniki przed ładowaniem na wózki i gotową mieszaninę wyciągano na piec. Dziś zwykle wyciąga się każdy gatunek osobno, a mieszanie odbywa się dopiero przy wrzucaniu naboju do pieca.

Odpowiednio do przebiegu procesu w piecu zmienia się skład naboju rudy i ich wielkość w stosunku do koksu. Przyjęta jest zasada, że ilość koksu wrzucanego, t. j. jego naboje, są niezienne, natomiast zmienia się wielkość naboju cięższej gatunkowo rudy, przez to objętość zajęta przez nabój w piecu doznaje mniejszej zmiany, niż przy zmianie naboju koksu.

Zależnie od rodzaju rudy i wielkości pieca wynoszą naboje koksu 2 do 7 tysięcy kg., rudy 4 do 15 tysięcy.

Czas w jakim po sobie naboje rudy następują wynosi 20 do 30 minut. Naboje koksu, wrzuca się zawsze przed nabojami rudy.

Czas nim wsypana ruda wydostanie się przez spust pieca w postaci surowca zależy od rodzaju rudy, temperatury powietrza, gatunku surowca i t. d., i wynosi 10—30, średnio 22 godzin, u małych pieców do węgla drzewnego znacznie mniej (6 godzin). Ilość zużytego koksu zmienia się również zależnie od tych samych warunków i wynosi 90—120 kg. na 100 kg. wytopionego surowca. Stopień ogrzania włączanego powietrza ma znaczny wpływ na zużycie koksu, tak że podwyższenie jego temperatury o 100° obniża zużycie koksu o 4 do 5%.

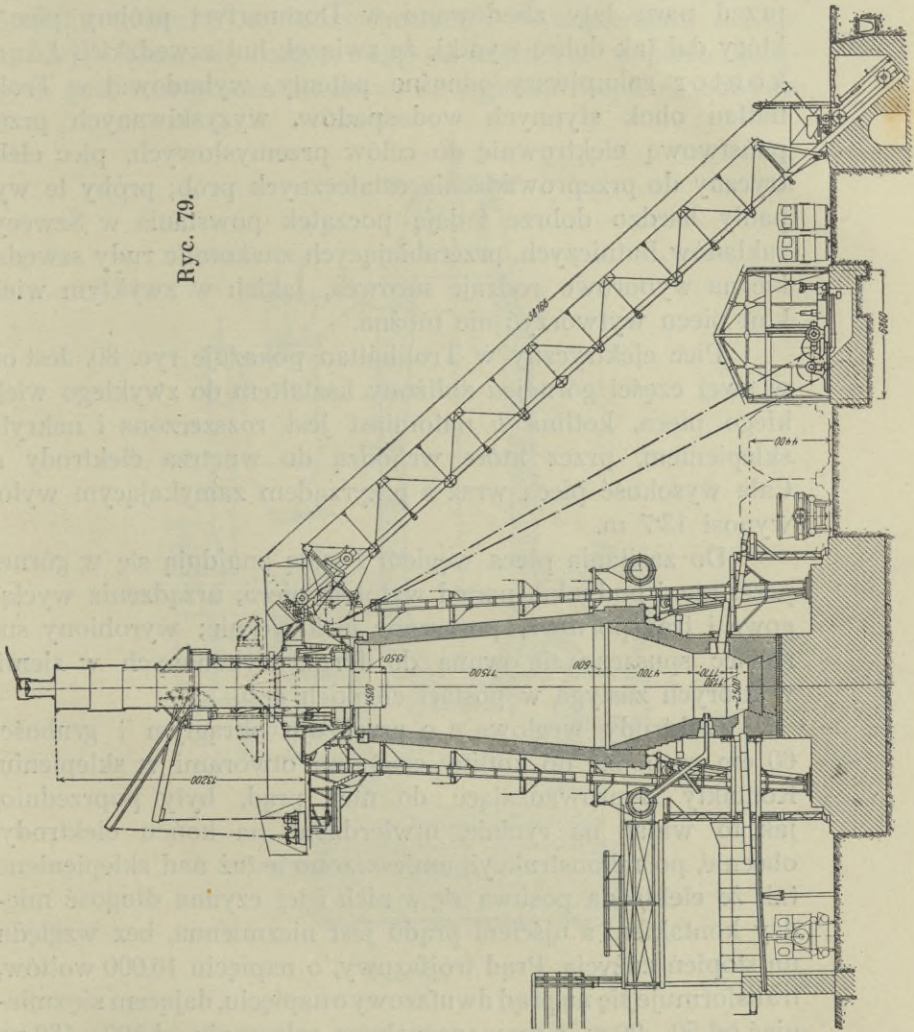
Produkcja wielkich pieców wynosi 100—500 ton (czasem jeszcze więcej) surowca na dobę, a ilość ta zależy od rozmiarów pieca, rodzaju i czystości rudy, gatunku surowca oraz innych jeszcze czynników.

Ryc. 79 przedstawia przekrój nowożytnego pieca wielkiego \*) z windą wyciągową i całym urządzeniem do zasilania, oraz halą (z lewej strony) do odlewania surowca w kawałki (t. zw. »gęsi«). Do hali dostaje się surowiec korytem uwidocznionem na rycinie. Jeżeli surowiec wypuszcza się z pieca wprost do kadzi, podjeżdżają one (ciągnięte lokomotywą) na niższym

\*) Z. d. V. 1909, str. 1518.

poziomie jak to widać z lewej strony u dołu. Z prawej strony pieca widać spust żużla, wylewającego się wprost do kadzi, umieszczonej na podjeżdżających wózkach.

Ryc. 79.



**Elektryczne wytopianie surowca.** W krajach posiadających pokłady bardzo dobrej rudy i wielkie siły wodne, pozwalające tanio wytwarzać ogromne ilości prądu elektrycznego a nie mające węgla zdatnego do wyrobu koksu, objawiają się od szeregu lat usiłowania, by do wytopienia żelaza zastosować

piece elektryczne. Doświadczenia w tym kierunku prowadzone są z wielkim nakładem kosztów w Kanadzie, Kalifornii i w Szwecyi. Najlepsze wyniki osiągnięto dotąd w Szwecyi; przed paru laty zbudowano w Domnarfvet próbny piec\*), który dał tak dobre wyniki, że związek hut szwedzkich Jö r n k o n t o r zakupiwszy odnośne patenty, wybudował w Trollhättan obok słynnych wodospadów, wyzyskiwanych przez państwową elektrownię do celów przemysłowych, piec elektryczny do przeprowadzenia ostatecznych prób; próby te wypadły bardzo dobrze i dają początek powstania w Szwecyi zakładów hutniczych, przerabiających znakomite rudy szwedzkie na wyborowe rodzaje surowca, jakich w zwykłym wielkim piecu wytworzyć nie można.

Piec elektryczny w Trollhättan pokazuje ryc. 80. Jest on w swej części górnej *a* zbliżony kształtem do zwykłego wielkiego pieca, kotlina *b* natomiast jest rozszerzona i nakryta sklepieniem, przez które wchodzi do wnętrza elektrody *e*. Cała wysokość pieca wraz z przyrządem zamykającym wylot wynosi 13·7 m.

Do zasilania pieca węglem i rudą znajdują się w górnej przestrzeni budynku, ponad wylotem pieca, urządzenia wyciągowe i transportowe, poruszane elektrycznie; wyrobiony surowiec spuszcza się rynną do form, wykonanych w ziemi, w których zastyga w postaci cienkich *gesi*.

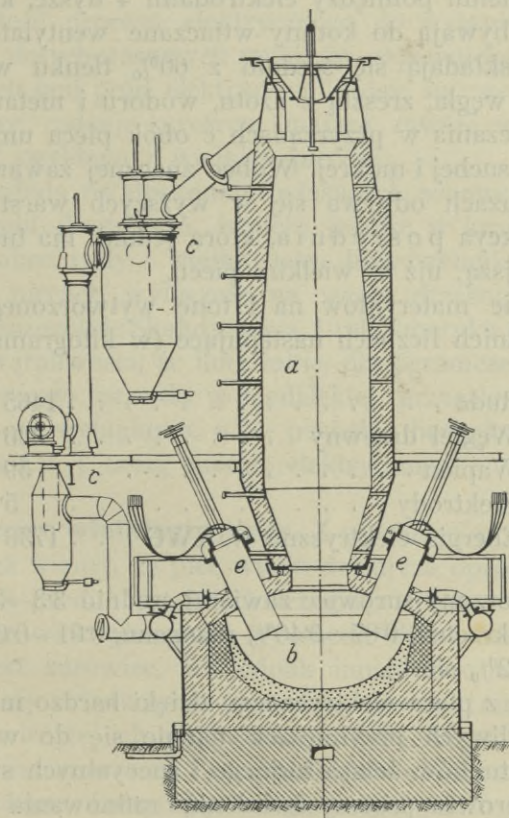
Elektrody węglowe *e* o przekroju okrągłym i grubości 60 cm. wchodzi do kotliny czterema otworami w sklepieniu. Kontakty doprowadzające do nich prąd, były poprzednio, jak to widać na rycinie, utwierdzone na końcu elektrody, obecnie, po rekonstrukcyi, umieszczono je tuż nad sklepieniem, tak że elektroda posuwa się w nich i jej czynna długość między kontaktem a ujściem prądu jest niezmienna, bez względu na stopień zużycia. Prąd trójfazowy, o napięciu 10.000 woltów, transformuje się na prąd dwufazowy o napięciu, dającym się zmieniać od 50—90 w., a przy specjalnem załączeniu od 100—180 w.

Proces wytapiania odbywa się w ten sposób, że piec rozgrzany początkowo koksem, zasila się następnie w zwykły

---

\*) Prz. Tech. 1911, str. 547, na podstawie sprawozdania inżyniera Lefflera wydanego w Sztokholmie 1911.

sposób rudą (przeważnie żeleziak magnetyczny) o znacznej zawartości żelaza (średnio okno 60%), a bardzo małej fosforu i siarki, — węglem drzewnym (wyłącznie, bez dodatku koksu) i w miarę potrzeby, — wapieniem; naboje opadając silnie się rozgrzewają od krążących w piecu gorących gazów, a proces redukcji, nawęglania i topienia odbywa



Ryc. 80.

się w kotlinie przy pomocy ciepła dostarczanego przez prąd elektryczny. Stopiony surowiec wypuszcza się co kilka godzin wraz z nagromadzonym żużłem; w razie wielkiej ilości żużla, można go usuwać osobnym spustem. Temperatura surowca wynosi około 1.300°.

Dzienna produkcja pieca obliczona jest na 23 tony surowca.

Ponieważ w procesie tym nie odbywa się spalanie węgla dla wytworzenia ciepła, bo ciepła dostarcza prąd, lecz użyty węgiel służy tylko do bezpośredniej redukcji rudy i nawęglania żelaza, nie wprowadza się powietrza do pieca tak jak w zwykłym procesie wielkopieczowym; dla ochrony sklepienia od zbytowego rozgrzania i dla podgrzewania naboju, umieszczone są w sklepieniu pomiędzy elektrodami 4 dysze, któremi gazy wylotowe bywają do kotliny włączane wentylatorem. Gazy wylotowe składają się średnio z 60% tlenku węgla i 21% dwutlenku węgla, zresztą z azotu, wodoru i metanu. Doznają one oczyszczania w przyrządach c obok pieca umieszczonych na drodze suchej i mokrej. Wobec znacznej zawartości tlenku węgla w gazach odbywa się w wyższych warstwach pieca także redukcja pośrednia, która jednak ma tutaj rolę znacznie mniejszą, niż w wielkim piecu.

Zużycie materiałów na 1 tonę wytworzonego surowca jest w średnich liczbach następujące (w kilogramach)\*):

Ruda . . . . .	1465
Węgiel drzewny . . . . .	336
Wapień . . . . .	59
Elektrody . . . . .	5·5
Energia elektryczna w KWG . . .	1736

Wytworzony surowiec zawierał średnio 3·3—3·8% węgla, 0·06—0·3% krzemu, 0·07—0·46% manganu, 0·01—0·02% fosforu i 0·002—0·02% siarki.

Żelazo z pieca elektrycznego dzięki bardzo małej zawartości szkodliwych przymieszek nadaje się do wyrobu najlepszych gatunków żelaza kujnego i specjalnych stali. Wobec czystości surowca procesy świeżenia i rafinowania są znacznie uproszczone i wskutek tego tańsze.

Zastosowanie procesu elektrycznego do wytapiania żelaza ograniczyć się musi oczywiście na kraje, posiadające tanie a wielkie źródła energii i lasy dostarczające potrzebnych ilości węgla drzewnego. Użycie koksu nie jest wprawdzie wyklu-

\*) Wyniki z końca r. 1911, Metallurgie 1912, str. 162 i z maja 1912 i S. u. E. 1912, str. 1409 na podstawie nowego sprawozdania z Trollhättan.



czone, a zapotrzebowanie w porównaniu do procesu w piecach wielkich bez porównania mniejsze; w tym wypadku musiałyby się jednak zmienić warunki produkcji, która przy własnym węglu drzewnym jest zupełnie niezależna, pogorszyłyby się także jakość żelaza, wskutek szkodliwych domieszek zawartych w koksie.

Przyszłość procesu elektrycznego do wytapiania żelaza jest według dotychczasowych wyników zapewniona w krajach posiadających tani prąd elektryczny i dobre surowe materiały na wyborowe rodzaje surowca, mające zawsze wyższą cenę od surowca zwykłego z wielkich pieców.

Ze względu na doskonałe własności surowca wytapianego na węglu drzewnym, istnieją jeszcze w krajach posiadających dobre rudy i wielkie lasy, huty wytapiające żelazo w wielkich piecach wyłącznie na węglu drzewnym; takimi krajami są szczególnie Skandynawia, Ural, Ameryka północna i i. Nie ulega wątpliwości, że huty takie, dla ograniczenia zużycia węgla drzewnego przejdą w niedalekiej przyszłości na elektryczny proces wytapiania, o ile posiadać będą konieczny do tego warunek, t. j. tanią energię elektryczną.

**Wytwory wielkiego pieca.** Z przebiegu procesu wytapiania żelaza wiemy, że piec wielki dostarcza oprócz surowca, także innych produktów, jak żużel, gazy i ciała w gazach zawarte. Jakkolwiek głównym wyrobem, dla którego wytapia się rudę jest surowiec, to jednak inne, uboczne produkty, o ile dają się zużytkować, posiadają pewną, nieraz wielką wartość i należyte ich wyzyskanie obniża kosztą przeróbki; ze względu na znaczenie tych produktów dla hutnictwa omówimy je kolejno, zaczynając od głównego, jakim jest:

**Surowiec żelaza.** W pewnych odstępach czasu (co 3 do 6 godzin) wypuszcza się surowiec z pieca przebijając żelaznym drągiem zatyczkę ogniotrwałą zatykającą spust; często wskutek stężenia surowca przy wylocie, przebicie otworu odbywa się z trudnościami, — niekiedy zatkanie jest tak silne, że przebijanie trwa kilka godzin. Dla szybszego odetkania pieca używa się obecnie sposobu Mennego do *wytapiania* zatkaných otworów. Służą do tego dwa palniki, jeden połączony z przewodami, doprowadzającymi tlen i wodór, które mieszając

się u wylotu i spalając dają płomień bardzo gorący. Płomień ten skierowany na stężałe żelazo zatykające otwór rozżarza je w jednym punkcie do białości; wtedy skierowuje się z drugiego palnika, a raczej dyszy, prąd czystego tlenu zgęszczonego do 30 atm., na rozżarzone żelazo, które się spala. Powstały tlenek żelaza topi się w wysokiej temperaturze a prąd tlenu porywa go i usuwa, tworząc otwór, który z bardzo wielką szybkością zwiększa się i pogłębia, tak że w ciągu kilku minut spust może być oczyszczony.

Po wypuszczeniu surowca zatyka się otwór zatyczką ogniotrwałą, silnie wbitą, aby się żelazo samo z pieca nie przedarło. Dla ułatwienia tej roboty używa się w wielu hutach maszyny, w której stempel poruszany ciśnieniem pary lub zgęszczonem powietrzem wtłacza ogniotrwałą masę do otworu spustowego.

Jeżeli surowiec przerabia się w hucie zaraz na żelazo kujne, wypuszcza się go z pieca do kadzi przewoźnych, ustawionych na torze i poruszanych parowozem. W tym celu przepuszcza się surowiec żelaznem, ogniotrwale wyłożonem korytem, którego jeden koniec podstawiony jest u spustu, drugi umieszczony ponad kadzią.

Kadz zrobiona jest z blachy żelaznej i wewnątrz wyłożona cegłą ogniotrwałą; pojemność jej wynosi 20 i więcej ton surowca. Wypróżnia się ją przez podniesienie jednego boku za pomocą żórawia hydraulicznego lub innego mechanicznego przyrządu, — może być też pochylana siłą ludzką za pomocą korby wprawiającej w ruch ślimak i koło zębate umieszczone na osi obrotu.

Jeżeli surowiec ma być przechowany i posyłany w stanie stałym, odlewa go się w krótkie a grube kawałki, zwane w pewnych okolicach *gęsiami* (z niem. Gänse). W tym celu w bliskości pieca znajduje się obszerna hala, w której za pomocą modelu wyciska się w piasku formierskim obok siebie rzędami formy, komunikujące się ze sobą kanałami. Formy te są u góry otwarte a wypuszczone żelazo kolejno je wypełnia przez odpowiednie kierowanie płynącego strumienia.

Zamiast form z piasku, których piasek przywiera do żelaza, używa się także form żelaznych, lanych, układanych obok siebie w piasku. Formy takie pozwalają odlewać żelazo w ka-

walki o powierzchni czystej i gładkiej; powleka się je wapnem.

Przy wielkich rozmiarach pieca i wielkiej produkcji muszą być rozmiary hali bardzo znaczne, aby pomieścić wypuszczany z pieca surowiec; przygotowanie wielkiej liczby form jest przytem rzeczą kosztowną. Dlatego w wielkich hutach coraz więcej wchodzi w użycie maszyny do odlewania, w których formy żelazne wewnątrz polane wapnem połączone są ze sobą łańcuchem bez końca, poruszającym się na kołach. Na jednym końcu wlewa się z rynny do formy surowiec, z drugiej strony stężałe kawałki spadają po pochylej płaszczyźnie na ruchomy łańcuch, zanurzający się w wodzie, gdzie szybko ostygają. Łańcuch form musi posiadać znaczną długość (35—45 m.), aby żelazo miało czas stężeć. Z łańcucha dostaje się żelazo wprost do wozów kolejowych.

Inny rodzaj maszyn do odlewania surowca w kawałki ma kształt poziomo ustawionego i obracającego się koła, na którego obwodzie znajdują się formy. Surowiec wlewany z kadzi dostaje się rynną do form, zastyga w nich i przez odwrócenie formy wpada wprost do wozu, który je zabiera. Wypróżnione formy macza się w wodzie zawierającej wapno, studzi, odwraca i znów pod rynną przez obrót koła podsuwa. Oba rodzaje maszyn pracują w ten sposób bez przerwy, pokąd cały zebrany zapas surowca nie wypłynie.

W piecach wielkich wytwarza się różne rodzaje surowca stosownie do dalszego przeznaczenia. Rozróżnia się:

1) Z rodzajów surowca *szarego*:

Żelazo-krzem, zawierający do 16% krzemu, używany przy wyrobie żelaza kujnego jako środek odtleniający; dziś wyrabia się go mało, gdyż innemi metodami można otrzymać żelazo-krzem o znacznie większej zawartości krzemu.

Surowiec *bessemerowski* do wyrobu żelaza kujnego sposobem *Bessemera*, zawierający wiele krzemu a mało fosforu.

2) Z rodzajów surowca *białego*:

Surowiec *pudlarski* do wyrobu żelaza kujnego metodą *pudlarską*, ze znaczną zawartością manganu, a ile możności małą fosforu.

Surowiec tomasowski do produkcji żelaza kujnego sposobem Thomasa, ze znaczną ilością fosforu a małą krzemu.

Surowiec martinowski do wyrobu żelaza kujnego metodą Martina, o składzie zależnym od sposobu przeróbki.

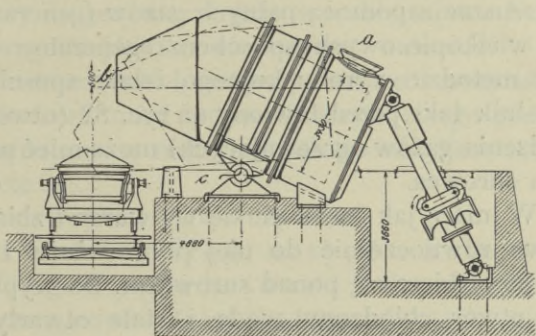
Surowiec zwierciadlisty (tak nazwany dla gładkich powierzchni w przełomie), zawierający wiele manganu (powyżej 5%), stosowany jako materiał odleniający przy wyrobie żelaza zlewego.

Żelazo-mangan z wielką ilością manganu (30—85%), do tych samych celów jak poprzedni.

We wszystkich rodzajach surowca zawartość siarki powinna być możliwie mała. Usunięcie siarki poza pewną granicę jest niemożliwe w wielkim piecu mimo stosowania wapna, które siarkę częściowo przeprowadza w żużel; chcąc zmniejszyć jej zwykle znaczną zawartość w surowcu, stosuje się osobny, przed niewielu laty dopiero wprowadzony sposób odsiarczania jej w *mieszalniku*, t. j. zbiorniku, mogącym pomieścić i wymieszać ze sobą wiele naboii wypuszczonych z wielkich pieców. Zadaniem tego przyrządu było pierwotnie tylko *mieszanie* surowca, celem osiągnięcia jednolitości chemicznego składu materiału wypuszczanego w znacznych nieraz odstępach czasu, często z kilku wielkich pieców. Jeżeli np. wypuszcza się z pieca naraz 20 ton surowca, a mieszalnik obejmuje 260 ton, t. j. 13 krotnie większą ilość surowca, niż z jednego spustu, i jeżeli z niego w podobnych odstępach czasu wylewa się takie same ilości, w takim razie musi nastąpić *ujednostajnienie* materiału i zmiany w jego składzie chemicznym będą się objawiały w stopniu znacznie mniejszym.

Oprócz mieszania odbywa się przy długim pozostawianiu surowca w zbiorniku proces *odsiarczania*, a mianowicie mangan zawarty w surowcu łączy się z siarką na siarczek manganu, nierozpuszczalny w surowcu i gatunkowo lżejszy, który w postaci żużla spływa na powierzchnię żelaza; równocześnie wpływ tlenu powietrza objawia się przez powstawanie bezwodnika siarkawego. W ten sposób daje się zawartość siarki w żelazie zmniejszyć nawet o połowę. Dziś buduje się mieszalniki mieszające 150—750 ton surowca. Są to zbior-

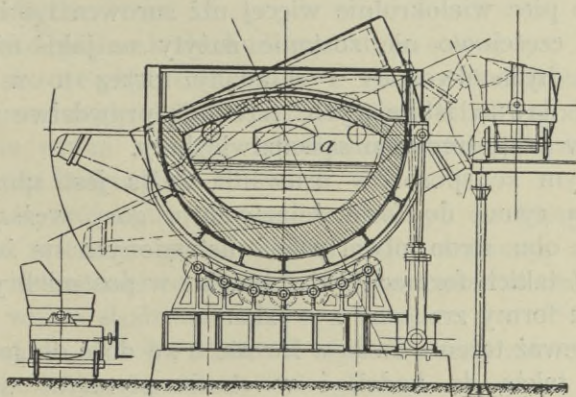
niki żelazne\*) (ryc. 81), wyłożone ogniotrwałym materiałem, obracające się na czopie *c* przy pomocy siły hydraulicznej i posiadające dwa otwory, jeden *a* w górze do wlewania z kadzi



Ryc. 81.

surowca, wypuszczonego z pieca wielkiego, drugi *b* z boku do wylewania surowca wystalego (wymieszanego i odsiarczonego) dla dalszej przeróbki.

W mieszalniku pozostawać musi żelazo kilkanaście go-



Ryc. 82.

dzin nie zastygając; aby zapobiedz niebezpieczeństwu stężenia surowca w zbiorniku, wględnie posiadania możności stopienia

\*) Ryc. 81 przedstawia mieszalnik pewnej amerykańskiej huty. (Z. d. V. 1910, str. 310).

zastygłego np. w razie nagłego strejku, oraz dla umożliwienia pewnych procesów przygotowawczych do wyrobu żelaza kujnego (o czym będzie później mowa), buduje się obecnie mieszalniki *ogrzewane* zapomocą palnych gazów (generatorowych, koksowych, wielkopieczowych) sposobem regeneratoryjnym (opisanym przy metodzie wyrobu kujnego żelaza sposobem Martina). Mieszalnik taki przedstawiony na ryc. 82 (otwór *a* służy do wprowadzenia gazów ogrzewających) może mieć pojemność do 1000 ton surowca.

**Żużel.** W miarę jak surowiec się wytwarza i zbiera w kotlinie, spływa równocześnie do niej płynny żużel i jako gatunkowo lżejszy zbiera się ponad surowcem. Do wypuszczania żużla służy otwór chłodzony wodą i stale otwarty, tak że żużel z wyjątkiem chwili spuszczenia surowca stale się z niego wydobywa.

Ilość wytworzonego w piecu żużla jest zmienna, stosownie do ilości żelaza, topników i popiołu w koksie, a także do przebiegu procesu w piecu; wynosi ona 60 do 150% ciężaru wytopionego surowca, a ponieważ jego ciężar gatunkowy (2,5 do 3) jest znacznie mniejszy, przeto objętościowo wytwarza go piec wielokrotnie więcej niż surowca i o ile w całości lub częściowo nie zostanie zużyty na jakiś użyteczny cel, musi być odwożony i składany; przez to w hutach, zwłaszcza dawno istniejących, powstają prawdziwe wzgórzka żużlowe w bezpośrednim sąsiedztwie huty.

Jednym ze sposobów usuwania żużla jest spuszczenie go z pieca rynną do form żelaznych u góry węższych niż u dołu, z obu stron otwartych i ustawionych na żelaznym wózku. W takich formach żużel tężeje i w postaci brył bywa po zdjęciu formy zrzucany z wózka.

Ponieważ tężenie żużla w formie trwa dość długo, spuszcza ją go także do kadzi, i w stanie płynnym wylewają w miejscu do tego przeznaczonym.

Inny i dziś częściej stosowany sposób usunięcia żużla jest przez t. z. *granulowanie* to jest przemianę wypływającego z pieca żużla na materiał ziarnisty, o wiele łatwiejszy do przewozu. Granulowanie odbywa się albo zapomocą zimnej wody, do której żużel wpada i nagle tężejąc rozpada się na ziarna, albo zapomocą prądu pary lub powietrza, które roz-



pylają strumienie ściekającego żużła. Pierwszy sposób jest tańszy, ale otrzymany piasek zawiera wiele wody, drugi droższy ale daje żużel suchy, o objętości dwa razy mniejszej, dogodniejszy do przewozu; przy wyrobie zapraw budowlanych jest on korzystniejszy bo nie wymaga suszenia.

Aby zaoszczędzić kosztów przewozu i pomieszczenia dla żużła, a zarazem mieć pewną korzyść z tego produktu, starano się oddawna w różny sposób go zużytkować; dzieje się to rozmaicie.

Żużel w bryłach bywa używany:

1. Do budowy dróg, nasypów kolejowych, na szuter drogowy, do betonu i t. d., w bryłach lub potłuczony maszynowo. Żużel do tego celu użyty nie powinien być kruchy, nagle stężejący, o strukturze szkła, ale odporny, z bloków powoli studzonych, o strukturze bazaltowej.

2. Do wyrobu kamieni brukowych, odlewany w formach w stanie już tężejącym i następnie bardzo powoli studzony dla odebrania mu kruchości.

O wiele większe zastosowanie ma żużel granulowany do wyrobu materiałów budowlanych, a zwłaszcza zapraw hydraulicznych:

1. Jako piasek do budowy i t. p. celów.

2. Jako cegły formowane z żużła z dodatkiem gazowego wapna; cegły takie tężeją w ciągu kilku tygodni i stanowią, na równi z cegłą wyrobioną z gliny, bardzo dobry materiał do budowy.

3. Jako różnego rodzaju cementy, do których żużel musi być w czasie granulowania nagle studzony, aby miał strukturę szkła, taki bowiem ma daleko lepsze własności wiążące niż wolno studzony.

Żużel do wyrobu cementu używany musi zawierać wiele wapna obok krzemionki, a także glinę.

Rozróżnia się:

a) Cement żużlowy (n. Schlacken cement) wyrobiony z miarko zmielonego żużła z dodatkiem proszkowego wapna palonego, doskonale ze sobą zmieszanych; ma dobre własności wiążące, nie daje się jednak długo przechowywać z powodu, że wapno łącząc się z bezwodnikiem węglowym zawartym w powietrzu, traci swoje wiążące własności.

b) Cement żelazo-portlandzki (n. Eisenportlandzement) zawiera około 30% żużła mielonego, a 70% zwykłego cementu portlandzkiego; jest mu zupełnie równy co do własności.

c) Cement wielkopiecowy (n. Hochofenzement) ma skład odwrotny niż poprzedni, gdyż składa się przeważnie z żużła mielonego, z dodatkiem cementu portlandzkiego (15 do 30%) i przy dobrym składzie żużła oraz starannem przyrządzeniu jest bardzo dobrą zaprawą hydrauliczną.

Są huty, które z powodu swego położenia w pewnej okolicy i korzystnego składu chemicznego żużła zużywają go w całości, nie gromadząc bezużytecznie; takie wypadki są jednak rzadkie i prawie zawsze pewna, często znaczna część wytworzonego żużła pozostaje nieużyta i stanowi bezużyteczny a kosztowny balast dla huty.

Ciepło zawarte w żużlu starano się wyzyskać wytwarzając jego kosztem parę o niskiem ciśnieniu do popędu turbin parowych; dotychczas sposób ten nie znalazł praktycznego zastosowania.

**Gazy z wielkiego pieca** uchodzące u wylotu i tam chwypane, zawierają palne składniki, które pozwalają korzystnie ich używać do celów ogrzewania i popędu motorów. Skład gazów zmieniający się w znacznych granicach, zależnie od materiałów użytych przy wytapianiu rudy i przebiegu procesu, jest objętościowo następujący: 25 do 30% tlenku węgla, około 10% bezwodnika węglowego, około 50% azotu, małe ilości wodoru, metanu i około 10% pary wodnej. Wartość kaloryczna 1 m<sup>3</sup> gazu wynosi 600 do 960 kaloryi. Ilość tych gazów jest olbrzymia, około 1'4 razy większa od ilości powietrza włączanego do pieca. Gazy te są więc niezmiernie cennym i obfitym materiałem opalowym, który oddawna bywa używany, przedewszystkiem do ogrzewania powietrza włączanego do wielkiego pieca, a w nowszych czasach także do pieców koksowych, pieców hutniczych, w odlewniach i t. p., obok zaś tego do celów motorycznych; dawniej gazy spalano pod kotłami parowymi dla popędu maszyn parowych, dziś prawie wyłącznie zużywa się je w wielkich motorach gazowych z powodu ich o wiele większej dzielności termicznej, gdyż dla uzyskania energii 1 konia mech. na godzinę, spala



się pod kotłami 10 do 12 m<sup>3</sup> gazów, gdy motor gazowy potrzebuje ich tylko około 3 m<sup>3</sup>. Motory gazowe poruszane gazem z wielkiego pieca służą do popędu miechów włączających powietrze do pieca, pozatem sprzęgnięte z maszynami elektrycznymi wytwarzają prąd do poruszania maszyn hutniczych, urządzeń wyciągowych i przewozowych, oświetlenia, i często huty poza potrzebami własnymi, sprzedają jeszcze swój prąd miastom i zakładom przemysłowym.

Jaką ilość energii wydaje w ten sposób wielki piec, daje wyobrażenie produkcyja gazu pieca wytwarzającego na dobę 300 ton surowca; gaz ten poza potrzebami pieca (do ogrzewania powietrza i popędu miechów) zużyty w elektrowni pędzonej motorami gazowymi, dostarcza 7000 do 8000 K. m. na inne cele.

Gazów z wielkiego pieca nie można stosować bezpośrednio ani do ogrzewania ani do popędu motorów, gdyż są zanieczyszczone pyłem, którego ilość w 1 m<sup>3</sup> gazu wynosi 5 do 20 gr. a nawet więcej, zależnie od warunków produkcyi. Pył ten składa się przeważnie z cząstek rudy i węgla, zawiera też często ołów, cynk i inne domieszki.

**Czyszczenie gazów.** Gdyby nieoczyszczony z pyłu gaz spalano pod kotłami lub w ogrzewaczach powietrza, to w krótkim czasie przewody ogniowe pokryłyby się warstwą pyłu, który jako zły przewodnik ciepła obniża dzielność ogrzewaczy i powoduje potrzebę częstego ich czyszczenia. W motorach gazowych pył zatyka przewody, osiada na wentylach i przez to wywołuje zaburzenia nie pozwalające na prawidłowy ruch zakładu. Gazy należy więc przed użyciem oczyścić z pyłu; do celów opalania (kotły i ogrzewanie) zawartość pyłu w gazach może wynosić 0·1 do 0·5 gr., do popędu motorów 0·01 do 0·02 gr. w 1 m<sup>3</sup> gazu.

Obok pyłu musi być usunięta z gazów para wodna, pochłaniająca ciepło przy spalaniu. To uskutecznia się przez oziębienie gazów do tego stopnia by się para skropliła.

Czyszczenie gazów odbywa się w dwu okresach: 1. Czyszczenie wstępne, pozwalające używać gazów do celów opalowych i 2. Czyszczenie ostateczne, dla gazów motorowych.

1. Czyszczenie wstępne składa się z dwóch procesów: a) czyszczenia suchego b) chłodzenia gazów.

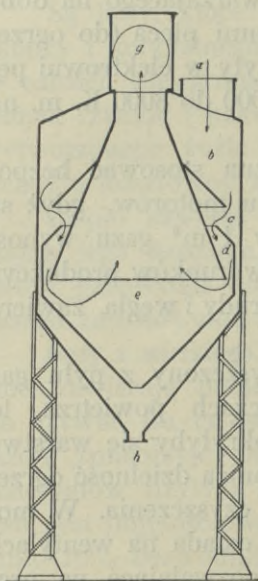
Czyszczenie suche polega głównie na tem, że gazy przeprowadza się przez przewody, których przekrój się zmienia i gazy przechodząc z węższego przewodu nagle w szerszy, zmieniają swą szybkość, przez co części stałe opadają. Ustawia się też przegrody w przewodach, aby gazy uderzając o nie osadzały pył. Przewody te mają zwykle kształt wielkich pionowych walców o kilku metrach średnicy, kilkunastu wysokości, z odpowiednio umieszczonymi przegrodami i zakończone są stożkami z otworami zamykanymi u dołu, którymi

zebrany pył w pewnych odstępach czasu wysypuje się do podstawionych wozów. Na ryc. 83. widzimy szkic takiego oddzielnika zastosowanego w pewnej hucie angielskiej\*). Gazy wchodzące bocznym otworem *a* przechodzą (w kierunku strzałek) obok stożkowatych przegród zmiennymi przekrojami przestrzenie *b c* i *d*, i wchodzą wreszcie do obszernej komory *e*, stąd wznosząc się w górę uchodzą otworem *g* do przewodu, prowadzącego zazwyczaj do drugiego podobnego oddzielnika, skąd wreszcie dostają się do chłodnicy.

Oddzielony pył zbiera się w lejkowatych dnach i wysypuje przez otwór *h* umieszczony na dole. Ponieważ gazy są jeszcze gorące, trzeba dla skroplenia zawartej w nich pary ochłodzić je na 30 do 40°, co się uskutecznia w chłodnicach,

zwanych także płuczkami, z powodu że przez działanie wody doznaje gaz dalszego oczyszczenia (wyplukania z pyłu).

Chłodnicę stanowi wielkie naczynie walcowe, przez które od dołu ku górze krążą gazy, z góry zaś spada woda drobnymi a gęstymi kroplami; aby zetknięcie gazu z wodą było dokładniejsze, przegradza się płuczkę kilkakrotnie gęsto ułożonymi drewnianymi listwami, na których woda się rozpryskuje na



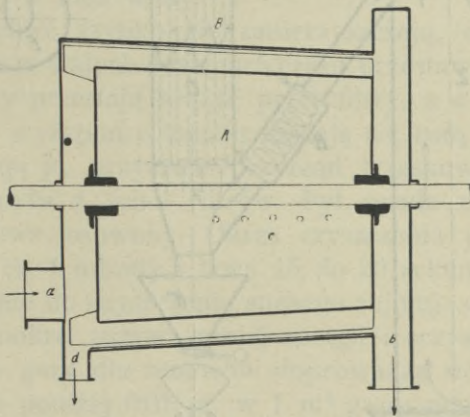
Ryc. 83.

\*) St. u. E. 1909, str. 320.

coraz drobniejsze i liczniejsze krople, i gazy spotykając się z ich moką powierzchnią szybciej się studzą.

2. *Czyszczenie ostateczne* odbywało się do niedawna wyłącznie na mokro, ponieważ pozostały w gazach pył dawał się usuwać dopiero po dokładnem zmoczeniu. By to zmoczenie pewnie i szybko wykonać, wprawia się gazy w szybki ruch obrotowy, wtryskuje w nie wodę, a cząstki pyłu zawartego w gazach w ten sposób zwilżone uderzając pod działaniem siły odśrodkowej o osłonę przyrządu, osiadają na niej i wypływają z wodą.

Najwięcej bywają używane do tej czynności wentylatory, do których ze strony ssącej tryska woda i porwana,



Ryc. 84.

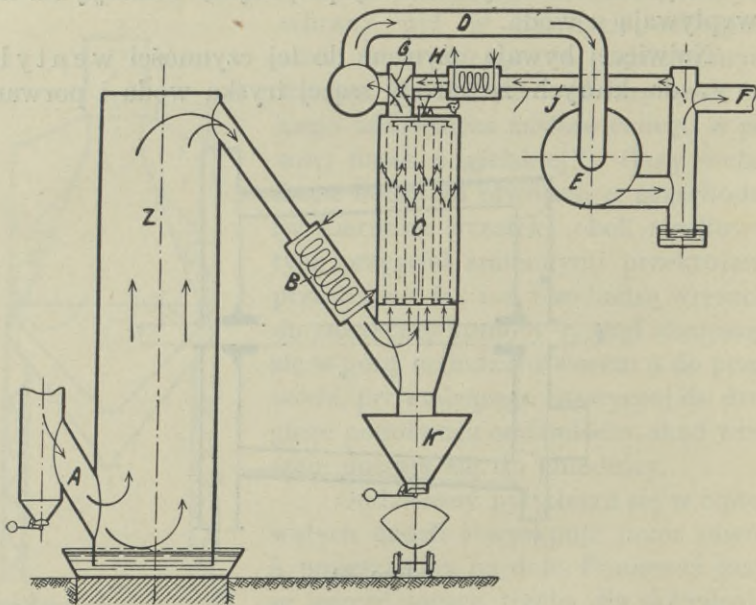
rozbita w mgłę, miesza się z gazami; do dokładnego oczyszczenia stosuje się dwa takie wentylatory po sobie. Bardzo używana jest także *pluczka* obrotowa *Theisena* ryc. 84.

Jest to zamknięty blaszany, lekko stożkowaty bęben *A*, na zewnątrz otoczony śrubowymi skrętami blachy i obracający się (300 do 500 obr. na min.) w stożkowatym pudle *B*. Gaz od szerszej strony dostaje się otworem *a* do pudła, pochwycony skrzydłami bębna posuwa się ku stronie węższej w linii śrubowej do wylotu *b*, stykając się po drodze z mokremi wewnętrznymi ścianami pudła, po których cieknie woda, wstrzykiwana przez ściany dyszami *c*; ściany są wyłożone drucianą siatką dla zwiększenia zwilżonej powierzchni

Gaz przeciskając się wązkimi kanałami bardzo obficie styka się z wodą i zostawia pył na osłonie, skąd zabiera go woda ściekająca ku szerszej stronie pudła i wylewająca się ujściem *d*.

Gazy oczyszczone należy jeszcze osuszyć przeprowadzając je przez filtry z trocin, wiórek z drzewa, koksu i t. p.

Jakkolwiek gazy w ten sposób doznają dostatecznego oczyszczenia, to jednak czyszczenie na mokro jest kosztowne



Ryc. 85.

z powodu wielkiego zużycia wody, którą następnie trzeba oczyszczać z pyłu w wielkich zbiornikach; koszty te zwiększają się jeszcze przez następne osuszanie gazów, wreszcie popęd maszyn zużywa wiele pracy wytwarzanej przez motory (do 20%) pędzone oczyszczonymi gazami.

To było powodem wynalezienia innego sposobu czyszczenia gazów na drodze suchej\*), zapomocą następującego urządzenia (ryc. 85):

\*) St. u. E. 1911, str. 229.

Gaz tylko na sucho oczyszczony, wchodzi przewodem A do obszernego zbiornika Z, w którym się ochładza do temperatury, przy jakiej zawarta w nim para zaczyna się skraplać (50 do 60°) następnie przez przegrzewacz B, podnoszący jego temperaturę o 10 do 12°, wchodzi do komory filtrowej C, w której przeciska się przez filtry rurowe, wykonane ze specjalnej tkaniny i pozostawia w nich swe zanieczyszczenia; następnie ssany wentylatorem E przechodzi przez niego przewodem D i dostaje się do przewodu F odprowadzającego go na miejsce zużycia. Ochładzanie a po nim lekkie przegrzewanie gazu ma na celu obniżenie jego temperatury do możliwego stopnia, aby zaszanować filtry, a zapobiedz skraplaniu się w nich wody.

Filtry, które szybko się zanieczyszczają, oczyszcza się automatycznie w stałych odstępach czasu, przestawiając klapę G, przez co gazy przestają krążyć przez filtry, a z przewodu F czyste gazy o wyższym ciśnieniu dostają się rurą J do filtrów i przedmuchują je, przyczem przyrząd trząskowy H ułatwia odpadnięcie pyłu z ścian filtrów. Pył opada do komory K i stamtąd bywa usuwany. Okres czyszczenia powtarza się samoczynnie co 4 minuty i trwa 15 do 20 sekund.

Urządzenie do czyszczenia suchego zajmuje o wiele mniej miejsca niż mokre, zużywa mniej energii i oczyszcza o wiele lepiej, tak że gazy dla motorów doprowadza się z łatwością do zawartości poniżej 0·01 gr. w 1 m<sup>3</sup> gazu; mają być nawet osiągnane zawartości tylko 0·002 gr. Koszta roczne czyszczenia suchego w porównaniu z mokrem, na podstawie doświadczeń równocześnie przeprowadzonych, mają być o wiele niższe.

Pył oddzielony na sucho, o ile zawiera dosyć połączeń żelaza, bywa, jak już mówiliśmy, wraz z rudą przerabiany w wielkim piecu, najczęściej w formie wyrabianych z niego cegieł (brykietów). Czasami pył zawiera związki cynku lub ołowiu i wtedy sprzedaje się go odnośnym hutom.

**Inne produkty pieca.** Oprócz trzech wymienionych głównych produktów, które się zawsze wytwarzają, daje wielki piec jeszcze niekiedy następujące materiały:

1. *Osad w gardzieli*, przywierający do ścian pieca w pewnej głębokości od wylotu; składa się on przeważnie z tlenku cynku. W rudach zawierających cynk (np. na pruskim Śląsku)

osad ten jest bardzo znaczny i musi być w stałych odstępach czasu odbijany, gdyż zwięża otwór pieca. Piece niektóre dają rocznie kilkadziesiąt ton osadu, który sprzedaje się do hut cynkowych.

2. Jeżeli rudy zawierają *związki ołowiu*, wtedy ołów w nich zawarty przedstawia znaczną wartość. Rudy ołowiowe ulegają w procesie wielkopieczowym redukcji i ołów płynny zbiera się na dnie pieca, a ponieważ jest cięższy od żelaza i zupełnie z niem się nie miesza, łatwo daje się oddzielić. Z powodu bardzo wielkiej płynności ołowiu w wysokiej temperaturze pieca, wciska się on pomiędzy kamienie i wsiąka w niższe warstwy muru; przy przeróbce rud zawierających znaczny procent metalu buduje się w tym celu pod dnem umyślne kanały odprowadzające płynny ołów. Ilość uzyskanego w ten sposób ołowiu dochodzi nieraz do 50 ton rocznie z pieca. Ołów często zawiera srebro, które przy pewnej zawartości oplaca się z niego wydobywać.

## 2. WYRÓB ŻELAZA KIJNEGO.

---

Żelazo kujne węgliste zawiera, jak to wiemy z rozdziału pierwszego, małe ale ze względu na swe właściwości fizyczne ściśle określone ilości węgla, obok niego zaś pewne, zależne od rodzaju, a w każdym razie małe dodatki krzemu i manganu, oraz minimalne, nieprzekraczalne, ale nie dające się usunąć w całości, szkodliwe przymieszki fosforu i siarki. Obok tego żelazo powinno być wolne od gazów i tlenków, pochodzących czy to z surowca użytego do wyrobu, czy z procesu wytwarzania. Przy wyrobie żelaza kujnego — jakąkolwiek metodą, zmierzać muszą procesy hutnicze do otrzymania żelaza o takim stopniu czystości, jak tego wymagają powyższe ogólnie określone warunki jego składu chemicznego i ta metoda jest doskonalsza, która temu lepiej odpowiada.

Ponieważ jednak cena gotowego wyrobu ma niezmiernie wielkie znaczenie, a na nią wywiera wpływ długość trwania procesu, urządzenia potrzebne do niego, zużyte materiały pomocnicze i koszty koniecznej do tego pracy ludzkiej, zadawała się przemysł w pewnych wypadkach żelazem o mniej korzystnej zawartości składników, ale zato tańszem, w innych stawiając wyższe wymagania co do jego czystości, ponosi równocześnie wyższe koszty wyrobu, a wreszcie przy bardzo daleko posuniętych wymaganiach, płaci nawet bardzo wysokie ceny, gdy zamiast żelaza węglistego, stosuje stopy żelaza z innymi, droższymi metalami.

Z tych powodów rozróżnić musimy przy wyrobie żelaza kujnego: 1) sposoby wyrobu służące do potrzeb masowych, metodami wytwarzającymi materiał tańszy, o skła-

dzie chemicznym zmiennym w pewnych, dość obszernych granicach i wykazujący większe stosunkowo zawartości niepożądanych przymieszek, oraz 2) sposoby wytwarzania żelaza o znacznie ściślej określonych zawartościach, jakiego się używa do wyborowych wyrobów, często z dodatkiem innych metali.

Ten pierwszy rodzaj żelaza nazywamy żelazem zwykłym, *surowem*, drugi żelazem ulepszonym, *rafinowanem*. Opiszemy najpierw sposoby wyrabiania żelaza zwykłego, a następnie żelaza rafinowanego, do czego używa się często surowego żelaza miękkiego.

Wyrób żelaza wprost z rud zdawałby się najprostszym sposobem otrzymania żelaza kujnego. Przez redukcję rudy zapomocą węgla z uniknięciem silniejszego nawęglenia, można istotnie żelazo kujne wyrobić, i przed powstaniem wielkich pieców wyłącznie tylko tą drogą je otrzymywano. Z rozpowszechnieniem się wyrobu surowca w wielkich piecach produkcya żelaza kujnego wprost z rudy poczęła znikać, bo drogą pośrednią, t. j. nie z rud wprost, ale ze surowca szarego, można otrzymywać żelazo w znacznie większej ilości, taniej i o żądanej zawartości składników, mogąc je w czasie wyrabiania oczyścić z niepożądanych domieszek; aby otrzymać dobre żelazo można używać rud gorszych, co przy metodzie bezpośredniej było wykluczone. Dziś poza krajami stojącymi na najniższym stopniu przemysłu i handlu, wyrabia się żelazo kujne tylko z surowca i jego przetworów. Metody nowsze zmierzające do bezpośredniego wyrobu żelaza z rudy, nie znalazły dotąd praktycznego zastosowania. Nie można jednak nie wspomnieć, że przy pewnych procesach nowoczesnego wyrobu żelaza kujnego, np. w metodzie pudlarskiej, metodzie Martina, Thalбота, używa się dodatku czystych rud jako środka utleniającego niepotrzebne domieszki w żelazie, a zarazem redukującego się na żelazo, o czem będzie mowa w odpowiednim miejscu.

Wyrób żelaza ze surowca odbywa się w ten sposób, że zapomocą ciał oksydujących np. powietrza lub związków bogatych w tlen, utleniaemy zawarte w surowcu składniki, tak by pozostało czyste żelazo z domieszkami w ilości nie przekraczającej określonych granic. Utlenianie to zwane *świeżeniem*

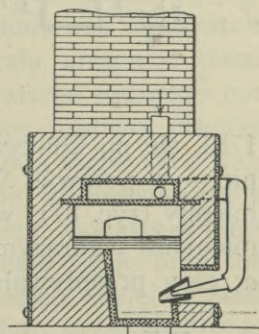


(n. Frischen) odbywa się zazwyczaj po poprzednim stopieniu surowca, przyczem gotowe żelazo otrzymuje się w stanie stałym jako żelazo zgrzewane z ziarn powstałych z wyświeżonego surowca (żelazo zgrzewane, wyrabiane metodą ogniskową i pudlarską), lub w stanie płynnym (żelazo zlewne wyrabiane metodą naczynioną, oraz metodą Siemens-Martina); w jednym tylko wypadku materiał świeżony znajduje się w stanie stałym (wyrób kujej leizny).

Do wyrobu żelaza o wyższej zawartości węgla stosuje się w pewnych razach nawęglanie w stanie stałym (cementowanie) żelaza miękkiego, poprzednio wytworzonego z surowca.

W opisywaniu metod wyrabiania żelaza postępować będziemy chronologicznie, zaczynając od dawniejszych sposobów, gdzie żelazo wytworzone przechodzi przed ukończeniem świeżenia w stan stały.

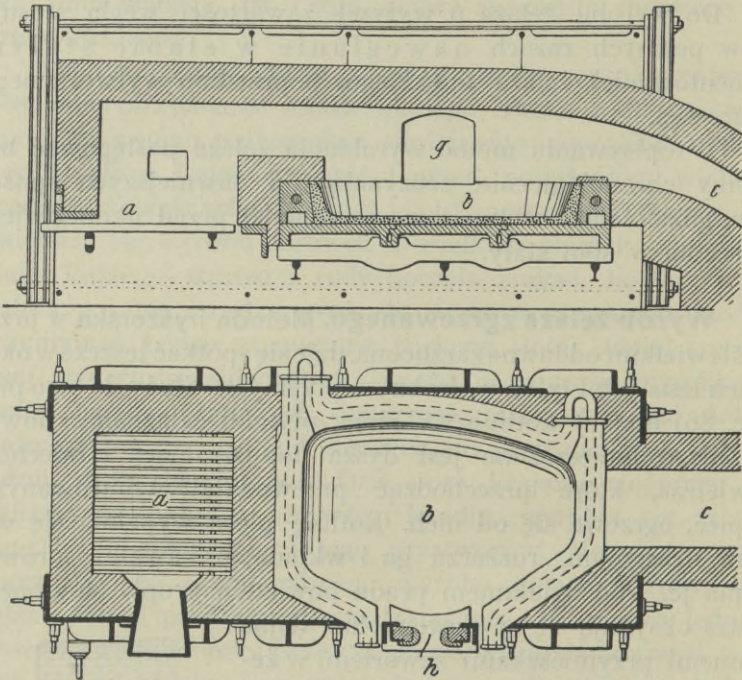
**Wyrób żelaza zgrzewanego.** Metoda fryszerska w przemyśle wielkim oddawna zarzucona, dajesię spotkać jeszcze w okolicach lesistych i tylko w drobnym przemyśle. Służy do tego piec (ryc. 86) mający kotłinę wyłożoną płytami żelaznemi; powyżej niego umieszczona jest dysza dopuszczająca z miechów powietrze, które przechodząc przewodami wmurowanymi w piec, ogrzewa się od nich. Kotłinę pieca wypełnia się węglem drzewnym, rozżarza go i wkładając kawałki surowca stapia je. Pod działaniem prądu powietrza krople stopionego żelaza oksydują się na powierzchni, dając z innymi przymieszkami zawartymi w żelazie i umyślnie dodanym żużlem, płynny gorący żużel, który działa utleniająco na składniki zawarte w żelazie (krzem, mangan, węgiel), tak że pozostaje żelazo czystsze i o mniejszej zawartości węgla, t. j. żelazo kujej; ziarna żelaza wyświeżonego zbierają się na dnie pieca i zbijają w bryły, które się po wyjęciu przekuwa w sztaby. Zależnie od warunków roboty może wytworzone żelazo być już gotowym wyro-



Ryc. 86.

bem, lub też przerabia się je dla dalszego wyświeżenia i ulepszenia w ten sam sposób drugi, a nawet trzeci raz. Jeżeli użyty surowiec nie zawierał wiele fosforu, to gotowy wyrób jest bardzo dobrym materiałem. Ilość żelaza otrzymanego w ognisku jest bardzo mała, jeden piec daje tygodniowo 7 do 12 ton, zużywając na tonę gotowego wyrobu 0'8—1'6 ton węgla drzewnego; strata żelaza, które pozostało w żużlu wynosi 10 do 14%.

Metoda pudlarska \*) wynaleziona przez Corta w roku



Ryc. 87.

1784, ale po koniecznych ulepszeniach rozpowszechniona dopiero w połowie XIX wieku, stosuje do wyrobu piec płomienny (ryc. 87), w którym żelazo świeżone styka się z płomieniami i gorącymi gazami, wytworzonymi na palenisku *a*; gazy przepływają nad topniskiem *b*, gdzie się surowiec

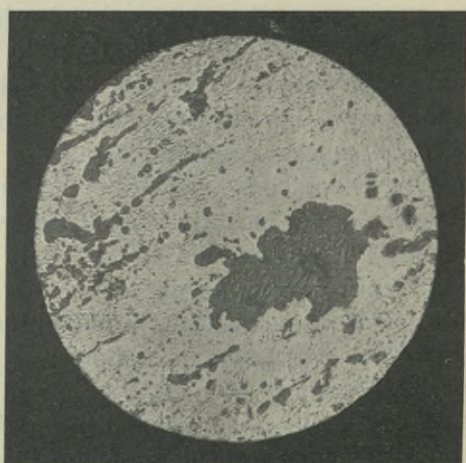
\*) Nazwa pochodzi od ang. wyrazu *puddle*: mieszać, przerabiać.

topi, a następnie uchodzą do komina przewodem *c*, czasem ogrzewając jeszcze swem ciepłem kocioł parowy lub suszarnię form odlewnianych. Piec jest przykryty niskim i stosownie wygiętem sklepieniem, aby płomienie i gazy krążyły bardzo blisko stopionego materyału. Topnisko *b* zbudowane jest z żelaza i wyłożone trudno topliwym żużlem, zawierającym wiele żelaza utlenionego; dla ochrony od niszczącego wpływu wysokiej temperatury chłodzone jest od dołu powietrzem, a dookoła wodą krążącą w otaczającej je ramie. Przez drzwi *g* wkłada się do pieca materyały potrzebne do procesu, t. j. surowiec i żużel. Surowiec użyty do świeżenia powinien zawierać dużo manganu, który tworzy rzadko-płynny żużel ułatwiający robotę, a mało krzemu, przedłużającego długość procesu; zawartość siarki i fosforu powinna być również mała. Oprócz surowca (wkładanego zwykle w stanie stałym, często rozgrzanym) znajduje się w piecu znaczna ilość pozostałego z poprzedniego świeżenia żużla, zawierającego wiele utlenionego żelaza; dodaje się też tlenku żelaza w postaci żużla z pieców kuźniczych, zendry z walcowni i t. p., a nawet czystej rudy żelaznej. Zawarte w naboju tlenki tworzą żużel, utleniający w zetknięciu z roztopionym surowcem zawarte w nim domieszki (mangan, krzem, węgiel), które częściowo przechodzą w żużel (krzem i mangan), częściowo w gazy (węgiel). Stopiony surowiec przerabia się w piecu żelaznemi mieszadłami (stąd nazwa procesu), aby żelazo w zetknięciu z utleniającym płomieniem spalając się, uzupełniało potrzebną do procesu zawartość tlenków żelaza w żużlu. Wskutek postępującego świeżenia, zawartość węgla w żelazie zmniejsza się, przez co podwyższa się jego punkt topliwości (p. wykres ryc. 1, str. 6.), a ponieważ temperatura pieca nie przekraczająca 1300° nie pozwala utrzymać żelaza w płynnym stanie, zaczynają się tworzyć ziarna stężałego metalu, których ilość zwiększa się w miarę postępu procesu. Robotnik zgarnia je i tworzy z nich bryłki, które zgrzewają się ze sobą w większe kawałki i wreszcie uformowawszy je w ognisku w okrągłe bryły wyjmuje z pieca. Zawarty w piecu żużel zachowuje ciągle stan płynny, wskutek czego przy formowaniu brył wiele go wycieka; bryły jednak wyjęte z pieca zawierają go jeszcze bardzo wiele i dopiero przez przeróbkę pod młotami, lub prasą, a potem między walcami, wyciska

się go w przeważnej ilości. Utworzone w ten sposób szyny surowego żelaza pudlarskiego przerabia się przez zgrzewanie ze sobą i walcowanie na żelazo zdatne do użytku.

Piece pudlarskie bywają wykonywane w większych rozmiarach jako piece podwójne, a zamiast opalania węglem spalonym na zwykłym palenisku rusztowym (jak na ryc. 87) stosuje się także opalanie gazowe, podobne jak w piecach Martina, z tą różnicą, że temperatura pieca nie przekracza wysokości przy jakiej tężeje wyświeżone żelazo.

Z przebiegu procesu wynika, że żelazo pudlarskie utwo-



Ryc. 88.

zione przez zgrzewanie ze sobą ziarn żelaza otoczonych żużłem, zawierać musi mimo energicznego wyciskania resztki żużła, które przy walcowaniu wydłużają się, pozostając między włóknami żelaza powstałymi z ziarn przez wydłużenie pod walcami.

Ryc. 88. przedstawia żelazo pudlarskie z charakteryzującą je zawartością żużła w postaci nieregularnie wydłużonych cząstek. Po wielkiej ilości i kształcie zawartego żużła, który w innych rodzajach żelaza znajduje się w innej postaci, a w ilości o wiele mniejszej, można z łatwością odróżnić żelazo pudlarskie od zlewne-

Zużycie paliwa wynosi na tonę surowego żelaza pudlarskiego 750—1600 kg. węgla, strata żelaza 6—15%, średnio 10%.

Ponieważ metodą pudlarską wyrobić można bardzo małe tylko ilości żelaza (w pojedynczym piecu 3—5 ton, w podwójnym do 10 ton na dobę), a robota jest bardzo uciążliwa wskutek konieczności mieszania i przerabiania żelaza w piecu, straciła metoda ta znaczenie przez wynalezienie różnych sposobów wyrobu stali zlewniej, produkujących bez porównania większe ilości żelaza; dziś wyrób żelaza pudlarskiego stanowi zaledwie mały ułamek światowej produkcji żelaza \*).

Żelazo pudlarskie wyrabiane dziś w gatunkach bardzo miękkich ma jeszcze zastosowanie w drobnym przemyśle, gdzie ze względu na jego łatwiejszą zgrzewalność (wskutek zawartości żużla) chętniej go używają, zresztą stosowane bywa jeszcze do wyrobu nitów, śrub, podków, drutu i t. p. Nie może ulegać wątpliwości, że metoda pudlarska w niedługim czasie zupełnie zaniknie.

**Wyrób żelaza zlewne.** Żelazo zlewne wyrabia się dziś dwoma sposobami, albo metodą *naczyniową*, w naczyniach obrotowych zwanych od swego kształtu gruszkami a także konwertami, gdzie zapomocą prądu powietrza przeciskanego przez płynny surowiec spala się zawarte w nim domieszki, wytwarzając równocześnie ich kosztem ciepło potrzebne do utrzymania wyświeżonego żelaza w stanie płynnym, albo w *piecach płomiennych* na podobieństwo metody pudlarskiej, z tą jednak różnicą, że wskutek silnego ogrzania bardzo gorącymi gazami wyświeżone żelazo pozostaje w stanie płynnym. Ten sposób mający różne odmiany, obejmujemy ogólną nazwą metody *Siemens-Martina*.

Surowiec do świeżenia przeznaczony dowozi się w stanie płynnym, albo wprost z wielkiego pieca, do pieca w którym odbywa się świeżenie, albo, co jest lepiej ze względu na zawartość siarki i jednolitość materiału, do mieszalnika (str. 168) a stamtąd w miarę potrzeby wylewa w kadzie, które go dowożą do stalowni.

---

\*) W Niemczech w r. 1910 produkcja żelaza zgrzewanego wynosiła 4·6% ogólnej produkcji żelaza kujnego, w Austrii w r. 1900 jeszcze 21·3%, w r. 1911 już tylko 3·7%.

Żelazo stężale (np. z dni świątecznych, kiedy wielki piec stale pracujący, dostarcza żelaza bez przerwy, a stalownie spoczywają) stapia się w osobnych piecach kupolowych wielkich rozmiarów. Piece te, w zastosowaniu do celów odlewniczych opisane będą w części wykładów poświęconej odlewnictwu, tu więc o nich mówić nie będziemy.

Metoda naczyniowa wynaleziona w r. 1856 przez Henryka Bessemera polega na usunięciu przymieszek zawartych w żelazie przez spalanie (utlenienie) ich zapomocą prądu powietrza. Równocześnie z nimi spala się żelazo, tworząc tlenek, który działa utleniająco na przymieszki, podobnie jak to widzieliśmy przy metodzie pudlarskiej\*). Ponieważ jednak wskutek zawartości azotu w powietrzu, który nie zmieniając się przechodzi nawskróś płynną masę, odbywa się nadzwyczaj szybkie i dokładne mieszanie świeżonego materiału, przebiegają reakcje chemiczne bardzo szybko, zwłaszcza, że temperatura wciąż się podnosi wskutek raptownego utleniania się (spalania) przymieszek.

Do ciał ulegających spalaniu w ciągu procesu należą krzem, mangan, węgiel, fosfor, żelazo. Spalenie 1% zawartych w żelazie składników podnosi w następujący sposób jego temperaturę: krzem o 287°, fosfor o 185°, mangan o 61°, żelazo o 44°, węgiel o 9° (z powodu spalania się tylko na tlenek węgla, który uchodzi razem z zawartem w niem ciepłem i dopiero poza piecem spala się na dwutlenek węgla).

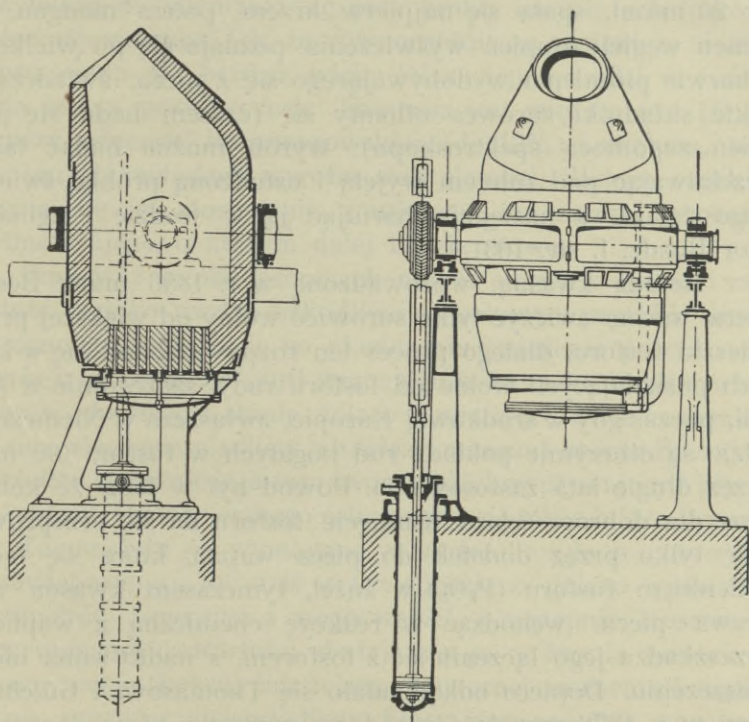
Najkorzystniej więc przedstawia się spalanie krzemu i fosforu, i na tych przymieszkach opierają się używane dziś metody: 1) Bessemera, zwana *kwaśną*, z powodu, że do wyłożenia pieca służy wyprawa o własnościach kwasowych i 2) Thomasa, zwana *zasadową*, ponieważ do wyłożenia używa się związków zasadowych. Pierwsza metoda posługuje się krzemem jako paliwem, druga fosforem.

Do obu procesów używa się pieca (ryc. 89, str. 187), w kształcie naczynia zwężonego u góry (kształt zbliżony do gruszki, stąd nazwa *gruszki Bessemera*), umieszczonego w silnym stalowym pierścieniu obrotowo na czopach, z których

---

\*) Dichmann »Ein Versuch zur Erklärung der Rolle der Schlacke in Hüttenprozessen. S. u. E. 1911, str. 749 i dalsze.

jeden daje się poruszać motorem hydraulicznym za pośrednictwem zazębnionego drążka i koła, drugi jest wewnątrz pusty i połączony na końcu z przewodem doprowadzającym z miechów cylindrycznych powietrze zimne pod ciśnieniem 1·4 do 2·5 atm. Czop ten z drugiej strony komunikuje się z rurą, którą powietrze dopływa do zbiornika znajdującego się u spodu pieca, z niego dostaje się przez liczne otwory w dnie pieca



Ryc. 89.

do jego wnętrza, wypełnionego płynnym surowcem i wywołuje proces świeżenia. Wymiary pieców bywają różne i mieszczą 15 do 25 ton płynnego żelaza w warstwie 50 do 65 cm. wysokiej. Piec jest wyłożony (wymurowany) ogniotrwale odpowiednim do rodzaju procesu materiałem.

*Metoda kwaśna* zwana dlatego *Bessemerowską*, gdyż ów wynalazca w tej postaci ją wprowadził, używa do świeżenia surowca zawierającego wiele krzemu (do 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), który

stanowi materiał opałowy, nieco manganu, a bardzo mało siarki i fosforu, gdyż pierwszej mało, a drugiego wcale nie można w tym procesie wydzielić. Ponieważ przez spalenie krzemu na dwutlenek krzemowy powstaje żużel o własnościach kwasowych, wyłożony jest piec materiałem zawierającym głównie krzemionkę (kwarcowe cegły), odpornym na działanie kwasów. W ciągu procesu trwającego 15 do 20 minut, spala się najpierw krzem, potem mangan, na końcu węgiel; stopień wyświeżenia poznaje się po wielkości i barwie płomienia wydobywającego się z pieca, świadczącej jakie składniki surowca utleniły się (czasem bada się płomień zapomocą spektroskopu); wyrób można badać także przekuwając pod młotem wyjętą i ostudzoną próbkę świeżonego żelaza, a następnie hartując ją w wodzie i zginając (por. Rozdz. I. str. 103).

Metodą kwaśną, wprowadzoną w r. 1856 przez Bessemera, można świeżyć tylko surowiec wolny od większej przymieszki fosforu, dlatego proces ten rozpowszechnił się w krajach posiadających wolne od fosforu rudy, szczególnie w Anglii, podczas gdy w środkowej Europie, zwłaszcza w Niemczech, gdzie są olbrzymie pokłady rud bogatych w fosfor, nie miał przez długie lata zastosowania. Powód był w tem, że konieczne dla dobroci żelaza usunięcie fosforu da się przeprowadzić tylko przez dodatek do pieca wapna, które się łączy z tlenkiem fosforu ( $P_2O_5$ ) w żużel, tymczasem kwaśna wyprawa pieca, wchodząc w reakcję chemiczną z wapnem, przeszkadza jego łączeniu się z fosforem, a nadto sama ulega zniszczeniu. Dopiero odkąd udało się Thomasowi i Gülchristowi w r. 1878 wynaleść zasadową wyprawę pieca naczyniowego, mogła się rozpowszechnić metoda druga.

*Metoda zasadowa* zwana także metodą Thomasowską, przerabia surowiec o wielkiej zawartości fosforu (1·7—2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), a małej krzemu (do 0·5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Fosfor służy tutaj jako materiał dający ciepło, spalając się na tlenek fosforowy ( $P_2O_5$ ), który następnie musi być przeprowadzony w żużel zapomocą wapna (dodanego w ilości 12—18<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Piec ma wyprawę z cegieł dolomitowych (tlenek wapniowo-magnezowy).

Przebieg procesu w metodzie Thomasa w zasadzie podobny do opisanego poprzednio, tem się różni od przebiegu



bessemerowskiego, że w tamtym zawarty w żelazie krzem spalając się najpierw, szybko podnosi temperaturę żelaza do tej wysokości przy jakiej się węgiel spala i jaką musi mieć wyświeżone żelazo, przy procesie Thomasa fosfor spala się w większej ilości dopiero po usunięciu węgla, więc temperatura żelaza wzrasta dopiero w drugim okresie procesu i przy końcu dochodzi do maximum (ok. 1600°); wskutek tego zdolność żelaza do utleniania się przy braku innych składników bardzo się wzmacnia, tak, że równocześnie ze spaleniem reszty fosforu spala się bardzo wiele żelaza i przechodzi w żużel. Strata żelaza przy procesie Thomasa jest większa (do 15%), niż przy procesie bessemerowskim (do 12%) i większa, niż przy innych metodach wyrobu stali zlewnej, dlatego obecnie zaczyna się jej stosowanie zmniejszać na korzyść procesu martinowskiego, o którym dalej będzie mowa.

Ponieważ w obu procesach utlenia się wiele żelaza i zawartość ta jako bardzo szkodliwa w gotowym wyrobie musi być usunięta, stosuje się po ukończeniu świeżenia proces odtlenienia (*desoksydacji*) wrzucając w kawałkach, albo wlewając w stopionym stanie, żelazo zawierające wiele manganu (np. surowiec zwierciadlisty lub żelazo-mangan), który odbierając żelazu tlen redukuje je, a sam tworzy żużel wypływający z płynnego żelaza. Do tego samego celu stosuje się także żelazo-krzem.

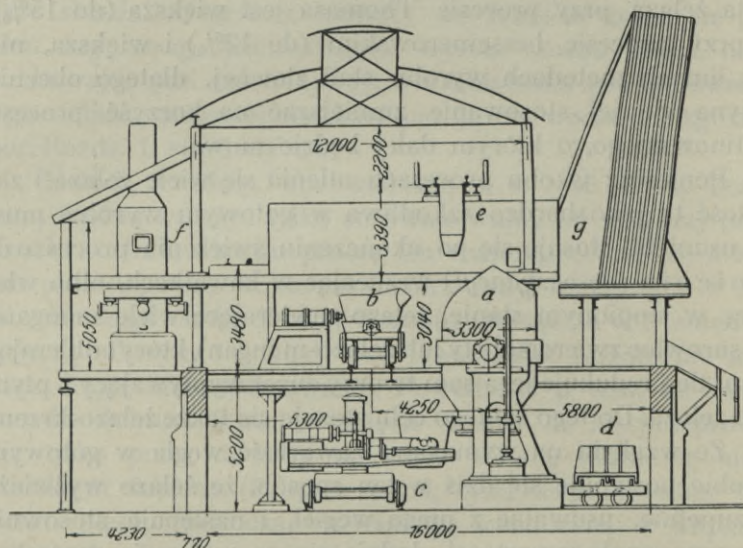
Ze względu na wymaganą zawartość węgla w gotowym wyrobie postępuje się dziś w ten sposób, że żelazo wyświeża się zupełnie, usuwając z niego węgiel, i następnie stosownie do wymaganej zawartości dodaje się go w formie sproszkowanego węgla (koks) lub żelaza o znacznej zawartości węgla jak np. surowiec zwierciadlisty, który równocześnie wprowadza potrzebny do desoksydacji mangan.

Przy procesie Thomasa otrzymuje się wskutek usunięcia fosforu zapomocą wapna żużel o wielkiej zawartości fosforu; żużel ten drobno zmielony ma pod nazwą *żużli Thomasa* lub *tomasyny* obszerne zastosowanie w rolnictwie jako bardzo cenny środek nawozowy.

Gotowe żelazo wyrobione metodą kwaśną nie jest pod względem własności mechanicznych równe wyrobowi metody zasadowej z tego powodu, że nieuniknione, choć małe zawartości fosforu w surowcu bessemerowskim, muszą pozostać

w gotowym wyrobie, wyświeżenie zaś innych składników nie może dojść tak daleko jak w metodzie zasadowej, gdzie z powodu bardzo wysokiej temperatury przy końcu procesu może się to odbyć w wyższym stopniu.

Ryc. 90 przedstawia szematyczne urządzenie stalowni Thomasa w pewnej hucie górnośląskiej\*). Litery oznaczają: *a* piec gruszkowy, *b* kadź, która dowozi płynny surowiec z mieszalnika, *c* kadź, w którą wlewa się wyświeżone żelazo i odwozi do hali, gdzie się je odlewa w bloki, *d* kadź do zlewania żużla przed desoksydacją, *e* rurę do wysypywania wapna



Ryc. 90.

do pieca, *f* piec kupolowy do topienia surowca, *g* komin, który chwyta płomień i iskry wydobywające się z pieca w czasie świeżenia.

Od niedawna zaczęto stosować proces naczyiniowy do wyrabiania stali na odlewy w takich zakładach, gdzie zapotrzebowanie tego materiału nie jest tak wielkie, by można było utrzymać w ciągłym ruchu piec martinowski, a rodzaj odlewni nie pozwalał na drogie odlewanie stali z tygli, wreszcie by można było przez stopień wyświeżenia zmieniać za-

\*) S. u. E. 1909, str. 935.

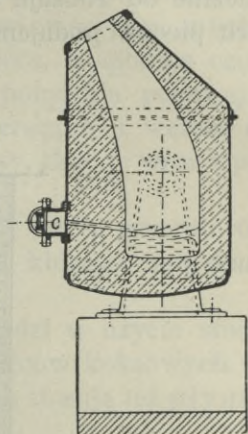
wartość węgla w stali i móżd wyrabiać różne rodzaje materiału odlewane.

Piece dla celów odlewania stali, gdzie żelazo o możliwie małej zawartości siarki i fosforu stopione w piecu kupolowym wyswieża się w piecu gruszkowym o kwaśnym wyłożeniu, mają małe rozmiary i wyrabiają 0·5—2 ton stali jednorazowo (t. z. małe gruszki).

Różnica ich budowy (ryc. 91) od wielkich pieców naczyniowych polega na tem, że powietrza nie wtłacza się przez dno lecz szeregiem dysz umieszczonych z boku, tak że prąd powietrza o znacznie mniejszem ciśnieniu (0·3 atm.) nie przeciska się przez całą wysokość warstwy płynnego żelaza, ale trafiając powierzchnię ukośnie, wywołuje ruch i mieszanie żelaza.

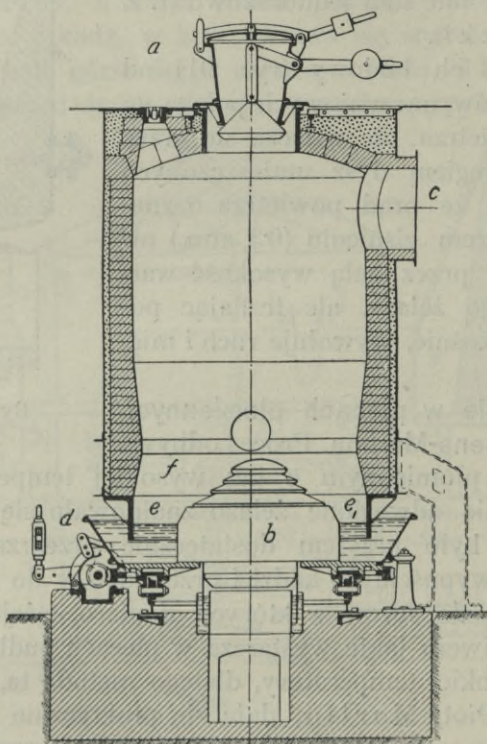
Świeżenie w piecach płomiennych metodą Siemens-Martina. Proces odbywa się w piecu płomiennym o tak wysokiej temperaturze, by nawet zupełnie odwęglone żelazo znajdowało się w stanie płynnym, było przytem dostatecznie przegrzane aby je można było wypuścić do kadzi i przewiozłszy do hali odlwanej wylać do form, w których dopiero tęższe. Opalanie zwykłym paliwem jakie wystarcza w piecach pudlarskich, nie daje tak wysokiej temperatury, dlatego metoda ta, której wynalazcą był Piotr Martin, dała się praktycznie wykonywać dopiero przez zastosowanie do niej sposobu ogrzewania Siemens'a, skąd pochodzi jej ogólna nazwa.

Ogrzewanie pieców odbywa się zwykle zapomocą gazów generatorowych, wytworzonych z węgla w piecach zwanych *generatorami*, gdzie powietrze przepływające przez wysoką warstwę paliwa spotykając węgiel w nadmiarze, spala go przeważnie na tlenek węgla, będący głównym palnym składnikiem gazu. Oprócz tego z palnych materiałów znajdują się w gazie węglowodory (metan), powstające jako produkty destylacji węgla w górnych warstwach paliwa, gdzie tlen powietrza już nie dochodzi, oraz wodór z rozkładu wody za-



Ryc. 91.

wartej w paliwie, powietrzu, a czasami w formie pary umyślnie mieszanej z powietrzem. Obok palnych składników znajdują się w gazie przymieszki niepalne jak azot i bezwodnik węglowy. Wartość opałowa 1 m<sup>3</sup> gazu wynosi 1000 do 1200 kal., zależnie od rodzaju paliwa i generatora. Z wielu systemów tych pieców podajemy bardzo rozpowszechniony obecnie ge-



Ryc. 92.

nerator Kerpely'ego ryc. 92. Piec ma kształt walca, wykonany jest z żelaza i wyłożony ogniotrwale, paliwo wrzuca się z góry przy pomocy przyrządu zasilającego *a* o podwójnym zamknięciu, powietrze wciska wentylator ze spodu do okrągłego rusztu *b* mającego kształt stożkowy, umieszczonego w środku pieca i nieco ekscentrycznie w nim ustawionego; wytworzone gazy odpływają u góry przewodem *c*. Dla samoczynnego usuwania twardego żużla i popiołu z pieca,

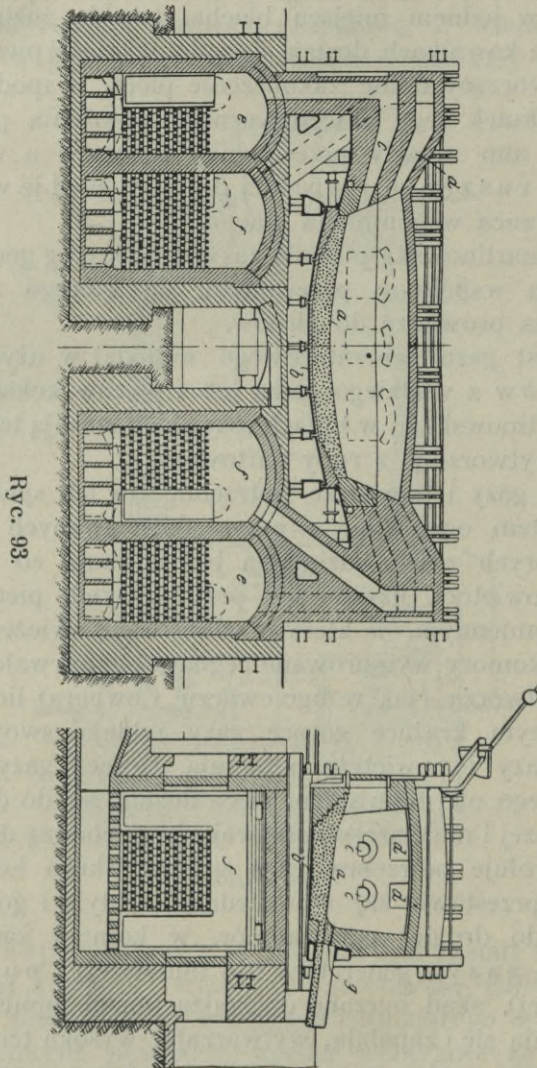
połączony jest ruszt z misą  $d$ , stanowiącą dolne zakończenie pieca i wraz z nią powoli się obraca; misa jest wypełniona wodą, by szczelnie piec zamykała. Popiół spadający do wody osiada na jej dnie, skąd go przy obrocie misy wydobywa wstawiona w jednym miejscu blacha; twarde żuźle o ile są w większych kawałkach, dostają się w dolnej części pieca między pierścieni tworzący dolne zakończenie pieca, a spodnią część rusztu i wskutek jego ekscentrycznego położenia posuwając się wraz z nim między przestrzenią szerszą  $e$  a węższą  $e_1$ , podlegają kruszeniu i wpadają do misy, skąd je wraz z popiołem wyrzuca wspomniana blacha.

Huta martinowska posiada zazwyczaj szereg generatorów połączonych wspólnym przewodem, od którego zamykane rozgałęzienia prowadzą do pieców.

Zamiast gazu generatorowego wchodzi w użycie stosowanie gazów z wielkiego pieca lub z pieców koksowych do pieców martinowskich; w hutach rosyjskich stosują też płynne paliwo wytworzone z ropy naftowej.

Palne gazy i powietrze potrzebne do ich spalania, bywają przedtem ogrzewane w przyrządach zwanych *regeneratorami*, których zasada działania jest ta sama co w ogrzewaczach powietrza, używanych przy wielkich piecach. Pod piecem płomiennym, w którym odbywa się świeżenie, znajdują się 4 komory wymurowane ceglami ogniotrwałymi w ten sposób, że tworzą (jak w ogrzewaczu Cowpera) liczne przewody, którym krążące gorące gazy oddają swoje ciepło, a zimne gazy i powietrze odbierają. Gorące gazy spalania wytworzonego nad topniskiem pieca dostają się do dwóch komór (większej i mniejszej), ogrzewają je i uchodzą do komina, który wywołuje potrzebny ruch gazów. Skoro komory się rozgrzeją, przestawia się odpowiednie wentyle i gorące gazy wpuszcza do drugiej pary komór, w komory zaś ogrzane wprowadza gazy z generatora (do mniejszej) i powietrze (do większej), skąd ogrzane dochodzą ponad topnisko pieca; tam mieszają się i zapalają, wytwarzając wysoką temperaturę, a po oddaniu części swego ciepła świeżonemu na topnisku żelazu, uchodzą bardzo jeszcze gorące do regeneratorów. W ten sposób osiąga się wysoką temperaturę jakiej wymaga wyrabianie żelaza i wyzyskuje dobrze ciepło utworzone z paliwa.

Piec Siemens-Martina przedstawia ryc. 93. Topnisko jest lekko wgłębione i pochylone w kierunku spustu; zależnie od rodzaju procesu jest ono przy metodzie kwaśnej



Ryc. 93.

ubite z masy kwarcowej, przy zasadowej z magnezytu (tlenek magnezowy) do tej wysokości jak sięga żużel gromadzący się w czasie świeżenia; część górna, boczne ściany i sklepienie,

gdzie tylko gazy gorące sięgają, są zbudowane z kamieni kwarcowych lub szamotowych. Pod warstwą ogniotrwałą *a* znajdują się płyty żelazne *b* wsparte na dźwigarach; pod nimi krąży powietrze chłodząc topnisko od spodu. Regeneratory do ogrzewania gazu (*e*) i powietrza (*f*) komunikują się przewodami *c* i *d* z topniskiem, tak że gazy dopływają niżej, powietrze wyżej, i mieszanie ich ze sobą oraz zapalenie odbywa się tuż nad powierzchnią świeżonego żelaza.

Przez otwory (zwykle 3) zamykane pionowymi zasuwami, umieszczone po przeciwległej stronie spustu *g*, wkłada się surowy materiał stały, a przez otwór po stronie spustu wlewa materiał płynny (p. ryc. 94, str. 198).

Z powodu zmian temperatury, wywołujących w murach pieców niebezpieczne dla ich całości zmiany objętości, musi być piec wzmocniony żelaznami, silniami i licznymi ściągłami.

Martin budował swój piec celem zużycia odpadków żelaza kujnego, jakie gromadziły się w hucie (w bessemerni, walcowni, kuźni i t. p.), oraz starego żelaza, jakie można było tanio nabywać. Bardzo prędko jednak proces rozszerzył się na świeżenie surowca i dziś bywa wykonywany w dwóch odmianach:

1. *Przy zastosowaniu starego żelaza i surowca.* Do pieca wlewa się płynny surowiec (20 do 35<sup>o</sup>/<sub>o</sub>) z mieszalnika (czasem wprost z pieca wielkiego, lub wkłada niestopiony) i stare żelazo (80 do 65<sup>o</sup>/<sub>o</sub>) w ilości zależnej od zapasu. Żelazo to wrzucano dawniej ręcznie do pieca, ze stratą czasu i znacznymi kosztami, dziś wsuwa je przez drzwiczki żóraw w osadzonych na długim trzonie korytach, wypełnionych żelazem (ok. 1000 kg. naraz) i obróciwszy wsypuje na topnisko (p. ryc. 94).

W krótkim czasie żelazo stapia się i powstaje mieszanina o stosunkowo małej zawartości przymieszek, które mają być usunięte. Pod utleniającym działaniem gazów, oraz rdzy pokrywającej zawsze w znacznej ilości stare żelazo, wytwarza się żużel o własnościach utleniających, wskutek czego zawarty w żelazie krzem i mangan przechodzą w żużel, węgiel zaś uchodzi jako tlenek. Żelazo wyświeżone bada się odlewając próbkę w małą formę, przekuwając ją, hartując i łamiąc, jak w procesie gruszkowym, poczem, skoro proces świeżenia został ukończony, poddaje się je desoksydacyi zapomocą su-



rowca zwierciadlistego lub żelazo-manganu i wypuszcza z pieca do kadzi. Przy małej zawartości fosforu w żelazie stosuje się proces *kwaśny* (wyprawa pieca k w a ś n a), przy większej proces *zasadowy* (wyprawa z a s a d o w a), w którym fosfor usuwa się tak jak w procesie Thomasa zapomocą wapna. Z powodu, że fosfor jest prawie zawsze zawarty w żelazie, jest metoda zasadowa znacznie więcej stosowana.

Ilość siarki powinna być w żelazie mała, ponieważ w procesie kwaśnym nie można jej usunąć, w zasadowym tylko częściowo (przy pomocy wapna). Strata żelaza przez spalanie dochodzi do 8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

2. *Przy zastosowaniu surowca i rudy.* Do pieca wkłada się możliwie czystą rudę (żeleziak magnetyczny lub czerwony) w ilości 18 do 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, resztę surowca, a przy procesie zasadowym, jaki tu prawie wyłącznie się stosuje, wapno (do 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) dla przeprowadzenia fosforu w żużel. Bywa też dodawane stare żelazo, jeżeli jest do rozporządzenia. Wskutek znacznej zawartości rudy świeżenie odbywa się energicznie, a ponieważ ruda oddając swój tlen przymieszkom sama doznaje redukcji, zwiększa się ilość żelaza tak, że często otrzymuje go się więcej po wyświeżeniu, niż włożono do pieca.

Jeżeli w surowcu i rudzie jest dużo fosforu, powstaje przy procesie wiele żużła, i przy dłuższym trwaniu procesu zachodzi często redukcya utlenionego fosforu, który napowrót przechodzi w żelazo. By temu zapobiedz, należy przed ukończeniem procesu wypuścić żużel z pieca i następnie dokończyć procesu. Z tego powodu powstały odmiany powyższej metody:

*Proces Bertrand-Thiela* (dawniejszy i dziś prawie zarzucony), gdzie po częściowem wyświeżeniu przepuszcza się żelazo bez żużła do drugiego pieca i tam kończy proces, oraz:

*Proces Hoesch* (nazwa huty, która go pierwsza wprowadziła), powstały z procesu poprzedniego, gdzie żelazo częściowo wyświeżone spuszcza się do kadzi, wylewa z pieca żużel i wlawszy z kadzi napowrót żelazo do pieca, kończy proces.

Tą metodą można przerabiać żelazo o każdej, największej nawet zawartości fosforu, wyzyskując żużel z procesu wstępnego do celów rolniczych (jak tomasynę).

Obecnie zaczynają tę metodę stosować coraz częściej



w miejsce procesu Thomasa, ponieważ jest ona zupełnie niezależna od ilości zawartego fosforu, co w procesie Thomasa jest niemożliwe.

Zamiast obu powyższych sposobów stosują obecnie także wstępne świeżenie żelaza w ogrzewanym mieszalniku (ryc. 82, str. 169 i 170), a wykończające w piecu Martina, przez co produkcja pieca jest o wiele większa.

Piece Martina obejmują 10 do 80 ton, najczęściej używane są o objętości 20 do 50 ton, jest jednak dążność do budowania pieców coraz większych, aby w ten sposób dorównać szybkością produkcji piecom naczyniowym. Produkcja pieca (4 procesy w ciągu 24 godz.) wynosi 80 do 140 ton, stosownie do wielkości pieca. Jeżeli surowiec zawiera w większej ilości krzem i fosfor, stosują do niego *podwójny proces*, wyświeżając je w gruzce bessemerowskiej (kwaśna wyprawa), a następnie dla usunięcia fosforu i dokończenia procesu przerabiając w piecu Martina o wyprawie zasadowej.

Zamiast tego można posługiwać się ogrzewanym mieszalnikiem (str. 170), w którym wyświeża się krzem, a resztę procesu przeprowadza w piecu Martina o wyłożeniu zasadowym.

Aby uniknąć znacznych zmian temperatury, jakie zachodzą między końcem jednego okresu świeżenia, a rozpoczęciem następnego, co źle oddziałują na trwałość murów pieca i przebieg procesu, stosuje się (głównie w Ameryce i w Anglii):

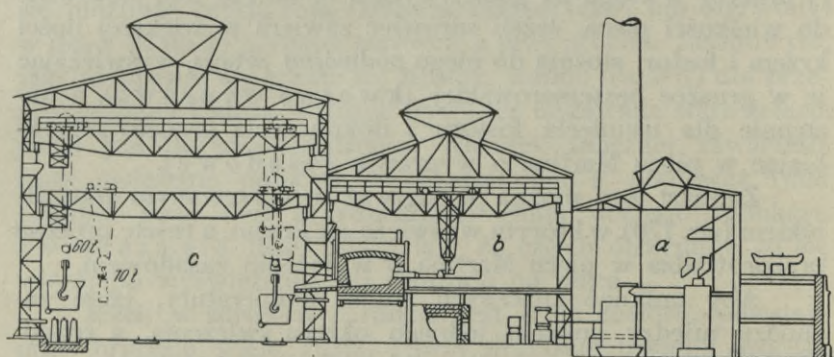
*Proces Talbota*, w którym po ukończeniu okresu świeżenia wylewa się tylko część ( $\frac{1}{4}$ ) żelaza do kadzi, dodaje nowych surowych materiałów i dalej świeży; w ten sposób piec bardzo mało zmienia temperaturę. Piec do tego używany bywa w postaci przechylnej (podobny jest do mieszalnika na ryc. 82, str. 169) i ma rozmiary bardzo wielkie (100 do 300 ton pojemności).

Urządzenie huty martinowskiej widzimy na ryc. 94. (str. 198). Z prawej strony znajduje się hala generatorów *a*, za którą widoczny komin, w środku hala pieców *b* z żórawiem do wkładania nabożów starego żelaza, z lewej hala do odlewania *c*, gdzie kadź zawieszona u żórawia zabiera z pieca wyświeżone żelazo i wlewa do form. Ten sam żóraw służy do donoszenia surowca z mieszalnika i wlewania go do pieca. Mniejszy

zóraw umieszczony pod pierwszym pełni służbę transportu odlanych bloków, form do nich i t. d.

Żelazo z pieca Martina może być wykonane o dowolnej zawartości węgla aż do najmniejszych rodzajów \*), oczyszczenie z domieszek, zwłaszcza przy procesie zasadowym, bywa bardzo daleko posunięte (0,03 fosforu), wskutek czego materiał ten należy do najlepszych rodzajów żelaza kujnego surowego i w wielu razach używany bywa zamiast żelaza rafinowanego do różnych celów, także w postaci stopów np. z niklem.

Bardzo dobry wyrób metody martinowskiej górujący nad żelazem z metody naczyniowej, oraz znacznie mniejsza



Ryc. 94.

strata żelaza, dają przewagę procesowi martinowskiemu, który prawdopodobnie będzie się coraz więcej rozszerzał na niekorzysty metod gruzkowych.

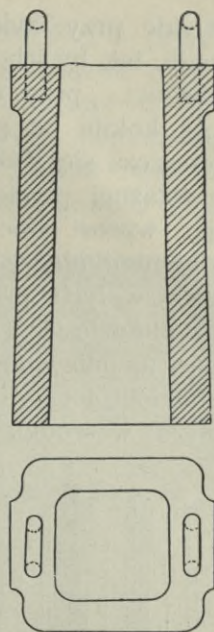
Na wielkie odlewy stalowe używa się żelaza martinowskiego; piece do celów odlewania, gdzie się gotowy materiał tylko topi, mają zwykle wyprawę kwaśną, jako tańszą i łatwiejszą do poprawiania i odnawiania.

**Odlewanie żelaza zlewego w bloki.** Żelazo zlewne z pieców naczyniowych i płomiennych, jeżeli ma być przerabiane przez

---

\*) W Ameryce wyrabiają w ostatnich czasach żelazo martinowskie pod nazwą: *czyste żelazo*, o zawartości wszystkich przymieszek nie przechodzącej 0,1%, przyczem zawartość węgla wynosi 0,009 do 0,02% (St. u. E. 1912, str. 1580).

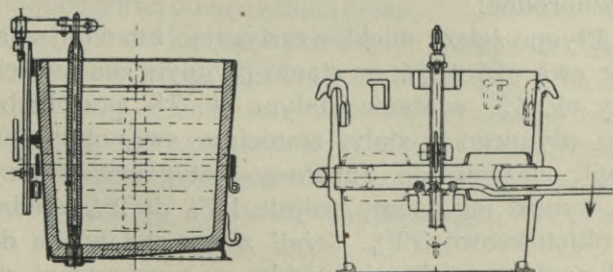
walcowanie (na blachy, dźwigary i t. p.), lub kucie (na części maszyn) musi być odlane w odpowiedniego kształtu formy, w których zastyga w bloki. Formy te zwane *kokilami* (ryc. 95) wykonane są z żelaza lanego, rzadziej ze stali, o grubych ścianach, aby w nich żelazo szybko zastygło; u góry mają uszy żelazne do podnoszenia lub otwory do zakładania przyrządu podnoszącego (ryc. 94. z lewej str.). Przekrój form jest albo kwadratowy (na dźwigary i żelazo sztabowe) lub prostokątny (na blachy), rzadziej okrągły lub sześcioboczny, (na przedmioty kute). Kokile są z obu stron otwarte i ku dołowi lekko się rozszerzają, aby po stężeniu łatwo je było zdjąć.



Ryc. 95.

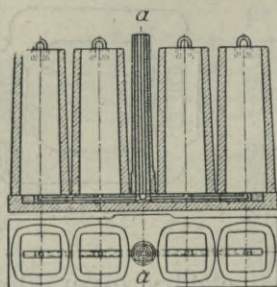
Żelazo wyświeżone wypuszcza się z pieca do kadzi umieszczonej na wozie motorowym z popędem elektrycznym lub parowym i przewozi do hali odlewnianej; kadź bywa często zawieszona na żórawiu elektrycznym, który ją przenosi do odlewni (ryc. 94). Kadź taka (ryc. 96) jest wymurowana ogniotrwale, a dla uniknięcia rozlewania żelaza przy napełnianiu form, nie przechyla się jej, ale wypuszcza żelazo do formy otworem w dnie. Otwór ten zamknięty jest zatyczką, dającą się podnosić i opuszczać zapomocą systemu dźwzków i dźwigni.

Formy przy zastosowaniu kadzi umieszczonej na wozie

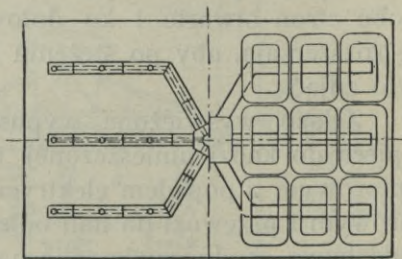


Ryc. 96.

(zwykle przy świeżeniu naczyńniowem) ustawia się w zagłębieniu, tak by ich szczyt znajdował się na wysokości posadzki odlewni, — przy użyciu kadzi żorawiowej (metoda Martina) stoją kokile na posadzce; formy w liczbie 4, 6, 8 i więcej umieszcza się obok siebie w jednym, dwóch i więcej rzędach na żelaznej płycie, wyłożonej ogniotrwale i napelnia z góry lejąc wprost albo od dołu (ryc. 97) przez wspólny wlew *a* komunikujący się z poszczególnymi formami zapomocą ogniotrwałych przewodów; bloki odlane ważą od 100 kg. do kilkudziesięciu ton. Ryc. 98. przedstawia urządzenie pozwalające na odlewanie naraz 18 bloków; po prawej stronie widzimy ustawione formy, po lewej przewody doprowadzające do nich żelazo; w środku jest wlew.



Ryc. 97.



Ryc. 98.

Mając mało miejsca w odlewni ustawia się formy na wózkach i do wlewania podjeżdża z nimi pod kadź.

**Zmiany i wady w blokach i zapobieganie im.** Odlany w formie blok podlega w czasie stygnięcia zmianom, które mogą niekorzystnie wpłynąć na dobroć materiału. Zmiany te bywają różnorodne:

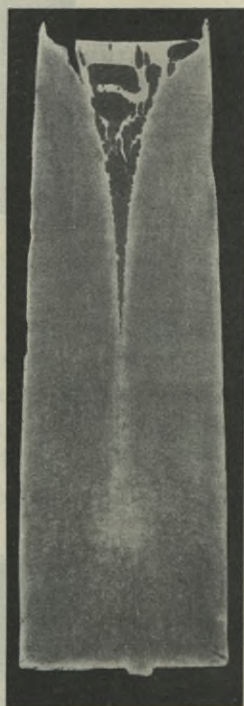
1. Płynne żelazo miękkie zastygając z mniejszą bardzo znacznie swą objętość; w stanie płynnym ma ono ciężar gatunkowy ok. 6,5, w stanie stałym ok. 7,8, przechodząc więc ze stanu płynnego w stały, zmniejsza swą objętość o 20%; od chwili stężenia do zupełnego ostygnięcia kurczenie się odlewu wynosi jak wiemy linijnie 1,6% do 2%, średnio 1,8%, zatem objętościowo 5,3%. Jeżeli zatem stal wlana do formy, wskutek nagłego oziębienia szybko na powierzchni stężeje, to mimo tego, że do zupełnego ostygnięcia objętość tej ze-

wewnętrznej okrywy zmniejszy się o przeszło 5%, — płynny ośrodek skurczywszy się o 20% będzie miał objętość o 15% mniejszą, utworzy się więc przestrzeń niewypełniona metalem, zwana *jamą odlewnianą*. Z powodu stopniowego tężenia bloku części płynne jako gatunkowo lżejsze będą się wznosiły do góry, tak że po zupełnem zastygnięciu jama utworzy się u góry, pod pokrywą najpierw stężałego metalu i będzie miała kształt lejka.

Ryc. 99. przedstawia przekrój bloka z widoczną u góry jamą. Wielkość jamy zależy od stopnia przegrzania żelaza, szybkości stygnięcia, składu chemicznego i t. d., a część bloka, gdzie się ona znajduje jest do użytku niezdatna; z wywalcowanej z niego szyny musi być część pochodząca z końca, zawierającego jamę, odcięta, co stanowi stratę  $\frac{1}{8}$  do  $\frac{1}{3}$  bloka, czasem jeszcze więcej.

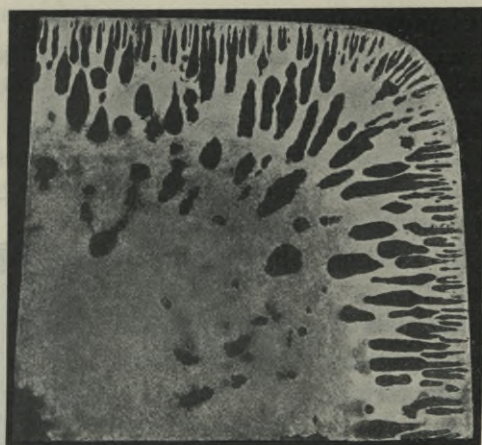
II. Stygnące żelazo wydziela gazy, które pochłonęło i rozpuściło w czasie świeżenia; jest to jak wiemy wodór wytworzony z pary wodnej zawartej w powietrzu użytym do świeżenia, a z ot z powietrza i tlenek węgla powstały przy odwęglaniu. Gazy wydzielone wznoszą się ku górze i przy zastygniętych ścianach bloka zatrzymują się, podobnie jak bańki powietrza w szklance z wodą, a także gromadzą się pod górną powierzchnią bloka, skoro stężeje.

Blok taki jest więc porowaty (na ryc. 100. widzimy ćwiartkę przekroju takiego bloka) i o ile bańki gazów są drobne i nieliczne, to przy walcowaniu wskutek wysokiego ogrzania i ciśnienia mogą się rozpuścić w żelazie, a przestrzenie po nich złączyć jednolicie przy przeróbce (zgrzać się)\*, to większe i liczniejsze wydłużają się tylko, zmniejszając wytrzymałość materiału.



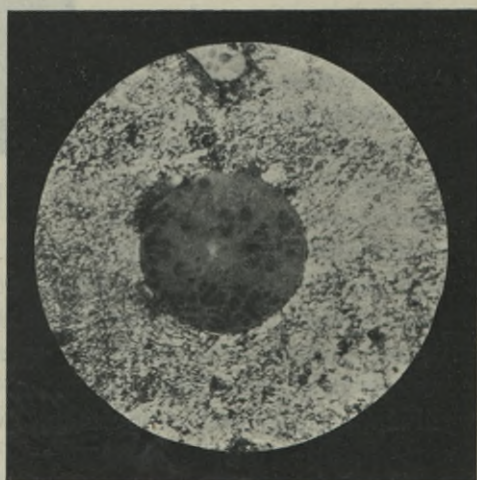
Ryc. 99.

\*) Stead, St. u. E. 1911, str. 875.



Ryc. 100.

Im bardziej żelazo było przegrzane przed odlewaniem i bardziej wyswieżone, tem większą ma dążność do pochłaniania gazów i tem więcej może ich wydzielić stygnąc. Napelnianie formy od dołu zmniejsza zawartość gazów, gdyż dopływające od dołu żelazo wypiera ku górze bańki osadzające się na ścianach.

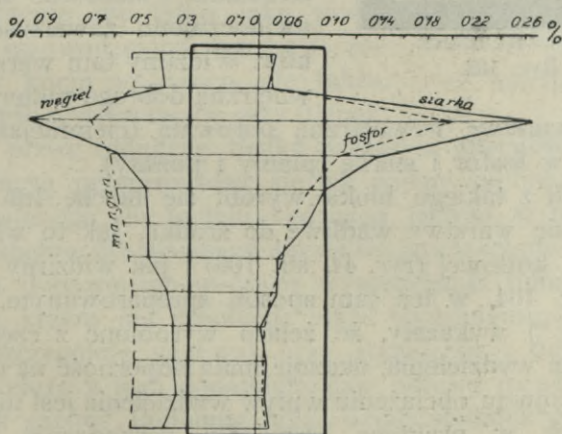


Ryc. 101.

3. Żużel powstający przy desoksydacji, który nie zdążył wydobyć się wcześniej na powierzchnię, pozostaje w kroplach w stężałym bloku, a zwłaszcza gromadzi się w miejscach na ostatku tężejących, osłabiając przez to materiał. Ryc. 101. przedstawia żelazo zlewne, zawierające kropelkę zastygłego żużla. Ponieważ przy walcowaniu kropla taka regularnie się wydłuża, łatwo jest po kształcie zawartego żużla odróżnić żelazo zlewne od zgrzewanego (ryc. 88, str. 184).

4. Składniki zawarte w żelazie są w nim w różnym stopniu rozpuszczalne i w miarę stygnięcia częściowo wydzielają się; wskutek tego w części stężałej pozostaje pewna zawartość przymieszek w tym stosunku, w jakim każda z nich jest rozpuszczalna w żelazie stężałym. Reszta pozostaje w materiale płynnym, dlatego żelazo tężejące na ostatku, a zatem w bezpośrednim sąsiedztwie jamy, zawierać będzie nawięcej obcych przymieszek.

Ryc. 102. przedstawia graficznie \*) wyniki analizy chem. bloka żelaza martinowskiego (proces kwaśny) celem wykazania zawartości węgla, manganu, fosforu i siarki. Analizy były robione przez branie prób w odstępach co 15 cm; w takich odstępach oznaczone na poziomych liniach zawartości poszczególnych składników połączone są liniami dającymi wykres zmian



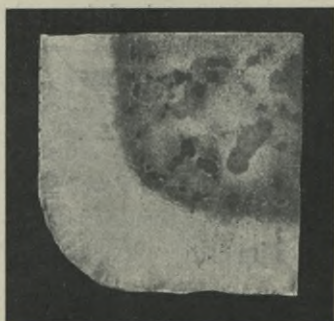
Ryc. 102.

\*) M.-H. II. A. str. 104.

tych zawartości. Widzimy, że w górnej części bloka, gdzie się tworzy jama, było najwięcej składników. Następująca tabelka uwidocznia te zmiany procentowo:

Składnik	Węgiel	Mangan	Siarka	Fosfor
Zawartość średnia w % . . . . .	0·38	0·52	0·061	0·052
Zawartość największa w % . . . . .	0·95	0·70	0·267	0·197
Stosunek największej zawartości do średniej . . . . .	$\frac{100}{250}$	$\frac{100}{135}$	$\frac{100}{437}$	$\frac{100}{379}$

Widzimy więc, że w części najpóźniej teżejącej znajdują się szkodliwe przymieszki (fosfor i siarka) w bardzo wielkiej ilości, przekraczającej stosunek dopuszczalny, — zwiększenie zaś zawartości węgla podwyższa twardość i kruchość żelaza.



Ryc. 103.

Zapomocą metalograficznego badania można, jak była mowa na str. 107., uwidocznic zawartość tych szkodliwych składników. Na ryc. 103. widzimy przekrój czwartej części bloka z okolicy blizkiej jamy odlewnianej, gdzie przez polerowanie i stosowne nagryzanie uwidoczniło zawartość składników. Widzimy tam warstewkę zewnętrzną dobrego materiału, otaczającą warstwę wewnętrzną porowatą (ciemniejsze plamy) i bogatą w fosfor i siarkę (plamy i punkty).

Jeżeli z takiego bloka wyrobi się blachę lub dźwigar, dostaną się warstwy wadliwe do środka, jak to widzieliśmy na blasze kotłowej (ryc. 44, str. 106) i jak widzimy na dźwigarze ryc. 104, w ten sam sposób spreparowanym. Badania chemiczne\*) wykazały, że żelazo wyrobione z części, gdzie były liczne wydzielienia, okazuje małą odporność na uderzenia; przy spokojnem obciążeniu wpływ wydzielienia jest nieznaczny. Zachodzące w praktyce przypadki uszkodzenia wyrobów z żelaza zlewego, o ile mają swe źródło w wadliwości ma-

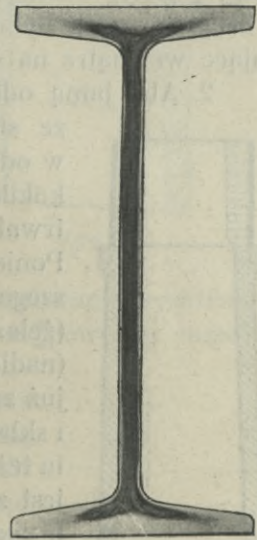
\*) W ü s t, Mitt. 1911, str. 109.



teryалу a nie przeróbki, przeważnie mają powód w zastosowaniu do wyrobu wadliwego bloka.

Chcąc tego uniknąć, należy taką część bloka ( $\frac{1}{3}$  do  $\frac{1}{8}$ , czasem więcej) odciąć, co przedstawia wielką stratę, bo odcięta część nie nadaje się na nic, jak tylko do stopienia w piecu martinowskim, — albo też przez stosowne postępowanie przy odlewaniu bloka nie dopuścić, aby wady owe powstały. Należy więc starać się o wydzielenie żużla, zapobiedz krzepnięciu baniek gazów, zmniejszyć wielkość jamy odlewnianej lub usunąć ją zupełnie, albo też ile możności przesunąć do szczytu bloka, a wreszcie zmniejszyć dążność przymieszek do wydzielenia się. Sposoby te mogą być następujące:

1. Unikając daleko idącego wyświeżenia składników (co jednak nie jest zgodne z celem tego procesu) i zbytniego przegrzania żelaza, można zmniejszyć tym sposobem jego skłonność do rozpuszczania gazów. Przeprowadzając należycie proces desoksydacji usuwa się tlenek żelaza, mający znaczenie nie tylko jako przymieszka sprowadzająca kruchość żelaza przy kuciu na gorąco, ale także jako czynnik wytwarzający gazy (tlenek węgla, — przez redukcję tlenku żelaza w obecności węgla). Desoksydację przeprowadza się jak wiemy zapomocą manganu dodanego do metalu będącego jeszcze w piecu. Dla dalszej, zupełnej desoksydacji używa się powszechnie żelazokrzemu dodawanego w czasie wypuszczania żelaza z pieca do kadzi; krzem ma zapobiedz także wydzieleniu się innych gazów (szczególnie wodoru) przy stygnięciu i dowiedzione jest, że żelazo z jego dodatkiem daje odlewy gęste, wolne od baniek gazów. Podobnie także działa dodatek glinu. Oba dodatki zwiększają kruchość żelaza, dlatego muszą być stosowane ostrożnie. Dobrym środkiem do ostatecznej desoksydacji okazał się też tytan (jako żelazo-tytan z 10 do 15%

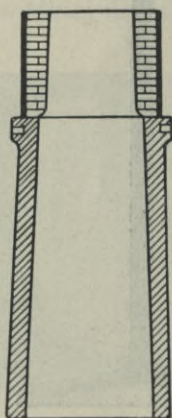


Ryc. 104.

tytanu), który nadto ma się łączyć z azotem rozpuszczonym w żelazie. Tytan w zastosowaniu do żelaza na szyny kolejowe znalazł obszerne zastosowanie. W ostatnich czasach pojawiają się głosy przeczące korzystnemu wpływowi dodatku tytanu\*).

Do zmniejszenia zawartości gazów w żelazie przyczynia się także odlewanie bloków z dołu, z jednej strony bowiem zapobiega rozpryskiwaniu się metalu (co zachodzi przy laniu z góry) i utlenianiu się jego kropelek na powierzchni, z drugiej, — jak była mowa, usuwa mechanicznie gazy osiadające wewnątrz na stężonych ścianach bloka.

2. Aby jamą odlewnianą, bańki gazów i żużła usunąć



Ryc. 105.

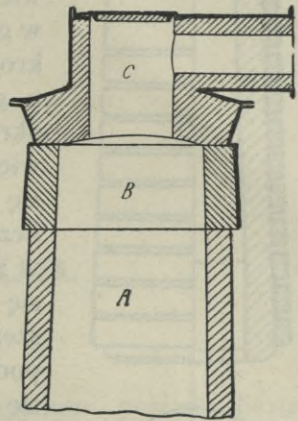
ze stygnącego bloka, stosują sposób znany w odlewnictwie stali, to jest t. z. *nadlewki*. Na kokile wkłada się formę z materiału ogniotrwałego (ryc. 105) i obie wypełnia żelazem. Ponieważ nałożona forma zrobiona jest z gorszego znacznie przewodnika ciepła niż dolna (żelazna), tężeje znajdujący się w niej metal (nadlewki) wolno, i dopiero wtedy, kiedy blok już zastygł; przez to zarówno gazy i żużel, jak i składniki wydzielone zbierają się w nadlewku, tu też powstaje także jama, a materiał w bloku jest zupełnie dobry. Ten sposób ma jednak tę wadę, że nadlewki musi być odcięty, ponosi się więc dużą stratę materiału i koszta roboty na odcinanie nadlewka.

3. Ażeby gazy wydobywające się z żelaza, tudzież kropelki żużła powstałego przy desoksydacji mogły wypłynąć na powierzchnię i nie zatrzymały się wskutek za wczesnego stężenia metalu, stosuje się inny środek ulepszący: utrzymywanie żelaza jak najdłużej na powierzchni w stanie płynnym; proces ten zapobiega tworzeniu się jamy odlewnianej. Ryc. 106. przedstawia szematycznie sposób ogrzewania bloka sposobem Riemera: na kokilę *A* napełnioną żelazem nakłada się ogniotrwały pierścień *B*, a na to kaptur *C*, do którego z boku wchodzi przewód, doprowadzający mieszaninę

\*) *St. u. E.* 1912, str. 1497.

powietrza z gazem generatorowym; mieszanina ta spalając się utrzymuje wierzchnią część bloka w stanie płynnym; ogrzewanie trwa tak długo pokąd żelazo w przeważnej części bloka nie stężeje.

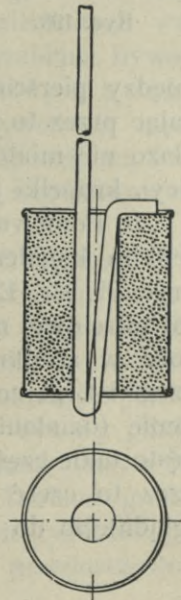
Sposób powyższy ma tę wadę, że wskutek powolnego tężenia gromadzą się w górnej części bloka składniki wydzielone, obniżające dobroć żelaza, usuwa się jednak gazy i żużel oraz w znacznej części jamę odlewnianą. Dla oddzielenia materiału zawierającego szkodliwe składniki i jamę (o ile powstała), należy odciąć około  $\frac{1}{10}$  część bloka; zyskuje się więc w każdym razie przy tym procesie wiele żelaza.



Ryc. 106.

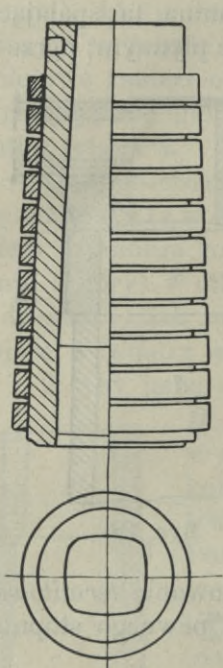
Do tego samego sposobu polepszania materiału należy zaliczyć postępowanie *termitowe*.

Po odlaniu bloka pozwala mu się do pewnego stopnia ostygnąć, a następnie przebiwszy cienką skorupę stężałego na powierzchni metalu, wkłada się przez otwór aż do dna formy puszkę (ryc. 107) napełnioną termitem (p. str. 45) utwardzoną na przecie i przytrzymuje, pokąd wskutek rozgrzania nie nastąpi reakcja termitowa ( $3\text{FeO} + 2\text{Al} = 3\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), dająca wiele ciepła w zredukowanym żelazie i wytworzonym żużlu (puszka blaszana roztapia się w żelazie); gorące te materiały podnoszą się w górę wywołując przemieszanie całego zapasu żelaza i wypędzając tkwiące w niem bańki gazów. W pustą przestrzeń, jaka się wskutek tężenia surowca wytworzyła pod stężałą skorupą, dolewa się płynnego żelaza i w ten sposób wypełnia ją, zapobiegając wytworzeniu się jamy.



Ryc. 107.

4. Można wreszcie nie dopuścić do powstania jamy i wydzielenia gazów, ścisnąć blok w czasie tężenia tak silnie, by



Ryc. 108.

się skracał w miarę kurczenia się żelaza. Służy do tego sposób Harmeta. Żelazo wlewa się do formy w dole równej, w górnej części silnie zbieżnej ( $\frac{1}{8}$ ), o przekroju wewnątrz czworobocznym (545 mm. u góry, a 580 u spodu), a z zewnątrz okrągłej (ryc. 108). Skoro metal na powierzchni dolnej i górnej stężeje, ustawia się go w prasie, w której tłok hydrauliczny z siłą 1500 ton wciska żelazo w zbieżną formę; od góry bloka znajduje się również tłok hydrauliczny o mniejszym ciśnieniu, nie pozwalający blokowi podnosić się do góry. W miarę kurczenia się żelaza wskutek tężenia, tłok ściska je, przez co blok nieustannie się skraca i nie może powstać jama, a z powodu wielkiego ciśnienia nie wydzielają się gazy. Aby forma pod ciśnieniem nie pękła, wzmacnia się ją założonymi pierścieniami żelaznymi. W czasie ściskania puszca się strumień wody zimnej na formę

(między pierścienie) i przyspiesza studzenie metalu, zmniejszając przez to możliwość wydzielania się składników. O ile żelazo nie miało czasu wydzielić ze siebie żużla po desoksydacji, kropelki jego pozostaną w bloku.

5. Ponieważ jama w bloku może się przedłużać bardzo cienkim kanałem do znacznej głębokości, jak to widzimy z ryc. 99, str. 120. i wykuty z takiego bloku przedmiot (np. wał okrętowej maszyny, lokomotywy, maszyny parowej i t. p.), może w środku zawierać miejsca wadliwe, szczeliny, ostre brzegi i t. p., co przy obciążaniu łatwo może wywołać uszkodzenie (działanie karbu, p. str. 113), zabezpiecza się bardzo często takie części przewiercając je w środku i usuwając przez to część wadliwą, a równocześnie zyskując możliwość wglądnięcia do środka i zbadania materiału.

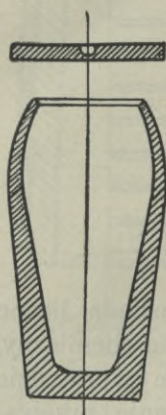
### 3. ULEPSZANIE ŻELAZA.

Żelazo wyrobione opisanymi metodami posiada liczne wady (porowatość, zawartość żużla, nierówny skład chemiczny, zanieczyszczenia siarką i fosforem i t. d.), które wprawdzie nie przeszkadzają do stosowania go na pokrywanie przeważnej ilości zapotrzebowania w przemyśle, — do wielu jednak celów nie nadaje się ono, a mianowicie tam, gdzie wymaga się materiału ile możności wolnego od wymienionych wad i jak najbardziej jednolitego; do tego celu wyrabiane bywają z żelaza kujnego surowego gatunki żelaza ulepszonego, t. j. rafinowanego. Ulepszanie to odbywać się może w stanie płynnym lub stałym; pierwszy sposób ma bardzo obszerne zastosowanie w przemyśle, drugi stosunkowo do pierwszego — bardzo małe.

**Ulepszanie żelaza w stanie płynnym.** Proces tyglowy. Wyrób żelaza rafinowanego ograniczony był do niedawnych czasów na metodę tyglową, gdzie żelazo kujne (spawane, zlewne, cementowane i t. d.) stapia się w naczyniach zwanych tyglami (ryc. 109, str. 210) o pojemności 10 do 40 kg., najczęściej 30 kg. Tygle zrobione są z szamoty zarobionej ze świeżą gliną ogniotrwałą (tygle szamotowe) lub z tej samej masy z dodatkiem grafitu (15—75%, tygle grafitowe). Dodatek grafitu (czasem koksu) ułatwia wysuszenie i wypalenie tygli bez pęknięcia, podnosi ich ogniotrwałość i utrudnia przedostawanie się gazów przez rozżarzone ściany tygla.

Małe ilości żelaza topi się w piecach tyglowych, o któ-

rych będzie mowa w odlewnictwie, wielkie ilości na stal narzędziową, wyborowe części maszyn, wielkie bloki (po kilkadziesiąt ton) do wyrobu dział i t. d. w piecach Siemens'a o płaskim dnie (ryc. 110), mieszczących do 120 tygli. Chcąc odlewać wielkie bloki, trzeba mieć do rozporządzenia większą

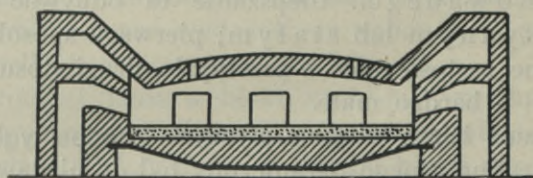


Ryc. 109.

liczbę pieców i duży zastęp robotników, którzy wyjęte tygły z pieca nieustannie donoszą i wlewają do formy, tak by w odlewaniu całego bloka nie było przerwy.

Proces tyglowy polega na stopieniu ze sobą kawałków żelaza dla osiągnięcia jednolitej mieszaniny, oraz na pozostawieniu stopionego żelaza przez dłuższy czas w piecu celem wystania się, wskutek czego zawarty w nim żużel i gazy mają czas zupełnie się wydzielić, żelazo staje się czyste i jednolite, a odlew z niego gęsty i nie porowaty. Dla ochrony od wpływu gazów ogrzewających są tygły przykryte nakrywkami (ryc. 109).

W czasie procesu, który trwa 4—6 godzin, żelazo traci pewną część węgla przez utlenienie się powietrzem zamkniętym w tyglu i przez proces redukcji pozostałego w żelazie tlenku; gdy tygiel ma większą zawartość grafitu,



Ryc. 110.

który się udziela żelazu, niema ubytku węgla, czasem nawet zwiększa się jego zawartość. Ilość krzemu (zawartego w ścianach tygla), również się zwiększa. Przy wyrobie specjalnych rodzajów stali dodaje się w miarę potrzeby manganu, chromu, wolframu i t. d.

Zawartość siarki i fosforu w surowym materiale powinna być jak najmniejsza, gdyż składniki te pozostają w żelazie w całości.



Proces tyglowy nie jest więc tylko przetapianiem żelaza, ale także procesem chemicznym, gdyż składniki żelaza (węgiel, krzem, mangan) zmieniają się co do ilości, a także wpływają na oczyszczenie go z tlenków i gazów. Dlatego ważną rolę w tym procesie odgrywa materiał tygli, oraz skład materiałów surowych, które powinny być wolne od szkodliwych przymieszek i być zawarte w ilościach zastosowanych do celów wyrobu.

Stal tyglowa należy do najlepszych rodzajów żelaza i do niedawnych czasów była jedynym materiałem na narzędzia, broń, wyborowe części maszyn i t. p. Jest to jednak materiał drogi, raz z powodu znacznego zużycia paliwa, przy wyrobie (170—200 kg. węgla na 100 kg. otrzymanej stali, przy zastosowaniu pieców Siemens), powtórnie, że piece z powodu umieszczenia żelaza w tyglach przerabiają stosunkowo mało materiału (4—5 procesów na 24 godzin, na jeden proces średnio 1000 kg.), a obsługa wymaga licznego i dobrze wyszkolonego personelu. Wreszcie kosztą tego procesu podnosi cena samych tygli, które się bardzo szybko zużywają i nie mogą być używane więcej niż trzy razy, a nawet niektóre huty, by się zabezpieczyć od straty żelaza na wypadek pęknięcia tygla w piecu albo przy wyjmowaniu i przenoszeniu, używają do każdego topienia nowych tygli, przyczem do ich wyrobu stosuje się materiał ze starych.

To było powodem, że zastosowanie pieców elektrycznych do wyrobu żelaza znacznie ograniczyło proces tyglowy, i nie może ulegać wątpliwości, że ograniczanie to będzie coraz większe, zwłaszcza, że w procesie elektrycznym można wyrobić lepszy materiał, niż w tyglu.

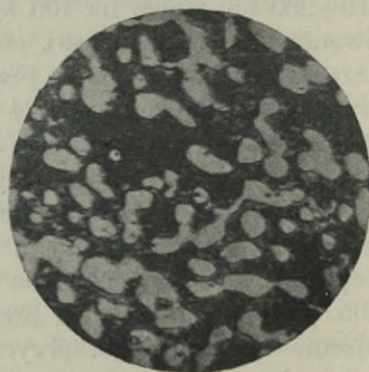
Stal damasceńska<sup>\*)</sup>. Ludy wschodnie, zwłaszcza Persowie i Indowie, wyrabiają stal, znaną pod powyższą nazwą, przerabianą na sławne ze swej dobroci klingi do szabel i t. p. wyroby. Stal ta odznacza się bez hartowania wielką twardością, jest przytem nadzwyczaj elastyczna i daje się doskonale kuć. Wyrabiają ją w tyglach, albo wprost z rudy zmieszanej z węglem, albo z żelaza kujnego wyrobionego bezpośrednio z rudy, przetapiając je z węglem i grafitem.

<sup>\*)</sup> Belajew Met. 1911, str. 629.

Cechą tego procesu jest bardzo długie żarzenie materiału w tyglu bez przystępu powietrza, a następnie powolne studzenie. Po wypolerowaniu klingi, a zwłaszcza po nagrzyeniu jej kwasem, występuje na powierzchni właściwy wzór (ryc. 111) złożony z jasnych, na ciemnym tle rysujących się linii, nieregularnie wyginających się i płaczących. Zawartość węgla w pewnej klindze wynosiła 1,5%; przy takiej ilości węgla stal jest zwykle krucha, nieobrabiwalna i nie może być używana na podobne cele. Gdy stal, którą na ryc. 111 widzimy w naturalnej wielkości, oglądniemy w 750-cio-krotnym powiększeniu (ryc. 112), zobaczymy, że jasne linie składają się z ziarenek bardzo gęsto ugrupowanych w ten spo-



Ryc. 111.



Ryc. 112.

sób, że tworzą ów rysunek właściwy stali damasceńskiej. Ziarna te przy badaniu okazały się cementytem, zanurzonym w ferrycie. Z dawniejszych doświadczeń metalograficznych\*) znany był objaw, że surowiec biały żarzony bardzo długo nabierał takiej budowy, a stal otrzymana w podobnych warunkach w piecu elektrycznym miała przy takiej samej strukturze wielką elastyczność i nadzwyczajną kujność. Wobec tych doświadczeń wydaje się rzeczą pewną, że stal przez bardzo długie żarzenie bez przystępu powietrza i powolne studzenie przekryształowuje się tak, że wolny cementyt i perlit

---

\*) Goerens *Einführung in die Metallographie*, Halle 1906, str. 166—7.

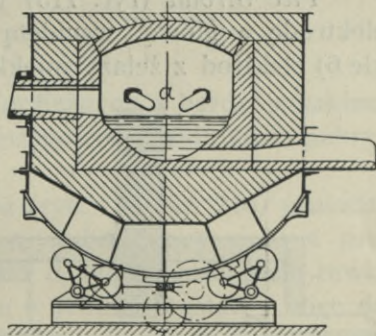


o budowie płytkowej nabierają budowy nadzwyczaj drobnoziarnistej, grupują się w sposób na stali damasceńskiej i widoczny w tym stanie mają własności mechaniczne (kujność, elastyczność), zupełnie odmienne, niż przed procesem.

Stal damasceńska *zgrzewana*, i *imitowana* stal damasceńska powstają przez *zgrzewanie* żelaza o różnej zawartości węgla; sposób ich wyrobu omawiany będzie przy metodach rafinowania w stanie stałym.

Proces w piecu elektrycznym. Przez zastosowanie prądu elektrycznego do ogrzewania pieca można w nim osiągnąć w wyższą temperaturę; jej wysokość zależy tylko od wytrzymałości materiału, z którego jest piec zbudowany (zwykle z magnezytu). Wskutek tego istnieje możliwość zupełnego usunięcia wszelkich szkodliwych domieszek w żelazie przez wytworzenie żużla o odpowiednim składzie. Drugim wynikiem z tego samego źródła wpływającym, jest możliwość usunięcia utleniającego wpływu gorących gazów i powietrza, które w innych piecach wprowadza się dla ogrzania przerabianego materiału.

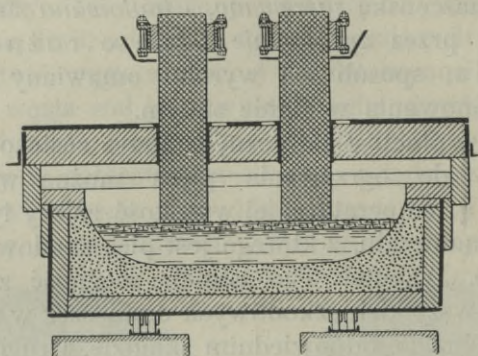
Sposób działania prądu może być rozmaity, albo wytwarza się łuk elektryczny, który działa ciepłem promieniowania, albo prąd przepływa przez żużel i żelazo, i wskutek spotykanego oporu wytwarza w nim ciepło, albo oba te czynniki działają równocześnie. Prąd może dopływać do przerabianego materiału, albo bezpośrednio, albo też być wzbudzony (przez indukcję). Z pomiędzy wielu systemów pieców elektrycznych należą do najczęściej używanych następujące:



Ryc. 113.

*Piec Stassana* (ryc. 113) posiada wprowadzone przez boczne ściany dwie lub trzy elektrody węglowe *a* wytwarzające łuk elektryczny, z którego promieniujące ciepło udziela się częściowo bezpośrednio żelazu, a częściowo pośrednio z rozgrzanych ścian niskiego pieca. Piec daje się przechylać dla wylewania żużla i metalu przez otwór spustowy.

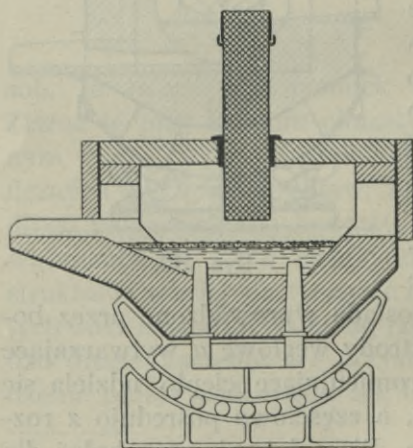
*Piec Heroulta* (ryc. 114) również przechylny, ma dwie, a przy prądzie trójfazowym trzy wchodzące przez sklepienie elektrody węglowe, między którymi płynie prąd przez roztopiony materiał, tworząc przy obu elektrodach łuki elektry-



ŹRyc. 114.

czne, i krążąc przez wierzchnią warstwę płynnego materiału; wskutek tego żużel pokrywający płynne żelazo silnie się rozgrzewa, podczas gdy ciepło tylko pośrednio udziela się samemu żelazu.

*Piec Giroda* (ryc. 115) jest przechylny; ma tylko jedną elektrodę węglową, wsuniętą przez sklepienie, a kilka (zwykle 6) elektrod z żelaza miękkiego, przechodzących przez dno



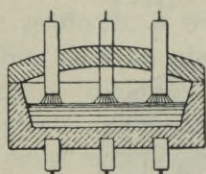
Ryc. 115.

i umieszczonych na obwodzie koła, którego środek stanowi oś elektrody węglowej. Prąd tworzy łuk elektryczny między elektrodą węglową z roztopionym materiałem, a następnie przechodzi przezeń do elektrod żelaznych. W ten sposób łuk elektryczny ogrzewa płynny żużel na powierzchni, a ciepło wytworzone przez opór jaki prąd spotyka w materiale, udziela się żelazu.

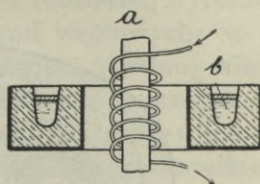
Odmianą obu powyż-

szych jest *piec Nathusiusa* (ryc. 116) o trzech elektrodach węglowych i trzech żelaznych, wmurowanych w dno pieca, ale nie wystających nad powierzchnię, przez co nie ulegają zużyciu. Prąd (trójfazowy) krążąc wytwarza 3 łuki między elektrodami węglowymi, ogrzewając energicznie płynny żużel na powierzchni metalu (jak u Heroulta), a przechodząc od elektrod węglowych do żelaznych, ogrzewa równie dobrze jak u Giroda całą masę żelaza wypełniającą piec.

*Piece indukcyjne* wprowadził pierwszy Kjellin; zasadę jego pieca przedstawia szkic ryc. 117. Prąd o wysokim napięciu krążący licznymi zwojami cewki indukcyjnej *a* wzbudza w zamkniętym przewodzie o jednym zwoju *b*, którym jest stopione żelazo w wązkim topniku, — prąd o wielkim natężeniu, stanowiący źródło ciepła dla przerabianego materiału. Niedogodności pieca Kjellina polegające na trudności



Ryc. 116.



Ryc. 117.

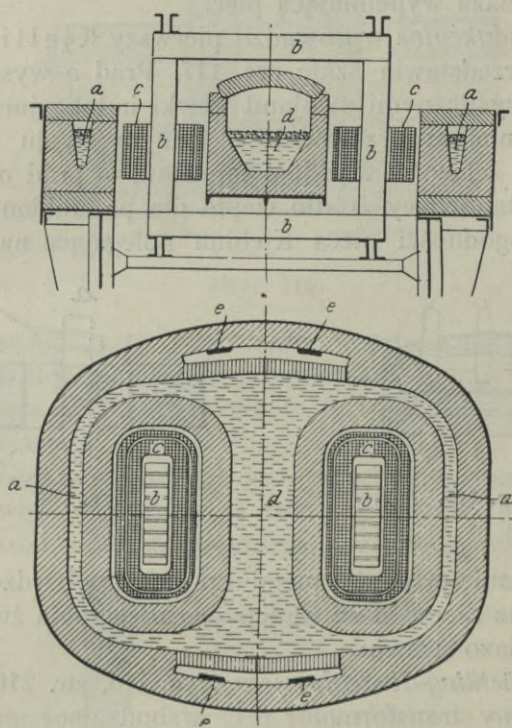
przeprowadzania procesów metalurgicznych w bardzo wązkim topniku, oraz niemożność silniejszego rozgrzania żużla pokrywającego żelazo usuwa:

*Piec Röchling-Rodenhausera* (ryc. 118, str. 216) posiadający podwójny transformator *b c*, wzbudzający prąd w metalu umieszczonym w topniku *a* i *d*, otaczającym obie cewki wzbudzające i rozszerzającym się w środku *d*. Mamy więc do czynienia jakby z połączeniem dwóch pieców Kjellina, a szerokie topniko *d* pozwala na dogodne przeprowadzenie procesów metalurgicznych. Aby mógł niezależnie od temperatury całej płynnej masy w topniku podnosić temperaturę żużla, umieszcza się dodatkowo w obmurowaniu po przeciwległych stronach rozżarzonego topnika elektrody *e*, między którymi krąży prąd; ten dodatkowy prąd może krążyć dopiero po rozgrzaniu pieca do wysokiej temperatury, w której jego wy-

łożenie staje się dobrym przewodnikiem elektryczności. Piec ten daje się przechylać, jak zresztą wszystkie inne piece elektryczne.

Metalurgiczny proces w piecu elektrycznym polega na usunięciu zapomocą odpowiednich żużli wszelkich szkodliwych przymieszek i składa się z następujących czynności:

1) Utlenianie przymieszek, a przedewszystkiem



Ryc. 118.

fosforu, przez dodatek rudy żelaznej, a następnie wapna, poczem wylewa się wytworzony żużel i przeprowadza:

2) desoksydację żelaza, które z powodu poprzedniego procesu w znacznej części się utleniło. Tę czynność wykonuje się najpierw z grubsza przez dodatek czystego węgla a następnie w zupełności zapomocą żelazo-manganu lub żelazo-krzemu, poczem wytworzony żużel znów się z pieca wypuszcza.

3) najważniejszą i stanowczo największą zaletą procesu w piecach elektrycznych jest odsiarczanie żelaza, które przeprowadza się zapomocą wapna w połączeniu z węglem lub krzemem przy bardzo wysokiej temperaturze. Oba te dodatki redukują bowiem dodany tlenek wapna (tworząc tlenek węgla, względnie krzemionkę) na metaliczny wapń, który chciwie łączy się z siarką (na siarczek wapniowy) i przechodzi w żużel.

4) Po wypuszczeniu żużla pozostawia się żelazo w piecu dla wystania się, t. j. zupełnego wydzielenia cząstek żużla, poczem

5) o ile ma być wytworzony stop żelaza, dodaje się potrzebnych składników (węgiel, nikiel, wolfram i t. d.).

Pojemność pieców elektrycznych dochodzi już do 15 ton, niema jednak wątpliwości, że budowa 30 tonowych pieców jest tylko kwestią czasu i zależy od możliwości wyrobu dostatecznie grubych, a trwałych elektrod węglowych; w piecach przerabia się albo płynne żelazo (z pieca Martina), albo w kawałkach, — niekiedy cały proces świeżenia surowca odbywa się w piecu elektrycznym. Dwa ostatnie procesy stosuje się tylko przy niskich kosztach prądu, którego wielkie ilości zużywa się na topienie żelaza i cały proces świeżenia. Zużycie prądu jest w różnych piecach zmienne i zależne od przerabianego materiału; przy przeróbce płynnego żelaza wynosi ono na tonę wyrobionego produktu do 350 KW, przy zimnem żelazie do 1200 KW.

Zaletą procesu elektrycznego wobec innych, a zwłaszcza tyglowego, jest możliwość bardzo daleko idącego oczyszczenia żelaza i przez to wyrabiania w wielkiej ilości tak wyborowych gatunków, jakich innymi sposobami niepodobna otrzymać.

**Ulepszanie żelaza w stanie stałym.** Sposób ten stosowany przy żelazie pudlarskim polega na składaniu żelaza w wiązki (*pakiety*), które rozgrzawszy w piecu do temperatury spawalności przerabia się przez walcowanie; wskutek tego następuje dalsze usunięcie żużla z żelaza i wyrównanie zawartości składników, które w surowych sztabach mogą się bardzo od siebie różnić. Taką przeróbkę stosuje się raz, lub dwukrotnie dla uzyskania jeszcze lepszego wyrobu.

Ten sam sposób był dawniej obszernie stosowany do przeróbki starego żelaza kujnego, które wiązano w pęki i przez walcowanie przerabiano, dobierając często stosownie do potrzeby materiał twardszy i lepszy w pewnych częściach pakietu (np. przy szynach kolejowych na głowicę). Rozpowszechnienie się metody martinowskiej, przerabiającej stare żelazo przez przetapianie, ograniczyło zastosowanie tego sposobu przeróbki, który dziś ma tylko bardzo podrzędne znaczenie. W Ameryce, w miejscowościach odległych od hut, przerabiają zużyte szyny kolejowe odcinając na gorąco pod walcami głowicę i stopę i osobno walcując każdą część na cienkie żelazo\*). Jest to więc właściwie proces przerabiania starego żelaza przez walcowanie, połączony jednak z ujednostajnieniem materiału przez przewalcowanie grubszego przekroju na cieńszy.

Na tej samej zasadzie co przeróbka pakietów odbywa się wyrób *stali damasceńskiej zgrzewanej*; robi się ją składając materiały o różnej zawartości węgla i zgrzewając je, a następnie wyginając wielokrotnie w różnych kierunkach i znów skuwając. Wskutek tego w gotowym wyrobie po wypolerowaniu i nagryzieniu kwasem powstają smugi i linie o kształcie podobnym do rysunku występującego na prawdziwej stali damasceńskiej (t y g l o w e j).

*Imitowaną stal damasceńską* wyrabiano w Europie w ten sam sposób, dobierając sztabki żelaza o różnym składzie i kształcie, i według pewnego systemu wyginając je i skuwając, przez co po nagryzieniu powstały żądane typowe figury. Stal ta używana szczególnie do wyrobu broni (np. na lufy strzelb), straciła dziś znaczenie wskutek przeważnego stosowania na te cele stali zlewnej ulepszonej i stopów żelaza.

---

\*) S. u. E. 1912, str. 1789.

#### 4. WYRÓB ŻELAZA KUJNEGO W STANIE STAŁYM.

Tymi sposobami wyrabia się do pewnych celów żelazo o pośredniej zawartości węgla między żelazem miękkim a surowcem. Służą do tego dwie, na odwrotnych procesach polegające metody:

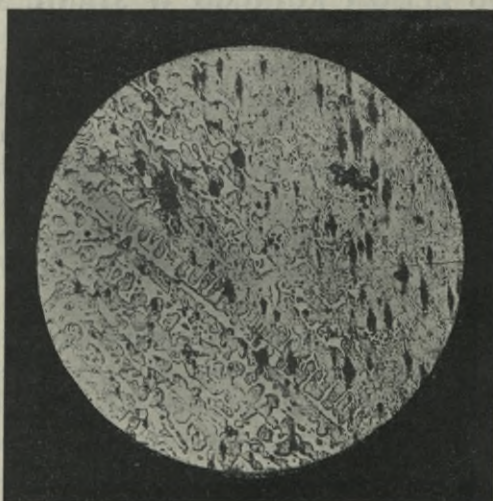
- 1) wyrób *kujnej leizny* przez *odwęglanie* surowca;
- 2) wyrób *stali cementowanej* przez *nawęglanie* żelaza kujnego.

**Kujna leizna.** Do wyrobu drobnych a tanich części maszyn, okuć używanych w przemyśle, kluczy, części zamków, przedmiotów nie łatwych do odkucia i t. p., nadaje się najlepiej metoda odlewania. Przedmioty te wymagają zwykle dość znacznej wytrzymałości, a przytem podatności materiału, do czego nie jest odpowiednie zwykle żelazo lane, jako mało wytrzymałe i kruche, odlewy zaś z żelaza kujnego (stali) są trudniejsze do wykonania i droższe. Do powyższych celów najlepiej się nadają odlewy wykonane z żelaza lanego, a następnie zapomocą żarzenia w środkach utleniających tak odwęglone, by nabrały własności żelaza kujnego. Materiałem takim jest *kujna leizna*, której nazwa charakteryzuje proces powstania (odlewanie) i własności w gotowym stanie (*kujność*).

Wyrób jej jest również *świeżeniem* surowca, ale nie w stanie stopionym jak w procesach opisanych poprzednio, lecz w stałym, przyczem utlenieniu podlega prawie wyłącznie węgiel, gdyż inne składniki żelaza nie doznają znaczących zmian.

Nie każde żelazo nadaje się do takiego procesu. Surowiec szary, zawierający jak wiemy węgiel w postaci grafitu, nie nadaje się do tego, gdyż płytki grafitu bardzo wolno się utleniają, pozostawiając po sobie szczelinki osłabiające żelazo, które nadto wskutek długości procesu doznałyby częściowego utlenienia. Świeżenie zatem surowca szarego dałoby obok wielkiego rozchodu paliwa wyrób słaby, nie odpowiadający wymaganiom.

Inna postać węgla, t. j. karbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) występujący w surowcu białym, podlega przy dłuższem żarzeniu powyżej tempe-



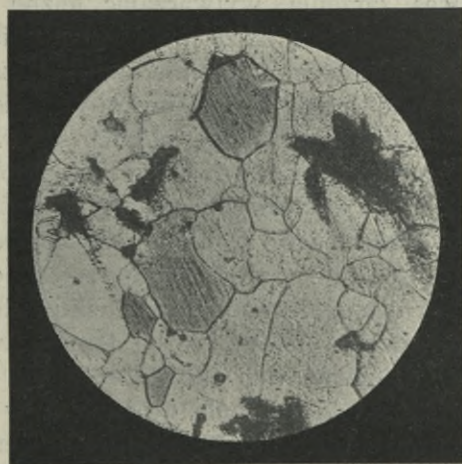
Ryc. 119.

ratury krytycznej (p. str. 10) t. j. w stanie roztworu w żelazie, rozkładowi ( $\text{Fe}_3\text{C} = 3\text{Fe} + \text{C}$ ), wskutek czego wydziela się czysty węgiel w otoczeniu żelaza. Ponieważ węgiel wytwarza się z karbidu będącego w roztworze i do tego w materiale stałym o stosunkowo niskiej temperaturze, nie tworzy on tu większych ziarn krystalicznych (jak w surowcu szarym), ale ma postać proszku, skupiającego się miejscami w większe bryłki; tę postać węgla, występującą tylko przy żarzeniu węglistego żelaza, nazywamy węglem żarzenia (p. str. 13).

Ryc. 119 przedstawia przejściowy okres przerwane go procesu żarzenia; z jednej strony widzimy jeszcze strukturę



surowca białego, z drugiej (w żelazie wyświeżonym) czarne bryłki węgla, które w coraz mniejszej ilości i wielkości występują także między niezmienionymi skupieniami czystego cementytu. Na ryc. 9. str. 13. widzimy w silniejszym powiększeniu dalszy okres żarzenia; nieregularne bryłki węgla (czarne) otoczone ferrytem (pola białe) sąsiadują z polami perlitu. Materiał w tym stanie ma już zupełnie odmienne własności; z niezmiernie twardego, nieobrabilnego i kruchego surowca białego, wytworzyło się żelazo podobne do surowca szarego, t. j. miękkie i łatwo obrabialne, górujące nad niem jednak wytrzymałością, gdyż większa zawartość czystego żelaza i roz-



Ryc. 120.

drobniona postać węgla zamiast krystalicznych płytek grafitu daje materiałowi większą wytrzymałość i pewną ciągliwość, a zmniejsza kruchość.

Jeżeli wyżarzanie trwa długo, rozpada się wszystek karbid, tak że struktura leizny składać się będzie z czystego żelaza, zawierającego węgiel żarzenia. Przez żarzenie w środowiskach utleniających (np. tlenku żelaza) spala się węgiel żarzenia, tak że po zupełnym procesie żarzenia i równoczesnego utleniania (świeżenia) zostaje czyste żelazo (ferryt) z resztkami węgla oraz drobnymi otworkami pozostałymi po spalonym węglu żarzenia; ryc. 120 przedstawia strukturę takiego żelaza.

Struktura przełomu żelaza jest we wszystkich stadiach przeróbki odmienna, odlew nieżarzony ma znaną listkową strukturę surowca białego i jego barwę, po żarzeniu przełom jest drobnoziarnisty i czarny (od wydzielonego węgla), po odtlenieniu jest również drobnoziarnisty ale ma barwę szarawą lub białą (po utlenieniu węgla).

Dla wytrzymałości materiału ma znaczenie tylko proces żarzenia, a nie utleniania, bo czy w żelazie znajdują się drobne bryłki węgla, czy szczeliny po nich, ma to już podrzędne znaczenie, główną rzeczą jest tylko przeprowadzenie rozkładu cementytu. Dlatego w Ameryce ograniczają się przede wszystkim na proces żarzenia, wytwarzając leiznę czarną, gdy w Europie przeprowadzają także proces świeżenia i otrzymują leiznę białą, piękniejszą w przełomie, ale droższą.

Proces wyrobu leizny kujnej wykonywa się w następujący sposób. Odlane przedmioty układa się w naczyniach żelaznych w ziarnistym żeleziaku czerwonym z dodatkiem ciał obojętnych (zwykle ruda zużyta przy poprzednich procesach, także trudno topliwy żużel, piasek i t. p.), aby utlenianie nie odbywało się zbyt szybko, ze szkodą dla jednolitości wyrobu, a następnie poddaje żarzeniu w temp. 750° do 1100° (najstosowniej 1000°). W tej temperaturze żeleziak się rozkłada wydzielając tlen ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{FeO} + \text{O}$ ), który wnika w rozżarzone żelazo i spala wydzielony w niem węgiel. Do wyrobu czarnej leizny używa się do obłożenia odlewów wyłącznie tylko ciał obojętnych (żużel, piasek i t. p.).

Do wyrobu kujnej leizny używa się jak powiedzieliśmy surowca białego, jednakże nie może to być materiał jakikolwiek, o właściwej białemu surowcowi znacznej zawartości manganu, a małej krzemu, ale ze względu na przebieg procesu i zamierzony wyrób, należy pod względem składu zachowywać pewne granice.

Zawartość węgla, który ma być wydzielony w formie węgla żarzenia a następnie wyświeżony, nie powinna być zbyt wielka, aby proces za długo nie trwał; dlatego pożądane jest, aby węgla nie było więcej niż 3%.

Krzem jak wiemy jest czynnikiem zmniejszającym trwałość karbidu i ułatwiającym jego rozkład (powstawanie surowca szarego); tę samą rolę pełni on i w leiznie kujnej

i im większa jest jego zawartość, tem niższej temperatury żarzenia potrzeba, by się wydzielił węgiel. Zawartość krzemu ułatwia także powstanie ścisłych, wolnych od gazów, nie porowatych odlewów; jednakże nadmiar krzemu nie jest w odlewie dopuszczalny, bo zamiast surowca białego mógłby wytworzyć się szary. Z tego powodu zawartość krzemu w żelazie takim nie powinna być niższa niż 0·5%, a nie wyższa niż 1·2%.

Mangan jako czynnik zwiększający trwałość karbidu w żelazie, utrudnia wydzielenie się węgla żarzenia, a więc przedłuża trwanie procesu i może go uniemożliwić. Z tego powodu jego zawartość nie powinna przekraczać 0·4%.

Siarka jest czynnikiem zawsze szkodliwym w żelazie, osłabiającym jego wytrzymałość w stanie rozgrzanym (zmniejszającym kujność), nadto podobnie jak mangan utrudnia ona rozkład karbidu, a przytem robi materiał gęstopłynnym; jest więc szczególnie szkodliwa w żelazie przeznaczonem na odlewy zazwyczaj bardzo cienkie i drobne. Pożądaną jest zatem rzeczą, aby jej zawartość w żelazie nie przekraczała 0·05%.

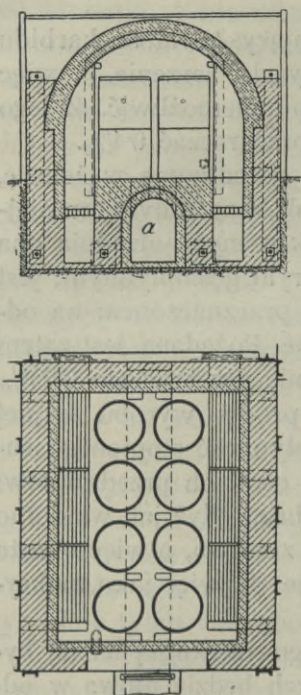
Fosfor nie ma wpływu na proces wyrobu kujnej leizny, — jako dodatek zwiększający płynność stopionego surowca ułatwia odlewanie drobnych i cienkich przedmiotów; zawartość jego nie może być jednak duża, gdyż jak wiadomo zwiększa on kruchość żelaza w stanie zimnym, a więc obniża wartość użytkową wyrobów. Przyjmuje się więc jako maksymalną zawartość 0·1% fosforu.

Do topienia żelaza przeznaczonego na kujną leiznę bywają stosowane różne piece (o których będzie mowa w odlewnictwie), do małych ilości piece tyglowe, dające najlepszy materiał, do większych płomienne zwykle i martinowskie (przy bardzo wielkiej produkcji). Piece kupolowe często używane jako najtańsze w robocie, dają materiał znacznie gorszy z powodu, że żelazo stopione stykając się w piecu bezpośrednio z koksem, nawęgla się ponad pożądaną miarę i nasyca siarką zawartą w koksie.

W ostatnich czasach stosują także przygotowywanie surowca w małych gruszkach Bessemera, aby zawartość węgla i manganu zmniejszyć i przez to czas żarzenia skrócić. Używa się tu żelaza o większej zawartości koniecznego w tym

procesie krzemu, który się częściowo spala; świeżenie trwa znacznie krócej niż na stal.

Piece do żarzenia bywają opalane węglem wprost albo gazami. Na ryc. 121. widzimy piec urządony do bezpośredniego ogrzewania leizny, ułożonej w okrągłych, na sobie ustawionych naczyniach. Płomień wytworzony z węgla umieszczonego na rusztach z obu stron szeregu naczyń, okrąża je i przez otwory w dnie uchodzi do kanału kominowego *a*.



Ryc. 121.

Długość żarzenia leizny zależy od wielkości naczyń i grubości przedmiotów, która nie powinna przekraczać 25 cm., inaczej proces nie osiągnie środka odlewu. Cały proces trwa 8 do 10 dni; po rozpaleniu ogniska ogrzewa się zwolna piec, tak by w 24 do 36 godzin osiągnął wymaganą temperaturę, którą utrzymuje się przez 4 do 6 dni na jednakowej wysokości, poczem przestaje się palić, około 2 dni chłodzi i dopiero wtedy wyjmuje się naczynie. Zużycie węgla wynosi 100 do 180 kg. na 100 kg. odlewów; przy zużyciu gazu generatorowego 70 do 140 kg.

Dobrze wykonana leizna kujna ma wytrzymałość na rozerwanie 30 do 45 kg/mm<sup>2</sup>, wydłużenie 1·5 do 5%; materiał daje się giąć i jest do pewnego stopnia kujny.

**Stal cementowana.** Nazywamy tak żelazo kujne, w którym przez nawęglenie przy wysokiej temperaturze, w stanie stałym, zawartość karbidu tak zwiększono, że wytworzono stal o bardzo wielkiej twardości. Podobnie jak odwęglaniu przy wyrobie kujnej leizny, tak i cementowaniu poddawać można tylko przedmioty cienkie, o ile zaś mają one znaczniejszą grubość, proces da się przeprowadzić tylko na powierzchni a warstwa nawęglona wynosi zaledwie kilka, rzadko kilkanaście milimetrów.

Proces ten dawniej, gdy metody wyrobu żelaza kujnego ograniczały się do procesu fryszerskiego i pudlarskiego, a wyborową stal umiano wyrabiać tylko metodą tyglową, był obszernie stosowany do wyrobu surowych prętów, silnie nawęglanych, z których przez przetapianie w tyglach wyrabiano najlepszą stal na narzędzia, broń sieczną i palną i t. p. Dziś wobec nowych sposobów metalurgicznych produkcja surowej stali cementarskiej nie ma już prawie znaczenia, natomiast metoda ta obszernie bywa stosowana w fabrykacji maszyn dla nadawania ich częściom na powierzchni znacznie większej twardości niż ma materiał, z jakiego je wykonano. Przez nawęglanie na powierzchni takiego przedmiotu i następnie zahartowanie, wytwarza się twardą warstwę, odporną na zużycie mechaniczne (np. na czopach łożyskowych, panewkach łożysk kulkowych, ekscentrach, ślizgawkach i t. p.), przyczem wewnątrz materiał pozostaje niezmieniony, a więc ciągliwy i odporny na uderzenia i wstrząśnienia. Ten proces *nawęglania warstwowego* rozszerzył się szczególnie od czasu zastosowania w budowie maszyn stopów żelaza z niklem, chromem i t. p., które przez samo tylko nawęglanie, bez następnego nagłego chłodzenia (hartowania) nabierają struktury martenzytycznej i przez to wyrób takich części jest o wiele łatwiejszy i pewniejszy.

Cementowanie odbywa się na tej zasadzie, że żelazo w stanie rozgrzanym powyżej  $700^{\circ}$  przechodzi w formę allotropową  $\gamma$  i z materiału nie rozpuszczającego węgla staje się czynnikiem rozpuszczającym go i to tem więcej, im wyższa jest temperatura. Jeżeli więc żelazo rozżarzone przynajmniej ponad  $700^{\circ}$ , a najkorzystniej na  $850$  do  $1000^{\circ}$  utrzymywać będziemy przez pewien przeciąg czasu w zetknięciu z ciałami mogącymi oddawać węgiel, to pozostając w stanie stałym nawęgli się, t. z. ilość zawartego w niem karbidu zwiększy się. Im temperatura wyższa i długość trwania procesu większa, tem nawęglanie jest głębsze i silniejsze.

Ryc. 122, str. 226. przedstawia obraz stali cementowanej; ponieważ żelazo miękkie przy zwiększaniu zawartości węgla do  $0,95\%$  nabiera najpierw struktury perlitycznej, a dopiero powyżej tej granicy znajdować się w niem może wolny cementyt, widzimy w warstwie głębiej położonej tylko perlit



(ciemny), dalej perlit coraz więcej znika, a występuje wolny cementyt (biały) i wreszcie na powierzchni znajduje się prawie tylko sam cementyt.

Ryc. 123. przedstawia graficznie wpływ temperatury i czasu na proces cementowania. Na osi poziomej oznaczony jest czas trwania procesu w godzinach, na pionowej grubość wytworzonej twardej warstwy w mm., a wykresy przedstawiają przebieg procesu przy różnych temperaturach; widoczne jest z diagramu, że im wyższa temperatura, tem proces trwa krócej, a warstwa nawęglona jest grubsza, a także, że długość



Ryc. 122.

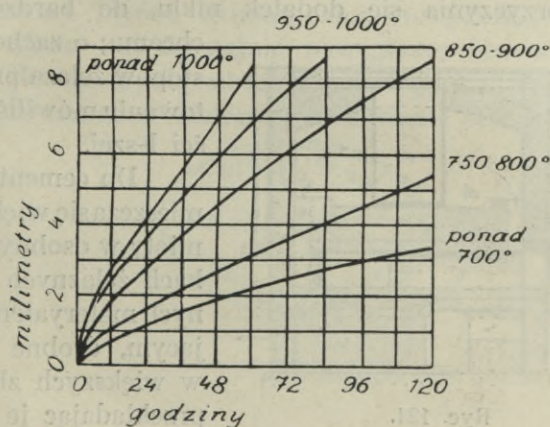
procesu również wpływa na zwiększenie grubości warstwy, choć nie w tym stopniu co podwyższenie temperatury.

Zawartość węgla w warstwie cementowanej może być doprowadzona do takiej wysokości, że wytwarza się materiał o własnościach białego surowca; w praktyce, do nawęglania części maszyn granicą nawęglania jest zawartość około 1%, powyżej bowiem materiał jest bardzo kruchy i łatwo powstają pęknięcia.

Do nawęglania służyc mogą ciała *stałe* (węgiel drzewny, kostny, węgiel ze skóry, sole będące związkami bezwodnika węglowego i t. p.)  *płynne* (węglowodory, sole cyanowe stopione i t. p.) i *gazowe* (tlenek węgla, gaz świetlny, acetylen i t. p.).

Czynnikiem nawęglającym jest jednakże prawie wyłącznie gaz zawierający węgiel, czy to wprost doprowadzony, czy powstały ze związków stałych lub płynnych otaczających żelazo, a jakkolwiek bezpośrednio nawęglanie za pomocą czystego węgla nie ulega wątpliwości, to jednak jak niedawne badania Giolittiego i Guilleta wykazały\*), odbywa się ono tak wolno i słabo, że tylko gazy wnikaące w rozżarzony materiał i tam wydzielające węgiel uważać należy za istotny czynnik cementujący.

Proces ten jest więc analogiczny do procesu zachodzącego przy kującej leiznie; tam środek utleniający w stanie



Ryc. 123.

stałym dostarczał tlenu potrzebnego do odwęglania, tu węgiel w stanie stałym dostarcza tlenku węglowego do nawęglania.

W praktyce do nawęglania używa się obok znanych i wyżej wymienionych materiałów także tajemnych i szumnie nieraz nazywanych środków, które zwykle są mieszaniną taniach, a często bezwartościowych dla procesu składników i dlatego należy ich unikać. Doskonałym środkiem cementacyjnym okazała się mieszanina 60 części węgla drzewnego i 40 węglanu barowego.

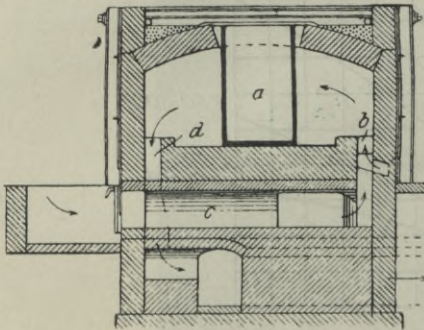
Żelazo przeznaczone do cementowania musi mieć odpowiedni skład chemiczny, nie zawierać przymieszek utrudnia-

\*) Génie Civil 1911 i inne.

jących wytworzenie się karbidu (np. krzem), a zawierać ułatwiający (np. mangan, chrom i t. p.), nie może też zawierać wiele przymieszek szkodliwych (siarka, fosfor). Korzystny skład takiego żelaza jest następujący:

Węgiel . . . . .	0·1 do 1·15 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Mangan . . . . .	do 0·4 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Krzem . . . . .	poniżej 0·3 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Siarka . . . . .	» 0·04 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Fosfor . . . . .	» 0·05 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>

Do wytworzenia warstwy niezbyt kruchej ale i niezbyt twardej przyczynia się dodatek niklu, do bardzo twardej chromu; o zachowaniu się stopów żelaza przy cementowaniu mówiliśmy w części I-szej.



Ryc. 124.

Do cementowania umieszcza się większe przedmioty w osobnych skrzynkach żelaznych wypełnionych materiałem nawęglającym, drobne układa się w większych zbiornikach, przekładając je tym materiałem. Naczynia wstawia

się następnie do pieców, których budowa stosownie do wielkości i ilości naczyń, rodzaju paliwa (węgiel, gaz i t. d.) bywa rozmaita. Ryc. 124. przedstawia piec ogrzewany gazem, który wchodząc przewodem *b* miesza się z powietrzem dopływającym z zewnątrz kanałem *c* i zapalając się ogrzewa zbiorniki *a* umieszczone obok siebie we wspólnej komorze; gazy spalenia uchodzą przewodem *d* do komina.

Długość procesu stosuje się do grubości warstwy, jaką trzeba wytworzyć. W częściach maszyn warstwa nawęglona ma grubość 0·8 do 1·5 mm. i proces żarzenia po osiągnięciu wymaganej temperatury trwa tylko kilka godzin; jeżeli jednak zbiorniki obejmujące przedmioty nawęglane są wielkie, i tylko powoli mogą się rozgrzewać, proces trwa kilkanaście i kilkadziesiąt godzin.



Cementowanie żelaza sztabowego, przeznaczonego na stal tyglową, wymaga do 10 dni z powodu wielkich rozmiarów skrzyń obejmujących żelazo i głęboko sięgającego nawęglania.

Użycie gazów zawierających związki węgla jest oddawna znane, np. do nawęglania płyt pancernych stosują gaz świetlny, który wypuszcza się z palników na rozżarzone płyty; rozpowszechnia się również zastosowanie tlenu węgla w ten sposób, że przez naczynie wypełnione węglem, otaczającym przedmioty cementowane, przepuszcza się tlenek węgla i zmieniając dowolnie jego dopływ, reguluje się grubość warstwy nawęglonej i stopień nawęglania.

Materyały płynne działają zbyt energicznie, tworzą się warstwy silnie i jednostajnie nawęglone, bez stopniowego przejścia do materiału ubogiego w węgiel. Takie warstwy łatwo się łuszczą i dlatego zastosowanie ich nie jest korzystne.



## SKOROWIDZ.

- Albidur 101.  
Allewarda stal 69.  
Allotropowe odmiany cyny 43.  
» » niklu 45.  
Allotropowe odmiany żelaza 5, 23, 225.  
Aluminium p. glin.  
Amoniak 136.  
Amonowy siarczan 136, 137.  
Analiza termiczna 106.  
Antyfrykcyjny metal 92.  
Antymon 44, 50, 86, 90, 91.  
» w żelazie 35.  
Antymonit 44.  
Arsen w żelazie 35.  
Austenit 11, 60.  
Azot w żelazie 18, 36, 201.
- Badania chemiczne 104, 105.**  
» ciągle 115.  
» dynamiczne 113.  
» materiałów 102.  
» mechaniczne 104, 108.  
» metalograficzne 104, 105, 204.  
» obrabialności 119.  
» statyczne 113.  
» wytrzymałości 108, 118.  
» z karbem 113, 115, 121.
- Barwa bronzów 82.  
» bronzów glinowych 87.  
» mosiądzu 85.  
» nalotowa 27, 37.  
» stopów 56.
- Bateria pieców koksowych 134.
- Bauksyt 45.  
Benzol 136, 137.  
Bermannna próba stali 108.  
Bessemera gruszka 185, 186, 191, 223.  
» metoda 186, 187.  
Biały metal 90, 92.  
Bilans ciepła wielkiego pieca 147.  
Bizmut 50, 93.  
Blenda cynkowa 44.  
Błoki żelaza kujnego 198, 200, 203.  
Błyszcz żelaza 129.  
Brinella metoda badania twardości 117.  
Bronz 79.  
Bronz fosforowy 81.  
» glinowy 87.  
» krzemowy 83.  
» manganowy 83.  
Brykietowanie rudy 131.  
Brykiety 130, 131, 177.  
Burgersa wielki piec 152.
- Cegły szamotowe 148.  
» węglowe 149.  
» żuźlowe 171.
- Cementowana stal 219, 224.  
Cementowanie 62, 74, 181, 224, 225.  
Cementowanie gazami 226, 227.  
» płynami 226, 229.  
Cementyt 9, 10, 14, 21, 212, 222, 225.  
Cement wielkopiecowy 172.  
Cement żelazo-portlandzki 172.

- Cement żuźlowy 171.  
 Ceruzyt 44.  
 Chalkopiryt 39.  
 Chemiczne połączenia metali 49.  
 Chłodnice 174.  
 Chłodzenie części wielkiego pieca 152.  
 Chrom 46, 67, 73, 75, 76, 100.  
 Chwywanie gazów 154.  
 Ciągłość stopów 55.  
 Ciężar gat. żelaza 15, 31, 200.  
   »   » stopów 56.  
 Cymalium 98.  
 Cyna 35, 42, 51, 79, 85, 90, 91, 93.  
 Cyna biała 43.  
 Cyna szara 43.  
 Cynk 44, 83, 98.  
 Czcionki drukarskie 92.  
 Czyszczenie gazów 173.  
 Damasceńska stal imitowana 213, 218.  
   »   » tyglowa 211.  
   »   » zgrzewana 213, 218.  
 Delta-metal 86.  
 Demagnetyzujące natężenie 33.  
 Desoksydacja 189, 195, 205, 216.  
 Diagram natężeń i wydłużeń 110, 112.  
 Diagram stygnięcia żelaza 5, 14, 23, 54.  
 Domieszki w żelazie 16, 33, 186, 222, 228.  
 Duralumin 97.  
 Durana-metal 86.  
 Dysze 143, 153.  
 Dzwon Langena 156.  
 Elastyczność stali 72.  
 Elektron-metal 101.  
 Elektryczne rafinowanie żelaza 213.  
   »   własności żelaza 31.  
   »   wytapianie żelaza 161.  
 Eutektyczna mieszanina 7, 9, 51, 53.  
 Eutektyczny punkt 7, 8.  
 Eutektyczny stop 55, 90.  
 Eutektyczna temperatura 7, 51.  
 Ferryt 9, 10, 13, 212, 221.  
 Fosfor 17, 34, 81, 107, 182, 183, 186, 188, 191, 196, 198, 203, 204, 210, 223, 228.  
 Fryszerska metoda 181.  
 Galenit 44.  
 Galman 44.  
 Gardziel wielkiego pieca 143, 151.  
 Garnieryt 45.  
 Gaz generatorowy 191.  
 Gaz kokсовy 135, 136, 137, 193.  
 Gazy w żelazie 18, 35, 201, 205, 210, 211, 213.  
 Gazy w wielkiego pieca 144, 154, 172, 193.  
 Generatory gazu 191.  
 Gęsi surowcowe 150, 162, 166.  
 Glin (aluminium) 45, 71, 86, 95, 96, 98, 101, 205, 207.  
 Grafit w żelazie 12, 15, 16.  
 Grafit płynności 13.  
 Granica plastyczności 110.  
   »   proporcjonalności 110.  
   »   sprężystości 110.  
   »   wytrzymałości 111.  
 Granulowanie żuźli 170.  
 Gröndala sortownik rudy 131.  
 Gruszka Bessemiera 185, 186, 191, 223.  
 Harmeta sposób ulepszenia bloków żelaza 208.  
 Hartowanie bronzu 81.  
   »   stopów glinu 97.  
 Hartowność żelaza 4, 22, 33.  
 Hematyt 129.  
 Huta Martina 197.  
   »   Thomasa 190.  
 Invar 64.  
 Iskry stali 108.  
 Jama odlewniana 201, 203, 206, 207, 208.  
 Kadm 93.  
 Kadź odlewniana 199.  
 Kamienie kwarcowe 195.  
   »   szamotowe 148, 195.  
   »   żuźlowe 171.  
 Karb (wpływ na wytrzymałość) 100, 113, 114, 121, 208.  
 Karbid żelaza 4, 7, 9, 10, 13, 14, 212, 220, 225.

- Karbony podwójne 16, 61, 65, 67, 69, 70, 77.  
 Kasyteryt 42.  
 Kobalt 100.  
 Kokile 199.  
 Koks 134.  
 Konwerter 185.  
 Koszowe zasilanie wielkiego pieca 158.  
 Kotlina pieca 143, 150.  
 Kryolit 45.  
 Kryształy żelaza 22.  
 Krytyczna temperatura 23.  
 Krzem 16, 32, 71, 83, 186, 187, 205, 210, 222, 228.  
 Kujna leizna 219, 222.  
 Kujność żelaza 19.  
 Kurczenie się żelaza przy stygnięciu 15, 31, 200.  
 Langena dzwon 156.  
 Leizna biała 222.  
 Leizna czarna 222.  
 Leizna kujna 219, 222.  
 Limonit 129.  
 Linotyp 93.  
 Luty 93.  
 Magnalium 96.  
 Magnesy trwałe 32, 68, 69.  
 Magnetyczna oporność 32.  
 Magnetyczna pojemność 32.  
 » przepuszczalność 32.  
 Magnetyczne sortowanie (wzbogacanie) rudy 128, 130.  
 Magnetyczne własności żelaza 31, 68, 69, 72.  
 Magnetyt 128.  
 Magnetyzm szczątkowy 32, 68.  
 Magnez 46, 52, 95, 96, 101.  
 Magnezyt 194.  
 Mangan 16, 33, 46, 64, 73, 83, 86, 100, 186, 203, 204, 205, 223, 228.  
 Martensa metoda kulkowa badania twardości 117.  
 Martensa-Turnera badanie twardości przez zarysowanie 118.  
 Martenzyt 10, 23, 59.  
 Maszyny do odlewania surowca 167.  
 Materyały 1.  
 Metal biały 90, 92.  
 Metal antyfrakcyjny 92.  
 Metalograficzne badanie 104, 105, 204.  
 Metalograficzny mikroskop 105.  
 Meteoryczne żelazo 45.  
 Metoda Bertrand-Thiela 196.  
 » Bessemera 186, 187, 191, 197.  
 » fryszerska 181.  
 » kwaśna 186, 187, 196.  
 » naczyniowa 185, 186.  
 » podwójna 197.  
 » pudlarska 182.  
 » Siemens-Martina 185, 191, 195, 196.  
 » Talbota 197.  
 » Thomasa 186, 188.  
 » tyglowa 209.  
 » zasadowa 185, 188, 196.  
 » z Hoesch 196.  
 Miechy mechaniczne 138.  
 Miechy odśrodkowe 139.  
 Miechy łokowe 138.  
 Miedź 18, 35, 39, 78, 90, 91, 97.  
 Mieszalnik 168.  
 Mieszanie surowca 168.  
 Mieszanina eutektyczna 7, 51, 53.  
 Mikrofotografie żelaza 9.  
 Mikroskop metalograficzny 105.  
 Minette 129.  
 Molybden 47, 69, 76, 77.  
 Monela metal 88.  
 Mosiądz 83.  
 Mosiądz miękki 84.  
 » twardy 84.  
 Nadlewki 206.  
 Nalot (barwy nalotowe) 27, 37, 121.  
 Natężenie 109, 110, 111.  
 Natężenie demagnetyzujące 32, 68.  
 Nawęglanie 62, 73, 146, 181, 219, 224, 225.  
 Nikiel 45, 61, 73, 75, 76, 87.  
 Nikielin 45.

- Obrabialność materyałów** 119.  
**Obróbka zimna** 28, 40, 84, 98.  
**Oddzielnac pyłu** 174.  
**Odlewanie żelaza w bloki** 198, 200.  
**Odlewy stalowe** 198.  
**Odpuszczanie stali** 24, 76, 78.  
**Odsiarczanie żelaza** 168, 217.  
**Odwęglanie** 219.  
**Ogniotrwałość** 147.  
**Ogrzania wpływ na żelazo** 26.  
**Ogrzewanie powietrza** 139.  
**Ogrzewacz Co wpera** 139.  
**Ołów** 44, 51, 82, 85, 91, 93.  
**Ołów w wielkim piecu** 178.  
**Oolitowa ruda** 129.  
**Osad w gardzieli** 177.  
**Osmondyt** 24.  
**Osuszanie powietrza** 141.  
**Otton'a piec koksowy** 134.  
  
**Pakiety żelaza** 217.  
**Paliwo płynne** 193.  
**Paliwo w wielkim piecu** 133.  
**Parry'ego stożek** 156.  
**Perlit** 9, 13, 21, 59.  
**Perlityczna struktura** 59.  
**Piasek żuźlowy** 171.  
**Piec do cementowania** 228.  
**Piec do żarzenia leizny** 224.  
**Piece elektryczne** 162, 211, 213.  
**Piec elektryczny Giroda** 214.  
**Piec elektryczny Heroult'a** 214.  
 » elektr. Kjellina 215.  
 » » Nathusiusa 215.  
 » » Röchling - Roden-  
 hausera 215.  
 » » Stassana 213.  
 » » w Trollhättan 162.  
 » Bessemera 186, 191, 223.  
 » fryszerski 181.  
 » kupolowy 186, 190, 223.  
 » płomienny 182, 185, 191, 223.  
 » Siemens-Martina 191, 194.  
 » tyglowy 209, 223.  
 » wielki 127, 142, 147, 161.  
**Plamy na bronzie** 81.  
**Platinoid** 64.  
  
**Pluczka Theisena** 175.  
**Pochłanianie gazów** 16, 18.  
**Podwójne zamknięcie pieca wiel-  
 kiego** 158.  
**Podwójny karbid** 16, 61, 65, 67, 69,  
 70, 77.  
**Połączenia chemiczne metali** 49, 50,  
 83.  
**Porowatość żelaza** 201.  
**Postać węgla w żelazie** 4.  
**Powietrze w wielkim piecu** 138, 139,  
 153.  
**Próba Heyna z karbem** 115.  
**Próby kucia** 121.  
 » zginania 120.  
 » technologiczne 120.  
**Proces elektrycznego rafinowania  
 żelaza** 213.  
**Proces tyglowy** 209.  
 » wytapiania surowca 144, 161.  
**Produkcya pieca wielkiego** 160, 165.  
**Produkty pieca wielkiego** 165, 170,  
 172, 177.  
**Przeżrzenie** 26, 27, 39, 42, 205.  
**Przełom** 103.  
**Przestron pieca** 143.  
**Przewiercanie wyrobów żelaznych**  
 208.  
**Przewodnictwo ciepła i elektr. sto-  
 pów** 56.  
**Przygotowanie rudy** 130.  
**Przystawa pieca** 143, 150.  
**Pudlarska metoda** 182.  
**Punkt eutektyczny** 7, 8.  
 » topliwości stopów 54.  
**Pył z wielkiego pieca** 177.  
  
**Rafinowanie żelaza** 198, 209.  
**Rdzewienie** 37, 64, 66.  
**Redukcya bezpośrednia** 145, 164.  
 » pośrednia 145, 164.  
**Regenerator** 193.  
**Riemera ulepszenie żel. w blokach**  
 206.  
**Rozciągliwość żelaza** 19.  
**Rozdrabianie rudy** 130.  
**Rozkład karbidu** 13, 220.

- Rozrywające natężenie 111.  
 Roztwory metali 49, 50.  
 Roztwór stały (żelaza i karbidu) 4, 7, 225.  
 Ruda darniowa 129.  
 » oolitowa 129.  
 Rudy manganowe 130.  
 Rudy żelaza 127.
- Ściskanie bloków (Harmet) 208.  
 Sferosyderyt 129.  
 Shore'a skleroskop 119.  
 Siarka w żelazie 17, 84, 183, 191, 196, 203, 204, 210, 223, 228.  
 Skleroskop 119.  
 Skrzynie chłodzące 153.  
 Smoła 136, 137.  
 Sorbit 24.  
 Spadek pieca wielkiego 143, 150.  
 Specjalna stal p. Stopy żelaza.  
 Spęczanie 122.  
 Spiekanie rudy 131.  
 Spust surowca 154, 165.  
 Spust żużla 154.  
 Srebro 100.  
 Stacye doświadczalne 104.  
 Stal 20, 21.  
 Stal cementowana 219, 224.  
 Stal damasceńska imitowana 213, 218.  
 » » tyglowa 211.  
 » » zgrzewana 213, 218.  
 » Musheta 77.  
 » specjalna (p. Stopy żelaza).
- Stal tyglowa 211.  
 Stalownia Martina 197.  
 Stalownia Thomasa 190.  
 Stapianie (dla złączenia) 107.  
 Stare żelazo 195, 196.  
 Starzenie się magnezów 33.  
 Stereotypy 92.  
 Sterro-metal 86.  
 Stopy 48.  
 Stopy białe 58, 88.  
 » bizmutu i antymonu 50.  
 » cynku, cyny i antymonu 91.  
 » cynku, cyny i miedzi 91.  
 » cyny, antymonu i miedzi 90.
- Stopy cyny i magnezu 52.  
 » cyny i ołowiu 51.  
 » eutektyczne 55, 90.  
 » glinu 92, 96.  
 » » i cynku 98.  
 » » i miedzi 86, 97.  
 » » ze srebrem 100.  
 » » z żelazem 101.  
 » lekkie 58, 95.
- Stop Lipowitza 93.  
 Stopy magnezu 96, 101.  
 » miedzi 58, 79.  
 » » z cynkiem 83.  
 » » z cyną 79.  
 » » z glinem 86, 97.  
 » » z krzemem 83.  
 » » z manganem 83.  
 » » z niklem 87.  
 » mieszane 57, 93.
- Stop Monella 88.  
 Stopy narzędziowe 76.  
 » o niskiej temp. topliwości 93.  
 » ołowiu z antymonem 91.
- Stop Rosego 93.  
 Stopy Rübela 87, 101.  
 » ubijane 57, 93.  
 » żelaza 58, 59.  
 » » z chromem 67.  
 » » z chromem i wanadem 75.  
 » » z chromem i wolframem 76.  
 » » z glinem 71.  
 » » z krzemem 71.  
 » » z manganem 64.  
 » » z molybdenem 69.  
 » » z niklem 61.  
 » » z niklem i chromem 73.  
 » » z niklem, chromem i wanadem 75.  
 » » z niklem i manganem 73.  
 » » z niklem i molybdenem 76.  
 » » z niklem i wanadem 75.  
 » » z niklem i wolframem 76.

- Stopy żelaza z tytanem 71.  
 » » z wanadem 70.  
 » » z wolframem 69.  
 » » wielokrotne 73.  
 Struktura karbidyczna 61.  
 » kującej leizny 222.  
 » martenzytyczna 59, 62.  
 » perlityczna 59.  
 » polyedryczna 11, 59, 60.  
 Surowiec (żelaza) 13, 165.  
 » bessemerowski 167.  
 » biały 10, 14, 167, 220.  
 » martinowski 168.  
 » pudlarski 167.  
 » szary 12, 14, 167, 220.  
 » tomasowski 168.  
 » zwierciadlisty 168, 169.  
 Świeżenie metodą Bessemera 186, 187, 191.  
 » » fryszerką 181.  
 » » naczyniową 185, 186.  
 » » pudlarską 182.  
 » » Siemens-Martina 191, 195, 196.  
 » » Thomasa 186, 188.  
 Świeżenie żelaza 180, 219.  
 Syderyt 129.  
 Szamota 148.  
 Szczyt pieca wielkiego 151.  
 Temperatura ciemno-czerwonego żaru 121.  
 » eutektyczna 7, 51.  
 » niebieskiego nalotu 27, 121.  
 Termiczna analiza 106.  
 Termiczne ulepszanie 63, 74.  
 Termit 45, 206.  
 Termitowe ulepszanie żelaza 206.  
 Thomasa metoda 186, 188.  
 Tlenek miedziawy 41.  
 » węgla (w żelazie) 36, 201.  
 Tlen w żelazie 36.  
 Tomasyńska 189, 196.  
 Topliwość żelaza 15, 31.  
 Topniki 128, 132.  
 Troostyt 24.  
 Twardość (badanie) 116.  
 Twardość stopów 55.  
 Twardość żelaza 19, 24.  
 Tygiel 209.  
 Tyglowy piec 209.  
 Tyglowy proces 209.  
 Tytan 18, 71, 205.  
 Ulepszanie żelaza 209, 217.  
 Van Hoffa zamknięcie pieca 157.  
 Wady w blokach żelaza 200.  
 Wanad 47, 70, 75.  
 Wentylatory 175.  
 Węgiel w żelazie 3, 4, 14, 19, 21, 146, 204, 219.  
 » bezpostaciowy 4.  
 » drzewny 134.  
 » hartu 5.  
 » krystaliczny 4.  
 » żarzenia 4, 13, 220.  
 Węgiel żelaza (p. Karbid).  
 Wielki piec 127, 142, 147, 161.  
 Wodór w miedzi 41.  
 Wodór w żelazie 18, 36, 201.  
 Wolfram 47, 69, 76.  
 Wózkowe zasilanie pieca 158.  
 Współczynnik bezpieczeństwa 111.  
 Wyciągi przy wielkim piecu 155.  
 Wydłużenie 110, 112.  
 Wydzielenie 55, 82, 203.  
 Wykres natężeń i wydłużeń 110, 112.  
 » stygnięcia żelaza 5, 14, 54.  
 Wylot pieca 143.  
 Wymrażanie powietrza 142.  
 Wyrób koksu 134.  
 » kującej leizny 219, 222.  
 » surowca 127.  
 » stali cementowanej 219, 224.  
 » żelaza kującego 179, 219.  
 » » zgrzewanego 181.  
 » » zlewnego 185.  
 Wystanie się żelaza 210, 217.  
 Wytapianie spustu 165.

Wytapianie surowca 144, 161.  
Wytrzymałość 108, 112.  
» stopów 55.  
» żelaza 19, 21.  
Wytwory wielkiego pieca 165, 170,  
172, 177.  
Wzbogacanie rudy 128, 130.

Yellow-metal 86.

Zamknięcie pieca wielkiego 156.  
Zaraza cyny 43.  
Zasilanie pieca wielkiego 154, 158.  
Zendra 129.  
Zgorzyny iskrzyku żelaza 129.  
Zgrzewalność 19, 107, 122.  
Zgrzyt cyny 42.  
Zimna obróbka 28, 40, 84, 98.  
Złoże 127, 132.  
Zmęczenie materiału 115.  
Zmiany w blokach żelaza 200.  
Zwężenie przekroju 111.  
Związki ołowiu w wielkim piecu  
178.

Żelazo (w ogólności) 3.  
» bessemerowskie 189.  
» fryszerskie 181.  
» -krzem 167, 205.  
» kujne 13, 19.  
» -mangan 168.  
» kujne rafinowane 180, 198.  
» kujne surowe 180, 198.  
» martinowskie 198.  
» miękkie 20.  
» pudlarskie 184.  
» specjalne (p. Stopy żelaza).  
» tomasowskie 189.  
» tyglowe 189.  
» węgliste 3, 4.  
» zgrzewane 181, 203.  
» zlewne 181, 185, 203.

Żeleziak brunatny 129.  
» czerwony 129, 196, 222.  
» magnetyczny 128, 196.  
» spatowy 129.

Żużel w żelazie kujnem 184, 203.

Żużle 129, 132, 170.

Żużle Thomasa 189.











Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-338593

PO

BI



L. inw.

~~15413~~

Kdn. 524. 13. IX. 54

26

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000267690