

# PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

## TREŚĆ:

Czynniki najwyższej sprawności kotłów eksploatowanych, nap. Inż. St. Felsz.  
 Rola krzemu w układzie Fe — C, (dok.) nap. Inż. metalurg M. Dubowicki, Kraków, Akademia Górnicza  
 Optimum eksploatacji samolotów komunikacyjnych, nap. G. A. Mokrzycki, Profesor Politechniki Warszawskiej.  
 Przegląd pism technicznych.

## SOMMAIRE:

Rendement maximum des chaudières à vapeur, par M. St. Felsz, Ingénieur.  
 Le rôle du silicium dans le système Fe — C (suite et fin), par M. M. Dubowicki Ingénieur diplômé.  
 Conditions optimales de l'exploitation des avions commerciaux, par M. G. A. Mokrzycki, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Varsovie.  
 Revue documentaire.

## Czynniki najwyższej sprawności kotłów eksploatowanych.

Napisał Inż. St. Felsz.

### 1) Sprawność czynnego kotła.

**W** pracy każdego kotła lub zespołu kotłów należy dążyć do osiągnięcia możliwie najwyższej ich sprawności.

Jest to przede wszystkim kwestja dobrego spalania części lotnych węgla, dostarczania odpowiedniego nadmiaru powietrza, kwestja czynników konstrukcyjnych kotła i własności spalnego węgla.

Przypuśćmy jednak, że wszystkie te czynniki są ustalone i niezmiennie. Wtedy głównym czynnikiem sprawności kotła będzie natężenie rusztu, które wyrażać będziemy dalej ilością milionów kaloryj węgla, spalanego na  $m^2$  rusztu i godzinę.

Ciąg kominowy nie pozwala na osiąganie wyższych natężeń rusztu w kotłach stałych, i tu pole badania jest ograniczone do natężeń, nie przekraczających zwykle 200 — 300  $kg/m^2h$ . Natomiast ciąg sztuczny na parowozach pozwala na doprowadzenie natężeń rusztu do 1000  $kg/m^2h$ .

Zatem w doświadczalnictwie parowozowym mamy najwęższe pole do badań nad sprawnością kotła zależnie od natężenia rusztu, nadmiaru powietrza i innych czynników zasadniczych. Ale przy wysokich natężeniach rusztu są b. wysokie straty na iskrzenie i zgaszony pył żaru, nieuchwytny dla pomiarów bezpośrednich.

Wskutek tego zwykle wzory do obliczania strat kominowych (odlotowych) — dostatecznie ściśle dla niewysokich natężeń kotłów stałych — stają się bardzo nieściśle przy wysokich natężeniach.

Obliczanie strat kotłowych na parowozach wymaga więc przede wszystkim uzupełnienia, a nawet poprawienia zwykłych wzorów podręcznikowych.

Analiza obliczonych w ten sposób ściśle strat ciepłych, w doświadczeniach parowozowych, pozwoliła mi ustalić zależność poszczególnych strat kotłowych i sprawności kotła od poszczególnych czynników zasadniczych.

Do czynników tych należą: straty w częściach lotnych, natężenie rusztu, nadmiar powietrza, wartość opału węgla, stopień jasności jego ognia, ustrój i rozpiętość paleniska i powierzchni ogrzewanej, temperatura wody w kotle, wody zasilającej, wreszcie powietrza, wchodzącego pod ruszt.

W niniejszym streszczeniu wystarczy uzależnienie strat od czynników najważniejszych:

a)  $n_g\%$  — straty w częściach lotnych i surowym pyłe węglowym. Są to straty, zależne od umiejętności palenia i urządzeń paleniskowych. Mogą się wahać od 0 do 15%.

b) Straty w niedopałkach żaru, zwane także węglem lotnym. Są to łączne straty ciepłe żużla, leszu, iskrzenia i zgaszonego pyłu żaru.

Ustalono, że straty te wzrastają:

proporcjonalnie do natężenia rusztu ( $b \text{ kg}/m^2 h$ ),

„ do wart. opału węgla ( $K \text{ Kal}/kg$ ),

„ do temperatury spalania, czyli

wzrastają w miarę zmniejszania nadmiaru powietrza ( $a$ ).

Zatem wynoszą one  $\beta \frac{Kb}{a}$ , gdzie  $\beta$  jest współ-

czynnikiem, zależnym od ustroju paleniska i własności węgla,  $Kb$  — jest natężeniem ciepłym rusztu.

Dla węgla i palenisk parowozowych ze sklepieniem

$$\beta = \frac{11}{1\,000\,000}, \text{ bez sklepienia } \beta = \frac{20}{1\,000\,000}$$

c) Straty odlotowe, zwane także kominowemi.

Według wzorów ustalonych, straty te oceniane są za wysoko, a wskutek tego straty spalania — oceniane są za nisko. Są one zależne, wraz z temperaturą gazów odlotowych, od wielu czynników.

Ściśle ich określenie, wraz z temperaturą gazów odlotowych, jest zbyt skomplikowane, aby tu przytaczać odnośne wzory.

Zależnie od natężenia rusztu, rozpiętości powierzchni ogrzewanej, jasności ognia i t. p., straty

te wahają się na parowozach procentowo od siedmio do dziesięciokrotnego nadmiaru powietrza (przy prężnościach roboczych pary około 12 — 15 at). Przybliżona więc ich wartość wynosi  $\delta a\%$ , gdzie  $\delta = 7$  do 10, a zwykle  $\delta = 8$ , przyczem  $a$  jest nadmiarem powietrza.

d) Straty izolacyjne albo straty promieniowania.

Ilość ciepła, wypromieniowanego przez czynny kocioł na godzinę jest wielkością stałą. Niech to będzie naprzykład 120 000 Kal. Przypuśćmy, że w kotle jest ruszt 4 m<sup>2</sup>. Ilość ciepła, traconego na zewnątrz a przypadającego na m<sup>2</sup> rusztu i godzinę,

$$\text{wynosi } I = \frac{120\,000}{4} = 30\,000 \text{ Kal.}$$

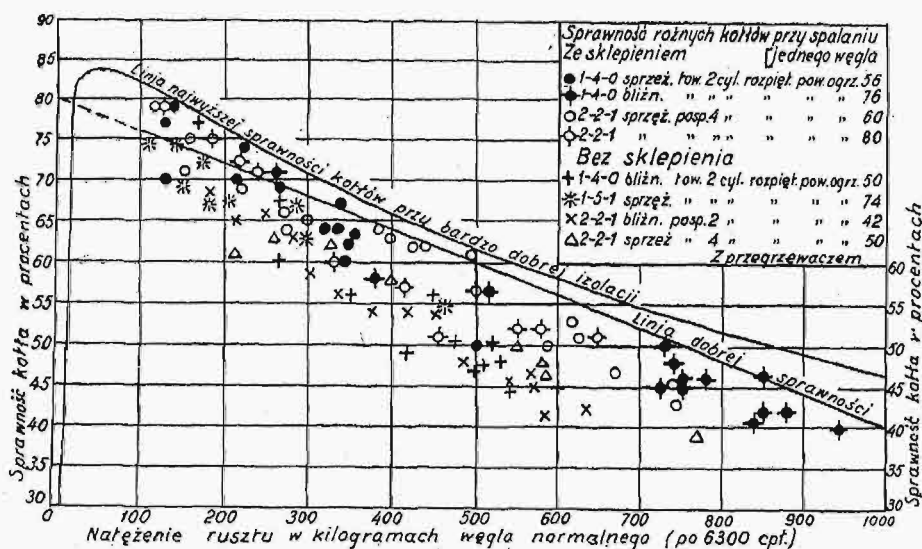
Spala się zaś w tym samym czasie na kwadratowym metrze rusztu  $Kb$  Kal. Zatem straty te wynoszą w odsetkach:

$$\frac{100I}{Kb}\%.$$

Procent tych strat jest nikły przy wysokich natężeniach rusztu, ale jest wartością poważną przy małych natężeniach.

Sprawność więc czynnego kotła może być wyrażona w postaci możliwie uproszczonej wzorem następującym:

$$\eta^0\% = 100 - n_g\% - \beta \frac{Kb}{a} - \delta a - \frac{100I}{Kb} \quad (1)$$



Rys. 1.

## 2) Dobre spalanie części lotnych.

Straty w częściach lotnych i surowym pyłe węglowym są najpoważniejszymi stratami, których można uniknąć. Przyczynia się do tego należyta objętość i rozpiętość paleniska, jego konstrukcja, umiejętne zarzucanie węgla małymi porcjami i umiejętne stosowanie wtórnego powietrza.

Przy wykonywaniu masowych doświadczeń i uszeregowaniu punktów osiągniętej sprawności czynnego kotła według natężenia rusztu, otrzymujemy zwykle dość szeroki pas punktów sprawności, pochylający się ku dołowi ze wzrostem natężenia rusztu (rys. 1).

Na szerokość tego pasa składają się głównie straty w częściach lotnych, które w jednakowych warunkach spalania mogą sięgać 10% i wyżej, a w różnych warunkach (naprz. przy spalaniu ze sklepieniem i bez niego) do 15% i wyżej.

Dlatego linia przeprowadzona przez punkty górującej sprawności jest linią dobrej sprawności kotła, osiągniętej przy najmniejszych stratach w częściach lotnych.

Wartość  $100 - n_g\%$  charakteryzuje pod tym względem sprawność spalania części lotnych i surowego pyłu węglowego i może być w skróceniu nazwana sprawnością palacza.

Może ona się wahać w szerokich granicach od 100 do 85% i niżej.

Przy umiejętnym i dobrym spalaniu części lotnych, odpadają ze wzoru (1) straty  $n_g\%$ .

Wtedy uproszczony wzór dobrej sprawności wypada:

$$\eta^0\% = 100 - \beta \frac{Kb}{a} - \delta a - \frac{100I}{Kb} \quad (2)$$

O ile ciepłe natężenie rusztu  $Kb$  liczyć w milionach kaloryj, to — naprz. dla parowozów ze sklepieniem w palenisku i dla węgla suchych oraz półtustych długopłomiennych — można przyjąć  $\beta = 11$ . Pozatem  $\delta = 8$ ,  $I = 0,03$  (milion Kal).

Wtedy dobra sprawność czynnego kotła parowozowego wynosi

$$\eta^0\% = 100 - 11 \frac{Kb}{a} - 8a - \frac{3}{Kb} \quad (2a)$$

## 3) Najkorzystniejszy nadmiar powietrza.

Z uproszczonych wzorów sprawności widać, że istnieją pewne przeciwieństwa między stratami w niedopalkach żaru  $\beta \frac{Kb}{a}$  a stratami odlotowymi  $\delta a$  na punkcie nadmiaru powietrza ( $a$ ).

W miarę wzrostu nadmiaru, straty odlotowe wrażliwie rosną, ale procent niedopalków żaru maleje, i odwrotnie.

Suma tych strat jest najmniejsza, kiedy one wyrównują się, t. j. kiedy  $\beta \frac{Kb}{a} = \delta a$ .

Stąd wypada najkorzystniejszy nadmiar powietrza

$$\text{optimum } a = \sqrt{\frac{\beta}{\delta} Kb} \quad (3)$$

Przy  $\beta = 11$ , dla miliona spalanych kaloryj i  $\delta = 7$  do 10, wypada

$$\text{opt. } a = (1,25 \text{ do } 1,05) \sqrt{Kb} \text{ milionów Kal.} \quad (3a)$$

Przy natężeniu rusztu około 100 kg/m<sup>2</sup>h węgla o wartości 6 300 Kal, opt.  $a = 1,25 \sqrt{0,63}$ , co jest bliskie 1, t. j. nadmiaru teoretycznego.

Ze wzrostem natężenia rusztu, opt.  $a$  wzrasta. W rzeczywistości, przy małych natężeniach rusztu, nadmiar powietrza jest zbyt wysoki, a przy dużych natężeniach — za mały. Przy stosowaniu najkorzystniejszego nadmiaru powietrza, linia najlepszej sprawności może być wyrażona:

$$\text{optimum } \eta^0\% = 100 - 2 \sqrt{\beta \delta Kb} - \frac{100I}{Kb} \quad (4)$$

Przy  $\beta = 11$  dla  $Kb$  w milionach  $Kal$ ,  $I = 0,03$ ,  $\delta = 7$  do 10, linja ta wyraża się wzorem:

$$\text{opt. } \eta^0/\text{o} = 100 - (18 \text{ do } 21) \sqrt{\frac{Kb}{3}} \quad (4a)$$

Podobna linja powyżej natężenia  $Kb = 0,5$  miliona  $Kal$  jest łukiem wklęsłym.

Powyższe wzory (3) i (4) są tylko przybliżonymi wzorami najkorzystniejszego nadmiaru powietrza i najlepszej sprawności (przy stosowaniu takiego nadmiaru), ponieważ wartość  $\delta$  jest zależna w pewnym stopniu od natężenia rusztu ( $Kb$ ) i od samego nadmiaru powietrza ( $a$ ).

Ścisłejsze wzory poprawiają tylko konkretne liczby i potwierdzają wnioski, wpływające ze wzoru (3):

1) przy małych natężeniach rusztu należy tłumić zbyt wielki wtedy nadmiar powietrza, bez uszczerbku jednak dla dobrego spalania części lotnych.

Takie warunki pracy mają przeważnie kotły fabryczne i parowozy w pracy przetokowej.

W takich warunkach trzeba tłumić zbędny nadmiar powietrza różnymi sposobami, z których najkorzystniejszym będzie mniejsza lub większa domieszka drobniejszych (i tańszych zarazem) sortymentów węgla: orzecha i pospółki.

2) Im wyższe jest natężenie rusztu, tem większy nadmiar powietrza staje się najkorzystniejszym, tem bardziej trzeba ułatwiać przepływ powietrza, tem większy musi być ciąg i grubszy spalany węgiel.

W tych warunkach dążenie teoretyków do możliwie małego nadmiaru powietrza dla możliwego zmniejszenia strat odlotowych jest dążeniem błędnem.

#### 4) Najkorzystniejsze natężenia rusztu kotła czynnego.

Ze wzorów sprawności (2) i (3) widoczne jest jeszcze drugie przeciwieństwo: straty w niedopałkach żaru  $\beta \frac{Kb}{a}$  wzrastają wraz z natężeniem rusztu, gdy straty izolacyjne  $\frac{100I}{Kb}$  zmniejszają się wtedy.

Suma tych strat jest najmniejsza, gdy się one wyrównywują, t. j. kiedy  $\beta \frac{Kb}{a} = \frac{100I}{Kb}$ ,

Stąd wypada najkorzystniejsze natężenie rusztu czynnego kotła:

$$\text{optimum } Kb = \sqrt{\frac{100Ia}{\beta}} \quad (5)$$

Dla parowozów, przy  $\beta = 11$ ,  $I = 0,03$  wypada

$$\text{opt. } Kb = 0,52 \sqrt{a} \quad (5a)$$

A więc przy  $a = 1,2$  do 1,4, najkorzystniejsze natężenie rusztu wynosi 0,57 — 0,62 milionów  $Kal$ , spalanych na  $m^2$  rusztu na godz. Odpowiada to 90 — 100  $kg$  węgla o wartości opałowej 6 300  $Kal$ . Wtedy osiąga się najwyższą sprawność czynnego kotła:

$$\text{opt. } \eta^0/\text{o} = 100 - 2 \sqrt{\frac{100I\beta}{a}} - \delta a \quad (6)$$

co w danym konkretnym przykładzie wynosi około 80% najwyższej sprawności.

O ile kotły są czynne bez żadnych przerw, to takie najkorzystniejsze natężenie rusztu decyduje o wielkości najkorzystniejszego pola rusztu.

Wtedy pole rusztu powinno być takie, aby na  $m^2$  rusztu spalanych było 90 — 100  $kg$  takiego węgla na godzinę.

Przy mniejszem wypromieniowywaniu ciepła nazewnątrz aniżeli  $I = 30\,000$   $Kal$ , przypadających na  $m^2$  rusztu i godz., najkorzystniejsze natężenie rusztu zmniejsza się, a odnośna najwyższa sprawność wzrasta, — i odwrotnie.

Krzywa dobrej sprawności osiąga swój szczyt przy takich najkorzystniejszych natężeniach rusztu. Przy wzroście natężeń powyżej natężenia najkorzystniejszego, straty izolacyjne maleją w słabym stopniu, zato silnie wzrastają straty w niedopałkach żaru. Poniżej natężenia najkorzystniejszego straty izolacyjne wzrastają gwałtownie i teoretycznie dają sprawność kotła  $\eta = 0$ , kiedy

$$100 - \beta \frac{Kb}{a} - \delta a - \frac{100I}{Kb} = 0.$$

W konkretnym przykładzie, przy  $\beta = 11$ ,  $\delta = 8$ ,  $I = 0,03$ ,  $a = 1,2$ , wypadałoby zerowa sprawność przy natężeniu rusztu  $Kb = 33\,000$   $Kal$ , co odpowiadałoby spalaniu  $\frac{33\,000}{6\,300} = 5$   $kg/m^2h$  węgla o wartości 6 300  $Kal$ .

#### 5) Obciążenie jałowe.

W rzeczywistości, w przerwach pracy kotła, kiedy chodzi o podtrzymanie pary, spala się więcej węgla: na parowozach naprz. spala się 8 — 14  $kg/m^2h$ , zależnie od różnych czynników.

Podczas jazdy z zamkniętą przepustnicą spalanie jest jeszcze intensywniejsze.

Węgiel spala się jałowo nie tylko dla pokrycia strat pary i jej ciepła, ale też dla podtrzymania żaru.

Jest to czynnik bardzo ważny i niedoceniany zwykle, chociaż w gospodarce kolejowej na spalanie jałowe rozchodzi się od 10 do 20% (i więcej) wszystkiego spalane go węgla, zależnie od charakteru pracy.

O ile kocioł ma na dobę naprz. 8 godz. czynnej pracy z różnymi przerwami, to na godzinę czynnej pracy wypada  $\frac{24-8}{8} = 2$  godziny spalania jałowego.

Jeżeli na  $m^2$  rusztu i godz. spala się jałowo naprz. 10  $kg$  węgla, to godzinę czynnej pracy kotła i  $m^2$  rusztu obciąża  $2 \times 10 = 20$   $kg$  jałowego spalania.

Nazywamy tę liczbę obciążeniem jałowym czynnej godziny kotła i metra kwadr. rusztu, a w skróceniu — jałowym obciążeniem. Oznaczmy je znakiem  $b_i$   $kg$ .

Naprz., przy 2 godzinach czynnych w sumie na dobę, jałowe obciążenie wynosi  $\frac{24-2}{2} \times 10 = 110$   $kg$  węgla.

W kalorjach wyrażamy obciążenie jałowe ilością  $Kb_i$  (milionów)  $Kal$ .

#### 6) Najkorzystniejsze pole rusztu.

Jeżeli obciążenie jałowe czynnej godziny wynosi  $Kb_i$   $Kal$ , a natężenie rusztu  $Kb$ , to całkowity

rozchód węgla, odniesiony do czynnej godziny, wypada na  $m^2$  rusztu  $K(b + b_i)$  Kal. W czynnych godzinach sprawność kotła wynosi  $\eta$ , a wydajność z  $1 m^2$  na godzinę —  $\eta Kb$  Kal w otrzymanej parze.

Wydajność tę osiąga się właściwie kosztem  $(Kb + Kb_i)$  Kal, uzyskanych ze spalania węgla.

Zatem przeciętna sprawność dobową kotła  $\eta_d$  musi być niższa od czynnej sprawności  $\eta$  i wypada:

$$\eta_d = \frac{\eta Kb}{Kb + Kb_i} \quad (7)$$

Podstawiamy  $\eta$  ze wzoru (2). Wtedy

$$\eta_d = \frac{Kb(100 - \delta a) - \frac{\beta}{a}(Kb)^2 - 100I}{Kb + Kb_i} \quad (7a)$$

Z punktu widzenia ogólnej ekonomii na węglu, ważne jest osiągnięcie jak najwyższej dobowej sprawności kotła (a nie najwyższej czynnej sprawności), t. j. spalanie jak najmniejszej sumy węgla, spalane go czynnie i spalane go jałowo.

Osiągnięcie najwyższej czynnej sprawności potrzebne jest tylko wtedy, jeżeli kocioł lub zespół kotłów pracuje bez przerw w ruchu.

Im dłuższe są przerwy i im większe jest pole rusztu, tem większe są straty jałowego spalania, które zwiększają ogólny rozchód węgla na dobę przy stałej ilości wytwarzanej pary.

Tu trzeba określić: przy jakim czynnym natężeniu ( $Kb$ ) rusztu wypadnie najwyższa sprawność dobową, t. j. najmniejszy dobowy rozchód węgla, spalane go dla pracy i jałowo, o ile obciążenie jałowe wynosi  $Kb_i$  Kal?

Odpowiedź na to pytanie daje pierwsza pochodna  $\eta_d$  (ze wzoru 7-a), zróżniczkowana według zmiennej  $Kb$  i przyrównana do zera. Otrzymujemy odpowiednie równanie, a z niego najkorzystniejsze czynne natężenie kotła:

$$\text{opt. } Kb = \sqrt{(Kb_i)^2 + \frac{a}{\beta} \left[ (100 - \delta a) Kb_i + 100I \right]} - Kb_i \quad (8)$$

Jest to przybliżony wzór przy dowolnym nadmiarze powietrza.

Ale należy się liczyć ze stosowaniem najkorzystniejszego nadmiaru powietrza.

Wtedy przy sprawności czynnego kotła

$$\text{opt. } \eta = 100 - 2 \sqrt{\beta \delta Kb} - \frac{100I}{Kb}$$

(patrz wzór 4) wypada sprawność dobową:

$$\eta_d \% = \frac{Kb}{Kb + Kb_i} \left( 100 - 2 \sqrt{\beta \delta Kb} - \frac{100I}{Kb} \right)$$

Pierwsza pochodna  $\eta_d$  po  $Kb$ , przyrównana do 0, daje równanie

$$(Kb)^{3/2} + 3 Kb_i (Kb)^{1/2} - \frac{100}{\sqrt{\beta \delta}} (Kb_i + I) = 0$$

Dla osiągnięcia więc najkorzystniejszej sprawności dobowej, przy stosowaniu najkorzystniejszego nadmiaru powietrza, należy w czynnych godzinach prowadzić kocioł przy najkorzystniejszym przeciętnym natężeniu:

$$\text{opt. } Kb = \left[ \sqrt[3]{\frac{100}{\sqrt{\beta \delta}} (Kb_i + I)} - \frac{Kb_i}{\sqrt[3]{\frac{100}{\sqrt{\beta \delta}} (Kb_i + I)}} \right]^2 \quad (10)$$

Mając według wzoru 10 określone najkorzystniejsze natężenie, łatwo obliczyć według wzoru (4) odnośną sprawność czynnego kotła i najkorzystniejszą wydajność ciepła pary opt.  $\eta Kb$  z  $1 m^2$  rusztu na godzinę.

Przy przeciętnym wiadomem zapotrzebowaniu  $Q$  Kal pary na godzinę czynną (od całego kotła lub zespołu kotłów), określa się najkorzystniejsze pole rusztu przy danym obciążeniu jałowem  $Kb_i$

$$\text{opt. } R = \frac{Q}{\text{opt. } \eta Kb} \quad (11)$$

### 7) Zastosowanie do pracy kotłów.

Wszystkie powyższe wzory mają tylko wartość poglądową i są wzorami uproszczonymi stosunków rzeczywistych — bardziej skomplikowanych.

Jeszcze więcej uprościć można wzór sprawności, przyjmując pewne ustalone stosunki nadmiaru powietrza i strat w częściach lotnych.

Wtedy wzór sprawności wypadnie:

$$\eta \% = \eta_0 - \beta_0 Kb - \frac{100I}{Kb} \quad (12)$$

Dla średnich i wyższych natężeń można odrzucić niewielką wtedy wartość strat izolacyjnych

$$\left( \frac{100I}{Kb} \right)$$

Wtedy dla takich natężeń sprawność wyraża się prostą funkcją liniową  $\eta = \eta_0 - \beta_0 Kb$ .

O ile jeszcze nie zwraca uwagi na wartość opałową węgla ( $K$ ), to wypada  $\eta = \eta_0 - \beta_x b$ .

Ten prymitywny wzór jest ustalony już w literaturze technicznej, przyczem, zależnie od wartości opałowej węgla, nadmiaru powietrza i strat w częściach lotnych, wypadają różne wypadkowe współczynniki  $\eta_0$  i  $\beta_x$ .

Przypuśćmy, że z wielu doświadczeń ustalono dobrą sprawność kotła  $\eta_0 \% = 88 - 8 Kb - \frac{3}{Kb}$ , dla  $Kb$ , liczonych w milionach Kal.

Najwyższa sprawność dobową kotła dla obciążenia jałowego  $Kb_i$  wypada przy natężeniu

$$\text{opt. } Kb = \sqrt{Kb_i^2 + \frac{\eta_0 Kb_i + 100I}{\beta_0}} - Kb_i$$

Przy współczynnikach  $\eta_0 = 88$ ,  $\beta_0 = 8$  i wartości  $100I = 3$  miliony,

$$\text{opt. } Kb = \sqrt{Kb_i^2 + 11 Kb_i + 0.375} - Kb_i$$

Dla kotła czynnego stale, t. j. gdy  $Kb = 0$ , wypada tu najkorzystniejsze natężenie rusztu =

$$= \sqrt{\frac{100I}{\beta_0}} = \sqrt{0.375} = 0.61 \text{ milj Kal. Jest to wartość}$$

bliska do 100 kg węgla Dąbrowskiego. Wtedy najwyższa sprawność wypada 78,2%.

Jeszcze wyższa sprawność wypadnie przy zastosowaniu mniejszego nadmiaru powietrza. Gdyby straty izolacyjne były o połowę mniejsze ( $I = 15000$  Kal), to najkorzystniejsze natężenie rusztu wynosiłoby  $\sqrt{0.19} = 0.44$  miliona Kal (około 70 kg węgla o wartości 6300 Kal) przy sprawności 81% i nieco wyższej sprawności przy zmniejszonym nadmiarze powietrza.

Dla takiej linii sprawności  $\eta = 88 - 8 Kb - \frac{3}{Kb}$  wypadają następujące liczby w milj. Kal.

Przy obciążeniu jałowym milj. Kal.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Przy liczbie godzin czynnych na dobę w przybliżeniu . . . . .	24	10	6	4	3,3	2,7	2,3	2	1,7	1,5	1,4
Najkorzystniejsze natężenie ru- sztu, milj. Kal . . . . .	0,61	1,12	1,42	1,64	1,82	1,97	2,11	2,23	2,33	2,43	2,52
Sprawność w czasie czynnym % . . . . .	78,2	76,3	74,6	73,1	71,8	70,7	69,7	68,8	68,1	67,3	66,6
Najkorzystniejsza wydajność z $m^2$ rusztu na godz. . . . .	0,48	0,85	1,06	1,20	1,31	1,39	1,47	1,53	1,58	1,63	1,68
Na milion kaloryj w parze po- trzeba $m^2$ rusztu . . . . .	2,08	1,18	0,94	0,83	0,76	0,72	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59
Przeciętna sprawność dobową % . . . . .	78,2	70,0	65,3	61,7	58,8	56,4	54,2	52,3	50,6	49,1	47,7

Tabela powyższa może posłużyć do następujących wyliczeń. Przypuśćmy, że na każdy milion wytwarzanych na godzinę kaloryj w parze wypada  $0,59 m^2$  pola rusztu, t. j. kocioł czy zespół kotłów pracuje z natężeniem czynnym  $2,52$  milj. Kal w węglu spalonym na godz. i  $m^2$  rusztu ( $400 kg$  węgla po  $6\ 300$  Kal) przy sprawności  $66,6\%$  (patrz tabelę). Przypuśćmy, że obciążenie jałowe godziny czynnej i  $m^2$  rusztu wynosi  $0,2$  milj. Kal (około  $6$  godzin czynnych na dobę). Wtedy dla wytwarzania na dobę  $6$  milionów Kal pary wypada na dobę spalania:

$$(2,52 + 0,2) \times 6 \text{ (godz.)} \times 0,59 \text{ (} m^2 \text{)} = 9,63 \text{ milj Kal w węglu.}$$

Przy zwiększeniu pola rusztu do wymiarów najkorzystniejszych, t. j.  $0,94 m^2$  (patrz tabelę) dla jałowego obciążenia  $0,2$  milj. wypadnie najkorzystniejsze natężenie czynne  $1,42$  milj. Kal ( $225 kg$  węgla po  $6\ 300$  Kal).

Wtedy rozchód węgla na dobę wyniesie:

$$(1,42 + 0,2) \times 6 \times 0,94 = 9,13 \text{ milj. Kal w węglu.}$$

$$\text{Zysk wynosi tu } \frac{9,63 - 9,13}{9,63} \times 100 = 5\% \text{ na}$$

zwiększeniu pola rusztu. O ile zaś w tych warunkach pole rusztu jest za duże i wynosi naprzykład  $2,08 m^2$  na milion wytwarzanych Kal pary, to natężenie rusztu wynosi  $0,61$  milj. Kal (około  $100 kg$  węgla po  $6\ 300$  Kal), a rozchód węgla na dobę przy jałowym obciążeniu  $0,2$  wynosi:

$$(0,61 + 0,2) \times 6 \times 2,08 = 10,11 \text{ milj. Kal w węglu.}$$

Przy zmniejszeniu pola rusztu do wymiaru najkorzystniejszego, t. j. do  $0,94 m^2$ , rozchód węgla zmalałby do poprzednich  $9,13$  milj. Kal i zysk na zmniejszeniu pola rusztu wyniósłby:

$$\frac{10,11 - 9,13}{10,11} \times 100 = 10\%.$$

Zbyt duży ruszt daje zbyt wielkie jałowe spalanie.

Za mały ruszt daje zbyt duży rozchód węgla w godzinach czynnych. W praktyce kolejowej i przemysłowej dostrzeżono korzyści lub straty, związane ze zmianą pola rusztu przy niezmięnionej powierzchni ogrzewanej.

Korzyści te jednak nie były ujęte ani w teorię, ani w liczbę.

To samo dotyczy najkorzystniejszego nadmiaru powietrza. Dotychczas ustalone są tylko w literatu-

rze parowozowej najprostsze wzory sprawności czynnego kotła  $\eta_1 = \eta_1^0 - \beta_x b$ , uzależniane nieraz w dodatku od natężenia rusztu ( $b$ ) w  $kg$  węgla o niewiadomej często wartości opałowej.

Powyższy komunikat jest streszczeniem, wyjętem z obszerniejszej pracy własnej\*).

W postaci najogólniejszej, ustala się tu następujący wniosek o charakterze praktycznym: we wszelkich warunkach pracy kotła można ustalić najkorzystniejszy nadmiar powietrza i najkorzystniejsze natężenie rusztu, przy których osiągnięciu wypada najniższy rozchód węgla dla danej produkcji pary.

## Nowe wydawnictwa\*\*).

Przyczynek do znajomości piaskowca boryslawskiego. K. Bohdanowicz i S. Jaskólski. Str. 99 z 36 mikrofotografiami i mapą. Tekst polski i angielski. Odbitka z Rocznika Polskiego Towarzystwa Geologicznego z r. 1928. Nakł. Akademii Górniczej, Kraków, 1928.

Części maszyn. Podręcznik do obliczania i konstruowania. Przekład z 4-go wydania niemieckiego, opracował Inż. A. Humnicki. Str. 312 z 332 rys. i VIII tabl. za tekstem. Nakład Tow. Kursów Techn. z zapom. Min. W. R. i O. P. Warszawa, 1929.

Was muss der Maschineningenieur von der Eisengießerei wissen? Wydał Dr. Ing. A. Lischka. Z cyklu Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure. Tom IV. Str. 272 z 243 rys. J. Springer, Berlin, 1929.

Schnellaufende Dieselmotoren. Prof. Dr. Ing. O. Föppel, Dr. Ing. H. Strombeck i Prof. Dr. techn. L. Ebermann. Wydanie 4-te, uzupełn. Str. 234 ze 143 rys. w tekście i 9 tablicami. J. Springer, Berlin, 1929.

Hilfsbuch für die Elektrotechnik, herausgegeben von Dr. K. Strecker. Wyd. 10-te, przerobione. Schwachstromausgabe. Str. 1119 z 1057 rys. Wyd. J. Springer, Berlin, 1928.

Die Kompressorlose Dieselmotoren. Ihre Entwicklung auf Grund der in- und ausländischer Literatur. L. Hausfelder. Str. 375 z 256 rys. Wyd. M. Krayn, Berlin, 1928.

\*) Udowodnienie podstawowych twierdzeń, oparte na analizie doświadczeń parowozowych, jak również ściślejsze wzory, znajdują się jeszcze w rękopisie (p. t. Sprawność kotła, węgla i palacza). Narazie najważniejsze wnioski popularyzują się w drukowanym obecnie podręczniku dla drużyn parowozowych i mechaników ruchu pod tytułem: „Gospodarka ciepła na parowozie”.

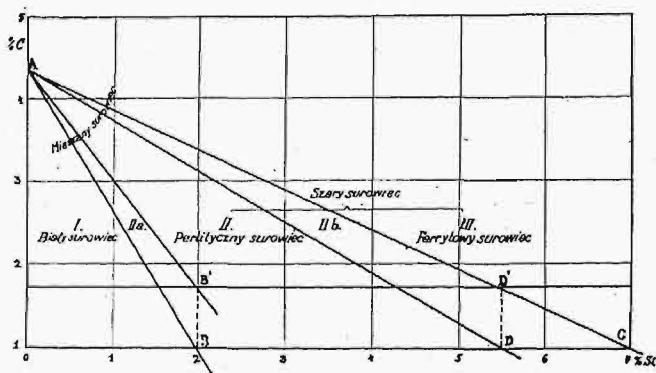
\*\*) Podawane w tym dziale wydawnictwa są do nabycia w księgarni „Przeglądu Technicznego”, ul. Czackiego 3 w Warszawie.

# Rola krzemu w układzie Fe—C\*).

Napisał Inż.-metalurg M. Dubowicki, Kraków, Akademia Górnicza.

## I. Krzem w surowcu.

**K**rzem w surowcu znajduje się w szerokich granicach<sup>82)</sup>: od 0,2 do 3,5%, rzadziej do 4%. Tworzy on z żelazem roztwory stałe i sprzyja wydzielaniu się węgla w postaci grafitu. W praktyce metalurgicznej różni się głównie dwa gatunki surowca: surowiec szary, o większej zawartości krzemu, a małej manganu, w którym węgiel występuje przeważnie w postaci krystalicznej, jako grafit, a w małej ilości tylko jako węgiel żelaza (karbid, cementyt), — w przeciwieństwie do drugiego gatunku surowca, zwanego białym, gdzie węgiel znajduje się w postaci połączenia chemicznego Fe<sub>3</sub>C. Surowce szare posiadają gorsze własności wytrzymałościowe niż białe, ale znów szare nie mają tych wad, co białe: tak wielkiej kruchości i twardości, łatwości pochłaniania gazów i wielkiego skurczu przy krzepnięciu. Pierwszy gatunek surowca stosuje się przeważnie na odlewy, drugi tylko wyjątkowo stosuje się albo na odlewy zbliżone swym składem do szarego surowca, albo na odlewy specjalne, jak kuto - lane. Rola krzemu w surowcu po-



Rys. 5a.

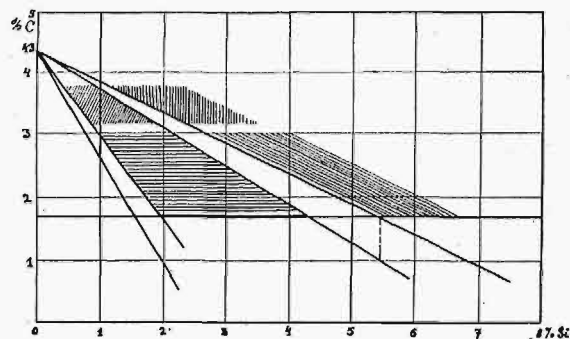
lega na tem, że zmniejsza on rozpuszczalność węgla w żelazie, powodując wydzielenie jego podczas krzepnięcia w postaci grafitu, co sprzyja powstawaniu surowca szarego. Wydzielenie grafitu następuje w czasie stygnięcia, przez to wydzielenie obniża się ciężar właściwy surowca, a zwiększa się jego objętość, co warunkuje dobre wypełnienie formy. Oprócz tego, krzem, zmniejszając ilość węgla związanego, zmniejsza twardość surowca, a przez to ułatwia jego obrabialność. Jednak zawartość krzemu w surowcu nie jest bynajmniej konieczna do wydzielenia grafitu, tak samo jak obecność manganu — do zapobieżenia temu. Węgiel może się wydzielić w surowcu w postaci grafitu nawet bez wpływu krzemu, co wynika już z układu podwójnego żelazo - węgiel. Krzem może wchodzić na miejsce węgla zastępując go w surowcu, tworząc

\* ) Dokończenie do str. 555 w Nr. 22 z r. b.

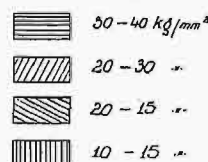
<sup>82)</sup> St. und E., 1918, str. 683/6 oraz Chem. and Metal. Engineering 1916, str. 530/7, 588/97, 642/6 i 683/5.

z żelazem roztwory stałe i związki chemiczne Fe Si i Fe Si<sub>2</sub> i t. d., dotychczas dokładnie nie zbadane. Praktyka amerykańska<sup>81)</sup> ustaliła następujący, w przybliżeniu, równoważnik: 1 część węgla odpowiada 3 częściom krzemu. Przy 5% Si największa zawartość węgla w surowcu<sup>83)</sup> wynosi do 4,2%. Krzem jest uważany za najdroższy składnik surowca zwykłego, ze względu na wielką ilość ciepła, potrzebnego do jego redukcji w wielkim piecu<sup>85)</sup>.

Jak wpływa krzem i węgiel na strukturę surowca, a wraz z tem na jego własności mechaniczne, pokazuje rysunek 5a i 5b, podany przez Maurera<sup>86)</sup>. Składnikami struktury surowca mogą być: ledeburyt, perlit, ferryt i cementyt. Struktura ta zależy od zawartości krzemu i węgla, a również od prędkości studzenia, a zatem od grubości ścian for-



Wytrzymałość na rozrywanie



Rys. 5b.

my i odlewu. Maurer dzieli surowiec na trzy grupy: biały surowiec z ledeburytem, względnie z ledeburytem i perlitem w strukturze, szary z perlitem i grafitem i szary z ferrytem, perlitem i grafitem. Na podanym wykresie przedstawia oś odciętych zawartość procentową krzemu, oś rzędnych — zawartość procentową węgla. Punkt A odpowiada zawartości węgla 4,2%, punkt B — zawartości 1% C + 2% Si. Powyżej punktu B surowiec biały przechodzi w szary. Punkt C odpowiada granicy stali krzemowych Guillet'a, który stwierdził, że w materiale o składzie ok. 1,0% C i 7% Si cały węgiel jest w postaci grafitu. Równoległa do osi odciętych, odpowiadająca zawartości 1,7% C, jest teoretyczną granicą stali. Linia ta przecina prostą AC w punkcie D. Rzut punktu D na oś xx (D'),

<sup>83)</sup> St. und E. 1921, str. 346 i Foundry Trade Journal 1920, str. 270/1.

<sup>84)</sup> Trans. Am. Soc. Steel Treating 1928, str. 105.

<sup>85)</sup> J. Iron and Steel Inst. 1922, Nr. 2, str. 302.

<sup>86)</sup> St. und E. 1924, str. 1522/4 i Kruppsche Mhefte, 1924, str. 115/22.

połączony z punktem A, daje prostą AD'. Rzut punktu B na prostą równoległą do osi xx, poprowadzoną przez punkt odpowiadający zawartości 1,7% C (B'), połączony z punktem A, daje prostą AB'. W ten sposób powierzchnia wykresu rozpada się na trzy duże pola (I, II, III) i dwa małe (IIa, IIb), przyczem pole I odpowiada surowcowi białemu, pole II grupie perlitycznej surowca szarego, pole III ferrytowej grupie surowca szarego, a pola IIa i IIb stanowią przejściowe grupy surowca. Na rysunku 5b, podanym według Maurera, widać, że w zależności od zawartości krzemu i węgla zmienia się wytrzymałość surowca. Należy jeszcze wspomnieć, że na rodzaj surowca, jak i na jego wytrzymałość, wpływają również inne czynniki, jak np. grubość, gęstość i jednorodność odlewu, dlatego struktura i własności mechaniczne nawet w jednym i tym samym odlewie są różne. Na własności mechaniczne surowca wpływa nie tylko zawarta w nim ilość grafitu, lecz także sposób jego rozmieszczenia. Zwykłe odlewy z surowca szarego mają tę wadę, że wydzielony grafit rozdziela się nierównomiernie, co powoduje niejednorodność metalu, a zatem pogarsza własności mechaniczne odlewu<sup>87)</sup>.

Na odlewy nadaje się najlepiej surowiec szary, który powinien zawierać określoną ilość krzemu, sprzyjającą wydzielaniu grafitu, co jest warunkiem dobrych odlewów żeliwnych. Przy zawartości 1% krzemu w surowcu i przy powolnym stygnięciu, można otrzymać surowiec szary; przy obecności poniżej 1% Si w surowcu istnieje skłonność do struktury odbielonej nawet przy powolnym studzeniu<sup>82)</sup>. Zbyt wielka zawartość krzemu jest również szkodliwa, gdyż przy zawartości ponad 3% krzemu staje się surowiec kruchym. Zwiększenie zawartości krzemu w surowcu powoduje zmniejszenie ogólnej zawartości węgla, ponadto sprzyja wydzielaniu grafitu i zmniejsza twardość odlewu. O ile zawartość krzemu jest za niska, to Ossann radzi dodawać stopy żelazo - krzemowe. W ostatnich latach przeprowadzono cały szereg badań nad surowcami dla wyjaśnienia wpływu grafitu na własności mechaniczne, oporu przeciw ścieraniu i pęcznienia. Badania te doprowadziły do takich wniosków, że grafit powinien być równomiernie rozdzielony w postaci małych ziarn, i to niezbyt gęsto. W zwykłych formach, używanych do odlewania, nie można dowolnie zmieniać szybkości chłodzenia, dlatego zmienia się zawartość krzemu w surowcu. Zmniejszając przy tem samem chłodzeniu zawartość krzemu w odlewie surowcowym, opóźniamy proces krystalizacji grafitu, wskutek czego otrzymujemy mniej grafitu, a więcej węgla związanego. W jaki sposób wpływa krzem na ilość węgla związanego, a równocześnie na twardość surowca, podaje tablica<sup>88)</sup> następująca:

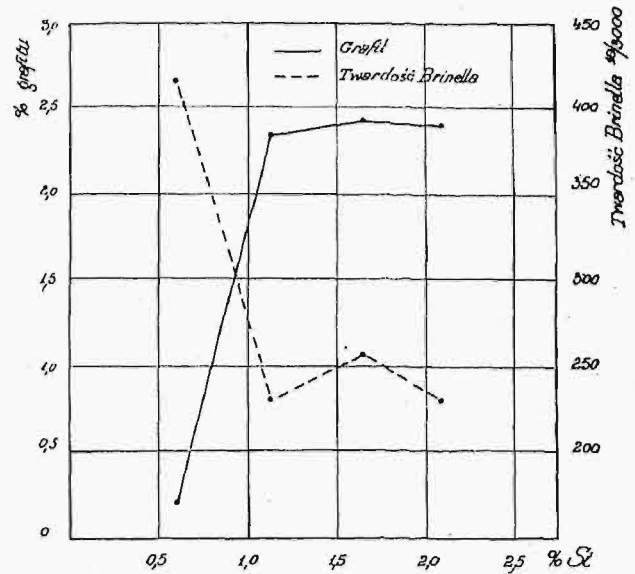
Tabela 2.

Oznaczenie	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Grafit %	Twardość Brinell'a
A	3,10	0,59	0,62	0,59	0,11	0,20	415
B	3,25	1,12	0,70	0,47	0,11	2,34	241
C	3,23	1,65	0,71	0,54	0,13	2,42	255
D	3,30	2,02	0,67	0,64	0,13	2,40	241

<sup>87)</sup> St. und E. 1918, str. 591.

<sup>88)</sup> Krupp'sche Mhefte. 1926, str. 1019.

Z tabeli tej widać wpływ krzemu na wydzielanie grafitu i na twardość. Te same wyniki wykazano wykreślić na rys. 6, ilustrującym z jednej strony związek między zawartością krzemu i grafitu, z drugiej strony — między krzemem a twardością. Widać stąd, że przy tej zawartości węgla wzrasta bardzo znacznie ilość grafitu, w miarę wzrostu zawartości krzemu aż do 1,1%. Przy większych zawartościach krzemu wzrost ten jest znacznie powolniejszy. Odpowiednio do wzrostu zawartości krzemu w surowcu, zmienia się twardość. Rys. 7



Rys. 6.

podaje, w jaki sposób zawartość krzemu wpływa na ilość wydzielonego grafitu<sup>89)</sup>. Górna linia C uwidacznia całkowitą zawartość węgla, dolna G — zawartość grafitu. Widać, że przy małych zawartościach krzemu bardzo mało węgla znajdującego się w żelazie wydziela się w postaci grafitu, ze wzrostem krzemu ilość grafitu szybko się zwiększa do 3% krzemu, poczem stosunek ilości krzemu do całej zawartości węgla jest prawie niezmienny. Stąd wypływa ważny wniosek, że zawartość krzemu powyżej 3% w żelazie jest bezużyteczna, bo nie wpływa na wydzielanie się grafitu, a zwiększa kruchość żelaza. By zapewnić sobie, bez względu na grubość, odlew wytrzymały, gęsty i niezbyt miękki, należy stosować dodatek krzemu nie przekraczający 3%. Rys. 8 przedstawia krzywą Leydego<sup>90)</sup>, określającą najodpowiedniejszą zawartość krzemu w stosunku do grubości odlewu.

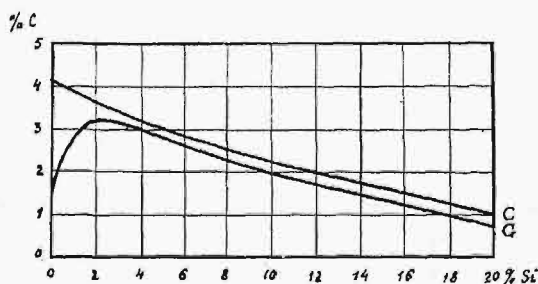
Krzem ma właściwość zmniejszania skurczu surowca, sprzyjając bowiem wydzielaniu grafitu, który zwiększa objętość surowca, zmniejsza ogólne kurczenie się odlewu. Ponieważ wydzielanie się grafitu jest zależne od szybkości krzepnięcia, (względnie grubości odlewu) i ilości krzemu, przeto ze zmianą tych czynników zmienia się także i współczynnik kurczenia się żeliwa. W tym kierunku przeprowadzili badania P. Bardenheuer i K. Ebbefeld<sup>91)</sup>. Ograniczę się do wyników ich badań: Wydłużenie szarego surowca zmniejsza się ze

<sup>89)</sup> Geiger. Handbuch d. Eisen- und Stalgiesserei. Berlin I, 1911, II. 1916.

<sup>90)</sup> S. Anczyc. Żelazo. Lwów. 1926, str. 105.

<sup>91)</sup> Mitt. K. W. Inst. Eisenforsch. 1924/25. VI. str. 45/60.

wzrostem zawartości krzemu i znika całkiem przy 3,5% Si. Na tej podstawie można przypuszczać, że gazy rozpuszczone w żelazie wiążą krzem, i to tem silniej, im większa jest zawartość krzemu. Wydłużenie musi być przeto tem mniejsze, im mniejsza jest ilość wydzielających się podczas krzepnięcia gazów. Według badań Troosta i Hautefeuil-le'a<sup>92, 93</sup>), zmniejsza krzem rozpuszczalność wodoru w surowcu. P. Goerens<sup>94</sup>) uważa również, że krzem przeciwdziała przyjęciu gazów przez wytopione żelazo. Związku pomiędzy wielkością wydłużenia a ogólną zawartością grafitu nie można zaważyć. Ogólne i przedperlityczne kurczenie się zmniejsza się ze zwiększeniem zawartości krzemu. Tłumaczy się to działaniem krzemu, który zmniejsza rozpuszczalność węgla w żelazie i powoduje rozpad karbidu żelaza przez wydzielanie wtórnego grafitu. Oprócz tego surowiec zawierający mało krzemu jest podczas odlewania gęstopłynny i źle wypełnia formy odlewnicze<sup>95</sup>). Wzrost zawartości krzemu w surowcu powoduje obniżenie ciężaru właściwego, względnie powiększenie objętości właściwej. Również zwiększa krzem do pewnej zawartości odporność surowca szarego na korozję. W. D. Richardson<sup>96</sup>) twierdzi, że surowiec, który poddano działaniu kwasów nieutleniających, jak HCl i rozcieńczony H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, znacznie silniej-



Rys. 7.

ulega nadgryzaniu niż czyste żelazo, a przeciwnie — wobec kwasów utleniających, jak HNO<sub>3</sub> i stężony H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, jest więcej odporny niż czyste żelazo. Przy utleniającym działaniu kwasów, zwłaszcza stężonego H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tworzy krzemem rodzaju warstwy ochronnej w postaci krzemionki, która czyni surowiec bardziej odpornym na korozję. Ogólnie krzem sprzyja wydzielaniu grafitu, który zwiększa korozję przy działaniu kwasów nieutleniających, a zmniejsza ją przy działaniu kwasów utleniających.

Surowce białe o małej zawartości krzemu znalazły zastosowanie w odlewach kuto - lanych<sup>97</sup>). Krzem w tych odlewach zmniejsza twardość, gdyż rozkłada karbid żelaza; im większa jest zawartość krzemu, tem mniejsza jest zawartość węgla w postaci Fe<sub>3</sub>C i tem niższej potrzeba temperatury wyżarzania dla wydzielania grafitu. Krzem zabezpiecza odlewy od porowatości, gdyż wiąże rozpu-

szony gaz. Nadmiar krzemu jest szkodliwy, gdyż zamiast surowca białego tworzy się surowiec szary. Prof. Czopiowski<sup>98</sup>) podaje, że zawartość krzemu w takich surowcach powinna być od 0,4% Si (dla grubych) do 1,2% Si (dla cienkich odlewów) przy zawartości węgla od 2 do 3%. Johnson<sup>99</sup>) podaje zawartość od 1% Si (odlewy grube) do 1,75% Si (odlewy drobne). Najlepsze własności mechaniczne posiadają odlewy kuto - lane przy wysokiej zawartości krzemu, a małej węgla<sup>98</sup>), gdyż wzrost zawartości krzemu od 0,7% do 0,9% podwyższa przy tej samej zawartości węgla wytrzymałość o 1,5 — 2 kg/mm<sup>2</sup>. Ze zwiększeniem zawartości węgla, wytrzymałość i wydłużenie będą mniejsze.

Krzem wpływa na własności magnetyczne i elektryczne surowca. Zwiększenie zawartości krzemu w surowcu wpływa na powiększenie indukcji magnetycznej i przenikliwości, natomiast strata wskutek histerezy i siła koercji spadają<sup>100</sup>). Poprzednio doszedł Nathusius<sup>101</sup>) do wniosku, na podstawie swoich badań, że zwiększenie zawartości krzemu w surowcu polepsza własności magnetyczne tegoż, podczas gdy mangan je pogarsza.

## II. Krzem w stopach żelazo - krzemowych i ich zastosowanie.

Stopy krzemowe (Fe — Si) otrzymuje się w wielkich piecach lub w elektrycznych; w zależności od procesu, mogą one zawierać większą lub mniejszą zawartość krzemu. W piecu wielkim<sup>102</sup>) otrzymuje się żelazo - krzem o zawartości do 12% krzemu, natomiast w piecu elektrycznym można wytapiać stopy do 80% krzemu. Redukcja krzemu z krzemionki odbywa się prawie wyłącznie zapomocą twardego węgla, chociaż także pewna zawartość manganu w żelazie może służyć do redukcji krzemu z SiO<sub>2</sub>.

Wobec tego, że krzem ma większe powinowactwo do tlenu w porównaniu z żelazem i manganem, jest on używany w metalurgii stali w postaci stopów do odtleniania żelaza według reakcji

$$2 \text{FeO} + \text{Si} = \text{SiO}_2 + \text{Fe}.$$

Reakcja ta zachodzi zawsze w piecu martenowskim przy wytapianiu stali, gdzie krzem utlenia się i przechodzi ze stali do żużla razem z innymi domieszkami (MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i t. d.). Stopień odtlenienia stali krzemem jest większy, niż zapomocą węgla i manganu; nawet w niesprzyjających warunkach kwaśnego procesu, gdy w żużlu znajduje się nadmiar wolnego SiO<sub>2</sub>, można odtleniać stal zapomocą krzemu do potrzebnych granic, a nieznaczna zawartość krzemu w stali, zwykle od 0,1 do 0,3% Si, daje po odtlenieniu pewność, że stal jest dostatecznie odtleniona. W piecu zasadowym warunki odtleniania zapomocą krzemu są lepsze, gdyż produkt odtleniania stali — krzemionka (SiO<sub>2</sub>) jest odrazu związana w żużel.

Brinell<sup>103</sup>) podaje, że domieszka krzemu do

<sup>92</sup>) Ann. d. Chem. et de Phys. 1876, str. 115.

<sup>93</sup>) J. Iron and Steel Inst. Carn. Scholarship Memoirs. 1909, I, str. 219.

<sup>94</sup>) P. Goerens. Metallurgie. 1910, str. 784.

<sup>95</sup>) St. und E. 1917, str. 513/21 i str. 101/10.

<sup>96</sup>) Ulick R. Evans. Die Korosion der Metalle. 1926, str. 134 oraz Trans. Am. Electrochem. Soc. 1920, str. 265.

<sup>97</sup>) St. und E. 1916, str. 943/46 i Bulletin of the Am. Inst. of Mining Engrs. 1925, str. 2129.

<sup>98</sup>) St. und E. 1928, str. 1557.

<sup>99</sup>) St. und E. 1925, str. 1110/17.

<sup>100</sup>) St. und E. 1926, str. 112 i J. Iron and Steel Inst. 1925, Nr. 2, str. 86.

<sup>101</sup>) A. Martens i E. Heyn. Handbuch der Materialkunde für den Maschinenbau. Berlin. 1912, str. 490.

<sup>102</sup>) Foundry Trade Jol. 1927, str. 397/9.

<sup>103</sup>) M. A. Pawłow. Domennaja piecz, 1923.

<sup>104</sup>) Fuels Furn. 1927, str. 751.

<sup>105</sup>) St. und E. 1903, str. 46/53 i Jol. Iron and Steel Inst., 1902, Nr. 2, str. 333.



płynnej stali działa w czasie krzepnięcia 5,2 razy silniej uspakajająco, niż domieszka manganu, przez co domieszka krzemu przeszkadza wydzieleniu bąbków gazowych więcej, niż mangan. Odtlenianie stali zapomocą krzemu ma inną ważną zaletę w porównaniu z innymi dezoksydatorami, a mianowicie krzemem można odtleniać stal i zimną i gorącą; oprócz tego, w wypadku braku gazu generatorowego, można doprowadzić do końca wytop w piecu zapomocą stopu żelazo - krzem. Reakcja  $2 FeO + Si = 2 Fe + SiO_2 + 62\ 994\ Kal$  jest silnie egzotermiczna i wywiązuje wielką ilość ciepła. Krzem działa nie tylko jako odtleniacz w stali, lecz również wiąże gazy rozpuszczone w stali, tworząc połączenia, np.  $Si_2 N_3$  i  $Si_3 N_4$ , które rozpuszczają się w stali płynnej i twardej. Dlatego zwiększenie zawartości krzemu w stali sprzyja pochłonięciu azotu, a bloki otrzymane są gęstsze, nie posiadają tylu pęcherzy, co stal nie odtleniona zapomocą krzemu i nie posiadająca go w swoim składzie. Dowody na to znajdujemy w praktyce, potwierdzają to również badania, przeprowadzone w tym kierunku. Takie badania przeprowadzono nad miękkim żelazem na rury bez szwu<sup>106)</sup>. Żelazo miękkie o zawart. 0,1% C i 0,23% Si nie posiadało prawie pęcherzy, natomiast żelazo również o 0,1% C, lecz bez krzemu, zawierało dużo pęcherzy, tak że nie nadawało się do użytku. Stopień odtlenienia stali zapomocą krzemu badali Hanson i Triton i stwierdzili, że zależy on od temperatury i ilości krzemu. Podana niżej tabela 3 przedstawia stopień odtlenienia stali przy zmiennej zawartości krzemu i różnych temperaturach.

Tabela 3.

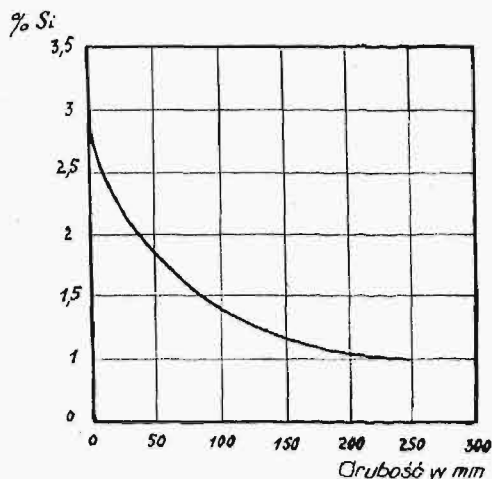
Si%	Stopień odtlenienia w %			
	przy 1500°	przy 1600°	przy 1700°	przy 1800°
0,01	57,60	36,5	11,2	—
0,05	81,05	71,6	60,3	47,9
0,10	86,60	79,9	71,9	63,1
0,20	90,54	83,8	90,1	73,9
0,30	92,25	88,4	83,8	78,7
0,50	94,01	91,0	87,5	83,5
1,00	95,76	93,6	91,1	88,4

Niektórzy badacze, jak np. Jüptner<sup>108)</sup>, uważa odtlenianie krzemem żelaza za szkodliwe, gdyż produkt odtleniania—krzemionka ( $SiO_2$ ) pozostaje w stanie zawieszonym między ziarnkami kryształów, zmniejszając własności mechaniczne stali. Ledebur<sup>109)</sup> znów twierdzi, że stal taka, odtleniona krzemem, źle kuje się i spawa. Jednak w praktyce stosuje się obecnie odtlenianie stali zapomocą stopów żelazo - krzemowych, gdyż zalety ich przewyższają wady.

Robiono próby odtleniania tej samej stali różnymi środkami<sup>110)</sup>, odtlenianie żelazo - krzemem jednak nie dało gorszych wyników od odtleniania zapomocą żelazo - manganu lub żelazo - tytanu. Oprócz zastosowania stopów żelazo - krzemowych do odtleniania stali, służą one do otrzymywania stali krzemowych przez wprowadzenie ich po wy-

świeżeniu stali w stanie stałym lub płynnym do kąpielii metalowej.

Szersze zastosowanie znalazły stopy żelazo - krzemowe przy wyrobie specjalnych stali nierdzewiejących drogą bezpośredniej redukcji rudy, bez używania gotowych stopów. Jest to nowy sposób, opatentowany w Anglii przez Hamiltona Evans'a<sup>111)</sup>. Przy tym sposobie prowadzi się wy-



Rys. 8.

tapianie stali w piecach elektrycznych. Przebieg polega na tem, że wprowadza się do pieca mieszaninę drobno potłuczonej rudy chromowej i żelazo - krzemu oraz potrzebną ilość rudy manganowej. W piecu żelazo - krzem, a właściwie krzem, redukuje tlenki chromu, żelaza i manganu, a tworzącą się krzemionka łączy się z wapnem. Zachodzą przytem następujące reakcje:

- 1)  $2 Cr_2 O_3 + 3 Si + 3 Ca O = 4 Cr + 3 Ca Si O_3 + 90050\ Kal$ ,
- 2)  $2 Fe O + Si + Ca O = 2 Fe + Ca Si O_3 + 378750\ Kal$ ,
- 3)  $2 Mn O + Si + Ca O = 2 Mn + Ca Si O_3 + 327550\ Kal$ .

Powyższe reakcje są egzotermiczne i dają tak dużo ciepła, że nagrzewanie prądem jest wtedy zbędne. Pochodzi to stąd, że krzemiany żelaza posiadają wielkie ciepło tworzenia się, wskutek tego przy topieniu żelaza i krzemu wywiązuje się wielkie ciepło reakcyjne. Ten sposób otrzymywania stali specjalnych, zwłaszcza stali nierdzewiejących o dużej zawartości chromu, jest bardzo tani. Obliczenia wykazują, że wytapianie stali nierdzewiejącej według patentu Hamiltona Evans'a jest znacznie tańsze w porównaniu ze starym sposobem wytapiania w piecach elektrycznych przez wprowadzanie gotowego żelazo - krzemu.

Także stopy żelazo - krzemowe służą do redukcji boru z kwasu borowego, by otrzymać stopy żelazo - bor<sup>112)</sup>.

R. Walter<sup>113)</sup> badał stopy żelazo - krzemowe w celu wykorzystania ich ciepła tworzenia do przedniego topienia stałego wsadu i do przegrzania wytopu. Jeżeli ogrzeje się miękkie żelazo w pewnym stosunku z żelazo - krzemem w tyglu, to już przy 1 250°, t. j. znacznie niżej temp. topienia obu pierwiastków, wywiązuje się taka ilość ciepła w parę sekund, że zawartość tygla upłynnia się natychmiast i temperatura kąpielii metalowej podnosi się

<sup>106)</sup> St. und E. 1916, str. 147/49.

<sup>107)</sup> St. und E. 1925, str. 1891.

<sup>108)</sup> Jüptner, Siederologie, II, str. 99, 134/5.

<sup>109)</sup> St. und E. 1889, str. 1001.

<sup>110)</sup> St. und E. 1922, str. 1435 i J. Iron and Steel Inst. 1922, Nr. 2 str. 1404.

<sup>111)</sup> Przegl. Gór.-Hutn. 1926, str. 571, 599.

<sup>112)</sup> Chem. Zentralblatt, 1924, str. 2005.

<sup>113)</sup> Z. f. Metallkunde. 1921, str. 225.

bardzo prędko do 1 800°, a nawet i wyżej. Odlewy otrzymane z tego doświadczenia (którym Walter nadał nazwę „silicotermia“) okazały się bardzo równomiernej i jednolitej struktury i miały przewyższać znacznie pod tym względem odlewy żelazo - krzemowe, otrzymane inną drogą. Porowatość odlewów żelazo - krzemowych obniża znacznie ich wartość, a wskutek nierównomiernego składu i struktury powstają wewnętrzne naprężenia, które nie pozwalają wykonać odlewów zakłanych i o większych wymiarach, natomiast można — według nowego doświadczenia — tego wszystkiego uniknąć.

Reakcja przebiega najlepiej przy zastosowaniu żelaza o jak najmniejszej ilości węgla; bez węgla można otrzymać odlewy do 12% Si, gdyż powyżej tej zawartości stopy są tak kruche, że nie mają zastosowania praktycznego. Ze wzrostem węgla, następuje znaczne obniżenie twardości tych stopów. W każdym razie, godnym uwagi jest, że intensywność wydzielenia ciepła w wytopie z powodu wprowadzenia pewnej ilości żelazo - krzemu powoduje podniesienie temperatury podobno do poziomu, który można osiągnąć tylko w piecu elektrycznym. Otóż „silicotermia“ może mieć w metalurgii zastosowanie tam, gdzie chodzi o prosty i tani proces metalurgiczny, zwłaszcza w odlewnictwie. Silicotermia znalazła zastosowanie na: retorty, rury, kurki, zawory, pompy, a nawet kotły do 2 m średnicy. Wykonywa je Krupp i Am. Hilpert — Permithütte w Norymbardze <sup>114)</sup>.

Stopy żelazo-krzemowe stosuje się na różne odlewy kwasoodporne, mające zastosowanie w przemyśle chemicznym, np. naczynia, aparaty, pompy i t. p. Według wskazówek <sup>115)</sup> angielskich i amerykańskich, skład tych stopów jest następujący: 12 do 15% Si, 0,2 do 0,6% C i ok. 0,25% Mn. Inni, jak np. Schenk <sup>116)</sup> podają dla węgla wyższą granicę, jednakże jest ona szkodliwa, gdyż powoduje wydzielenie grafitu. Stopami odpornymi na działanie kwasów zajmowano się głównie w Ameryce; Kowalke <sup>117)</sup> wykazała, że żelazo o zawartości krzemu mniej niż 12% nie jest odporne na działanie kwasów, podczas gdy odporność żelaza ponad 19% Si znów spada. Dlatego Ulick R. Evans <sup>118)</sup> zaleca używać odporne na działanie kwasów stopy żelazo-krzemowe, o zawartości 12 do 19% krzemu. Szkodliwie wpływa grafit, domieszka węgla i fosforu musi być również niska, gdyż likwacja ich psuje odporność na działanie kwasów. Stopy o zawartości 16 do 18% Si są bardzo odporne na działanie kwasów, przewyższają stopy takie, jak Ni — Cr. co wynika również z różnych badań, ogłoszonych w Comptes Rendus w 1918 r.; jedyną wadą tych stopów jest, że są twarde, że nie można ich obrabiać. conajwyżej można je szlifować na szlifierce o dużej liczbie obrotów. Te wszystkie stopy są odporne na działanie kwasów, przede wszystkim kwasu siarkowego, a również azotowego i octowe-

go, natomiast przeciw kwasowi solnemu jest mniej odporny; (nie ma jeszcze odpowiedniego stopu odpornego przeciw kwasowi solnemu i roztopionym alkaljom). Odporność stopów żelazo-krzemowych na działanie kwasów (HNO<sub>3</sub> i H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) objaśnia się tem, że krzem, zawarty w wielkich ilościach w stopie, tworzy na ściankach naczynia cienką warstwę krzemionki, nie dopuszczającą dalszego działania kwasu. Stopy krzemowe mają różne nazwy; najwięcej znane są „Tantiron“ i „Ironac“, potem „Duriron“, bardzo odporne na działanie kwasu siarkowego każdej koncentracji <sup>119)</sup>. Oprócz tego posiada „Duriron“ odporność na wysoką temperaturę i na rdzewienie. Skład chemiczny i własności fizyczne stopu żelazo-krzemu „Duriron“ i „Tantiron“ podają tabele 4 i 5.

Tabela 4.

Skład chemiczny i własności fizyczne stopu żelazo-krzem „Duriron“.

14 — 14,5% Si . . . . .	} Temp. topienia 1380 — 1410 Ciężar właściwy 7,00 Wytrzymałość na ściskanie 49,3 kg/mm <sup>2</sup>
0,25 — 0,35% Mn . . . . .	
0,2 — 0,60% C . . . . .	
0,16 — 20% P . . . . .	
< 0,05% S . . . . .	

Tabela 5.

Skład chemiczny i własności fizyczne stopu żelazo-krzem „Tantiron“.

14 — 15% Si . . . . .	} Temp. topienia 1410° Ciężar właściwy 6,8 Wytrzymałość na rozciąg. 9,3 — 10,9 kg/mm <sup>2</sup>
0,05 — 0,15% S . . . . .	
0,05 — 0,1% P . . . . .	
2 — 2,5% Mn . . . . .	
0,75 — 1,25% grafitu . . . . .	

Krupp <sup>120)</sup> wytwarza dwa gatunki odlewów żelazo-krzemowych, opatentowanych pod nazwą „Thermisilid“ i „Thermisilid Extra (E)“, różniące się zawartością krzemu; wyrabia pompy, zawory, tłoki, aparaty kolumnowe, naczynia reakcyjne, rury wodociągowe i t. p.

Stopy żelazo-krzem znalazły zastosowanie, jako stopy odporne na korozję w kwaśnych wodach kopalnianych. W tym kierunku J. Anderson i George M. Enos <sup>121)</sup> przeprowadzili z ramienia U. S. Bureau of Mines cały szereg badań nad wytrzymałością taniego stopu na pompy i przewody, któreby pod wpływem wód ziemnych nie ulegały korozji (w wodach kopalnianych znajduje się często kwas siarkowy, siarkawy i w małych ilościach chlorki). Wszystkie brzozy i mosiądze ulegają działaniu wód kopalnianych. Najwięcej odpornymi okazały się odlewy żelazo-krzemowe. Nieco więcej odporne są stale chromowo-niklowo-krzemowe i chromowe. Zaletą odlewów żelazo-krzemowych jest, że są znacznie tańsze od chromowych; niedogodnością stopów żelazo-krzemowych jest to, że muszą być one stosowane tylko jako materiał odlewniczy. Podana niżej tabela 6 wykazuje odporność różnych stopów na korozję w wodzie kopalnianej <sup>121)</sup>.

<sup>114)</sup> St. und E. 1922, str. 501.

<sup>115)</sup> Giess. Ztg. 1923, str. 103.

<sup>116)</sup> Chem. Metall. Engg. 1923, str. 678.

<sup>117)</sup> St. und E. 1918, str. 1215 i Iron and Coal Trades Rev. 1918, str. 249.

<sup>118)</sup> Ulick R. Evans, M. A. Kings College Cambridge. 1926, przełożył E. Honegger, Die Korosion der Metalle, str. 248.

<sup>119)</sup> St. und E. 1917, str. 309 i Iron Age 1916, str. 182/3.

<sup>120)</sup> Kruppsche Mhefte. 1927, str. 117/21.

<sup>121)</sup> St. und E. 1924, str. 1496/7 oraz Amer. Soc. for Testing Materials, 1924.

Tabela 6.

Nazwa stopu lub stali	Stan materiału	Skład chemiczny						Strata na wadze, spowodowana korozją w mg cm <sup>2</sup> /24 g.	
		C %	Si %	Cr %	Ni %	Mn %	Mo %	Zanurzone w płynie wodzie kopalnianej	Przez elektrolizę 0,2 A/dm <sup>2</sup> i 4 do 8 godz.
Żelazo-krzem	lany	0,76	13,8	—	—	—	—	0,004	—
Stal chromowa	walcowana	0,36	0,53	29,5	—	0,27	—	0,00030	15,4
Stal chromowo-niklowo-krzemowa	"	0,1	3,40	12,96	23,87	—	—	0,00015	18,5
" " " "	"	0,1	3,26	10,73	29,60	—	—	0,00074	6,15
Stal chromowa	lana	0,65	1,00	18,00	—	0,35	0,75	—	8,3
" "	walcowana	0,09	0,87	13,37	—	0,11	—	—	0,60

Stopy żelazo-krzemowe, zawierające duży % Si, są najodporniejsze na działanie kwasów, są jednak bardzo twarde, a przez to kruche, co tłumaczy się gruboziarnistością. Dlatego patent niem. Nr. 338 230 Richarda Waltera<sup>122)</sup> przewiduje dodawanie do stopów krzemowych bardzo małej zawartości boru, od 0,01 do 0,04%, przez co zmniejsza się kruchość tych stopów, wskutek zmniejszenia wielkości kryształów, przyczem odporność ich na działanie kwasów pozostaje taką samą, jak bez dodatku boru.

W nowszych czasach stopy żelazo-krzemowe znalazły zastosowanie do otrzymywania elektrod w procesach metalurgicznych. Przy wyrobie miedzi elektrolitycznej w Chile używa się stopów żelazo-krzemowych na anody<sup>123)</sup>.

### III. Inne stopy krzemowe.

Krzem wchodzi w skład innych stopów, jak np. krzemowo-manganowych, krzemowo-cyrkonowych, używanych do odtleniania stali. Bardzo ważne znaczenie mają w metalurgii stopy krzemowo-manganowe, otrzymywane w piecach elektrycznych. Powstały one dopiero w czasie wojny światowej, kiedy Ameryka nie mogła sprowadzać bogatych rud manganowych ani z Rosji ani z Indji; zamiast używania stopów bogatych żelazo-manganowych, zastąpiono je przez stopy silico-mangan i „silico-Siegel”. Skład chemiczny<sup>124)</sup> tych stopów jest następujący:

Silico-Spiegel: 20 — 50% Mn, 67 — 43% Fe,  
4 — 10% Si, 1,5 — 3,5% C,

Silico-mangan: 55 — 70% Mn, 20 — 5% Fe,  
25% Si, 0,35% C.

Zastosowanie stopów krzemowo-manganowych ma większe znaczenie przy odtlenianiu stali niż inne stopy używane w tym celu, jak np. żelazo-krzem i żelazo-mangan; przy odtlenianiu stali w kwaśnym procesie zapomocą stopu żelazo-krzem, tworzy się krzemionka (SiO<sub>2</sub>), bardzo trudno-topliwa i o małym ciężarze właściwym, przez co pogarsza się spoiwość między kryształami metalu. Przy zastosowaniu stopów krzemowo-manganowych, powstaje produkt odtleniania: krzemian manganu (Mn Si O<sub>3</sub>), który w obecności małej ilości FeO jest łatwo płynny i łączy się prędzej w większe cząsteczki, lepiej i całkowicie oddzielające się od masę metalu. Dlatego stopy krzemowo-manganowe mają przy zastosowaniu do odtleniania stali pierwszeństwo wobec stopów żelazo-krzemowych i żelazo-manganowych, stosowanych bądź osobno, bądź też wspólnie. W Ameryce przeprowadzono w tym kierunku szereg badań z jednej strony ze stopami silico-manganowymi, a z drugiej strony — ferro-manganem i ferro-silicium. Wyniki osiągnięte z 10 wytopów zestawiono w tabeli 7. Wyniki te, podane na podstawie dłuższej praktyki, pozwalają wnioskować, że to samo można osiągnąć przy zastosowaniu silico-manganu z mniejszym rozchodem krzemu i manganu, niż przy zastosowaniu osobno stopów żelazo-manganu i żelazo-krzemu. Równocześnie przez zastosowanie stopów krzemowo-manganowych upraszcza się proces. Stopy krzemowo-manganowe mają jeszcze tę zaletę, że zawierają mało węgla, dlatego po wprowadzeniu ich do kąpielii metalowej nie trzeba, dla otrzymania gotowej stali o małej zawartości węgla, długo wywieźć.

Tablica 7  
Wydajność manganu podczas odtleniania stali.

L. p.	Fe - Si kg	Fe - Mn kg	Si - Mn kg	Wsad tonn	C %	Mn %	Si %	Wsadzony Mn. kg	Wydaj- ność Mn	Wydaj- ność %
1	60	150	—	15	0,26	0,56	0,294	120	87	72,5
2	110	200	—	20	0,21	0,57	0,306	160	115	72,5
3	80	150	—	15	0,32	0,63	0,312	125	96	77,8
4	80	150	—	15	0,27	0,70	0,318	120	108	90,8
5	110	200	—	20	0,24	0,72	0,312	160	147	91,8
9	—	20	235	20	0,22	0,58	0,308	140	119	84,7
7	—	17	175	15	0,26	0,60	0,302	107	92	86,0
8	—	20	235	20	0,21	0,64	0,310	140	130	93,0
9	—	20	235	20	0,21	0,66	0,308	140	133	95,0
10	—	20	210	18	0,24	0,68	0,310	127	125	98,0

<sup>122)</sup> St. und E. 1922, str. 748.

<sup>123)</sup> Trans. Am. Electrochem. Soc. 1917, str. 211 i 213.

<sup>124)</sup> St. und E. 1923, str. 693/5.

<sup>125)</sup> St. und E. 1920, str. 655 i Iron Age 1919, str. 1363/6.

Stosować można stopy krzemowo-manganowe z powodzeniem nie tylko w procesach martenowskich, lecz także w piecu elektrycznym, albowiem nie stoi temu nic na przeszkodzie. Zlewki, otrzymane po odlenieniu zapomocą stopów krzemowo-manganowych, są zdrowe i czyste, wolne od pęcherzy gazowych i żużli, co jest przede wszystkim ważne przy otrzymywaniu stali wysokostopowej. Na podstawie wyników praktyki, twierdzą niektórzy badacze, że krzem chroni mangan od zgaru. Stopy krzemowo-manganowe znalazły także zastosowanie do redukcji chromu z żużla martenowskiego, zawierającego chrom <sup>126)</sup>. Można także zamiast stopów krzemowo-manganowych użyć stopów żelazo-krzem; dla redukcji kwaśnego żużla zaleca się stosować silico-mangan, gdyż możliwość redukcji ponad pewną zawartość krzemionki (60% SiO<sub>2</sub>) ustaje.

Należy jeszcze wspomnieć, że stopy krzemowo-manganowe mają bardzo wielkie znaczenie gospodarcze dla państw posiadających rudy bardzo ubogie, lub nie posiadających wogóle rud manganowych. Używane dziś stopy żelazo-manganowe o zawartości 72 do 82% Mn wymagają prawie 100% rudy manganowej, zwykle o 40% Mn, i nie więcej niż 8% SiO<sub>2</sub>, natomiast do otrzymywania silico-manganu nadają się rudy manganowe o zawartości od 30% Mn i 20 do 25% SiO<sub>2</sub>, a dla otrzymywania „silico-spiegla” — nawet rudy o zawartości od 5 do 10% Mn. Te ostatnie umożliwiają nawet wyzyskanie żużli bogatych w mangan. Dlatego stopy te mają przed sobą wielką przyszłość.

W nowszych czasach zjawia się cały szereg stopów krzemowych, przeważnie opatentowanych, przyczem krzem zastępuje się w nich częściowo przez cyrkon, chrom, nikiel i inne metale. Stopy te używane są przeważnie jako stopy odporne na działanie różnych kwasów, zwłaszcza octowego, siarkowego, azotowego i zasady amonjaku; stopu odpornego na działanie kwasu solnego i alkaliów do tychczas nie znaleziono.

Dla lepszego usunięcia gazów ze stali (O<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>) i odsiarczenia, wprowadza się stopy krzemowo-cyrkonowe. Skład takich stopów <sup>127)</sup> przedstawia następująca tabela (8).

Ze względu na wysoką cenę, nie znalazły te stopy szerszego zastosowania w praktyce. Istnieją także stopy krzemu z chromem, które noszą nazwę: silico-chrom i ferro-silico-chrom. W Ameryce używa się tych stopów na zawory, pracujące w wysokich temperaturach <sup>130)</sup>.

Należy również wspomnieć o stopach krzemu z lekkimi metalami, jak glinem, magnezem. Stopy krzemu z glinem noszą nazwę „silumin”, względnie „alpaks”, zawierają od 11 do 15% krzemu; bardzo dobrze odlewają się, dając ładne odlewy, które można obrabiać skrawaniem.

Najwyższe własności mechaniczne ma silumin o składzie eutektycznym przy 13,8% Si. Eutektyka <sup>131)</sup> układu Al—Si, wynosząca według innych źródeł 11,7% (cięż.) krzemu, topi się w temperaturze 577° do 578° C. Rozpuszczalność krzemu w glinie w stanie stałym wynosi około 1,25% przy temperaturze eutektycznej, a potem znacznie spada, w miarę obniżania się temperatury. Rozpuszczalności glinu w krzemie nie zbadano, ale wypowiadane są przypuszczenia, że krzem może utrzymać w roztworze do 2% glinu. Stopami krzemu z glinem zajmowali się J. Czochrański <sup>132)</sup>, L. Guillet <sup>133)</sup> i Z. Jeffries <sup>134)</sup>; mają one wielkie znaczenie w aeronautyce i automobilizmie.

Krzem wchodzi w skład innych stopów podwójnych i potrójnych, np. Cu—Si <sup>135)</sup>, Ni—Si <sup>136)</sup>, Co—Si <sup>136)</sup>, Ni—Si—Zr <sup>137)</sup> i t. d., nie mających dotychczas większego znaczenia przemysłowego. Stopy miedziowo-krzemowe noszą w handlu nazwę „rotoksit”; używane są na odlewy <sup>138)</sup>, zaletą ich jest obrabialność skrawaniem; są one odporne na działanie kwasów, podobnie jak stopy Fe—Si.

Krzem wchodzi także w skład stopów, które charakteryzuje wielki opór właściwy (elektr.) i niska zdolność do utleniania w wysokich temperaturach. Należy tutaj stop żelazo—chrom, podany przez M. A. Huntera i A. Jonesa <sup>139)</sup>, którego opór właściwy zbliża się do oporu nichromów. Skład tego stopu jest nast.: 75,10% Fe, 22,06% Cr, 1,67% Si, 0,18% C i 0,87% Ni; opór właściwy jego wynosi 0,97 oma.

Tabela 8.  
Stopy krzemowo-cyrkonowe.

Oznaczenie	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Zr %	Cr %	Fe %	Ti %
Si Zr Nr. 1 . . . . .	0,20	72,14	0,96	—	—	9,97	0,12	12,75	0,39
Si Zr Nr. 2A . . . . .	0,40	47,47	—	—	—	28,09	—	23,49	0,40
Si Zr Nr. 2B . . . . .	0,07	48,74	—	—	—	36,65	—	12,97	0,43
Si Zr Nr. 2D . . . . .	0,48	50,77	—	—	—	44,53	—	2,54	0,70
Si Zr Nr. 2C . . . . .	—	43,58	—	—	—	37,87	—	—	—

<sup>126)</sup> Jernk Ann. 1923, str. 106/18.

<sup>127)</sup> St. und E. 1924, str. 181.

<sup>128)</sup> Z. f. Metallkunde. 1925, str. 51 i 167.

<sup>129)</sup> Metall und Maschine. 1921, str. 383 oraz Motorwagen. 1923, str. 74'6.

<sup>130)</sup> St. und E. 1926, str. 197/8 i Year Book Am.

Iron Steel Inst. 1921, str. 59.

<sup>131)</sup> Przegl. Techn. 1928, str. 427 i J. Inst. of Metal. 1927, Nr. 2, str. 29.83.

<sup>132)</sup> Z. f. Metallkunde. 1921, str. 507/10.

<sup>133)</sup> Rev. Mét. 1922, str. 303/10.

<sup>134)</sup> Erhard. Stahl Metallgiesserei. Freiberg 1926.

<sup>135)</sup> Chem. Metallurg. Engg. 1922, str. 750/4. str. 118 i Z. f. anorg. Chem. 1922, str. 22.6.

<sup>136)</sup> W. Guertler I. B. Die Konstitution. Berlin 1913, str. 673/689, 247.

<sup>137)</sup> St. und E. 1923, str. 1285.

<sup>138)</sup> Z. f. Metallkunde. 1926, str. 379.80.

<sup>139)</sup> St. und E. 1924, str. 1498.

# Optimum eksploatacji samolotów komunikacyjnych.

Napisał G. A. Mokrzycki, Profesor Politechniki Warszawskiej.

Zagadnienie, jakie chcemy rozwiązać, jest następujące:

Znamy wszystkie dane konstrukcyjne samolotu już zbudowanego, odnoszące się do płatowca i silnika:

- $Q$  — ciężar całkowity samolotu,
- $Q_u$  — ciężar użyteczny (opłacany),
- $P$  — ciężar paliwa,
- $Q_r = Q_u + P$  — ciężar rozporządzalny, po odliczeniu pilota i ewentualnie załogi (mechanik, nawigator),
- $N$  — moc silnika,
- $p$  — rozchód paliwa,
- $v$  — prędkość lotu poziomego na wysokości użytkowej,
- $\frac{c_y}{c_x}$  — doskonałość,
- $c_x$  —
- $\eta$  — sprawność śmigła,
- $t$  — czas przelotu.

Samolot ten ma być użyty do celów transportowych. Pytamy, jaka odległość  $L$  i jaki stosunek  $y$  paliwa do ciężaru rozporządzalnego trzeba brać, aby zysk z przewozu ciężaru użytecznego

$$Z = k Q_u L \quad (1)$$

osiągnął maximum;  $k$  oznacza średni zysk za tonno-kilometr, po odliczeniu wszystkich kosztów eksploatacyjnych.

Jeżeli nie będziemy uwzględniać zmiany ciężaru samolotu skutkiem ubytku paliwa w czasie lotu, co w wielu wypadkach jest praktycznie dopuszczalne, możemy czas przelotu określić:

$$t = \frac{P}{Np} \quad (2)$$

Odległość przelecia:

$$L = v t, \quad (3)$$

przyczem wartość  $v$  możemy wyrazić z równania lotu poziomego:

$$v = \frac{c_y}{c_x} \frac{\eta N}{Q} \quad (4)$$

Z założenia mamy:

$$Q_r = Q_u + P, \quad (5)$$

co w połączeniu z (2) daje:

$$t = \frac{Q_r - Q_u}{Np} \quad (6)$$

Uwzględniając (3), (4), (6), możemy równanie (1) napisać w postaci:

$$Z = A (Q_r Q_u - Q_u^2), \quad (1a)$$

przyczem:

$$A = \frac{k v}{N p} = \frac{k \eta c_y}{Q p c_x}$$

Szukamy obecnie maximum funkcji  $Z$ :

$$\frac{dZ}{dQ_u} = 0 = A Q_r - 2 A Q_u,$$

z czego wynika, że:

$$(Q_u)_{opt} = \frac{1}{2} Q_r.$$

$$P_{opt} = \frac{1}{2} Q_r.$$

Kładąc

$$\frac{P}{Q_r} = y,$$

otrzymujemy najkorzystniejszy stosunek paliwa do ciężaru rozporządzalnego, w przypadku nieuwzględnienia zmniejszenia się ciężaru skutkiem ubytku paliwa:

$$y_0 = \left( \frac{P}{Q_r} \right)_{opt} = \frac{1}{2}, \quad (7)$$

zaś najkorzystniejszą przestrzeń do eksploatacji, w powyższym wypadku, otrzymamy przy uwzględnieniu (2), (3), (4) i (7):

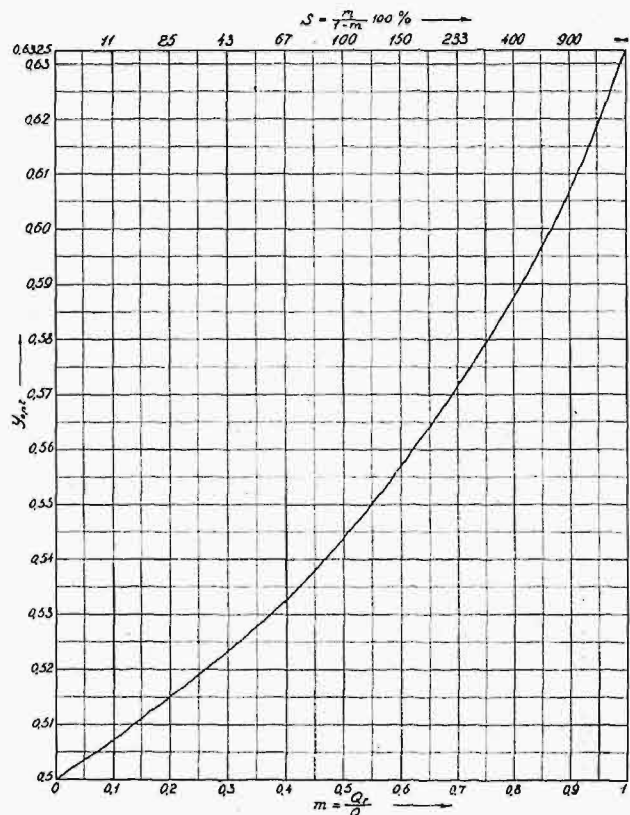
$$L_{opt} = \frac{v}{2} \frac{Q_r}{N p} \frac{1}{2} \frac{c_y}{c_x} \frac{\eta}{p} \frac{Q_r}{Q} = \frac{m c_y \eta}{2 c_x p}, \quad (8)$$

gdzie

$$m = \frac{Q_r}{Q} \quad (9)$$

Chcąc uwzględnić zmniejszenie się ciężaru w czasie lotu skutkiem ubytku paliwa, musimy w (1) wstawić na  $L$  wartość określoną znanym wzorem Bréguet'a:

$$L = \frac{Q v}{N p} \ln \left( \frac{Q}{Q-P} \right) = \frac{\eta c_y}{p c_x} \ln \left( \frac{Q}{Q-P} \right).$$



Rys. 1.

W ten sposób otrzymamy przy uwzględnieniu (5) i (9):

$$Z = B (P - m Q) \ln \left( 1 - \frac{P}{Q} \right) \quad (1b)$$

wzór zawierający tylko jedną zmienną  $P$ , gdzie

$$B = k \frac{\eta c_y}{p c_x} = k \frac{Q v}{N p}$$

Szukamy znowu maximum funkcji  $Z$ :

$$\frac{dZ}{dP} = 0 = B \ln \left( 1 - \frac{P}{Q} \right) - B(P - mQ) \frac{Q}{P} \cdot \frac{1}{Q} =$$

$$= B \left[ \ln \left( 1 - \frac{P}{Q} \right) - \frac{P - mQ}{Q - P} \right] \dots (10)$$

Kładąc

$$\frac{P}{Q} = x, \dots (11)$$

otrzymamy do rozwiązania równanie na  $x$ :

$$\ln(1-x) - \frac{x-m}{1-x} = 0. \dots (12)$$

Ponieważ  $x$  jest małe (dziś przeciętnie dochodzi do  $\frac{1}{4}$ ), możemy z rozwinięcia  $\ln(1-x)$  zadowolić się z zupełnie wystarczającą dla praktyki dokładnością dwoma lub najwyżej trzema pierwszymi członami, i w ten sposób z przekształconego równania (12)

$$-x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \dots - \frac{x-m}{1-x} = 0 \dots (12a)$$

dochodzimy do równania 3-go, względnie 4-go stopnia:

$$x^3 + x^2 - 4x + 2m = 0, \dots (12b)$$

$$x^4 + 0,5x^3 + 1,5x^2 - 6x + 3m = 0. \dots (12c)$$

Wartość  $m$ , określona przez (9), jest zawsze, w myśl założenia, znana, więc 12b (względnie 12c) pozwala na określenie  $x_{opt}$ , co w połączeniu z (11), (9) i (7) da:

$$P_{opt} = x_o Q = \frac{x_o}{m} Q_r = y_o Q_r \dots (13)$$

Dla zaoszczędzenia liczenia, podajemy poniżej krzywą, dającą  $y_o$ , jako funkcję  $m$ , względnie ciężaru rozporządzalnego wyrażonego w procentach,

$$\text{ciężaru konstrukcyjnego} + \text{załoga } s = \frac{m}{1-m} 100$$

Mając daną dla pewnego samolotu wartość  $m$ , czytamy z krzywej przynależną najkorzystniejszą wartość  $y_o$  i w myśl (13) obliczamy  $P_{opt}$ .

Wówczas najkorzystniejszą do eksploatacji odległość (w kilometrach) określa, po przeliczeniu na logarytmy zwyczajne, wzór

$$L_{opt} = 622 \frac{c_y \eta}{c_x p} \log \frac{Q}{Q - L_{opt}} \dots (14)$$

gdzie  $p$  jest podane na koniogodzinę.

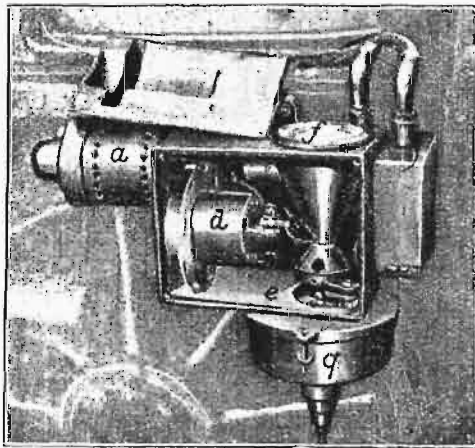
Wzór (4) pozwala zamiast  $\frac{c_y}{c_x}$  wprowadzić do (14) prędkość  $v$ .

## PRZEGLĄD PISM TECHNICZNYCH.

### KOLEJNICTWO.

#### Mechanizmy optyczno - elektryczne do samoczynnego zatrzymywania pociągu.

Wiele pracy poświęcono w kolejnictwie na zbudowanie przyrządów, które, w razie nieuwagi maszynisty, mogłyby samoczynnie przyczynić się do zahamowania lokomotywy pod zamkniętym sygnałem przejazdowym. Urządzenia takie, których najważniejszą cechą winna być absolutna niezawodność działania, oparte zostały na różnych podstawach, jedne z nich mianowicie uruchomiane są przez oddziaływanie pola

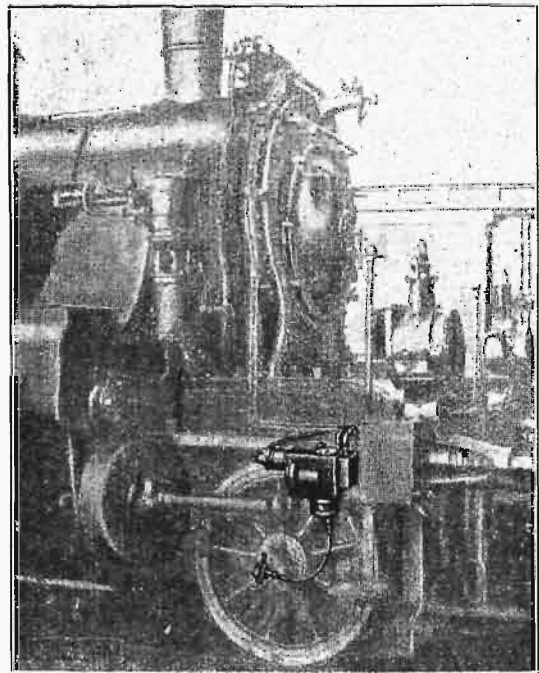


Rys. 1. Przyrząd nadawczy i odbiorczy do sygnalizacji optycznej.

elektromagnetycznego, inne zaś — drogą kombinowaną optyczno-elektryczną. Niżej opiszemy pokrótce drugie z powyższych rozwiązań, urzeczywistnione w latach ostatnich i wprowadzone tytułem próby na kolejach bawarskich.

W przyrządzie tym źródło światła, o bardzo nieznacznych rozmiarach, umieszczone jest na lokomotywie i wypromieniowuje światło ku górze. Zwierciadło trójściennie, umieszczone na słupie sygnałowym, sporządzone jest z trzech luster, połą-

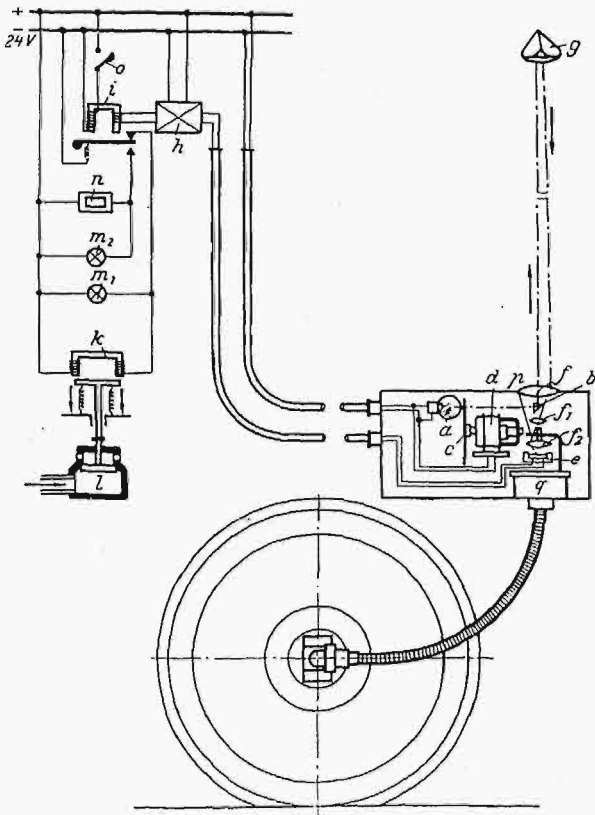
czonych względem siebie pod kątem ok.  $90^\circ$  i odbija zawsze światło równoległe względem promienia padającego. Promienie odbite padają zatem z powrotem na lokomotywę,



Rys. 2. Widok przyrządu na parowozie.

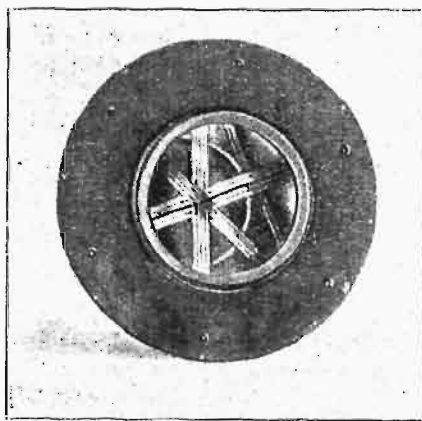
oświetlając komórkę selenową, przez co wzbudzony zostaje prąd w obwodzie. Aparatura nadawcza i odbiorcza składa się z umieszczonego na parowozie źródła światła  $a$  (rys. 3 i 5), rzucającego promienie na pryzmat  $b$ . W drodze do pryzmatu  $b$ , promień światła, pierwotnie ciągły, zostaje przerywany, z określoną i stałą częstotliwością 1000 zmian/sek, podczas przechodzenia przez podziurkowaną licznymi otworkami tarczę  $c$ , napędzaną przez silnik elektryczny, pracujący ze stałą

liczbą obrotów. Konieczność zastosowania powyższego poddyktowana jest obawą, by obce źródła światła nie oddziaływały niepotrzebnie na odbiornik i nie uruchamiały hamulców. Po przejściu przez pryzmat promienie kierowane są przez soczewkę *f* na zwierciadło *g*, umieszczone na słupie



Rys. 3. Schemat urządzenia na parowozie do optycznego przenoszenia sygnałów.

sygnałowym. Promień odbity pada na soczewkę *f* w pobliżu swego punktu wyjściowego, t. j. koło jej krawędzi, poczem skierowany zostaje ukośnie przez soczewki *f*<sub>1</sub> i *f*<sub>2</sub>, padając wreszcie na światłoczułą komórkę selenową *e*. Jak wiadomo, selen posiada ciekawą własność zmienności swego oporu omowego w zależności od natężenia padającego nań światła; pod



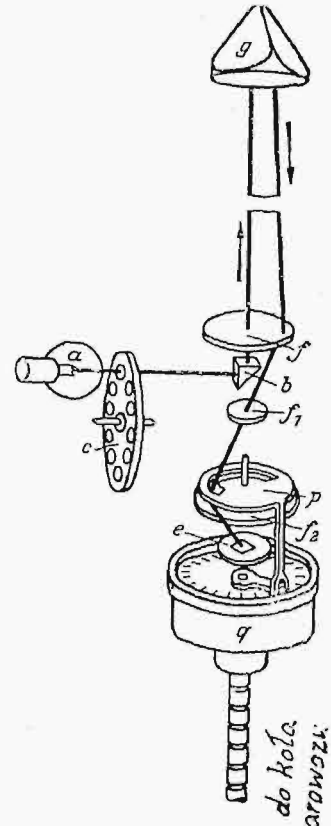
Rys. 4. Zwierciadło przestrzenne na maszcie sygnałowym.

wplywem silnego promienia światła następuje prąd chwilowy w obwodzie selenu, który, wzmocony w amplifikatorze *h*, uwalnia kotwicę przekaźnika *i*, znajdującą się normalnie pod działaniem prądu, przerywając tem samym obwód elektromagnesu *k*. Elektromagnes ten steruje zawór *l*, umieszczony w przewodach hamulcowych, który po opadnięciu powoduje natychmiastowe uruchomienie hamul-

ców. Całe urządzenie przywrócone zostaje do stanu pierwotnego przez zamknięcie wyłącznika *o*, co jednak nastąpić może tylko w czasie postoju lokomotywy.

Opisywany mechanizm umożliwia nie tylko zatrzymanie lokomotywy, lecz również regulowanie jej prędkości w do-

- a* — źródło światła
- b* — pryzmat
- c* — tarcza dziurkowana
- d* — silnik
- e* — komórka selenowa
- f*, *f*<sub>1</sub>, *f*<sub>2</sub> — soczewki
- g* — zwierciadło przestrzenne na słupie sygnałowym
- h* — wzmacniacz
- i* — przekaźnik
- k* — magnes hamulcowy
- l* — zawór hamulcowy
- m*<sub>1</sub>, *m*<sub>2</sub> — lampy sygnalizacyjne
- n* — licznik
- o* — wyłącznik
- p* — przesłona
- q* — szybkościomierz



Rys. 5. Schemat urządzenia optycznego do ograniczenia szybkości jazdy pociągu.

wolnych granicach. Dokonywa się to w następujący sposób: położenie promienia odbitego zależy od ustawienia zwierciadła w płaszczyźnie poziomej. Przy obracaniu więc zwierciadła w tej płaszczyźnie, promień odbity opisyje dokoła promienia padającego koło, którego średnica zależy od konstrukcji zwierciadła i jego odległości od soczewki, co umożliwi trafienie przez promień odbity dowolnego punktu odbiornika. Jeżeli teraz ustawimy między selen i soczewkę przesłonę *p*, obracającą się i związaną kinematycznie z prędkością koła parowozowego, to, po odpowiednim dobraniu przekładni, osiągnąć można przecinanie promienia odbitego wówczas, gdy prędkość parowozu jest mniejsza od ustalonej prędkości granicznej; odwrotnie, gdy prędkość parowozu przekracza graniczną, promień odbity przechodzi przez szczelinę przesłony *p*, powodując zatrzymanie pociągu.

Jeżeli wzdłuż toru kolejowego rozstawione będzie kilka zwierciadeł, przebieg regulacji może być następujący. Pierwsze zwierciadło niech będzie np. ustawione w ten sposób, że zatrzymuje pociąg powyżej prędkości 100 km/h, jeżeli zaś prędkość ta wynosi np. tylko 90 km/h, to przesłona odcina promień odbity i pociąg jedzie dalej. Natomiast, gdy pod którymś z dalszych sygnałów prędkość dopuszczalna będzie np. 50 km/h, rzeczywista zaś — 55 km/h, promień światła dosięgnie selenu i pociąg zostanie zahamowany.

Regulacja wszystkich zwierciadeł i ustawianie ich na dowolne prędkości krytyczne dokonywa się przez sygnał główny, według żądanego wykresu hamowania. Ponieważ nie wszystkie pociągi mają jednakowe wykresy hamowania, a pożądane jest, by były kierowane wspólnymi zwierciadłami, osiąga się to przez odpowiednie wyregulowanie przysłon

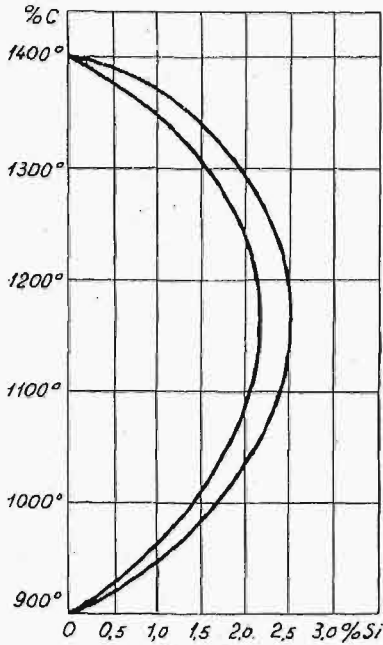
i ich prędkości. Działanie opisanego mechanizmu jest niezależne od warunków atmosferycznych, a więc od śniegu, deszczu, lub mgły, gdyż natężenie światła jest 25-krotnie większe od niezbędnego minimum.

Ważną właściwością urządzenia, w jego dzisiejszej postaci jest to również, że, prócz zapobiegania katastrofie wskutek wjechania na zamknięty tor, stanowi ono kontrolę maszynisty, aczkolwiek w niczem nie komplikuje jego pracy. (V. D. I. Zft., t. 73, (1929) zes. 19, str. 654).

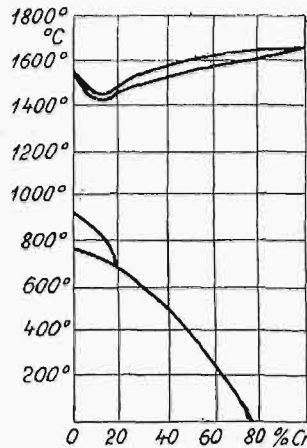
## METALoznawstwo.

### Badania rentgenograficzne nad układami Fe — Si, Fe-Cr i Fe-P.

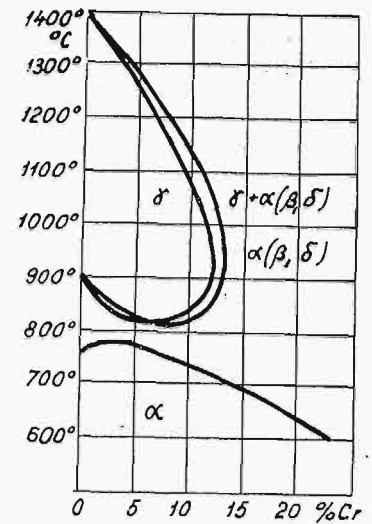
Na podstawie dotychczasowych badań termicznych i dilatometrycznych układu żelazo-krzem wiadomo, że krzem w czystym żelazie do zawartości 1,8% wpływa na



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

przesunięcie punktu przemiany  $A_3$  do wyższych temperatur, podczas gdy krzem do 1,3% powoduje spadek przemiany  $A_1$ . Według hipotezy P. Oberhoffera (St. u. E., 1924, str. 979), w żelazie o zawartości krzemu większej od powyżej podanych, przemiana  $A_3$ , względnie  $A_1$ , podnosi się, względnie spada, przy pewnej określonej temperaturze i stężeniu; obie te przemiany schodzą się bez tworzenia nieciągłości, co oznacza, że przy pewnej zawartości krzemu przemiana  $A_3$  żelaza zanika. Przeprowadzono badania rentgenograficzne, by ustalić stężenia graniczne i przebieg przemiany  $A_3$ , względnie  $A_1$ , powyżej zawartości 1,8% Si. Wyniki badań przedstawia rys. 1. Badania rentgenograficzne przeprowadzone nad stopami żelazo-krzemowymi o zawartości od 1,93 do 4,04% Si potwierdziły hipotezę Oberhoffera, iż przemiana  $A_3$  przechodzi w przemianę  $A_1$ ; również ustalono, że powyżej 2,5% Si zachodzi bezpośrednie przejście przemiany  $A_1$  w przemianę  $A_1$ . Poniżej 2,2% Si występuje faza  $\gamma$  w stopach żelazo-krzemowych podczas nagrzewania, podczas gdy w zakresie między 2,2 a 2,5% Si znajdują się w stanie stałym obok siebie  $\alpha$ -Fe i  $\gamma$ -Fe, i to tak długo, aż przejdą w odmianę  $\delta$ . Wszystkie stopy powyżej 2,5% Si przechodzą ze stanu  $\alpha$  w  $\delta$ .

Rentgenograficzne badania stopów chromowych rozpadają się na badania stopów o zawartości od 0 do 100% Cr w temperaturze otoczenia i na badania wpływu dodatku chromu na przemianę  $A_3$  czystego żelaza. Według obec-

nych badań, tworzy żelazo z chromem roztwory stałe ciągle. Badania rentgenograficzne stopów żelazo-chromowych w temperaturze otoczenia wykazały, że żelazo i chrom nie tworzą ze sobą żadnych związków chemicznych. Również nie można było wykazać na podstawie badań rentgenograficznych, że żelazo i chrom tworzą ciągle roztwory stałe. Wpływ chromu w układzie Fe-Cr na punkty przełomowe zaznaczył się na podstawie pierwszych badań dilatometrycznych Oberhoffera i Essera tem, że ze zwiększeniem zawartości chromu spada punkt przemiany  $A_3$  żelaza. Ten spadek krzywej  $A_3$  zachodzi w dalszym ciągu, aż przy zawartości 20% Cr krzywa przemiany  $A_3$  wpada w krzywą przemiany  $A_1$  (rys. 2). Wskutek tego w temperaturze otoczenia musiały stopy Fe — Cr o zawartości 75% Cr posiadać budowę  $\gamma$ -Fe. Przeprowadzone wyższe temperaturach wykazało, że dodatek chromu w żelazie wywołuje odgraniczenie zakresu  $\gamma$ , podobnie jak to ustalono w systemie żelazo-krzem. Potwierdziły to również badania termiczne Oberhoffera i Essera (rys. 3). Nie można

było ustalić przemiany  $A_3$  powyżej 10% Cr i  $A_1$  ponad 12% Cr. Analiza rentgenograficzna stwierdziła, że w stopie żelazo-chrom o zawartości powyżej 14,77% Cr nie ma przemiany  $\gamma$ .

Badając rentgenograficznie układ żelazo-fosfor, stwierdzono następujące składniki: przy zawartości 1,7% P powstają graniczne roztwory stałe, przy 15,58% P związek chemiczny  $Fe_3P$ , przy 21,5% P związek chemiczny  $Fe_2P$ , a powyżej 21,5% P zjawia się dalszy związek chemiczny, dotychczas nieznan. (P. Oberhoffer i C. Kreuzer. Archiv f. d. Eisenhüttenwesen, 1929, zes. 7, str. 449—456).

M. Dubowicki.

## Sprostowanie.

Ważniejsze omyłki druku w artyk. prof. E. Hauswalda „Racjonalizacja przez zwiększenie prędkości wytwarzania“ (zeszyt 19 z r. b.):

Strona:	wzór Nr.:	ma być:
487	(11)	$u = \frac{t}{T}$
488	(18)	$k_n = \dots 8 \dots$
489	(22)	$k_a = m + a + bt$
490	(23)	$k_n$
490	(27)	$o_n$
491	(34)	$k = m + r + o_n \cdot \frac{u}{f}$