Publikacja ze zbiorów Biblioteki Głównej AGH w Krakowie

Digitalizacja dorobku naukowo-badawczego Profesorów AG w Krakowie w l. 1919–1945
projekt dofinansowany w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki „Społeczna Odpowiedzialność Nauki"
moduł: Wsparcie dla bibliotek naukowych

Biblioteka Główna AGH w Krakowie

AGH UCZELNIA BADAWCZA

01.11.2022–31.07.2024
SONB/SP/548765/2022

Społeczna Odpowiedzialność Nauki

Ministerstwo Edukacji i Nauki

Akademia Górnicza Biblioteka Kraków

Zeszyt II

§.1.

METALOGRAFJA ŻELIWA W ZARYSIE.

Istnieją cztery alotropje żelaza / żelazo α, β, γ, δ / wolnego od wszelkiej zawartości węgla, zjawiające się przy stygnięciu względnie ogrzewaniu przez t.zw. " punkty krytyczne ".- Wszystkie cztery alotropje / modyfikacje / żelaza pod względem metalograficznym nie różnią się niczem i mają wspólną nazwę " f e r y t ".-

Te cztery alotropje / modyfikacje, fazy, postacie / istnieją w następujących granicach temperatur :

Przy studzeniu :		Przy ogrzewaniu :	
żelazo δ	1528 - 1401° C	żelazo α	do 768° C
" γ	1401 - ~~898~~ 906° C	" β	768 - 906°C
" β	~~898~~ - 768° C	" γ	906 - 1401°C
" α	poniżej 768° C	" δ	1401 - 1528°C

Punkty skali temperatury, oznaczające przejście jednej modyfikacji / fazy / w drugą, nazywamy " punktami krytycznemi " / Haltepunkte, Umwandlungspunkte /.- W naukowym języku oznaczamy według Osmond'a punkty krytyczne literą " A " / Arrêt / i dodajemy, jeżeli się rozchodzi o krzywą studzenia do " A " literę r / A_r / refroidissement, o krzywą ogrzewania literę c / A_c / chauffage.-

Natomiast żelazo zawierające węgiel wykazuje jeszcze inne składniki metalograficzne.-

Żelazo techniczne zawiera węgiel w postaci związku Fe_3C karbidu żelaza, noszącego nazwę metalograficzną " cementyt ".- Gęsto obok siebie ułożone paski ferytu i cementytu posiadają połysk macicy perłowej ; dlatego nazwano ten składnik struktury " perlitem "

" Perlit " przedstawia eutektykę pomiędzy ferytem i cementytem zawierającą niezmienną ilość węgla w wysokości 0,89% C.- Przy mniejszej zawartości węgla / C < 0,89% / widzimy w polu obserwowanem feryt i perlit w zmiennych ilościach zależnie od zawartości C.- Przy większej zawartości węgla / 0,89% < C < 1,72% / spostrzegamy w polu cementyt i perlit.-

Przy zawartości węgla 1,72% występuje obok cementytu i perlitu także " l e d e b u r y t " przy małej zawartości krzemu i małej zawartości manganu.- Białe żeliwo albo też żeliwo utwardzone zawiera więc " ledeburyt ", szare żeliwo zawiera grafit.- Mieszanina składników zawierająca 4,29% C przedstawia " eutektykę " dla węgla, stygnącą i topniejącą przy tej samej temperaturze wynoszącej dla układu żelazo — żelazo - karbid 1145° C, dla

" żelazo — grafit 1152° C.-

Eutektyka układu żelazo — żelazo - karbid nazywa się ledeburytem, eutektyka " żelazo — grafit nazywa się "eutektyką grafitu ".- Przy zawartości C = 4,29% całe pole składa się z " ledeburytu " względnie z " eutektyki grafitu ".-

Po przekroczenie zawartości C = 4,29% znika całkowicie perlit , zawartość ledeburytu maleje na koszt zwiększającej się ilości cementytu, względnie zawartość eutektyki grafitu maleje na koszt zwiększającej się ilości wolnego grafitu / Garschaumgrafit /.-

W odlewnictwie odgrywają rolę tylko związki żelaza z węglem o zawartości C większej niż 1,72%.-

Żeliwo szare składa się z grafitu i z żelaza względnie stali z różną zawartością węgla.-

Własności fizyczne żeliwa zależą od wysokości zawartości grafitu i węgla związanego / Fe_3C /.- Ogólna zawartość C = sumie grafitu i węgla związanego.- Oprócz tego zależą własności fizyczne żeliwa

/ wytrzymałość, twardość / od wielkości, kształtu i sposobu rozmieszczenia listeczków grafitu względnie także od wielkości, kształtu i od rozmieszczenia składników struktury składających się z węgla związanego.-

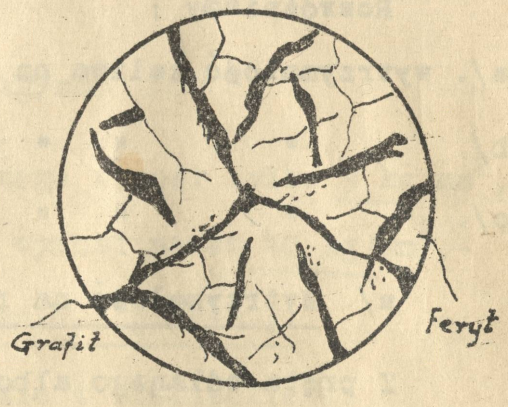
Nadeutektyczne stopy zawierają grafit w 2 postaciach, a mianowicie " grafit eutektyczny " i " grafit wolny " / Garschaum-grafit /, który spostrzegamy na powierzchni kąpieli żeliwa, albo latający w powietrzu, wyrzucany z żeliwa wyciekającego z kopulaka.- Grafit wolny występuje przy dużej zawartości Si do 4%.- Tak, jak Si działa Al / 0,25% / ; Ti / 0,1% / ; Ni / 1% /.- Natomiast wydzielenie grafitu utrudniają : Mn, Cr, Wo.-

1.Żeliwo białe.



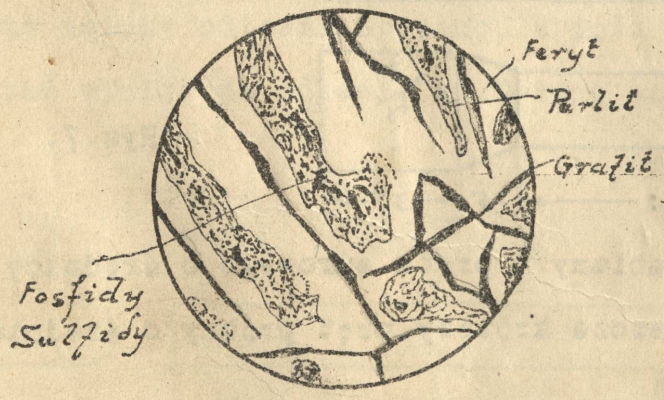
Rys.1.

2.Żeliwo grafityczne.



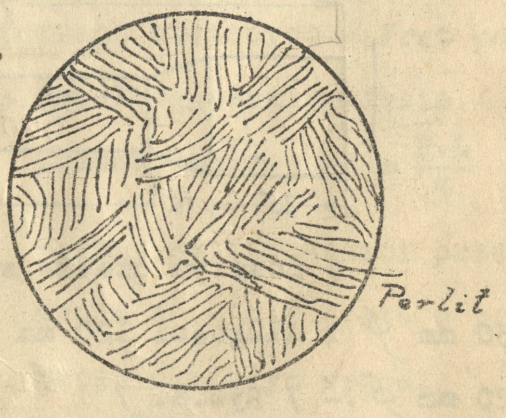
Rys.2.

3.Żeliwo zwykłe maszynowe



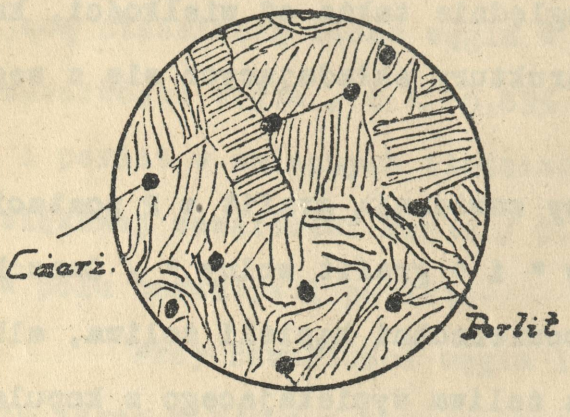
Rys.3.

4.Stal eutektoidalna.



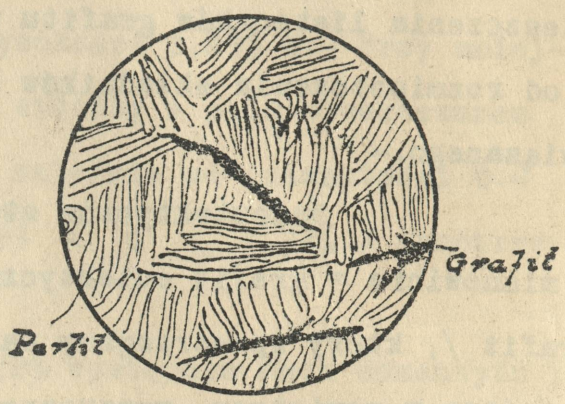
Rys.4

5.Odlew kutolany.



Rys.5.

6.Żeliwo perlityczne.



Rys.6.

§.2.

BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI I TWARDOŚCI ŻELIWA.

Rozróżniamy :

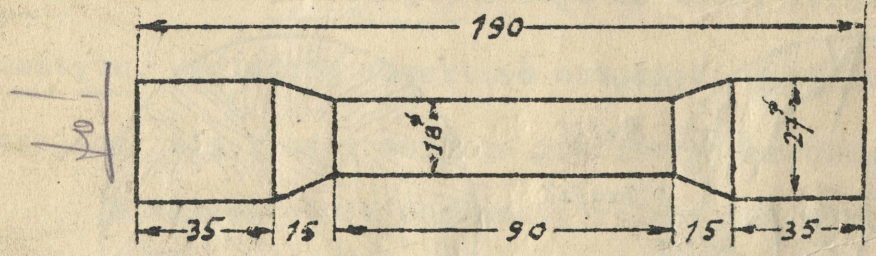
a/. wytrzymałość żeliwa na rozerwanie kg/mm^2

b/. " " " gięcie kg/mm^2

c/. " " " uderzenie.-

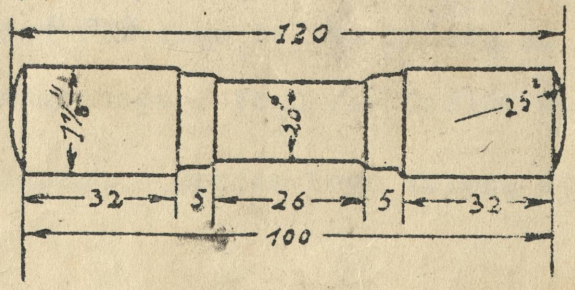
a/. Wytrzymałość na rozerwanie.

Z pręta odlanego albo razem z odlewem albo osobno z tej samej kadzi do suszonej formy o średnicy 30 mm ϕ i długości 200 mm wyrabiany " pręt próbny " o średnicy 18 mm, długości próbnej 90 mm.-

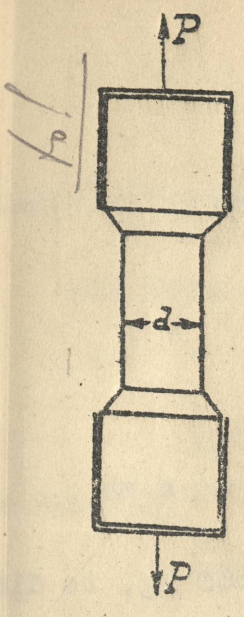


Rys.7.

W nowszym czasie wyrabiamy z pręta surowego o średnicy 30 mm ϕ i długości 120 mm jeszcze krótszy pręt próbny o średnicy 20 mm ϕ.- / Rys.8. /



Rys.8.



Rys.9.

Próbny pręt wkładamy do szczęk maszyny rozrywającej, obciążamy go siłą P aż do rozerwania.- Siła P działa równomiernie na cały przekroju pręta $F = \frac{d^2 . \pi}{4}$

Wytrzymałość na rozerwanie na 1 mm^2 przekroju obliczamy dzieląc siłę rozrywającą / kg / przez powierzchnię przekroju F w mm^2.-

$$W_r = \frac{P}{F} = \frac{4.P}{d^2 . \pi}$$

Przykład : P = 10000 kg, d = 20 mm

$$F = \frac{d^2 . \pi}{4} = \frac{400 . 3,14}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

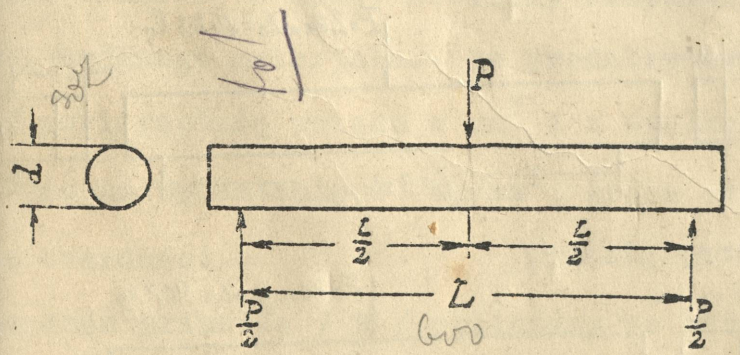
$$W_r = \frac{10000}{314} = 31,8 \text{ kg/mm}^2$$

Wytrzymałość żeliwa bardzo grafitycznego wynosi tylko 9 kg/mm^2, natomiast żeliwa wysokowartościowego wynosi nawet 40 kg/mm^2.-

b/. Wytrzymałość na zginanie / gięcie /.

1/. Pręty okrągłe / normy polskie i niemieckie /.

Pręt próbny badamy w stanie surowym - nie obrobionym ; średnica 30 mm ϕ, długość gięta 600 mm, długość lana 650 - 700 mm.- Pręty należy odlewać stojąco, z dołu w formach suszonych.- Pręt pozostać winien po odlewie we formie aż do zupełnego wystygnięcia.-



Rys.10.

Moment łamiący $M_g = \frac{P.L}{4}$

Moment wytrzymałości przekroju W - dla pręta o przekroju okrągłym wynosi

$\frac{\pi . d^3}{32} = 0,1 . d^3$.-

Wytrzymałość na gięcie Wg w kg/mm^2

$$\frac{P.L}{4} = W.Wg$$

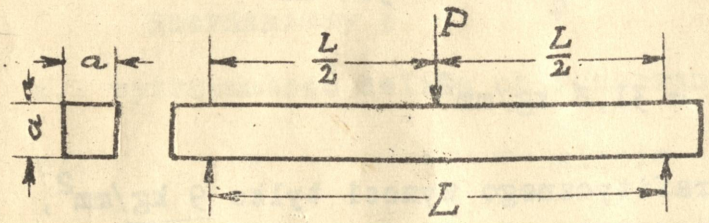
$$\frac{P.L}{4} = 0,1.d^3.W_g$$

$$\frac{P.L}{4} \cdot \frac{1}{0,1.d^3} = W_g \ kg/mm^2 \quad P \text{ w kg, } L \text{ i } d \text{ w mm}$$

Przykład : Jeżeli obciążenie łamiące wynosi np. P = 660 kg, to dla L = 600 mm i d = 30 mm otrzymamy :

$$W_g = \frac{660.600}{4.0,1.30^3} = \frac{396000}{0,4.27000} = \frac{396000}{10800} = 36,7 \ kg/mm^2$$

2/. Pręty o przekroju kwadratowym / normy duńskie /.-



Rys.11.

Moment wytrzymałości przekroju kwadratowego wynosi:

$$W = \frac{a^3}{6} .-$$

$$\frac{P.L}{4} = W.W_g$$

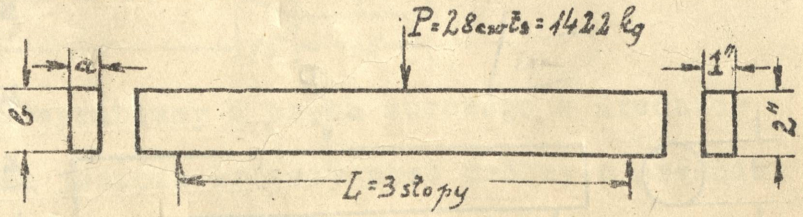
$$W_g = \frac{P.L}{4.W}$$

Przykład : Dla P = 300 kg, L = 1000 mm, a = 25 mm otrzymamy :

$$W_g = \frac{300.1000}{4 \cdot \frac{25^3}{6}} = 29 \ kg/mm^2$$

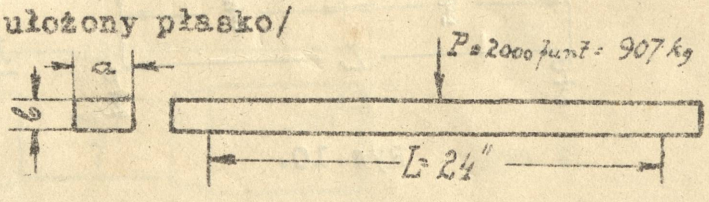
3/. Pręty o przekroju prostokątnym / normy angielskie i ameryk./

angielskie



Rys.12.

amerykańskie/pręt ułożony płasko/



Rys.13.

Moment wytrzymałości przekroju prostokątnego $W = \frac{a.b^2}{6}$

Dla norm angielskich obliczamy W_g =29,75 kg/mm^2

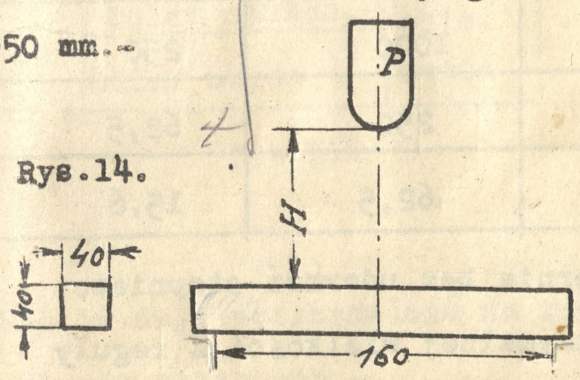
" " amerykańskich " W = 26,00 kg/mm^2

Oprócz tego mierzymy przy próbach na gięcie t.zw. " strzałkę ugięcia " f w mm.-

c/. Wytrzymałość na uderzenie.-

Niektórzy odbiorcy odlewów przepisują także pewną wytrzymałość na uderzenie.-

Pręt próbny o przekroju kwadratowym 40.40 mm i długości piętej 160 mm i o długości lanej 200 mm ułożony poziomo na podporach odległych od siebie 160 mm powinien nim się złamie wytrzymać uderzenie w środku młota ważącego 12 kg spadającego z wysokości 400 - 650 mm.-



Rys.14.

Praca uderzenia :

przy P = 12 kg, H = 400 mm,

E = P.H = 12.0,4 = 4,8 kgm.-

TWARDOŚĆ BRINELL'A.

Twardość żeliwa badamy zwykle sposobem Brinell'a zapomocą kulki stalowej o danej średnicy wciskanej siłą do gładkiej powierzchni badanego materjału.- Ze średnicy koła wcisku obliczamy kulistą powierzchnię wcisku w mm^2 i z wielkości siły P obliczamy wytrzymałość na ugniatanie w kg/mm^2, która służy równocześnie do oznaczania twardości.-

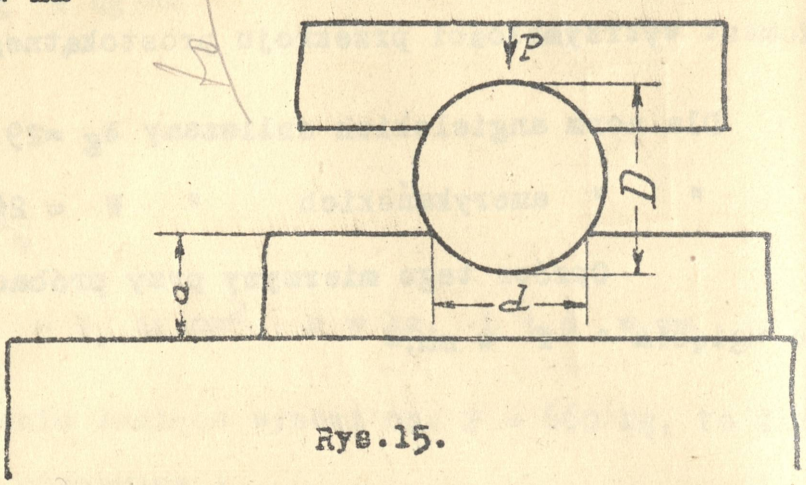
Twardość Brinella / H / obliczamy ze wzoru :

$$H = \frac{2.P}{\pi.D.(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

D oznacza średnicę kuli w mm

P obciążenie kuli w kg

d średnicę powierzchni wcisku w mm.-



Rys.15.

Normalne średnice kuli i obciążenia według norm niemieckich.

Grubość badanej płyty a mm	Średnica kuli D mm	Obciążenie P kg		
		Dla żeliwa i stali $30\ D^2$	Dla twardej miedzi, bronzu, mosiądzu $10\ D^2$	Dla miękkich metali $2{,}5\ D^2$
nad 6 mm	10	3000	1000	250
6 - 3 mm	5	750	250	62,5
pod 3 mm	2,5	187,5	62,5	15,6

Obciążenie P ma zwiększać się równomiernie bez uderzeń stopniowo w przeciągu 15 sek. i ma działać w maksymalnej wielkości z reguły przez 30 sek.- Średnicę wcisku należy odczytać na $\frac{1}{100}$ część mm dokładnie.-

Jeżeli wcisk nie jest okrągły, miarodajną jest średnica przeciętna.- Zwykle wykonujemy próby dwukrotnie i bierzemy średnią z wyniku, jako wynik ostateczny.-

Stosując np. kulkę o średnicy 10 mm, obciążenie maksymalne 3000 kg, działające 30 sek., określamy twardość H w sposób następujący :

$$H = 10./\ 3000/.30''$$

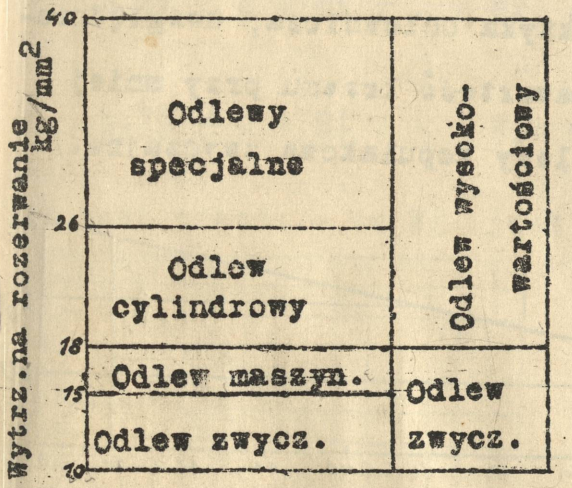
Materjał kulek : stal twarda o twardości Brinell'a do 630.-

Twardość Brinell'a.

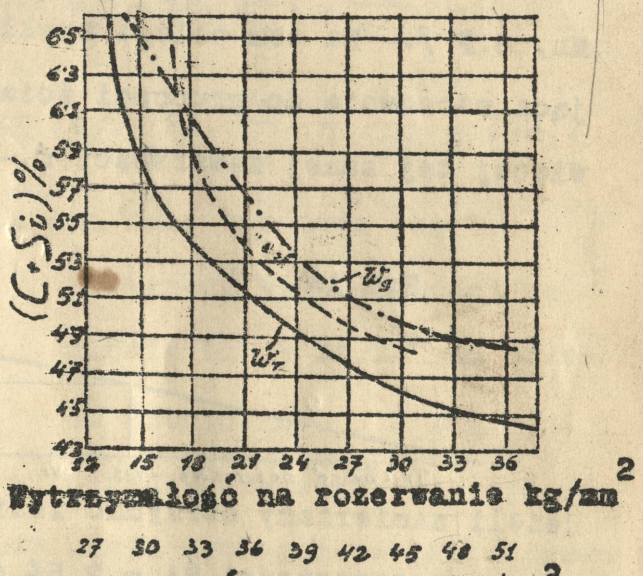
Miękkie żeliwo	110 - 160
Klocki hamulcowe	160 - 240
Żeliwo białe	387
Żeliwo utwardzone	do 500
Odlewy kutolane	129 - 139

§.3.

I. ZALEŻNOŚĆ WYTRZYMAŁOŚCI OD SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA.



Rys.16.



Rys.17.

Rys.16.daje wytrzymałość na rozerwanie poszczególnych gatunków odlewów żeliwnych.-

Rys.nr.17. przedstawia w wykresach zależność wytrzymałości na rozerwanie i zginanie w kg/mm² od zawartości / C + Si /% w żeliwie.-

Z rysunku widzimy :

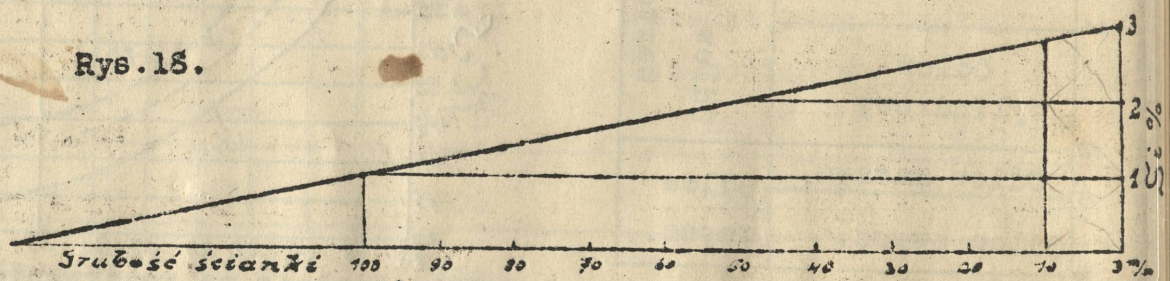
a/. Im większa zawartość / C + Si / tem mniejsza wytrzymałość.- Dla / C + Si /% = 5,7% wypada wytrzymałość na rozerwanie Wr - ca 15 kg, wytrzymałość na zginanie Wg - 36 kg.- Natomiast zawartości / C + Si /% znacznie mniejszej np. / C + Si/% = 4,9%, odpowiada Wr - 25 kg, Wg - 46 kg.-

Tłumaczyć to należy w ten sposób, że przy dużej zawartości /C + Si/%

listeczki grafitu są duże, rozluźniają bardzo masę żeliwa, a ponieważ nie posiadają prawie żadnej wytrzymałości, obniżają wytrzymałość próbnego pręta żeliwa.-

Zwyczajne, szare żeliwo maszynowe zawiera 3,7% C obok 2% Si i posiada wytrzymałość na rozerwanie 15 kg/mm^2 , wytrzymałość na gięcie 36 kg/mm^2.- Jeżeli chcemy osiągnąć wyższą wytrzymałość, powinniśmy przy danej zawartości C = 3,7% obniżyć zawartość krzemu,wskutek czego obniży się zawartość grafitu przy zachowaniu zresztą tych samych warunków / temperatura żeliwa, grubość ścianki, zawartość Mn, S.P /.- Na tem polega zwykła praktyka odlewnicza, uwzględniająca stosownie do grubości ścianki zawartość krzemu przy mniej więcej tej samej zawartości C.- / Odlewy kopulakowe zwyczajne./

Rys.15.



Jeżeli zamierzamy otrzymać żeliwo t.zw. wysokowartościowe, musimy np. przy zawartości Si = 2,5% obniżyć znacznie zawartość węgla nawet do 2,4%, tak aby suma / Si + C / wynosiła 4,9%.- / Odlewy Emmela / ; albo obniżamy zawartość węgla tylko do ca 3,2%, ale daleko bardziej zawartość krzemu do 0,8% stosując odpowiednio do grubości ścianek odlewu przegrzane formy.- / Odlew perlityczny Lanza/ Pomiędzy ogólną zawartością C a Si istnieje,biorąc pod uwagę czysty stop żelazo.- węgiel - krzem,następujący stosunek :

$$C = \frac{4{,}26}{4{,}29 \sim 4{,}3} - \frac{Si}{3{,}6} \qquad C = 4{,}3 - \frac{Si}{3{,}6}$$ (tak ma być!)

Wzór ten wykazuje, że przy zawartości krzemu 3,6% ogólna zawartość węgla w żeliwie wynosić może tylko 3,26%, że więc krzem obniża zdolność rozpuszczania węgla w żeliwie.-

b/. Z wykresu na rys.17. widzimy, że krzywe dla wytrzymałości

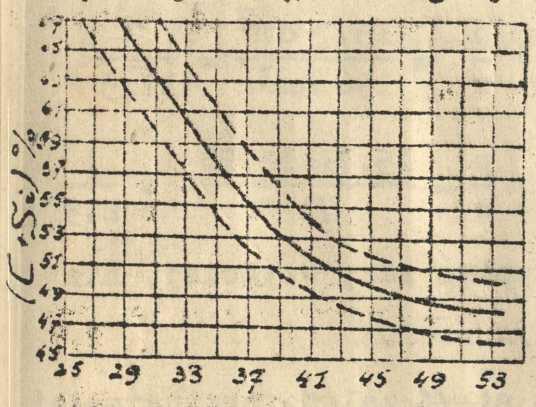
na rozerwanie / Wr / i wytrzymałości na gięcie / Wg / nie biegną równolegle, t.zn., że nie istnieje stały stosunek pomiędzy Wr i Wg.- Podczas, gdy przy żelazie o średniej wytrzymałości na rozerwanie / 19 ÷ 27 kg/mm^2 = Wr / stosunek ten jest mniej więcej stały / kierunki krzywych mniej więcej równoległe /, to przeważnie przy niskich wytrzymałościach na rozerwanie względnie przy dużych zawartościach / C + Si /% stosunek ten się zmienia np. :

dla 5,3% / C + Si / . . Wr = 18 kg, Wg = 39, $\frac{Wg}{Wr} = \frac{39}{18} = 2,17$

" 6,5% / C + Si / . . Wr = 13,5 " Wg = 30, $\frac{Wg}{Wr} = \frac{30}{13,5} = 2,2$

" 5,7% / C + Si / . . Wr = 15 kg Wg = 21, $\frac{Wg}{Wr} = \frac{21}{15} = 1,4$!

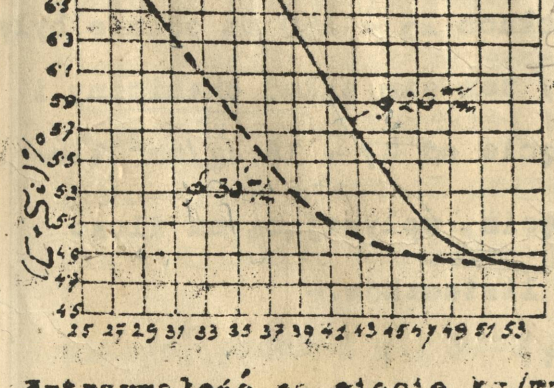
Nie jest prawdą,- że Wg jest zawsze dwa razy tak duże jak Wr.-



Wytrzymałość na gięcie kg/mm^2

Rys.19.

Zależność wytrzymałości na gięcie Wg w kg/mm^2 od składu chemicznego / C + Si / przedstawia wykres na rys.19. Linja wyciągnięta grubo przedstawia średnie wyniki badań położone między krzywemi kreskowanemi.- I tutaj mają ważność uwagi powyżej przytoczone odnośnie do wykresu na rys.17.-



Wytrzymałość na gięcie kg/mm^2

Rys.20.

Wykres na rys.20. przedstawia zależność wytrzymałości na gięcie prętów o średnicy 20 mm / pełna linja -----/ i o średnicy 30 mm / linja kreskowana - - - - / od ich składu chemicznego / C + Si /.- Wykres ten jest bardzo pouczą-

jący ; wykazuje bowiem, że wpływ różnej szybkości stygnięcia przy małych zawartościach / C + Si / maleje, i nawet znika, podczas gdy przy dużych zawartościach / C + Si / jest znaczny.- W pierwszym wypadku mamy do czynienia z perlityczną, w drugim z ferytyczną strukturą żeliwa.-

UWAGA : Dla szybkości stygnięcia prętów próbnych miarodajny jest stosunek przekroju / p / do obwodu / o / $\frac{p\ mm^2}{o\ mm}$

Stosunek ten wynosi dla prętów o średnicy 20 mm $\frac{p}{o} = \frac{314}{62,8} = 5$

" " " " " " " 30 mm $\frac{p}{o} = 7\frac{1}{2}$

Dla szybkości stygnięcia odlewów miarodajny jest stosunek powierzchni studzącej do pojemności względnie wagi odlewu $\frac{p}{w}$

Walec o średnicy 500 mm i długości 1 m : $\frac{p}{w} = \frac{15,7\ dm^2}{196\ dm^3} = \frac{1}{12,5}$

Rura o średnicy 500 mm/400 i dług. 1 m : $\frac{p}{w} = \frac{15,7 + 12,56}{71} = \frac{1}{2,5}$

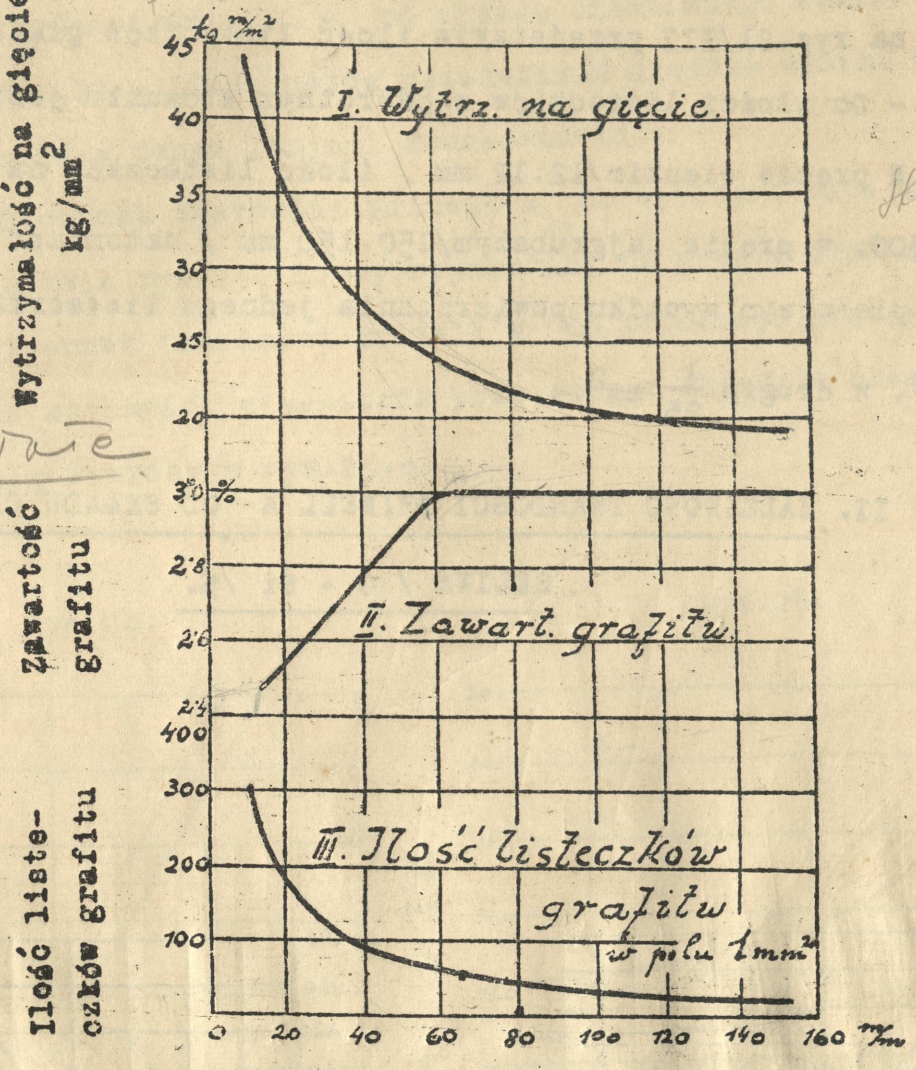
Walec wydrążony / rura / 500/400 stygnie pięć razy szybciej, niż walec pełny o tej samej średnicy co rura.-

Przy tym samym składzie chemicznym / C + Si /% zależy przynajmniej przy zwyczajnych odlewach maszynowych z zawartością C - 3,5% wytrzymałość żeliwa od szybkości stygnięcia, względnie od grubości ścianki odlewu.- Zależność tę przedstawia rysunek 21/I.-

Ponieważ wszystkie pręty kwadratowe o bokach 15 - 150 mm odlane były z tej samej kadzi z tego samego żeliwa / ten sam skład chemiczny i temperatura /, różna wytrzymałość na gięcie od 47 - 18 kg/mm^2 tłumaczy się tylko różną szybkością stygnięcia, wpływającą na ilość wydzielonego grafitu i na wielkość jego listeczków.-

Skład chemiczny żeliwa był następujący :

Si	C	Mn	S	P
2,51%	3,33%	0,81%	0,095%	0,56%



Długość boku przekroju kwadratowego

Rys.21.

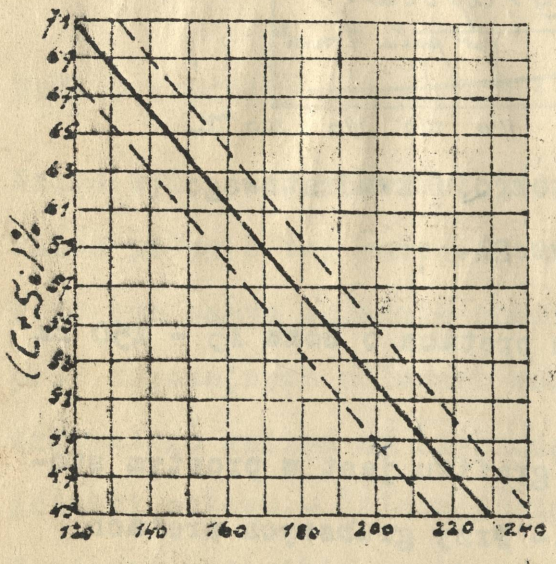
Ilość wydzielonego grafitu w próbnych prętach o boku 15 - 150 mm. była taka, jaką wskazuje rys.21/II.-

Z wykresu tego widzimy, że zawartość grafitu jest w prostym stosunku do przekroju pręta aż do 55 mm.- Przy grubszych prętach ilość grafitu jest ta sama, ale mimo to obniża się wytrzymałość na gięcie coraz bardziej z powodu coraz większych listeczków grafitu.- Przy cienkich prętach/12.12 mm / z powodu szybkiego stygnięcia wydzieliło się tylko 2,4% grafitu t.j. $\frac{240}{3.38} \sim 71\%$ C całkowitego, podczas gdy przy prętach grubszych grafit wynosi :

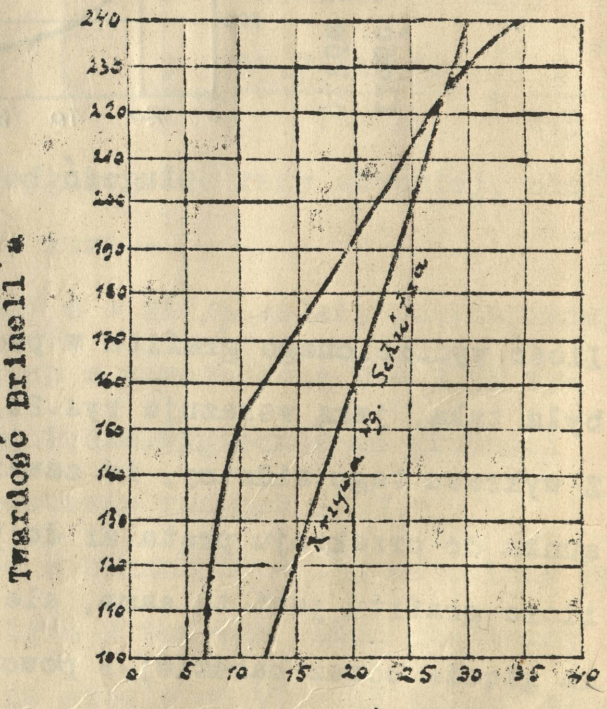
$\frac{300}{3,38} \sim 88,5\%$ C całkowitego.-

Wykres na rys.21/III przedstawia ilość listeczków grafitu w polu 1 mm^2 .- Do ilości listeczków w odwrotnym stosunku jest ich wielkość.- W pręcie cienkim/12.12 mm / ilość listeczków na 1 mm^2 wynosi ca 300, w pręcie najgrubszym/150.150 mm / natomiast tylko ca 25 ; w pierwszym wypadku powierzchnia jednego listeczka wynosi $\frac{1}{300}$ mm^2, w drugim $\frac{1}{25}$ mm^2.-

II. ZALEŻNOŚĆ TWARDOŚCI BRINELL'A OD SKŁADU CHEMICZNEGO ŻELIWA / C + Si /%.



Rys.22.

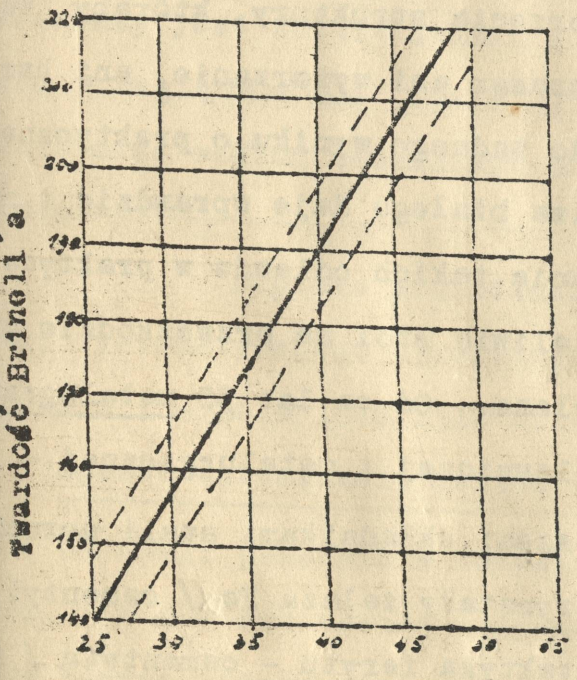


Rys.23.

Zależność twardości Brinell'a od składu chemicznego żeliwa / C+Si/% widzimy na rys.22.- Linja pełna przedstawia średnie wyniki badań położone pomiędzy dwoma linjami kreskowanemi.-

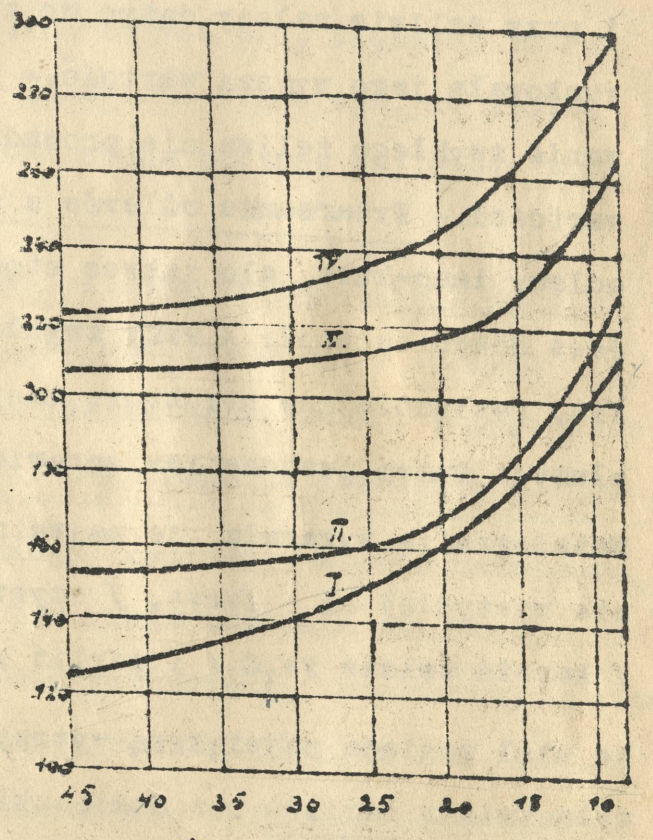
Stosunek twardości Brinell'a do wytrzymałości na rozerwanie przedstawia rys.23, do wytrzymałości na gięcie przedstawia rys. 24., stosunek twardości Brinell'a do przekroju prętów próbnych względnie do szybkości stygnięcia przy różnym składzie chemicznym przedstawiają wykresy w rys.25.-

Rys.24.



Wytrzymałość na gięcie kg/mm²

Rys.25.



Grubość ścianki mm

Krzywa I.: 3,41% C + 3,17% Si = 6,58%

" II.: 3,58% C + 3,12% Si = 6,70%

" III.: 3,14% C + 1,76% Si = 4,90%

" IV.: 3,12% C + 1,34% Si = 4,46%

§.4.

ŻELIWO WYSOKOWARTOŚCIOWE.

Znaną jest rzeczą, że fizyczne własności różnych gatunków stali zależą od metalograficznych składników struktury.- Czy wyżarzamy staliwo, czy hartujemy stal narzędziową, czy stosujemy proces cementowania, zawsze rozchodzi się o to, aby otrzymać strukturę, której mają odpowiadać wymagane własności metalu.-

Ze względu na fakt, że żeliwo nie jest niczem innem, jak zanieczyszczoną różnemi składnikami stalą, przyjąć wypada, że i przy żeliwie należy dążyć do wytworzenia struktury, któraby warunkowała jego wyższą wartość.- Tymczasem ani wyżarzanie, ani hartowanie zwykłego żeliwa nie prowadzi do żadnego wyniku o praktycznej wartości.- Wyżarzanie odlewów z żeliwa białego daje wprawdzie t.zw. odlewy lano-kute, ale zakres stosowania takich odlewów w praktyce jest dosyć szczupły.- Przy zwykłem żeliwie stoi na przeszkodzie grafit, rozluźniający strukturę masy żelaza.- Od ca lat 30 metalografja służy z dużem powodzeniem sprawie odlewniczej i metalurgicznej.- Metalografja wykazała, że najważniejszemi składnikami stali normalnie wystygłej są : feryt, / czyste kryształy żelaza Fe / cementyt / karbid żelaza Fe_3C / i perlit / eutektyka ferytu - cementytu / i że stal posiada największą wytrzymałość wtedy, jeżeli się składa wyłącznie z perlitu bez domieszki ferytu i cementytu.- To samo odnosi się także do żeliwa, przy którem jednak grafit zależnie od wielkości jego listeczków bardzo niekorzystnie wpływa na własności fizyczne.- Ilość listeczków grafitu wynosi przy grubości ścianki / 10 mm / ca 300, przy grubości ścianki / 120 mm / ca 25 ; pozatem w obydwóch wypadkach żeliwo ma ten sam skład chemiczny.- W pierwszym wypadku wytrzymałość żeliwa będzie znacznie większa / 43 kg/mm^2 / niż w wypadku drugim / 15 kg/mm^2 /, a nawet 10 kg/mm^2 .-

Żeliwo perlityczne jest to perlit z b. drobnemi płytkami grafitu przeciętna ogólna zawartość C jest < od 3. (Czopiński t. II)

Z powyższego wynika, że istnieją dwie drogi do polepszenia własności zwykłego żeliwa :

a/. przez dążenie do struktury perlitycznej,-

b/. przez dążenie do wydzielenia grafitu w możliwie drobnych listeczkach.-

A/. ŻELIWO PERLITYCZNE LANZA.

Żeliwo składa się przedewszystkiem z masy żelaza względnie stopu żelaza z Si, Mn, C, w której to masie wydzielony jest grafit w postaci większych lub mniejszych listeczków i w której rozmieszczony jest fosfid żelaza i sulfid żelaza przy większej zawartości P względnie S.- Już w r.1906 twierdził P.Goerens, że żeliwo perlityczne według wszelkiego przypuszczenia posiada najlepsze własności.-

Dopiero A.Diefenthäler i K.Sipp wkroczyli w r.1916 na drogę systematycznego wyrabiania żeliwa perlitycznego / fa Lanz Mannheim /.- Dnia 10/V 1916 otrzymał Diefenthäler patent w Niemczech na " sposób wytwarzania żeliwa bardzo odpornego na działanie tarcia".- Miał na myśli przeważnie łożyska maszyn, cylindry, klocki hamulcowe, tłoki i t.d.- Ponieważ przy prawie tym samym składzie chemicznym odlewy bardzo różnie się względem tarcia zachowywały, spostrzegł Diefenthäler, że żeliwo perlityczne bez względu na skład chemiczny najlepiej odpowiada.- Przytem grafit powinien się wydzielać równomiernie w drobnym stanie, feryt nie powinien wcale występować.- Drugi patent Diefenthälera z 16/X 1918 odnosił się do odpowiednio skonstruowanej formy.- Ściana samej formy jest możliwie bardzo cienka i albo izolowana próżnią, albo odpowiednim środkiem izolacyjnym, w celu utrudnienia szybkiego stygnięcia przegrzanego żeliwa.-

Trzeci patent z 23/I 1923 udzielony został fmie Heinrich Lanz, Mannheim na " sposób wyrabiania żeliwa szarego ".- Przekonano

się bowiem, że żeliwo perlityczne nie jest tylko bardzo odporne na tarcie, lecz posiada także stosunkowo bardzo dużą wytrzymałość.- Żeliwo perlityczne przy wysokiej wytrzymałości jest miękkie.- Lanz ustalił dokładnie stosunek C do Si i przyjął zasadę, że suma C + Si powinna normalnie wynosić 4 ; dla odlewów o cienkich ściankach jest suma / C + Si / > 4%, dla odlewów grubszych / C + Si / < 4%.- Górna granica dla miękkiej mieszanipy / C + Si/= = 4,6%.- Równocześnie przyjął Lanz stosunek wymaganego przegrzania formy do grubości ścianki odlewu.- Dla cienkich odlewów należy przegrzać formę do 500° C, dla grubych / 90 mm / do 0° C.- Przegrzewanie formy do 500° C jest trudne , dlatego dobieramy zamiast tak wysokiego przegrzewania inny skład C + Si, a mianowicie większe niż 4%.- Przy odlewach grubych przegrzewamy bardziej formę, ale dobieramy mieszaninę twardszą od normalnej.- Ze względu na fakt, że już przedtem wytwarzano żeliwo perlityczne, chociaż nie wiedząc o tem, udzielanie patentu na żeliwo perlityczne nie jest uzasadnione.- Jeżeli ktoś wytwarza żeliwo o wysokiej wytrzymałości, a to żeliwo posiada strukturę perlityczną, to stało się to bez jego wiedzy ; fa Lanz nie może czynić żadnych zarzutów.- Dlatego o patent Lanza nikt się teraz nie troszczy i każda postępowa odlewnia o ile jej chodzi o nadzwyczajną wytrzymałość odlewów wytwarza sobie własnym sposobem takie żeliwo np. fa Ardeltwerke, Eberswalde.-

Żeliwo perlityczne posiada prawie dwukrotną wytrzymałość, niż żeliwo zwyczajne, przyczem twardość wzrasta tylko o ca 20%.-

Żeliwo perlityczne przedewszystkiem różni się od żeliwa zwyczajnego tem, że jego wytrzymałość na uderzenie jest prawie 15 razy większa.- Wytrzymałość na uderzenie wynosi :

Dla żeliwa zwyczajnego	5
" " cylindrowego	18
" " perlitycznego	72

Porównanie składu chemicznego.

	Zwycz. żeliwo	Żel. cylindr.	Żel. perlityczne Lanza
C	3,29	3,51	3,25
Grafit	2,99	2,84	2,41
C_z	0,3	0,67	0,84
Si	2,79	1,74	1,11
Mn	0.56	0,66	0,79
P	1.15	0,5	0,4
S	0,084	0.078	0,158
Wg obr. 30 mm ϕ	28,6	40,6	51,8
f	9,6	12,0	16,9
Wr	13,1	18,3	25,0
Twardość Brinell'a ϕ 42 mm	130,0	148,0	164,0
ϕ 32 mm	136,0	166,0	176,0

Stosowanie żeliwa perlitycznego.

Żeliwo perlityczne jest nawet przy różnych grubościach ścianek i ostrych zagięciach wolne od natężeń wewnętrznych.- Dlatego ze względu na wielką wytrzymałość żeliwo perlityczne nadaje się do odlewu części maszyn parowych i motorów eksplozyjnych.- Następnie tam, gdzie rozchodzi się o odporność na tarcie : tłoki - pierścienie do tłoków - cylindry - koła zębate przekładni i t.d.- Staliwo i odlewy kutolane często się paczą wskutek wygrzewania; odlew perlityczny nie paczy się i nie wymaga wogóle wyżarzania.-

Odlewy stalowe względnie temperowane, przy których nie jest wymagane duże wydłużenie, mogą być dobrze zastąpione przez żeliwo perlityczne. Znaną jest rzeczą, że wysoka zawartość krzemu ponad 1% szkodliwa jest w odlewach narażonych na rozgrzanie, jakie ma miejsce np. przy motorach eksplozyjnych.- Odlew taki zmienia strukturę i powstają na powierzchni pęknięcia.- Przy Si = 1% struktura jest jeszcze stała, nie ulega w wyższej temperaturze żadnej zmianie.- Przy wyższej zawartości Si struktura przechodzi w ferytyzm.-

Do takich odlewów nadaje się najlepiej żeliwo perlityczne a to tembardziej, że nie osadza się prawie.

Widzimy, że żeliwo perlityczne z tak małą zawartością C i Si przy odlewaniu zwykłem do zimnej formy i nie bardzo przegrzane dałoby odlew biały.- Dlatego żeliwo perlityczne musi być należycie przegrzane i odlewane do gorącej formy

Normalnie	C + Si = 4	C ÷ 3,5% Si ÷ 1,5%
Dla cienkich odlewów, aby forma nie musiała być b.przegrzana	C + Si = 4,6	C ÷ 3,5% Si ÷ 1,12%
Dla odlewów grubych	C + Si = 3,4	C ÷ 2,9% Si ÷ 0,9%

Dla przykładu podajemy skład chemiczny odlewu perlitycznego według Lanza :

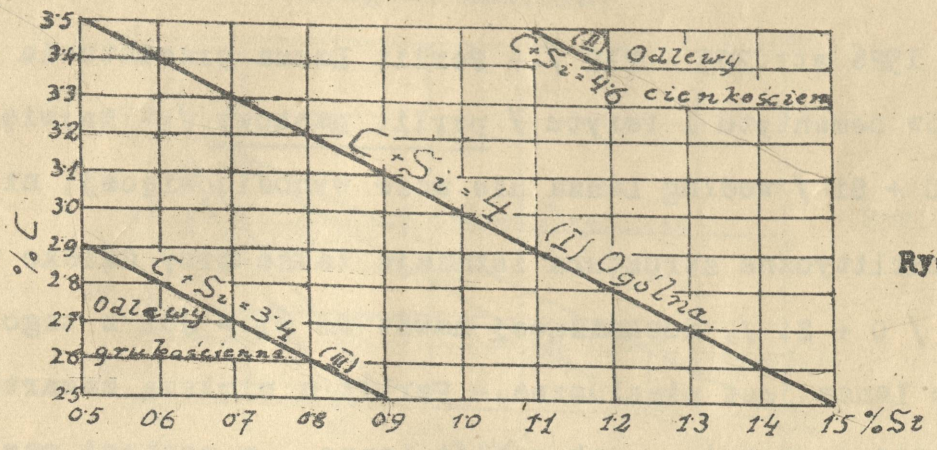
1/. C -3,25% - z tego grafit 2,4%
Si -1,1% Mn -0,8%
Sa- 4,35% P -0,40%
S - 0,16%

2/. C - 3,08% - w tem grafit 2,01%
Si - 1,12% Mn -0,8%
P - 1,28% S -0,195%

Wytrzymałość na gięcie / 30 mm ϕ / — 50,8 kg/mm²

Przegięcie f = 12,5 mm.

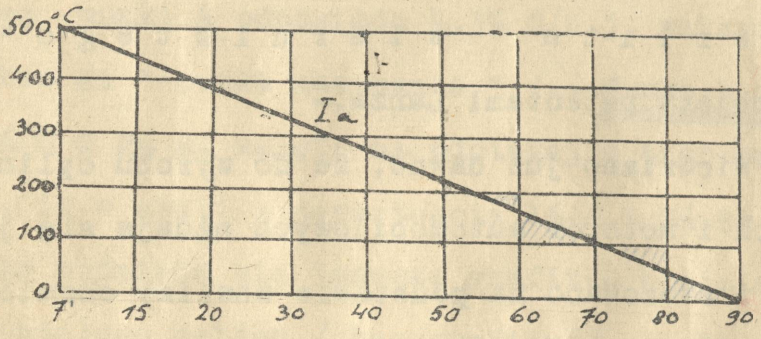
a/. Diagram składu chemicznego.



Rys.26.

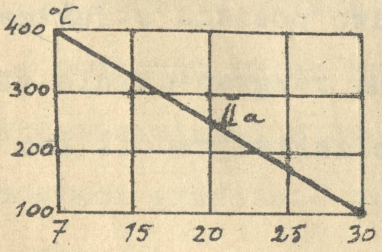
b/. Diagramy podgrzania formy względnie studzenia.

ad I.Krzywa ogólna / C + Si / = 4%



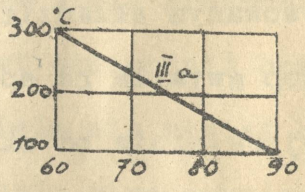
Rys.27.

ad II.Odlewy cienkościenne / C + Si / = 4,6%



Rys.28.

ad. III.Odlewy grubościenne. / C + Si / = 3,4%



Rys.29.

Ogłoszenie patentów Lanza / 1916 / było powodem bardzo dużego zainteresowania się sprawą wysokowartościowego żeliwa.- Z powodu wojny nikt nie wniósł sprzeciwu i patenty Lanza stały się prawomocnemi.- Natomiast w parę lat później zakotłowało w odlewniach wyrabiających odlewy specjalne o wysokiej wytrzymałości, gdy firma Lanz, jako właścicielka patentów Diefenthälera, zaskarżyła o naruszenie patentu fabryki maszyn " Esslingen " i Thyssen u. Co, wyrabiające wysokowartościowe odlewy o strukturze perlitycznej, ale bez przegrzewania form według przepisu Lanza / p dyskusja Giesse-

reizeitung 1926 str.205 - 212 /.- Perlit Lanza przedstawia się w postaci pasków cementytu i ferytu / perlit paskowy /.- Największa zawartość / C + Si / według Lanza nie może wynosić więcej, niż 4,6%.- Tymczasem perlityczna struktura istnieje także przy daleko większej zawartości / C + Si /, dochodzącej nawet do 6%.- Już z tego powodu rozszerzenie Lanza jest niesłuszne.- Perlit z większą zawartością / C + Si / nie występuje - jak perlit Lanza - w postaci pasków, lecz jest ziarnisty / perlit ziarnisty / i warunkuje jeszcze większą wytrzymałość niż perlit paskowaty.- Dlatego też celem odlewników jest osiągnięcie "p e r l i t u z i a r n i s t e g o", a taki perlit nie jest objęty patentami Lanza.-

Wiedziano już dawno, że do wyrobu cylindrów maszyn parowych, gazowych i motorów automobilowych nadaje się jedynie żeliwo ubogie w Si i C i stosowano na podstawie analizy chemicznej odpowiednie mieszaniny surowców.- Nie zważano jednak wówczas - gdyż metalografia była dopiero w powijakach - na strukturę i nie zważano, że przy stosowanym składzie chemicznym żeliwo posiada strukturę perlityczną.- Snop światła na sprawę perlitu i na rozgraniczenie strefy perlitycznej zależnie od składu chemicznego żeliwa rzucił inż.Maurer ogłaszając w r.1924 swój diagram żeliwa.-

B/. DIAGRAM MAURERA.

Maurer dzieli żeliwo na trzy duże gatunki ze względu na ich strukturę mikroskopijną, a mianowicie na :

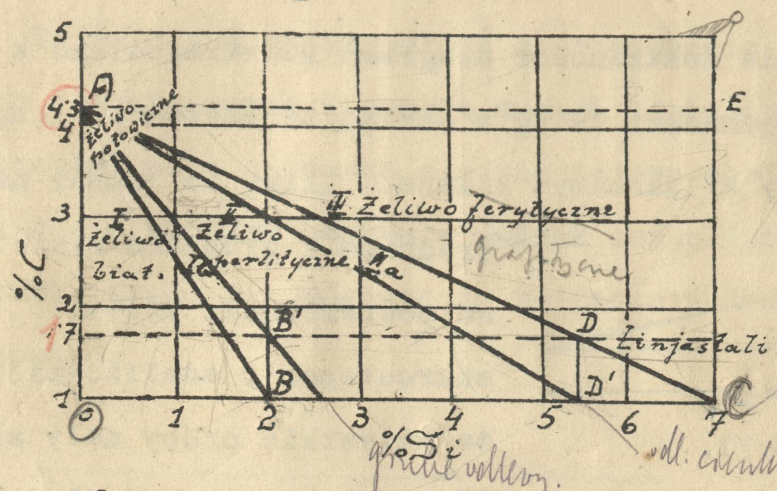
1/. żeliwo białe, składające się z ledeburytu względnie ledeburytu i perlitu.-

2/. żeliwo szare perlityczne, składające się wyłącznie z perlitu.-

3/. żeliwo szare, składające się z ferytu, perlitu i grafitu.-

Wykres swój opracował Maurer na podstawie teoretycznych rozważań w następujący sposób .

Diagram Maurera.



Rys. 30.

W prostokątnym układzie 2 osi podaje Maurer na osi rzędnych zawartości węgla C w %, na osi odciętych zaś zawartości krzemu Si w %.- Na osi rzędnej punkt A odpowiada 4,3% C/t.j. maksymalna zawartość C w żelazie bez Si " punkt nasycenia " /.- Punkt B odpowiadający zawartości 1% C i 2% Si wzięty na odciętej z tego powodu, że badania wykazały, iż w stali z zawartością 1% C i 2% Si przy normalnem stygnięciu nie wydziela się jeszcze grafit.- Linja AS przedstawia więc granicę białego żeliwa / bez grafitu / a pole A C B oznacza pole białego żeliwa.-

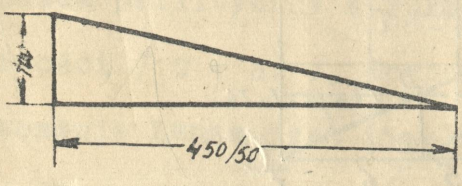
Punkt C obiera Maurer z diagramu stali krzemowej / Si Stahle / podanego przez Guillet'a.- Guillet stwierdził bowiem, że w stali zawierającej 0,8% C i 7% Si wydziela się węgiel całkowicie w postaci grafitu.- Linja A C przedstawia więc granicę dla żeliwa grafitycznego, a pole A E C jest polem żeliwa grafitycznego.- Całe pole przecina prosta w wysokości 1,7% C oznaczająca teoretyczną granicę stali.- Prosta ta przecina linję A C w punkcie D, któremu odpowiada na osi odciętych punkt D' ; otrzymamy linję A D'.- Punktowi B odpowiada na linji stali punkt B' ; otrzymujemy linję A B'.- W ten sposób całe pole diagramu rozpada się na trzy duże pola i na dwa mniejsze : Pole I : żeliwo białe

" II ; żeliwo perlityczne

"III ; żeliwo grafityczne

Pole I b i II a są polami żeliwa przejściowego, mieszanin.-

W celu zbadania dokładności diagramu Maurera odlano z piecyków Krupp'a o pojemności 10 kg w zakładzie badawczym Krupp'a / Versuchsanstalt / kilkanaście klinów.- Kliny te badano na słabszem, średniem i grubszem miejscu, szlifowano powierzchnię złamania, badano pod mikroskopem i analizowano.- Okazało się, że wszystkie próby dały się dość dobrze umieścić w diagramie i że diagram jest więc naogół dokładny.-



Rys.31.

		C	Si	Mn	
np	Nr. 1	1,82	1,53	0,98	. . . białe
	" 2	3,06	1,23	0,92	. . perlityczne
	" 3	3,36	0,68	0,91	. . perl.z małą zaw.karb
	" 9	3,5	1,19	1,0	. . " " " " fer.
	" 10	3,0	2,6	0,83	. . . ferytyczne
	" 13	1,78	5,12	1,0	. . . ferytyczne

etc.

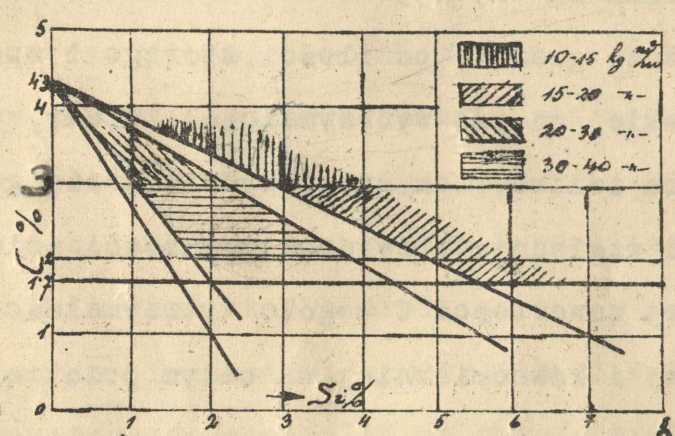
Naturalnie diagram Maurera obowiązuje dla normalnych stosunków stygnięcia.-

Przy odlewie grubym o perlitycznej strukturze należy mieszaninę surowca tak dobrać, aby skład jej po przetopieniu padł do pola II perlitycznego, ale jak najbliżej linji A B' względnie A B.- W wypadkach zupełnie nienormalnej grubości należy przejść aż do pola I / białego / aby otrzymać strukturę perlityczną / miękkie wałce /.-

Natomiast przy cienkich grubościach ścianek należy się przybliżyć do linji A D względnie A D'.-

Diagram Maurera przedstawia bardzo szczęśliwy sposób stosowania techniki metalograficznej do badania żeliwa i przyczynił się do wyjaśnienia zależności struktury żeliwa od jego składu chemicznego.-

Najmniejszą wytrzymałość na rozerwanie posiada żeliwo ferytyczno - grafityczne z powodu dużych listeczków grafitu ; największą wytrzymałością odznacza się zaś żeliwo perlityczne.- Ale w 1-szym i 2-gim wypadku zachodzą jednak dosyć duże różnice zależnie od stosunku Si do C.- Różnice te uwidacznia diagram Maurera w sposób następujący :



Rys.32.

Wytrzymałość żeliwa na rozerwanie kg/mm²

NB ! Dane te odnoszą się do wytrzymałości prętów próbnych z odlewów o grubości ścianki 30 mm.-

C/. DIAGRAM GREINER'A - KLINGENSTEINA

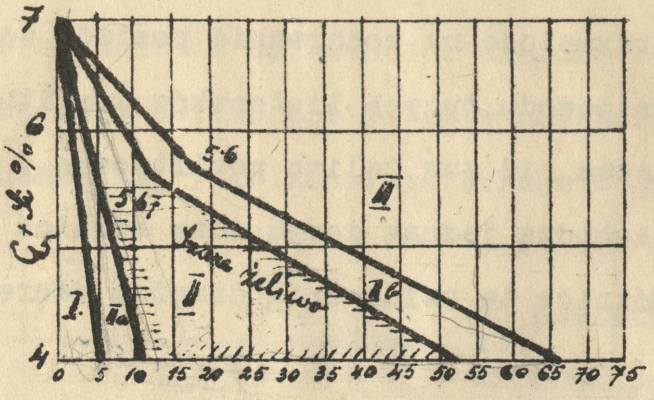
Diagram Maurera nie uwzględnia grubości ścianki.- Tymczasem faktem jest, że grubość ścianki, a więc chyżość stygnięcia wywiera duży wpływ na strukturę żeliwa, a więc na jego wytrzymałość.-

W laboratorjum fabryki maszyn w Esslingen opracowano diagram żeliwa uwzględniający sumę / Si + C / i grubość ścianki odlewu i wykazujący odnośną strukturę żeliwa.- Diagram ten znany jest pod nazwą " diagramu Greiner - Klingensteina ".-

Diagram poniższy obowiązuje dla dolnej granicy C = 2,8% i Si = 1% ; Sa = 3,9%.-

Pola zakreskowane oznacza pole " żeliwa wysokowartościowego ", dla którego wymagana jest struktura perlityczna.- Ale perlityczna masa

$C = 4{,}26 - \frac{Si}{3{,}6}$



I. Białe żeliwo.
II. żeliwo perlityczne.
III, Żeliwo ferytyczne.
IIa. Żeliwo połowiczne.
IIb. Żeliwo przechodzi z perlitycznego do ferytycznego

Rys.33.

Żeliwa zawiera jeszcze grafit, od ilości, którego i sposobu wydzielenia zależy w wysokiej mierze wytrzymałość.- Wiemy, że im mniej węgla wogóle zawiera żeliwo, tem mniej wydziela się grafitu przy danej zawartości Si względnie przy danej grubości ścianki. Wiemy także, że przy danej zawartosci C wogóle wytrzymałość jest tem większa, im drobniej i równomierniej na całym przekroju wydziela się grafit.

Mamy więc do dyspozycji dwa środki prowadzące do podwyższenia wytrzymałosci żeliwa perlitycznego, a mianowicie:

a/ zmniejszenie ogólnej zawartości C,

b/ spowodowanie wydzielenia się grafita drobno i równomiernie

D/ OLEW PERLITYCZNY CORSALLI'EGO.

Lit: 1/ Giessereizeitung 1926 Nr.21 str.587 - 591
Chr. Gilles Berlin " Das Interesse des Eisengiesserei an der Frage der direkten Eisenerzeugung."

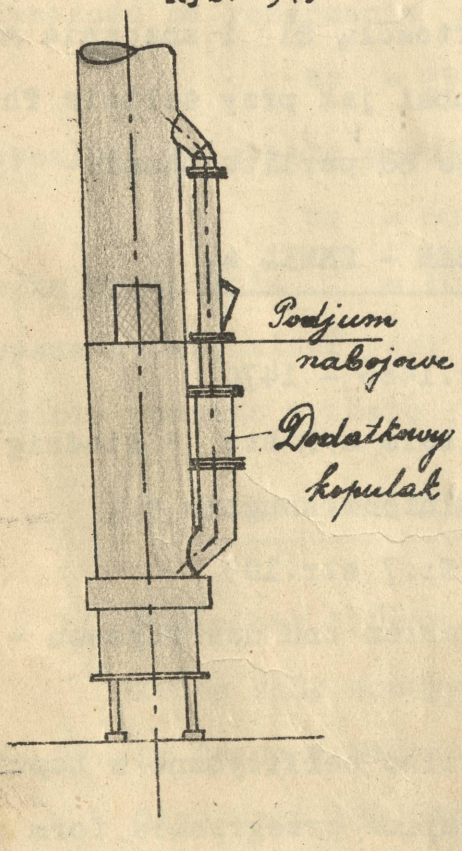
2/ Giessereizeitung 1926 Nr. 8 str. 205 - 212
Chr. Gilles Berlin " Die Erzeugung von Gusseisen hoher Festigkeit.

Corsalli starał się pierwotnie pędzić piec kopulowy w taki sposób, aby przy przetapianiu dużych ilości żelaza kutego otrzymac żeliwo o stosunkowo małej zawartości węgla.- Wiadomą jest rzeczą, że przy zwykłym sposobie pędzenia pieca kopulowego do-

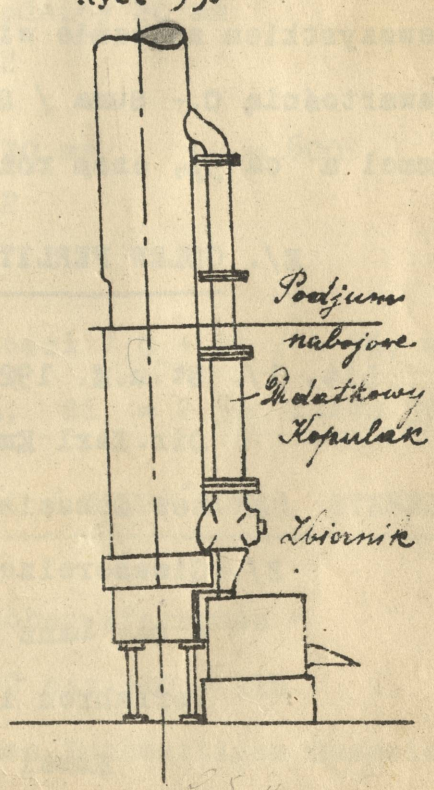
dane do mieszaniny surowca żelazo kute wskutek zetknięcia się w dolnej części kopulaka w wysoko rozżarzonym koksem nawęgla się, tak, że nawet przy bardzo dużym namiarze żelaza kutego / do 40% / zawartość węgla w żeliwie wynosi około 3%.- Aby obniżyć zawartość węgla, stosował Corsalli mieszaninę składającą się z 67% odpadków żelaza i stali i 33% odpadków żeliwnych z dodatkiem żelazo krzemu.- Mieszanina ta zawierała 1 - 1,2% C i 1,4 - 1,8% Si.- W celu utrudnienia nawęglenia żeliwa stosuje Corsalli środki dwojakie: powiększa znacznie ilość powietrza / 150 - 200 m^3/m^2/min/ i dobudowuje do kopulaka dodatkowy przyrząd do przetapiania potrzebnych dodatkowych ilości żelazo-krzemu i żelazo-manganu.- Rys. 34 przedstawia kopulak bez zbiornika z dodatkowym przyrządem Corsalliego do przetapiania, ryz. 35 przedstawia kopulak z zbiornikiem.-

Z powodu nienormalnie dużej ilości wiatru spalanie koksu nie ograniczyłoby się tylko na strefę spalania, lecz odbywałoby się w całym szybie kopulaka, skutek czego temperatura gazów wylotowych doszłaby do 1000° C i wyzyskanie paliwa byłoby złe.-

Rys. 34.



Rys. 35.



Aby utrudnić odtlenianie / redukcję / CO_2 na CO zastosował Corsalli gruby koks zamurzony w szlamie gaszonego wapna i czynił go mniej aktywnym.- Temperatura gazów wylotowych obniżyła się do ca 250°C.- Wskutek dużej ilości powietrza strata na spalanie żelaza Fe jest trochę większa, niż przy kopulaku pędzonym normalnie.-
Temperatura żeliwa wychodzącego z kopulaka wynosi 1480°- 1500°C i jest warunkiem głównym sdatności żeliwa z małą zawartością C do wykonania odlewu.-
Koks nabojowy ma wynosić ca 10% wsadu.-
Żeliwo wytopione w kopulaku sposobem Corsalli'ego ma następujący skład chemiczny i wytrzymałość :

C - 2,64 - 2,82% Si - 1,97 - 2,44%
Mn - 1,23 - 1,45% P - 0,24 - 0,28%
S - 0,09 - 0,12%
Wg = 57 - 65 kg/mm^2 f = 9 - 11 mm Wr = 34,5 - 39 kg/mm^2
Twardość Brinell'a 230 - 250.-

Żeliwo perlityczne Corsalli'ego różni się od perlitu Lanza przedewszystkiem znacznie większą zawartością Si i znacznie mniejszą zawartością C.- Suma / Si + C / wynosi jak przy żeliwie Thyssen - Emmel'a ca 5%, czem różni się także od perlitu Lanza.-

E/. ODLEW PERLITYCZNY THYSSEN - EMMEL'A.

Lit. 1/. St.u.E. 1925 Nr.45 str.1466 - 1470
Dir.Karl Emmel w Mühlheim n/Ruhre " Niedrig gekohltes Gusseisen als Kupolofenerzeugnis ".-
2/. Giessereizeitung 1926 Nr.7 str.189
" Das Lanz Perlit Verfahren und das Thyssen - Emmel Verfahren in England ".-

Emmel wytwarza żeliwo perlityczne w kopulaku z zawartością C około 3%, nie wymagające przegrzania form ; kopulak

należy pędzić inaczej jak dotychczas.- Z powodu stosunkowo niskiej zawartości C powinno żeliwo zawierać dużo Si / 2 - 3% /.- Warunkiem jest także tutaj wysoka temperatura żeliwa, wynosząca na rynnie spustu 1480° C.-

Żeliwo Emmel'a nadaje się znakomicie do wyrobu odlewów narażonych na duże ciśnienie robocze w wysokiej temperaturze / do 200 atm. przy grubości ścianki dochodzącej na niektórych miejscach odlewu do 16,5 mm /.- Żeliwo Emmel'a wykazuje - obojętnie czy odlew jest gruby, czy cienki - tę samą, jednolitą strukturę - perlit ziarnisty - z powodu dużej zawartości Si.- Skurcz jest bardzo mały, żeliwo nie osadza się i nie tworzy jam -

Skład chemiczny żeliwa Thyssen - Emmel'a.-

C_c - 2,39 - 2,65% , normalnie ca 2,62% C

Si - 1,9 - 2,7% , " " 2,32%

Mn - 0,7 - 1,38%

P - 0,1 - 0,26% / stosunkowo niski /

S - 0,06 - 0,16%

Wytrzymałość na rozerwanie prętów o średnicy 20 mm

$$Wr = 29 - 38 \text{ kg/mm}^2$$

Wytrzymałość na gięcie prętów surowych 30 mm , L = 600

$$Wg = 60 - 71 \text{ kg/mm}^2$$

Strzałka przegięcia f = 10 - 15 mm.-

Najlepsza wytrzymałość jest przy zawartości / C + Si / = 5%, a mianowicie powinno wynosić : C = 2,5%, Si = 2,5% razem 5%.-

F/. ODLEWY PERLITYCZNE KRUPP'A / KRUPP'SCHER STERNGUSS/

Lit. : 1/. P.Kleiber " Über den Krupp'schen Sterngus̀s "
Krupp'sche Monatshefte 8.1927 str.110 - 116.
2/. Dr Osann " Die Herstellung des Hochwertigen Gusseisen.."
Giesserei 1927 Nr.27 str.648 - 655.-
3/. Dr Jungblut : Giesserei 1927 Nr.20 str.464.-

Sposób Krupp a polega tak samo, jak sposób Corsalli'ego Emmela na obniżeniu zawartości grafitu wskutek stosunkowo małej zawartości ogólnej węgla C - 2,9% przy 1,8 - 2,4% Si.- Krupp stosuje także dużo żelaza i stali.-

Skład chemiczny	Wytrzymałość
C - 2,4 - 2,7%	W_g = 61 kg/mm^2 pręty surowe f = 12 mm
Si - 1,66 - 2,33%	W_g = 68 " " obrobione f = 8 mm
Mn - 0,86 - 1,48%	W_r = 31,2 - 39,6, średnio 35,6 kg/mm^2
P - 0,11 - 0,24%	Twardość Brinella 200 - 250.

Wytrzymałość na rozerwanie badano na prętach o średnicy 20 mm wyrobionych z prętów próbnych na gięcie o średnicy 30 mm.- Próbne pręty wyrobione z odlewów o grubości ścianki 100 mm, wykazywały jak przy żeliwie Emmela W_r= 25 kg/mm^2.-

G/ ODLEWY " MEEHANITE "

Lit : The Iron Age 1926 Nr.117 str.1559/60.-

Odlewy " Meehanite" fmy " Rose Meehan" odlewni w Ameryce wyrabiane są albo z kopulaka, albo z pieca elektrycznego.-

Skład chemiczny:	C	Si	Mn	P	S
a/ z pieca elektr	2,2-2,6	1,15-1,4	0,5-0,9	0,1-0,18	0,04-0,05
b/ z kopulaka	2,4-2,7	1,3 -1,8	0,5-1,0	0,12-0,2	0.08-0,14

W_r = 35 kg/mm^2, W_g = 59 - 71 kg/mm^2, Twardość Brinella: 258 Nakrzemienie odbywa się w kadzi za pomocą Calcium silicide.- Meehanite podobny jest do żeliwa Emmela i Krupp a / Giesserei 1928 str 465 /.-

H/ SPOSOB PEDZENIA PIECOW W CELU OTRZYMANIA WYSOKIEJ TEMPERATURY.

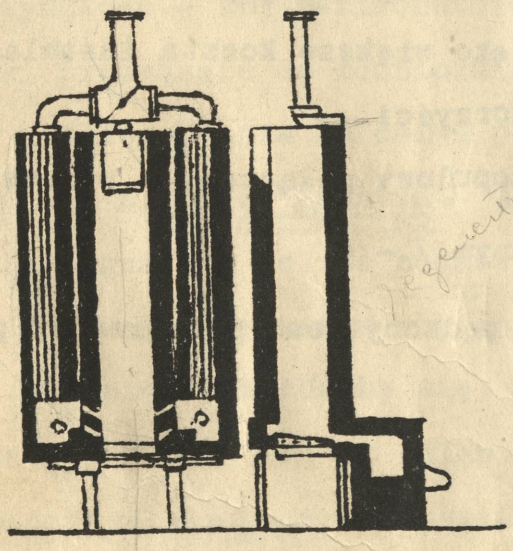
Warunkiem umożliwiającym stosowanie wysokowartościowego

żeliwa do wyrobu odlewów o małej i dużej grubości ścianki jest przegrzanie żeliwa o ca 400°C ponad punkt topnienia do 1500°C.-

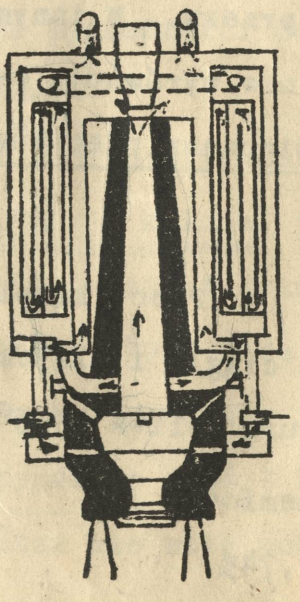
Dlatego zagadnienie wysokowartościowego żeliwa łączy się ściśle z zagadnieniem wysokich temperatur w piecach służących do przetapiania wsadu surowcowego.- Najłatwiej przegrzać żeliwo w piecu elektrycznym i najłatwiej osiągnąć pożądany skład chemiczny.- To też tam, gdzie prąd elektryczny jest tani, stosowane są piece elektryczne do wyrobu żeliwa wysokowartościowego.-

Naogół jednak pędzenie pieca elektrycznego jest drogie, jeżeli chodzi o wyrób odlewów żeliwnych.- Dlatego istnieje dążenie do umożliwienia wysokich temperatur przy przetapianiu w kopulakach.- Stosuje się w zwykłych kopulakach albo dodatek oleju, albo dodatek pyłu węglowego łącznie z przegrzanem powietrzem i unika się - o ile to tylko możliwe - przerw w pędzeniu pieca.- Piec kopulowy Schürmanna / rys.36 / i piec kopulowy Toussaint Levos a /rys.37/ pędzone są ogrzanem powietrzem

Rys. 36.



Rys. 37.



1/. Piec kopulowy Schürmanna.-

Przy położeniu klapy w przewodzie gazów wylotowych i powietrza uwidocznionem na rysunku,powietrze przechodzi przez rury przegrzewacza b do skrzyni wiatrowej / s / i stąd przez szereg ku spodowi pieca skierowanych dysz do kopulaka.- Gazy spalania przepływają przez kopulak w kierunku poziomym i wstępują przez przeciwległe dysze do przegrzewacza a, ogrzewają rurki i uchodzą do komina g.- W pewnych odstępach przekłada się klapę i zmienia kierunek gazów i powietrza.- Naturalnie pewna część gazów wylotowych przechodzi przez szyb pieca w celu przegrzewania wsadu do temperatury topnienia względnie koksu do temperatury spalania.-

2/. Piec Toussaint - Levoz.-

Piec Toussaint - Levoz'a posiada w strefie spalania ze względu na dużą objętość gorących gazów większą średnicę i szyb o średnicy mniejszej i przekroju stożkowym.- Przepływ gazów i powietrza widać z rysunku.-

UWAGA : Stosowanie przegrzewaczy powietrza przy piecach kopulowych jest tylko wtedy wskazane, jeżeli pędzimy piec ciągle bez przerw.- W innym wypadku daleko większe koszta instalacyjne nie wyrównują osiągniętych korzyści.-

3/. Kombinowany piec Wüsta / piec kopulowy połączony z piecem płomiennym /.-

Piec kombinowany Wüsta pędzony jest przegrzanem powietrzem ciągle i olejem .-

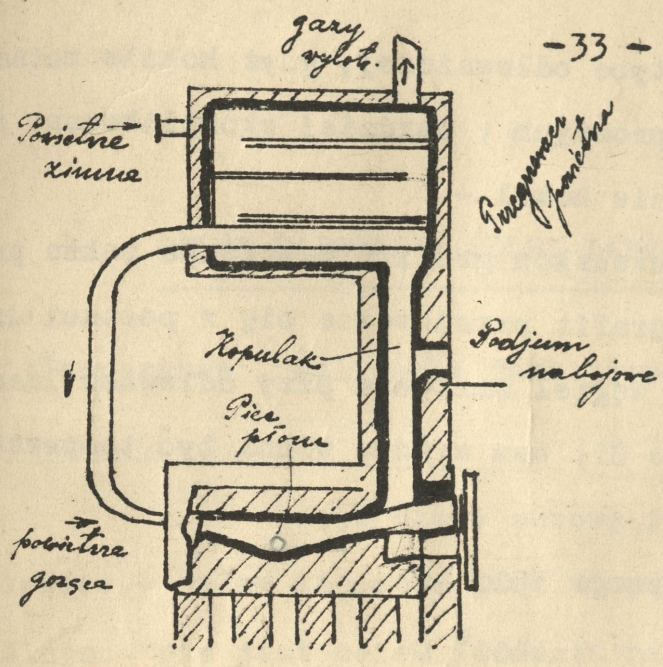
Temperatura żeliwa 1550° C.-

Skład chemiczny :

C_{og} - 2,74% Grafit - 1,84%

C_{zw} - 0,90% Si - 1,25%

Mn - 0,99% P - 0,33% S - 0,74% .



Wytrzymałość na gięcia / pręta o długości L = 600 mm, = 30 mm/ wynosi 46,3 kg/mm^2
f = 10,2 mm
/ pręt surowy /

Rys. 38.

1/ SPOSOBY ULEPSZENIA ŻELIWA PRZEZ ROZDROBNIENIE LISTECZKÓW GRAFITU.-

Duże listeczki grafitu rozłożone w masie żeliwa obniżają bardzo jego wytrzymałość.- Żeliwo zwyczajne stygnąc powoli w odlewie grubym, jest w środku bardziej grafityczne, niż zewnątrz.- Pręty wyrobione z różnych miejsc przekroju odlewu, wykazują różną wytrzymałość.- Aby uszlachetnić żeliwo, winniśmy stosować pewne środki prowadzące do rozbicia grafitu w małe listeczki i do jednolitego rozmieszczenia na całym przekroju odlewu.-

A/ Odlew Schütza.- Schütz stosuje w celu otrzymania bardzo drobnego grafitu żeliwo bogate w Si / ca 3,5% / i kokile, jako formy.- Z powodu szybkiego stygnięcia przez kokilę, karbid żelaza / Fe_3C / nie rozkładałby się, gdyby zawartość Si była małą.- Przy tak dużej zawartości Si odlew z kokili na całem przekroju jest drobnoziarnisty, szary i posiada dużą wytrzymałość = 36,3 kg/mm^2.- Twardość Brinell a wynosi 150.- Sposób Schütza nie może pozyskać.-

szerszego zastosowania w praktyce odlewniczej, gdyż kokile można stosować tylko przy odlewach prostych ; bardziej skomplikowane odlewy nie zezwalają na stosowanie kokil.-

B/. Rozdrobienie listeczków grafitu następuje także przy żeliwie bardzo przegrzanem.- Grafit przedstawia się w postaci drobnych punkcików podobnie, jak węgiel żarzenia przy odlewach lanokutych.- Im mniejsza zawartość Si, tem wyższa winna być temperatura przegrzanie i nacdwrót.-

Si - 0,06% - wymaga 1500° C

Si - 2,35% - " 1400° C

Teoretyczne uzasadnienie tego zjawiska nie jest jeszcze jednolite.-

C/. Rozdrobienie grafitu uskutecznić można także przez silne wstrząsanie płynnego i dobrze przegrzanego żeliwa.- Pierwszy I.Dechesne / francuz / stosował w r.1926 ten sposób przez urządzenie zbiornika ruchomego / Rütteln und Schütteln / w poziomym i pionowym kierunku.- Wskutek wstrząsu uchodzą gazy z żeliwa, siarczki manganu, ewentualne zanieczyszczenia żużliste występują na powierzchnię, żeliwo dobrze się miesza.- Pierwotnie Dechesne miał na myśli odsiarczanie kąpieli żeliwa, co jednak nie dało nadzwyczajnych wyników.- Później spostrzegł on, że odlewy z żeliwa wstrząsanego były drobnoziarniste i odznaczały się wielką wytrzymałością.- Próby wykonane w 3 dużych odlewniach niemieckich / Giesserei 1928 nr.18 str.417 / nie wykazały lepszej jakości żeliwa po operacji trwającej nawet 20 minut.- Struktura i ilość grafitu nie uległa zmianie.- Zauważone polepszenia fizycznych własności żeliwa, pochodzącego z mieszaniny zawierającej 70% stali spowodowane być mogły jedynie dobrem wymieszaniem żeliwa i należytem przegrzaniem.-

§.5.

ODLEW ŻARZONY / ODLEW LANO-KUTY /

Temperguss , Malleable Cast Iron, La fonte malléable.

Odlew biały surowy jest bardzo twardy i nie da się obrabiać.- Celem żarzenia jest uczynić biały odlew miękkim , obrabialnym.- Nie jest celem żarzenia nadać odlewowi białemu zdolności kucia, dlatego nazwa " odlew lano-kuty " jest niedorzeczna.-

Sposób żarzenia zależnie od jakości stosowanego materjału jest dwojaki :

1/. Jeżeli wyżarzamy biały odlew w materjale neutralnym / np. piasku /, wówczas mamy do czynienia z t.zw. " amerykańskim odlewem żarzonym ".-

2/. Jeżeli materjał użyty przy żarzeniu łatwo oddaje tlen pod wpływem wysokiej temperatury / ruda żelazna Fe_2O_3 - Fe O Zgar, Hammerschlag / wówczas mówimy o"odlewie żarzonym europejskim ".-

Amerykański odlew żarzony jest w złomie ciemny ; nazywamy go także " odlewem żarzonym czarnym " / black heart - - czarne serce / Whiteheart malleable castings.- Odlew żarzony europejski jest w złomie jasny na całym przekroju ; mówimy o " żarzonym odlewie białym ".- Przy amerykańskim sposobie żarzenia odgrywa tylko temperatura żarzenia główną rolę ; mówimy wprost " o żarzeniu " / Tempern /.- Przy sposobie europejskim zachodzą reakcje chemiczne w temperaturze żarzenia ; mówimy o " żarzeniu

świeżącem " / Glühfrischen /.-

Odlew surowy.

Odlew surowy winien być bezwarunkowo biały zupełnie.- Dlatego skład chemiczny winien być taki, aby grafit nie mógł się wydzielać, aby cała zawartość węgla była w odlewie surowym związana chemicznie / Fe_3C karbid - cementyt /.- Stosować więc należy w każdym wypadku podeutektyczne surowce białe z mniejszą zawartością C niż 4,3%, ale większą niż 1,7%.-

Pierwotne kryształy w masie ledeburytu = eutektyka węgla

Surowiec biały podeutektyczny 1,7 - 4% C

" " eutektyczny 4,3% C

" " nadeutektyczny nad 4,3% C

w wysokiej temperaturze zarzenia ca 900° C rozkłada się cementyt i tworzy się " węgiel żarzenia " / Temperkohle, temper - carbon, temper - graphit /.- W Anglji i Ameryce nie rozróżniają grafitu od węgla żarzenia; rzadko spotyka się w literaturze wyraz temper - carbon albo temper - graphit na określenie węgla żarzenia.-

Różnica między grafitem a węglem żarzenia.

Z surowca zawierającego karbid żelaza Fe_3C podczas krzepnięcia przy bardzo powolnem stygnięciu wydziela się grafit w postaci błyszczących kryształów heksagonalnych.-
Jeżeli natomiast ogrzejemy ten sam surowiec i przez dłuższy czas przegrzewamy w wysokiej temperaturze, wówczas rozpada się cementyt na węgiel zarzenia w postaci niekrystalicznej, / amorph - bezpostaciowo / szarych nie błyszczących punktów.-

Ponieważ rozkład cementytu / $Fe_3C = 3Fe + C$ /

w czystych stopach żelazo - węgiel wymaga większych temeperatur/nad

850 - 950° / i postepuje powoli, chętnie dla przyspieszenia rozkładu Fe_3C i skrócenia czasu żarzenia stosujemy surowy odlew z pewną zawartością Si.- Istnieje jednak dla Si dolna i górna granica. - Granica dolna położona jest przy zawartości 0,5% Si, granica górna przy zawartości 0,45 - 1,2%, zależnie od grubości ścianek odlewu, a mianowicie:

Dla grubych odlewów 0,45 - 0,55% Si
" średnich " 0,6 - 0,7% Si
" cienkich " 0,7 - 1,2% Si

Mieszanina ma różny skład, zależnie czy przetapiamy ją w kopulaku, czy w piecu płomiennym, martenowskim, tyglowym, cze też stosujemy konwerter.-

Przykład mieszaniny kopulakowej

wsad w %	Grubość ścianki w mm				
	5	10	15	20	30
surowiec szary	75	68	62	50	37
surowiec biały	-	2	3	5	8
odpadki kute	25	30	35	45	55

Własne odpadki mogą wynosić maksymalnie 10 - 25% we wsadzie -

S u r o w c e

	Si	Mn	P	S
szały surowiec na węglu drz.	0,8	0,2	0,05	0,013
Szary " " "	0,9	0,3	0,08	0,024
Odpadki żelaza kutego	-	0,15	0,093	0.06
Odpadki sur. odlewu białego	0,7	0,22	0,088	0,288

Skład odlewów surowych.

	A/. Europejskie	B/. Amerykańskie
$C_{całk.}$	3,0 - 3,5%	2,3 - 2,7%
Si	0,5 - 0,8%	0,7 - 1,0%
Sa C + Si	3,8 - 4,0%	3,3 - 3,4%
Mn	0,1 - 0,4%	0,25 - 0,35%
S	0,2 - 0,45%	0,03 - 0,08%
P	0,06%	nie więcej jak 0,2%

Mn w Ameryce wynosi maksymalnie 0,3% , w Europie 0,3 - 0,4%.- Duże ilości tworzącego się Mn S powiększają lepkość, obniżają ciekłość, co jest bardzo niekorzystne.- Najlepiej ograniczać S do minimum / w Europie do 0,3%, w Ameryce normalnie do 0,07%/. P jest wprawdzie co do wydzielania węgla żarzenia obojętny prawie, ale żeliwo białe czyni kruche / maximum 0,2% /.- Zawartość Mn powinna wynosić 1,72 S / Giessereizeitung 1/IX 1)28 /.- C_z jest bardzo niebezpieczny ! Przy procesie amerykańskim zawartość 0,01% C_z przedłuża proces.- Ponieważ większa część surowców zawiera 0,1% C_z należy bardzo uważać.- Przy procesie europejskim C_z nie jest tak bardzo szkodliwy / maximum 0.2% /.

Piece do żarzenia.

Piece do żarzenia pędzone są albo węglem, koksem, albo gazem.- Budowa ich jest różna zależnie od tego, czy się w piecach napełnia naczynia, czy poza piecem.- W drugim wypadku wstawiamy " garnki " napełnione do pieca albo ręcznie, albo ustawione na wózku z boku, albo zdejmujemy sklepienie pieca i zapomocą żórawia

wstawiamy garnki do pieca z góry.- Najważniejszą rzeczą jest prowadzić płomień tak, aby wszystkie garnki miały tę samą temperaturę i aby płomień krążył koło garnka ze wszystkich stron i z dołu.- Piece stojące oddzielnie należy dobrze izolować, w celu obniżenia strat na promieniowanie ; przy piecach budowanych w szeregu baterji całych moment ten nie odgrywa wielkiej roli.- Rysunki różnych pieców znajdują się w książce Engelberta Lebera " Temperguss Glühfrischen ", Verlag Julius Springer 1919 Berlin.- Według Lebera / str.247 / mamy następujące zużycie paliwa :

Palenisko węglowe : najlepsze 120 ; normalnie 150 - 200 kg na 100 kg wsadu.-

" gazowe : minimum 70 kg, normalnie 100 kg na 100 kg odlewu.-

Drzwi należy dobrze uszczelnić i wyprawić masą izolacyjną / porowate, lekkie cegły izolacyjne /.-

Garnki do żarzenia.

Garnki do żarzenia odlewane są z białego żeliwa o tym samym składzie chemicznym, co odlewy surowe.- Dodatek 0,2 do 0,6% Cr przyczynia się do przedłużenia trwałości garnków, jakoteż dodatek Mn do 1,25%.- Garnki ze stopu nikiel - chrom posiadają 5 -10-krotną trwałość, ale są tak drogie, że dopiero wtedy mogłyby być w porównaniu ze zwyczajnemi garnkami hematytowemi ekonomiczne, gdyby ich trwałość wynosiła 200-krotnie więcej, niż wytrzymałość garnków zwyczajnych.-

Amerykańskie cenne odlewy układamy warstwami na obojętnym materjale / piasek, żużel /.- Materjał ten służy tutaj na to, aby pojedyncze kawałki dobrze się układały, aby się nie paczyły, następnie na to, aby w razie pęknięcia garnka płomień nie dotykał bezpośrednie odlewów.-

Europejskie odlewy białe układamy do materjału utlenia-

jącego składającego się z rud hematytowych z 70 - 90% Fe_2O_3, które podczas procesu zmieniają swój skład tworząc Fe_3O_4.- Nacgół stosowana jest mieszanina świeżej i starej rudy w stosunku 1 : 5 - Kazdy kawałek odlewu winien być ze wszytkich stron obłożony rudą.- Jasną jest rzeczą, że czas trwania żarzenia stojący w stosunku 60 : 100 powoduje w tym samym stosunku większe zużycie paliwa do pędzenia pieców.- Garnki przy procesie amerykańskim wytrzymują ca 12 operacyj, przy procesie europejskim maksymalnie 7 operacyj.-

Wymiary garnków: ϕ = 800 mm, H = 800 mm, pojemność ca 500 kg odlewu, grubość ścianki 25 mm.-

Garnki staliwne są odpowrniejsze dłuzej trwałe.- Powinny mieć mozliwie małą zawartość C.-

Obserwowanie procesu żarzenia polega na mierżeniu temperatury za pomocą pyrometrów, samo - registrujących termoelementów.- Pyrometr należy ułożyć razem z odlewem w garnku, gdyż jest ogromna różnica między temperaturą w garnku, a w samym piecu.- Elementy z rodzimej platyny są najlepsze, posiadają trwałość bez granic ale są bardzo drogie.- Tańszy jest element żelazo - konstantan, zdatny jest najwyżej do temperatury 900° C, dlatego dla procesu europejskiego nie nadaje się.- Odpowiednim i tańszym elementem jest specjalny element " Chromel.- Alumel " dla temperatury do 1300° C.- Gaz odtleniający / redukujący / jest tak jak dla elementu Pt. Rd niekorzystny.-

Porównanie kosztów produkcji odlewu żarzonego ze zwyczajnym odlewem szarym wypada na niekorzyść odlewu żarzonego, który jest droższy z następujących powodów:

1/ Wybór specjalnego surowca konieczny - mało P.-

2/ Większe zużycie koksu w piecu kopulowym, a duże zuzycie węgla w piecu płomiennym.-

3/ Większa strata na spalanie.-

4/. Więcej odpadków, wlewów dużych, nadlewów.-

5/. Pędzenie pieców do zarzenia i koszta garnków.-

6/. Wyższe wydatki na czyszczenie odlewów.-

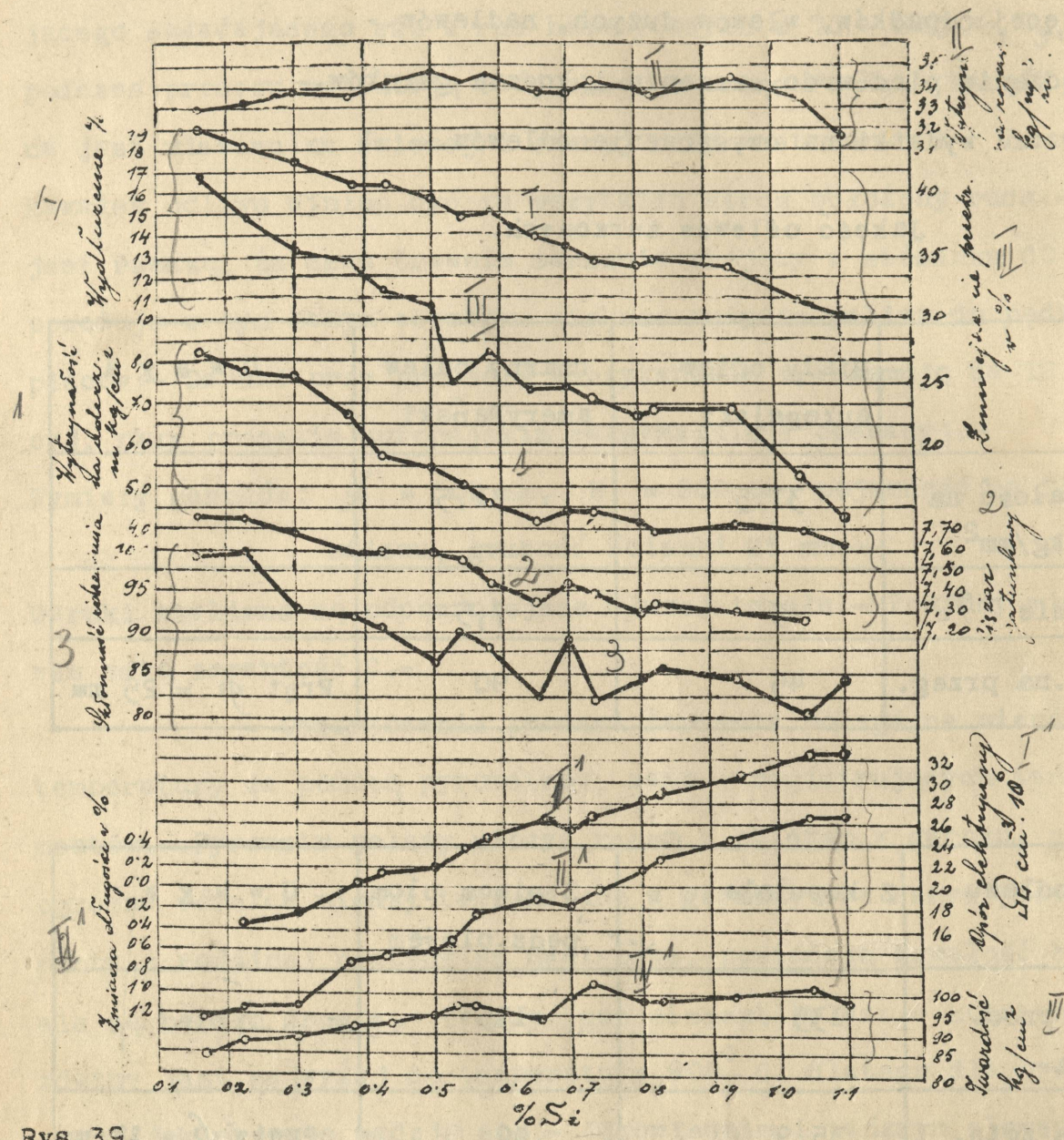
Jakość odlewów żarzonych.

	Biały odlew europejski	Czarny odlew amerykański	U w a g a
Wytrzymałość na rozerw. kg/mm^2	31,5	31,5	
Wydłużenie %	5	7,5	
Wytrzym. na przeg.	45	90	Pręt ϕ = 25 mm

Rodzaj odlewu	Z kopulaka	Z pieca płom. pędz. olejem	U w a g a
Trwanie proc. żarzenia	135	135	
Wytrz. na zgin.	35,9	40	Pręty ϕ = 12 mm L = 110 mm
Wydłużenie %	2,7	5,1	
Wytrz. karbowa m kg/cm^2	7,1	17,7	Pręty 10.10.100 bez karbu
Twardość Brinell	139	129	Kulka ϕ = 5 mm Obciąż. 1500 kg

Wpływ zawartości krzemu i manganu na własności żeliwa lanego podają 2 poniższe wykresy.-

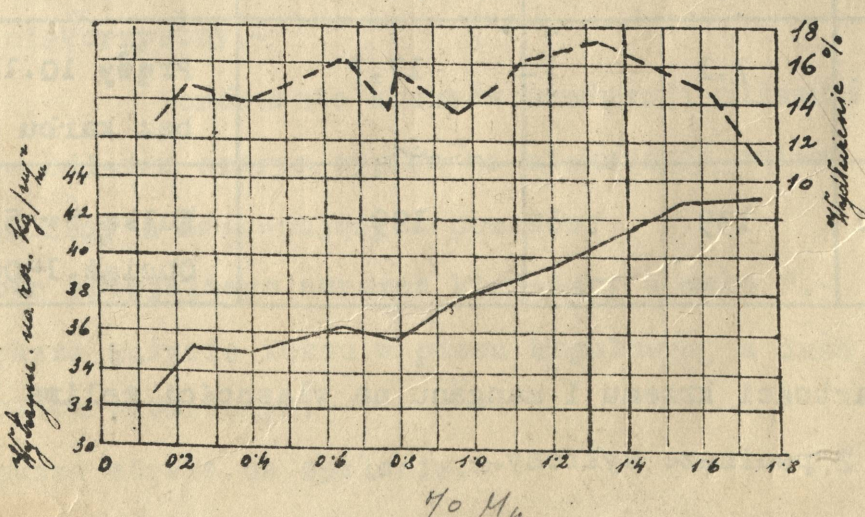
Wpływ zawartości krzemu na własności odlewu l.-k.



Rys. 39.

Wpływ manganu na wytrzymałość i wydłużenie odlewu żarz.

Rys. 40.

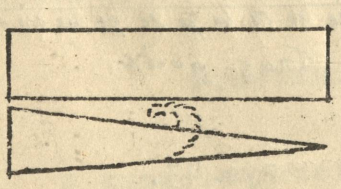


Utlenienie Fe żeliwa nawet częściowe pociąga jednak za sobą bardzo dużo braków i nie powinno pod żadnym warunkiem mieć miejsca.- Rozróżnić należy odlew " s p a l o n y " a z lekka " u t l e n i o n y ".- Na odlewie spalonym tworzy się powierzchnia odlewu " chropowata ", składająca się przeważnie z Fe_3O_4 ; ziarna rudy się przypiekają.- Natomiast odlew słabo utleniony / Fe O / posiada gładką powierzchnię, ale przy zginaniu lub gnieceniu odlewu odczepia się utleniony " naskórek " od reszty żeliwa.- Wynika stąd, że działanie mieszaniny gazów w piecu żarzenia powinno się ograniczać wyłącznie na C żeliwa, ale nie na Fe żeliwa ! Dlatego należy badać skład gazów i zmieniać stosownie do wyniku skład materjału środka żarzącego.- Badanie przeprowadzone w tym kierunku wykazały, że proces żarzenia odbywa się normalnie / bez tworzenia się " naskórka " / jeżeli stosunek : $\frac{Fe\ O}{Fe_2O_3} = \frac{90}{10}$

i jeżeli ogólna zawartość tlenu w środku żarzącym wynosi 31% / Oberhokro/ str. 552 /

Temu wymaganiu odpowiada najlepiej " Walzsinter " dający jeszcze tą korzyść, że regenerują się sam, leżąc- dłuższy czas na powietrzu.-

Pozatem pewną rolę w procesie żarzenia odgrywa wielkość kawałków środka świeżącego, jakoteż grubość ścianki odlewu.- Grube ziarno rudy przyspiesza odwęglanie żeliwa, powodując tworzenie się skóry.- Cienkie odlewy szybciej się odwęglają, niż grubsze.- Do badania jakości środka żarzącego najlepiej użyć według sposobu amerykańskiego klinu.- Jeżeli znajdziemy, że gruby koniec klina jest należycie odwęglony, a na cienkim końcu nie tworzy się " naskórek " wówczas skład chemiczny środka żarzącego



Ryż.41.

jest odpowiedni.- Zawartość Si ponad 0,9% zdaje się wywołuje często ".naskórek", występujący często w tych miejscach odlewu, gdzie gazy gorące mają łatwy dostęp. Zawartość siarki w żeliwie sprzyja także tworzeniu się naskórka ; pozatem S utrudnia wydzielenie się $C_{żarz.}$ i przedłuża proces żarzenia.-

Temperatura i czas trwania żarzenia.

Białe odlewy żarzone / europejskie / wymagają 850 - 950° C i 100h

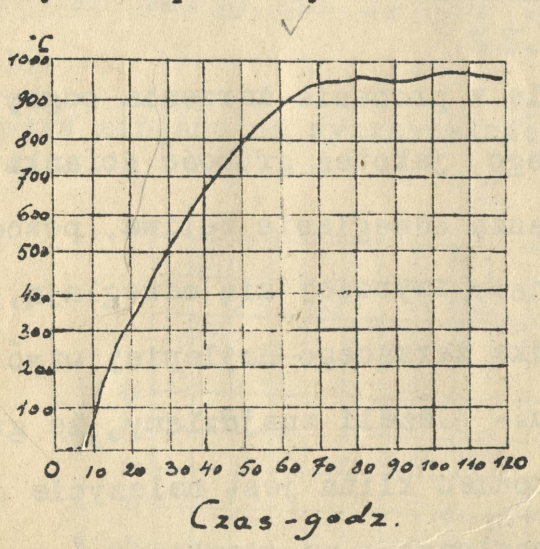
Czarne odlewy / amerykańskie / " 850° C i 60h

Skład chemiczny gazów przy europejskim procesie żarzenia

Gazy zawierać powinny na początku żarzenia 50% CO_2, później jednak zawartość CO_2 obniżyć się musi do 20%.- Europejski sposób wyżarzania nazwać można słusznie " p r o c e s e m g a z o w y m ż a r z e n i a " / Gastempern /.-

Proces europejski

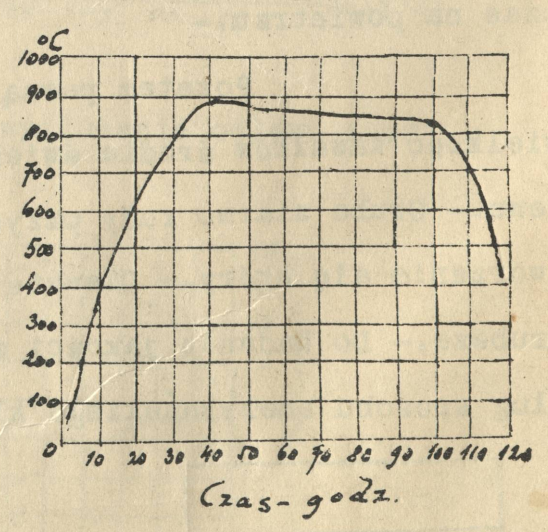
Krzywa temperatury - czasu



Rys.42.

Proces amerykański

Krzywa temperatury - czasu



Rys.43.

	FeO	Fe_2O_3	Fe_3O_4	SiO_2	CaO
Świeża ruda dobra	-	90,7	-	4,7	0,85
Świeża ruda zła	1,3	71,6	-	12,3	10,3
Ruda zużyta	-	-	79,3	20,3	0,8

Zmiana składu chem. żeliwa wskutek żarzenia.

		Piec	Środek żarzący	Czas trwania żarzenia	C	Si	Mn	P	S	Uwaga
Proces europejski	1	Kopulak	Ruda żel	96 h	3·34	0·5	0·18	0·08	0·3	Odlew surowy
					2·93	–	–	–	0·3	Odlew żarzony
	2	Kopulak	Ruda żel		3·25	0·7	0·215	0·09	0·211	Odlew surowy
					1·78	0·6	0·21	0·095	0·258	Odlew żarzony
Proces amerykański	1	Piec płom.	/		2·3	0·84	0·44	0·20	0·05	Odlew surowy
					1·34	0·84	0·45	0·18	0·09	Odlew żarzony
	2	Piec płom.	/	Temp. 875°C	2·6	0·68	0·24	0·19	0·17	Odlew surowy
					2·18	0·67	0·21	0·19	0·177	Odlew żarzony

Grafit 0·86

Poza węglem, którego zawartość po żarzeniu maleje o ca 10 - 20% i poza powiększającą się siarką, zmiany Si, Mn, P są nieznaczne.- Porównanie analiz wykazuje, że główna różnica między amerykańskim a europejskim żeliwem białym polega na znacznie niższej zawartości C żeliwa amerykańskiego i w znacznie większej zawartości S żeliwa europejskiego.-

Przetapianie surowców i ich mieszanin.

W Europie przetapianie odbywa się prawie ogólnie w kopu-

lakach ; niekiedy w piecach tyglowych i płomiennych.-

W Ameryce natomiast przetapianie odbywa się przeważnie w piecach martenowskich, płomiennych i elektrycznych.- Stosuje się mieszaniny surowców szarych jakości nematytowej / z małą zawartością P /, ze złomu i własnych odpadków.- Ponieważ białe żeliwo szybko stygnie, powinno być bardzo dobrze przegrzane / o ca 300° C / ponad swój punkt topnienia 1050° C.-

Piece kopulowe nie różnią się w niczem od kopulaków w żeliwniach szarych ; tylko grubość wyprawy stosujemy większą, bo z powodu przetapiania dużych ilości żelaza kutego i wysokiej temperatury wyprawa bardziej się niszczy / Leber /.- W Europie odlewów białych stosunkowo mało się wyrabia.- Dlatego przewaznie spotykamy w żeliwniach białych kopulaki małe o wydajności 500 - 1000 kg/godz.

Piece płomienne rozpowszechnione są bardzo w Ameryce, w Europie mniej, gdzie przeważnie stosujemy piece martenowskie / staliwnie połączone z żeliwniami białemi /.- Małe piece martenowskie o wsadzie 1 - 18 tonn stosowane są w Europie.- W Ameryce wyrabia się bardzo wielkie ilości odlewów żarzonych.- Spotykamy tam piece płomienne o wsadzie 5 - 30 tonn.- Dobre cegły szamotowe wytrzymać winne temperatury do 1600° C i być odporne na działanie żużla.- Szamota z bardzo wysoką zawartością glinki jest bardzo wytrzymała na wysokie temperatury, ale przy studzenia pieca pęka.- Piece płomienne mają wannę bardzo płytką 125 - 225 mm, aby kąpiel dobrze się przegrzać mogła.- Mamy dwa spusty górny i dolny.- Górny spust służy do dodawania do kadzi żeliwa bardzo gorącego.-

Konwertory / małe / pracują łącznie z kopulakami na 1 tonnę wsadu potrzeba 45 - 50 m^3 pow/min., ciśnienie max.0,3 ~~cm~~ atm Hg

Piece płomienne pędzone olejem / Oelflammofen / są często w postaci bębna.- Blackolsberg'a

Robota formierska i materjały formierskie.

Żeliwo białe kurczy się stygnąc podwójnie, jak żeliwo szare.- Skurcz wynosi 1,6 - 2,1% przy żeliwie białym, przez żarzenie obniża się do 1%.- Białe żeliwo z powodu tak dużego skurczu skłonne jest do tworzenia jam ; wymaga dlatego większych nadlewów, lejów i wylotów, podobnie jak odlewy staliwne.- Waga odlewów jest przeważnie mała : zwykle 3 – 12 kg.- W Europie rzadko zdarzają się odlewy ważące 15 albo 20 kg.- Natomiast w Ameryce wyrabia się odlewy żarzone do 150 kg, a nawet do 400 kg.- Bardzo dużo odlewów waży od sztuki ca 10 gr / obrączki, pierścienie, haki, rączki, nakrętki klucze, części maszyn robotniczych /.-

Do formowania stosujemy przeważnie maszyny, gdyż chodzi przeważnie o małe, lekkie odlewy, ale w dużych ilościach.

Piasek jest ten sam, co w żeliwniach szarych, tylko opuszczamy tutaj dodatek pyłu węglowego do piasku i gotową formę pruszymy tylko z lekka pyłem węgla drzewnego.- Jądra wykonuje się z tych samych mieszanin, co w żeliwniach szarych.- Większa formy suszymy niekiedy ; resztę odlewa się wyłącznie w piasku świeżym

Żarzenie i jego skutki.

Celem żarzenia jest spowodowanie rozkładu karbidu Fe_3C i wydzielenia węgla w postaci $C_{żarz.}$.- Przy składzie żeliwa amer. wystarczy do tego wysoka temperatura, podczas gdy żeliwo europ. wymaga obok wysokiej temp. jeszcze działania utleniającego materjału, w którym ułożone są odlewy białe.-

Fe_2O_3 zaczyna oddawać już przy 600° C tlen, który z C odlewu tworzy związek CO_2 .- CO_2 reaguje dalej z C odlewu / $CO_2 + C = 2\ CO$ /, który daje CO , który w rudzie rozżarzonej

znowu się utlenia na CO_2 i t.d.- W każdym razie skład powinien być tak dobrany, aby po ukończeniu żarzenia znajdował się w nim co najwyżej Fe O / a nie Fe_3O_4 /,- gdyż wówczas żeliwo odlewu przemieniłoby się stopniowo w FeO według wzoru :

$$Fe_3O_4 + CO = 3\,Fe\,O + CO_2$$

$$CO_2 + Fe = Fe\,O + CO$$

Uwaga : Fe O zawiera 22,2% O

Fe_3O_4 " 27,6% O

Fe_2O_3 " 30% O

Fe O przedstawia więc najwyższy stopień odtlenienia Fe_2O_3.

§.6.

WŁASNOŚCI ŻELIWA, STALIWA I METALIWA.

A/. SKURCZ I JEGO SKUTKI.

Stygnięcie, połączone zawsze z obniżeniem temperatury, odbywa się według prawa Newton'a

$$t = t_o \cdot e^{-k.z}$$

gdzie t_o - temperatura początkowa,

z - czas,

e - zasada logarytmu naturalnego,

k - stała wartość, zależna przedewszystkiem od stosunku powierzchni do masy odlewu.-

Skurcz jest pod względem odlewniczo - technicznym jedną z najważniejszych własności krzepnącego i stygnącego żeliwa, staliwa i metaliwa.- Stop jakikolwiek, mający służyć do wykonania odlewu, powinien być odpowiednio do wielkości i kształtu odlewu przegrzany ponad temperaturę krzepnięcia.- Objętość stopu płynnego i przegrzanego do temperatury T_o odlewania będzie większa, niż objętość stopu krzepnącego przy niższej temperaturze T_k .- Mamy tu więc do czynienia ze zmniejszeniem objętości, a więc wymiarów stopów będących jeszcze w stanie płynnym.- Amerykańscy odlewnicy nazywają skurcz stopów będących w stanie płynnym " shrinkage ", Niemcy używają wyrazu " Schumpfung ".-

Odlew już skrzepły podczas dalszego stygnięcia w miarę obniżającej się temperatury jego kurczy się dalej, aż wystygnie zupełnie do temperatury otoczenia względnie do temperatury równającej się 0° C.- Skurcz stygnącego, skrzepłnego stopu nazywają

odlewnicy w Ameryce " contraction " w Niemczech " Schwindung ".- " S k u r c z c a ł k o w i t y " równa się sumie skurczu stopu w stanie płynnym i w stanie stałym.- W praktyce odlewniczej rozróżnianie tych dwóch rodzajów skurczu jest nie potrzebne, gdyż dla celów praktyki jest miarodajny wyłącznie skurcz całkowity nazywany zwyczajnie " s k u r c z e m ".-

Z powodu skurczu wymiary odlewu są mniejsze, niż wymiary modelu użytego do wykonania formy.- Jeżeli więc damy odlew ma posiadać długość 1 mm, to model winien być dłuższy o skurcz jego długość będzie $L = 1 + \lambda$

Skurcz wyrażony w postaci ułamka $= \frac{\lambda}{L} = \frac{1}{L : \lambda}$,

albo w odsetkach długości modelu $= \frac{/ L - 1 /.100}{L}$

nazywamy " m i a r ą s k u r c z e n i a s i ę " / Schwindmass /.- Niekiedy jest wyrażony skurcz w % długości odlanego i wystygłego pręta $= \frac{L - 1.100}{1}$

Przykład : Pręt odlany z żelaza kutego do formy o długości L = 1000 mm posiada po zupełnem wystygnięciu długość 975,6 mm ; pręt skurczył się o λ = 24,4 mm t.j.o $\frac{1}{1000 : 24,4} = \frac{1}{41}$ część swej długości pierwotnej,

albo o $\frac{1000 - 975,6}{1000} .100 = 2,44\% = \xi$ długości pierwotnej, równej długości modelu.-

Przy wyrobie modeli stosujemy do mierzenia wymiarów nie zwyczajny metr = 1000 mm, lecz t.zw. " s k u r c z ó w k ę " / Stadtmüller /.- W żeliwniach stosujemy " skurczówkę " dla skurczu 1%.- Skurczówka taka jest 1010 mm długa i podzielona na 1000 równych części.- W staliwniach i metaliwniach stosujemy skurczówki dla skurczu 2%, więc 1020 mm długą podzieloną na 1000 równych części.-

Wielkość skurczu zależy przedewszystkiem od rodzaju stopu ; jest więc różny dla żeliwa, staliwa i metaliwa ; pozatem skurcz zależy od składu chemicznego stopu, od chyżości stygnięcia, więc od wielkości masy odlewu, jakoteż od kształtu odlewu i od stopnia utrudniania kurczenia się odlewu we formie / żebra skrzyń formierskich, twardość jąder /.-

W żeliwnictwie mamy do czynienia z następującemi miarami skurczenia :

dla miękkich, cienkościennych odlewów - - - - - 1%
" dużych cylindrów w długości - - - - - - - - - - 0,9%
" " " w średnicy - - - - - - - - - - 0,5%
" ciężkich odlewów szarych - - - - - - - - - - -0,5 - 0,7%
" odlewów nie mogących się kurczyć swobodnie 0,5 - 0,7%

Przy odlewach wyżarzanych / lano-kutych / stosujemy zwykle w praktyce skurczówkę o skurczu 1%, pomimo daleko większego skurczu żeliwa białego, stosowanego do wyrobu takich odlewów.- Surowe białe odlewy posiadają skurcz 1,6 - 2,1%, zależnie od zawartości Si i C.- Im mniejsze zawartości Si i C, tem większy skurcz i naodwrót.- Ale podczas wyżarzania odlewy białe wskutek rozpadania się karbidu żelaza powiększają swoją objętość, a więc także wymiary tak, że normalnie wynosi skurcz ostateczny ca 1% / Leber str. 95 /.- Skurcz żeliwa temperowanego z jądrem czarnym / amerykańskie żeliwo żarzone / zależy od ilości wydzielonego węgla żarzenia i waha się pomiędzy 0 - 1%, średnio wynosi 0,5%.-

W staliwniach stosujemy skurczówki dla skurczu 2%.- Tymczasem skurcz rzeczywisty nie jest ten sam dla wszystkich gatunków staliwa.- Technicznie czyste staliwo posiada skurcz 2,4%.- Ze wzrastającą zawartością C skurcz maleje i wynosi przy C = 1% tylko 2,1%.- Mn i Si do 0,8% powoduje nieznaczny wzrost skurczu ; P i S obniża w staliwie skurcz.-

W metaliwniach stosujemy zwykle skurczówkę dla 2%

skurczu, ale rzeczywisty skurcz jest różny, zależy bowiem od rodzaju stopu i od jego składu chemicznego.-

Mosiądz / Buchner str. 128 /

z zawartością 16% Zn ma skurcz 2,17%
" " 33% Zn " " 1,62 - 1,97%

Bronz

z zawartością 5% Sn ma skurcz 1,7%
" " 10% Sn " " 0,8 - 1,4%
" " 19% Sn " " 1,5%

Glin posiada skurcz 0,8%

Bronz glinowy posiada skurcz 1,65%.-

Biały metal składający się z 20% Sn, 59% Pb i 21% Sb posiada skurcz 0,49%.-

Krzepnięcie i kurczenie się żeliwa.

Żeliwo białe i staliwo wlane do formy wskutek natychmiastowego obniżenia temperatury kurczą się zaraz, z początku szybko, później powoli.- Natomiast żeliwo szare tuż przed krzepnięciem powiększa swoją objętość wskutek wydzielania się grafitu.- Wpływ wydzielającego się grafitu na objętość odlewu zrozumiemy lepiej, jeżeli obliczymy jego zawartość w żeliwie w odsetkach objętości :

Przyjmijmy zawartość grafitu w żeliwie w wysokości 3%.- 100 kg żeliwa składa się więc z 3 kg grafitu i 97 kg masy żeliwnej.- Ciężar właściwy grafitu wynosi około 2, ciężar właściwy żeliwa około 7,5.-

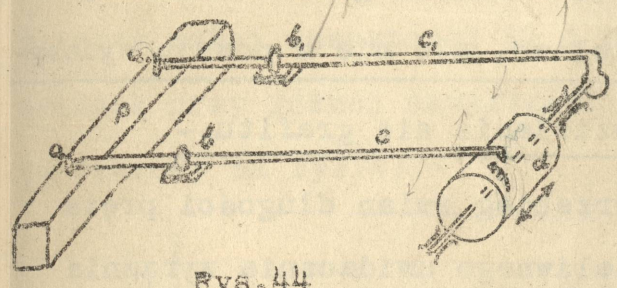
3 kg grafitu mają objętość 3 : 2 = 1,5 dm^3 t.j. 10,3%

97 kg żeliwa " " 97 : 7,5 =12,93 dm^3 t.j. 89,7%

14,43 dm^3 t.j. 100% obj.

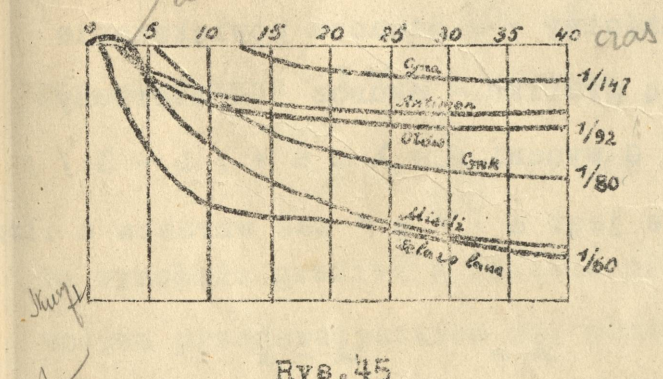
W żeliwie zawierającym 3% grafitu zajmuje grafit z górą 10% objętości odlewu !

Amerykanin Keep badał pierwszy systematycznie stosunki podczas krzepnięcia i stygnięcia różnych metali zapomocą przyrządu do mierzenia skurczu.- Przyrząd ten przedstawiony jest na rys.44.-



Rys.44

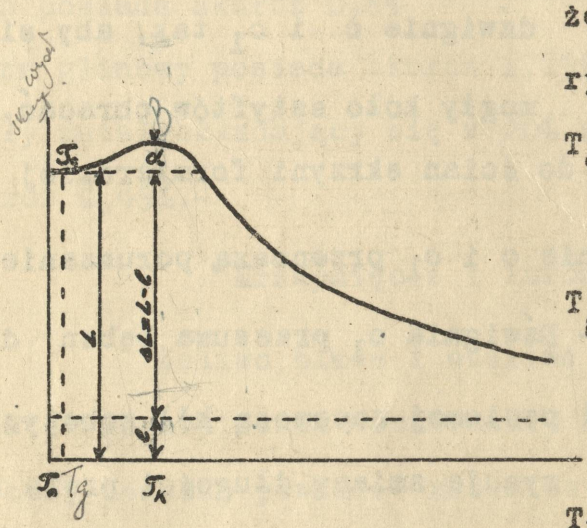
p oznacza pręt próbny z zalanymi sztyftami stalowemi a i a_1 położonemi możliwie daleko od końców pręta.- Do sztyftów a i a_1 przymocowane są dwuramienne dźwignie c i c_1 tak, aby się mogły koło sztyftów obracać.- Łożyska b i b_1 przymocowane są do ścian skrzyni formierskiej /nie umieszczonej na rys. /.- Dźwignie c i c_1 przenoszą poruszanie się sztyftów a i a_1 w dużej skali.- Dźwignia c_1 przesuwa bęben d, obracający się naokoło swej osi poziomej zapomocą kół zębatych zegarka ; natomiast dźwignia c rysuje zmiany długości pręta na papierze bębna.- Linja pozioma na bębnie oznacza, że nie zaszła żadna zmiana długości pręta ; jeżeli zaś rysik na dźwigni c rysuje na bębnie linję ponad poziomą, wówczas pręt próbny rośnie, jeżeli zaś linja rysowana znajduje się pod linją poziomą wówczas przedstawia skurcz.-



Rys.45

Rys.nr.45 przedstawia krzywe skurczu różnych metali.- Na osiach odciętych mamy czas w min.na osiach rzędnych przedstawione są zmiany długości pręta próbnego podczas stygnięcia.- Najszybciej kurczy się żelazo kute, a mianowicie po upływie ledwo 1 min.po wlaniu

żelaza do formy, żelazo kute kurczy się zaraz z początku bardzo szybko.- Natomiast cyna pozostaje najdłużej we formie w stanie płynym nie zmieniona, gdyż dopiero po upływie 13 min.zaczyna się kurczyć.- Krzywa miedzi wykazuje wzrost objętości w pierwszych 3 min.. Ten wzrost objętości, czy długości przed krzepnięciem miedzi przypisac należy silnemu wydobywaniu się z miedzi gazów.- Podobny wzrost objętości wykazuje zawsze żeliwo, ale nie z powodu wydobywania się gazów, lecz z powodu wydzielania się grafitu.-



Rys.46.

Przebieg zmian długości pręta żeliwnego uwidacznia wyraźnie rys.46.-

T_o oznacza temperaturę odlewania ^oC

T_g oznacza temperaturę, w której zaczyna się wydzielanie grafitu.-

T_k oznacza temperaturę, w której wydzielona ilość grafitu osiąga swe maximum i w której zaczyna żeliwo krzepnąć.-

$$T_o \quad T_g \quad T_k$$

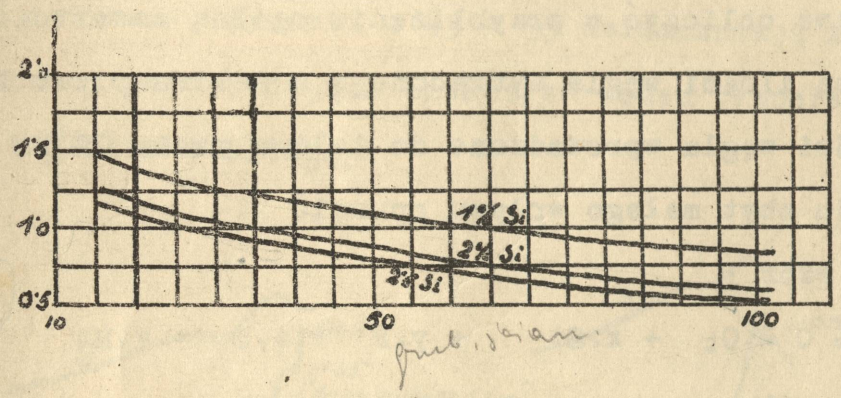
L oznacza długość modelu ; l ostateczną długość wystygłego pręta

$\lambda = L - l$ oznacza skurcz właściwy ; a oznacza powiększenie długości z powodu wydzielania się grafitu.- Skurcz mierzony od punktu B aż do temperatury 0° C wynosi $a + \lambda = a + / L - l /$; jest więc tem większy, im większe jest á ; " a " zaś wzrasta z ilością grafitu.-

$$\lambda' = a + \lambda \qquad \lambda = \lambda' - a$$

$$\lambda = \frac{L - l'}{L} \cdot 100 \qquad l' = l + a$$

Długość pręta graficznego jest w stosunku do pręta nie zawierającego grafitu większa o " a " w stanie wystygłym.- Skurcz rzeczywisty - oznaczający różnicę / L - l / - będzie tem mniejszy, im większa jest a, im więcej grafitu wydziela odlew.- Wszystkie więc czynniki sprzyjające wydzielaniu się grafitu obniżają skurcz żeliwa / powolne stygnięcie, duże przekroju odlewu, duża zawartość Si przy małej zawartości Mn i S /.- Zależność skurczu od grubości ścianek przy różnej zawartości Si / 2,5%, 2%, 1% Si/ uwidaczniają wykresy na rys.47.-



Rys.47.

Wpływ ilości grafitu na wielkości skurczu.-

Żelazo kute nie zawierające grafitu $\varepsilon = 2{,}44\%$.-

Żeliwo zawierające 3,5% grafitu $\varepsilon \approx 0{,}5\%$

$$\varepsilon\,\% = \frac{L - l}{L} \cdot 100$$

gdy mamy dane ε % i l wówczas

$$L = 100 \cdot \frac{l}{100 - \varepsilon}$$

gdy mamy dane λ% i L wówczas

$$l = \frac{L}{100} \cdot / 100 - \varepsilon /$$

Na wysokość grafitu w żeliwie przy danej ogólnej zawartości węgla wpływa przedewszystkiem Si, obniżający zdolność wchłaniania węgla w ogóle.- Podobnie jak Si działa P.- Mn sprzyja wchłanianiu węgla, ale przeszkadza wydzieleniu się grafitu, podobnie jak siarka S.- Siarka czyni żeliwo twardem, skłonnem do tworzenia jam skurczowych

wskutek powiększenia skurczu.- Naogół można powiedzieć, że 0,01% siarki w żeliwie znosi działanie 0,1% Si.- Oznacza to : Skurcz żeliwa zawierającego 2,5% Si będzie się równał skurczowi odpowiadającemu zawartości Si = 2%, o ile zawartość siarki podniesie się o 0,05% np. z 0,05% na 0,1% / Giessereizeitung 1926 str. 63 /.-

Absolutna zawartość grafitu będzie tem większa, im większa jest przy danej zawartości Si ogólna zawartość węgla.-Ponieważ Si i P obniżają, Mn natomiast powiększa ogólną zawartość węgla,która w czystem żelazie wynosi 4,3%,można z danej chemicznej analizy żeliwa obliczyć w przybliżeniu ogólną zawartość węgla, o ile ustalone są ilości węgla wytrąconego z żeliwa przez 1% Si i P,względnie ilości węgla wprowadzone do żeliwa przez 1% Mn /siarkę można z powodu zbyt małego wpływu opuścić /.-

Obowiązuje więc wzór :

$$4{,}3\% \; C = C_t + x.Si + y.P + z.S - v.Mn$$

x, y, z, v są spółczynnikami, względnie te ilości węgla na 1% Si względnie P względnie S, o które obniża się względnie powiększa ogólna zawartość węgla.-

Z szeregu badań wynika, że :

$$x = 0{,}35, \quad y = 0{,}3, \quad z = 0{,}05, \quad v = 0{,}03$$

$$4{,}3 = C_t + 0{,}35\ Si + 0{,}3\ P + 0{,}05\ S - 0{,}03\ Mn$$

Jeżeli surowiec zawiera np. 0,5% P, 0,05% S, 1% Mn,wówczas będzie:

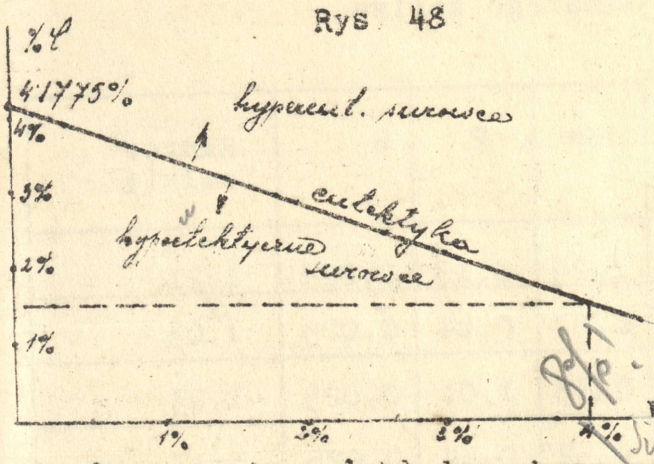
$$4{,}3 = C_t + 0{,}35\ Si + 0{,}15 + 0{,}0025 - 0{,}03$$

$$4{,}3 = C_t + 0{,}35\ Si + 0{,}1225 \text{ albo}$$

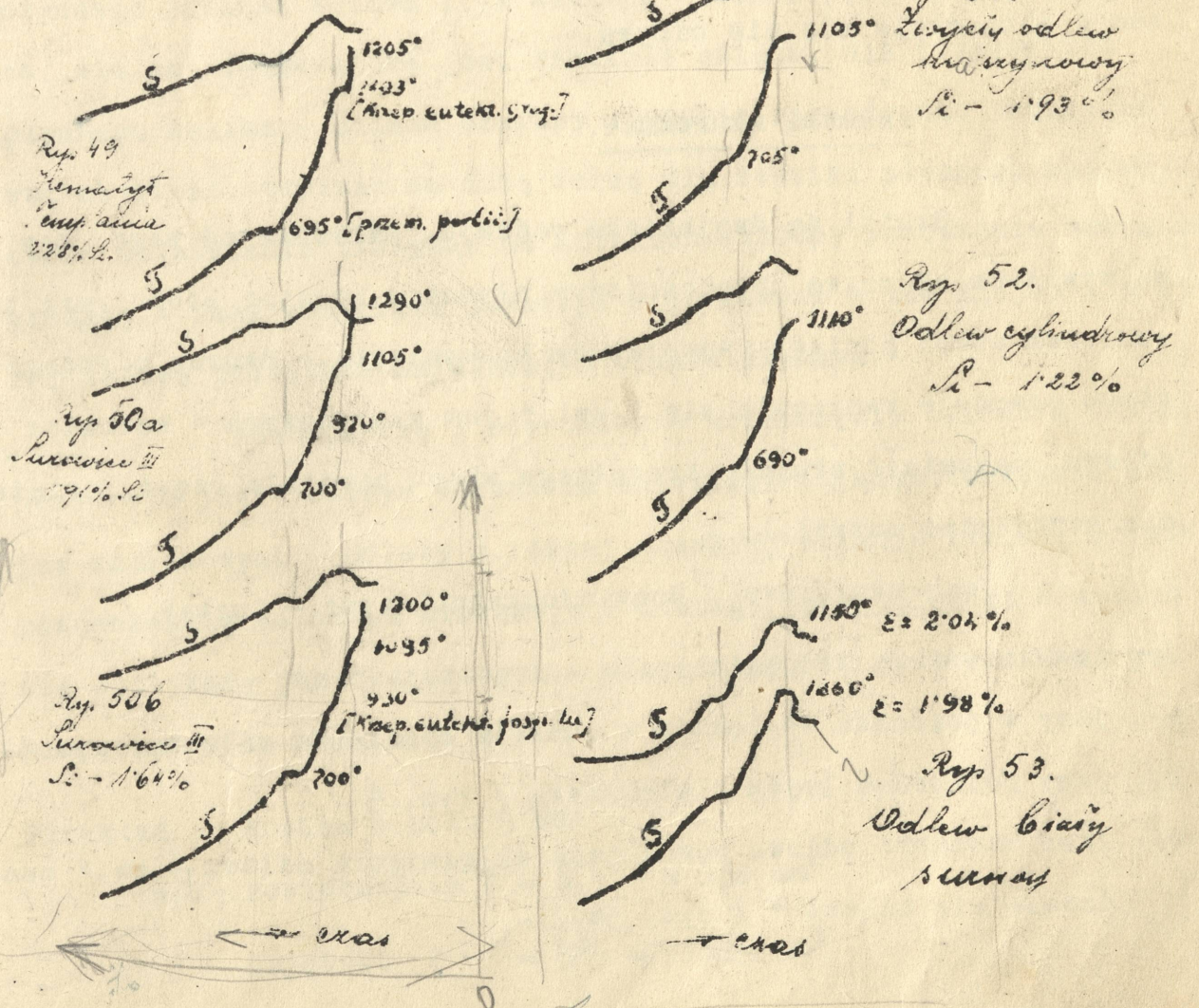
$$C_t = 4{,}1775 - 0{,}35\ Si$$

Oznacza to : jeżeli surowiec o powyższym składzie chemicznym nie zawiera wcale krzemu, to najwyższa zawartość węgla może wynosić C = 4,1775% zamiast 4,3% przy żelazie czystem.- Dla Si = 3% wynosi $C_{tmax} = 4{,}1775 - 1{,}05 = 3{,}1275\%$.- Dla Si = 12% wypada $C_t = 0$ dla surowca z 0,5% P, 1% Mn.-

Rys 48



Keep / a za nim Turner i West / rysował tylko krzywe / rys. 34 / czasu i skurczu, podczas gdy prof. Wüst i Schitzkowski oprócz krzywej czasu i skurczu równocześnie potrafili rysować krzywe czasu i temperatury.- Krzywe te łącznie dają dokładny obraz nie tylko przebiegu kurczenia się, lecz także zależność zmian objętości od składu strkturalnego badanego żeliwa.- Rysunki o 49 - 53 uwidaczniają krzywe czasu - - skurczu i odpowiadające im krzywe czasu temperatury, według Wüsta i Schitzkowskiego.-



Analiza składu chemicznego badanego żeliwa.-

Nr.	Temper. lania	Cc	Gr	Si	Mn	P	S	Skurcz całk.%
1	1205	3,68	3,05	2,28	1,25	0,19	0,025	1,21
2	1290	3,77	3,06	1,91	0,57	0,64	0,025	1,05
3	1200	3,54	2,77	1,64	0,85	1,01	0,025	1,23
4	1105	3,59	2,86	1,93	0,52	0,54	0,025	1,17
5	1110	3,55	2,40	1,22	0,54	0,44	0,025	1,31
Odlew biały	-	3,58	-	0,25 0,63	-	0,11 0,16	-	2,04 - 1,98

Wszystkie krzywe skurczu / S / wykazują wyraźnie powiększenie objętości z powodu wydzielania się grafitu.- W momencie tworzenia się perlitu / ca 700°C / skurczanie się żeliwa zwalnia znacznie swe tempo albo wcale się nie odbywa.-

Skutki skurczu.-

Skutki są dwojakiego rodzaju, zależnie od tego, czy są wywołane skurczem objętościowym płynnego jeszcze stopu, czy też skurczem stopu poniżej temperatury krzepnięcia.- Skurcz płynnego stopu powoduje tworzenie się t.zw. " jam skurczowych " wewnątrz odlewu, natomiast skurcz skrzepłnego stopu powoduje często naprężenia wewnętrzne materjału.-

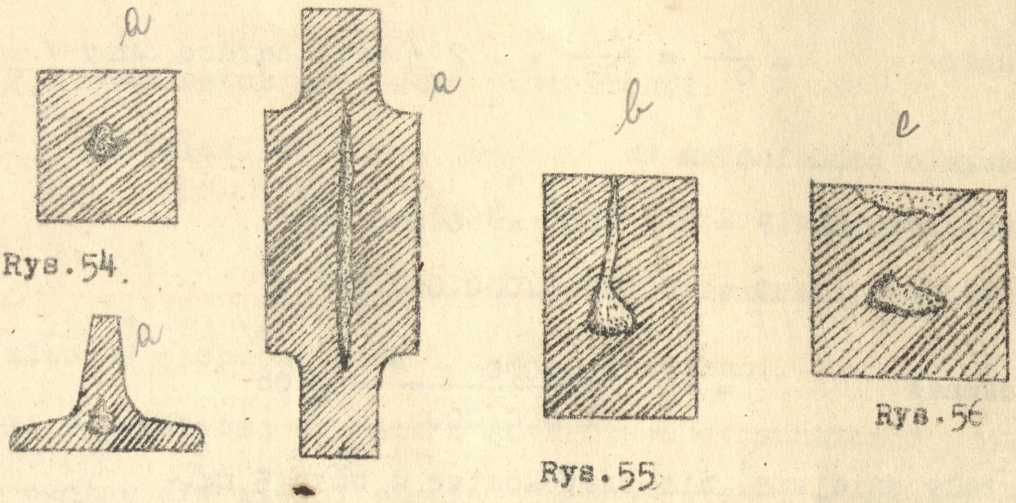
Jamy skurczowe / Schwindungshohlräume - Lunker /.-

Jamy skurczowe są trojakie :

a/. jamy w pośrodku względnie w punkcie ciężkości odlewu / rys.54/,

b/. jamy połączone lejem z atmosferą / rys. 55/,-

c/. jamy wewnątrz odlewu powodujące wklęśnięcia odlewu t.zw." osadzanie się odlewu " / rys. 56./.-



Rys.54.

Rys.55

Rys.56

Powstawanie takich jam spowodowane jest nierównomiernem skurczaniem się całej masy odlewu.- Skoro tylko napełnimy formę płynnem żeliwem natychmiast następuje studzenie żeliwa przez zimne ściany formy.- W okolicy ścian formy tworzy się warstwa skrzepniętego żeliwa, podczas gdy wewnątrz odlew żeliwny jeszcze jest płynny.- Ta skorupa skrzepniętego żeliwa stanowi teraz niby formę dla płynnego jeszcze żeliwa ; ta skorupa - forma jest wprawdzie gorąca, ale jej temperatura jest znacznie niższa, niż temperatura płynnego żeliwa.- Ściana skorupy pogrubia się,stygnąc zmniejsza swą objętość, tworząc za dużą formę dla resztki płynnego żeliwa, które ostatecznie krzepnąc na ścianach skorupy pozostawia wewnątrz próżnię.- Jama skurczowa powstaje więc zawsze w tem miejscu, w którem żeliwo pozostało najdłużej w stanie płynnym.-

Równoczesne i równomierne krzepnięcia odlewu w całym przekroju jest jedynym warunkiem uniemożliwiającym tworzenie się jam skurczowych.- Odlewy o równej cienkiej ściance krzepną prawie równocześnie na całym przekroju i dlatego przy odlewach cienkich nie spotykamy jam skurczowych.- Miarodajnym tu jest stosunek powierzchni P do objętości O $\quad \sigma = \frac{P}{O}$

Przykład : Kostka o boku 5 mm

a/. Powierzchnia $P = 6.5^2 = 150\ mm^2$

Objętość $O = 5^3 = 125\ mm^3$

Stosunek $= \frac{P}{O} = \frac{150}{125} = 1,2$ / więc bardzo duży /

b/ Kostka o boku 100 mm

powierzchnia $P = 6 \cdot 100^2 = 60.000\ mm^2$

objętość $O = 100^3 = 1.000.000\ mm^3$

stosunek $= \frac{P}{O} = \frac{60000}{1\,000.000} = 0,06$

więc 20 razy mniejsze, niż przy kostce o boku 5 mm.-



Kostka mała oddaje swą małą ilość ciepła natychmiast, temperatura jej oniża się prawie natychmiast do temp. krzepnięcia.- Krzepnięcie dużej kostki odbywa się powoli i nierównomiernie z dwóch przyczyn: Piasek formy jest złym przewodnikiem ciepła i dlatego nie może pochłonąć natychmiast większej ilości ciepła znajdującego się w dużej masie żeliwa.- Dłuższe działanie wysokiej temperatury żeliwa na ściany formy ogrzewa je znacznie wskutek czego po za cienką stosunkowo skorupą, żeliwo pozostaje dłużej w stanie płynnym.-

Jeżeli w obydwóch wypadkach temperatura żeliwa podczas odlewania wynosiła 1300° C i żeliwo to krzepnie przy 1100° C. to przyjmując przeciętne ciepło właściwe żeliwa w wysokości 0,18 kostka o boku 5 mm mogła udzielić formie:

$O \cdot d \cdot c / T - t /$ = x ciepłostek

O = objętość w dm^3

d = ciężar właściwy płynnego żeliwa = 7

c = ciepło właściwe płynnego żeliwa = 0,18

$T = 1300^{\circ}$ C

$t = 1100^{\circ}$ C

$0.000125 \cdot 7 \cdot 0,18 \cdot 200 = 0,0314$ ciepłostek

t.j. $\frac{0.0314}{150} = 0,00021$ ciepłostek na 1 mm^2 powierzchni,

albo 2,1 ciepłostek na 1 dcm^2 powierzchni

Natomiast kostka o boku 100 mm mogła oddać ciepła w formie

$$1 \cdot 7 \cdot 0{,}18 \cdot 200 = 252 \text{ ciepłostek}$$

t.j. $\frac{252}{60.000} = 0{,}0042$ ciepłostek na 1 mm^2 powierzchni albo 42 ciepłostek na 1 dcm^2 powierzchni.-

więc 20 razy więcej zgodnie z 20-krotnym stosunkiem P : O.-

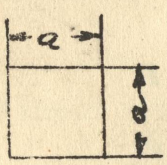
Wzory ogólne dla ilości ciepła oddanego w formie podczas krzepnięcia żeliwa:

Założenie: Przegrzanie żeliwa ponad temperaturę krzepnięcia 200^0 C.-

Ciepłik właściwy żeliwa w temperaturze 1300 - 1100^0C wynosi 0,18.-

Ciężar właściwy żeliwa płynnego wynosi 7 kg/dcm^3

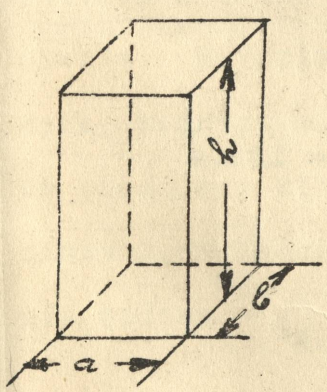
1/ Kostka: $O = a^3 \cdot 7 \cdot 0{,}18 \cdot 200 = 252 \cdot a^3$ ciepłostek



powierzchnia kostki $P = 6a^2$

$c = \frac{252 \cdot a^3}{6 \cdot a^2} = 42a$ ciepłostek na 1 dcm^2 powierzchni kostki.-

2/ Graniastosłup: $O = a \cdot b \cdot h\ dcm^3$



$P = 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot a \cdot h + 2 \cdot b \cdot h = 2\ /a.b + a.h + b.h\ / dcm^3$

$O = a \cdot b \cdot h \cdot 252$ ciepłostek

$$c = \frac{252.a.b.h}{2./a.b+a.h+b.h/} = 126 \cdot \frac{a.b.h}{a.b + a.h + b.h}$$

ciepłostek na dcm^2 powierzchni.-

Dla a = b otrzymamy:

$$c = 126 \frac{a^2.h}{a^2 + 2.a.h} = 126 \frac{a \cdot h}{a + 2.h}$$

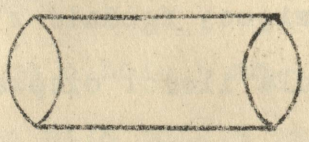
ciepłostek na 1 dcm^2 powierzchni.-

Walce : a/

$$c = 252 \cdot \frac{\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot H}{\frac{2 \cdot D^2 \cdot \pi}{4} + D \cdot \pi \cdot H} = 126 \cdot \frac{D \cdot H}{D + 2 \cdot H}$$

Dla D = H otrzymamy :

$$c = 42 \cdot D = 42 \cdot H$$



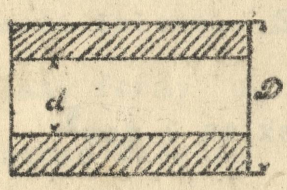
Dla H = 2.D :

$$c = 50{,}4 \cdot D$$

b/. Nie uwzględniając dolnej i górnej powierzchni :

$$c = 252 \cdot \frac{D^2 \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot D \cdot \pi \cdot H} \qquad c = 63 \cdot D \text{ ciepłostek na 1 dcm}^2$$

Walce wydrążone / rury / :



$$\frac{1}{2} / D - d / = s$$

$$O = \frac{\pi}{4} \cdot / D^2 - d^2 / \cdot H$$

Powierzchnia formy : $\pi \cdot D \cdot H = F$

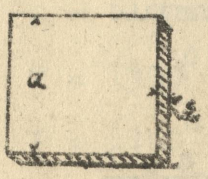
" jądra : $\pi \cdot d \cdot H = J$

" całkowita nie uwzględniając powierzchni przekroju : $\pi \cdot H \cdot / D + d /$

$$C = \frac{\pi}{4} \cdot / D^2 - d^2 / \cdot 252 \cdot H$$

$$c = \frac{C}{P} = 252 \cdot \frac{\pi \cdot / D^2 - d^2 / \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot / D + d / \cdot H} = 63 \cdot / D - d / = 126 \cdot s$$

Płyta kwadratowa :



$$O = a^2 \cdot s \qquad P \approx 2 \cdot a^2$$

$$C = 252 \cdot a^2 \cdot s$$

$$c = \frac{O}{P} = 252 \cdot \frac{a^2 \cdot s}{2 \cdot a^2} = 126 \cdot s$$

s = 30 mm

c = 378 ciepłostek/ 1 dcm^2

Kula :

$$O = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^3 \qquad P = D^2 \cdot \pi$$

$$C = 252 \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D^3$$

$$c = \frac{252 \cdot \pi \cdot D^3}{6 \cdot \pi \cdot D^2} = 42 \cdot D \text{ ciepłostek/dcm}^2$$

N.B : Wszystkie powyższe wzory obowiązują dla różnicy temperatury 1300 - 1100 = 200° C, dla ciężaru właściwego = 7 i dla ciepła właściwego = 0,13.- Wymiary w dcm.-

Pytanie : Jeżeli kulę o średnicy 100 mm wyrzucamy z formy 30 min po odlewie, to w jakim czasie możemy rozebrać formę kuli o 1000 mm średnicy ? / po 5 godz. /.-

Założenie : W jednostce czasu forma wchłania na 1 dcm^2 powierzchni w obydwóch wypadkach tę samą ilość ciepła.-

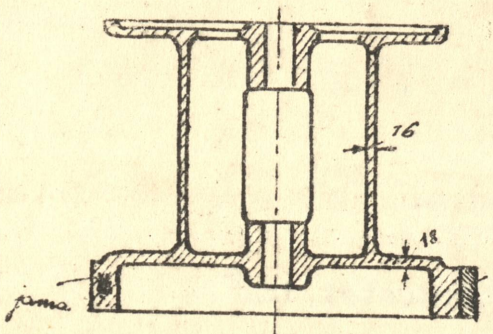
Chyżość studzenia nie zależy jednak wyłącznie od ilości ciepłostek na 1 dcm^2 powierzchni formy, lecz w dużym stopniu także od ilości i jakości materjału formy.-

Małe cienkie odlewy odlewamy w formach świeżych, których piasek zawiera 8 - 10% wilgoci i wskutek tego jest dobrym przewodnikiem ciepła.- Natomiast duże grube odlewy wykonujemy w formach suszonych, których materjał jest złym przewodnikiem ciepła.- W praktyce stosujemy kilka sposobów utrudniających powstawanie jam skurczowych, względnie przyczyniających się do równomiernego studzenia żeliwa.-

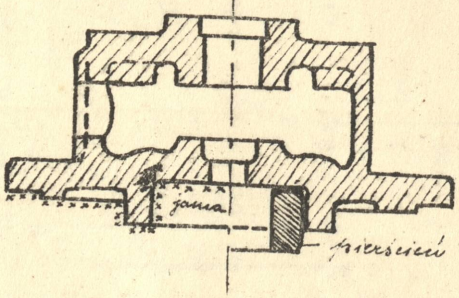
a/. Przy odlewach o nierównej grubości ścianki studzimy grube miejsca kokilą.- Co wskazuje 6 niżej umieszczonych rysunków.- /:Rys. 57 a/. b/. c/. d/. e/. f/. :/.-

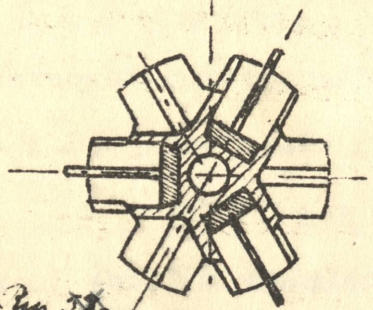
b/. Stosujemy grube nadlewy, w których żeliwo pozostaje najdłużej w stanie płynnym, aby w nich ewentualnie tworzyły się jamy, a nie w samym odlewie / Rys. 58. /.-

Rys 57a

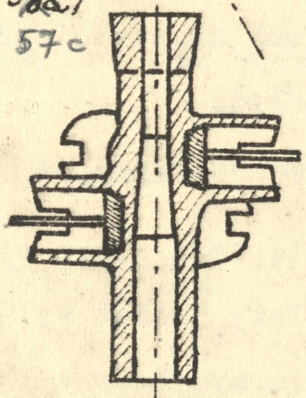


Rys 57b

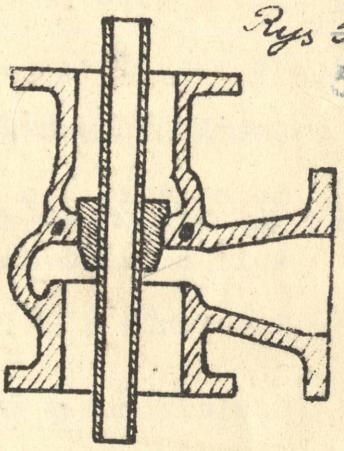




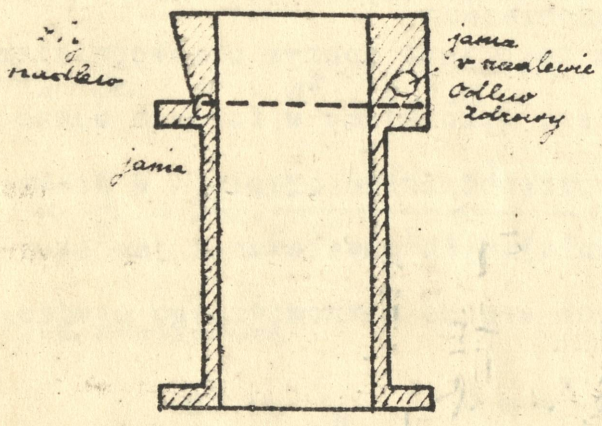
Rys 57a
57c



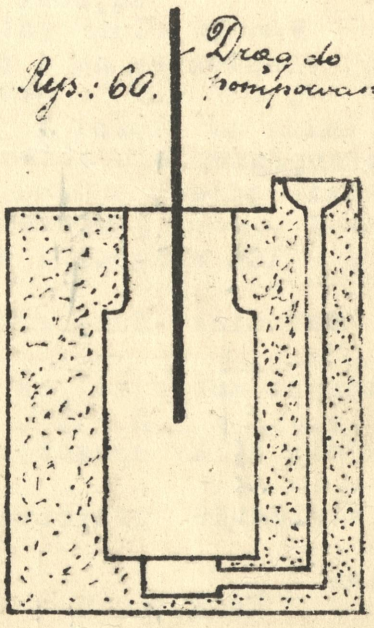
Rys 57b
57d



Rys. 59.



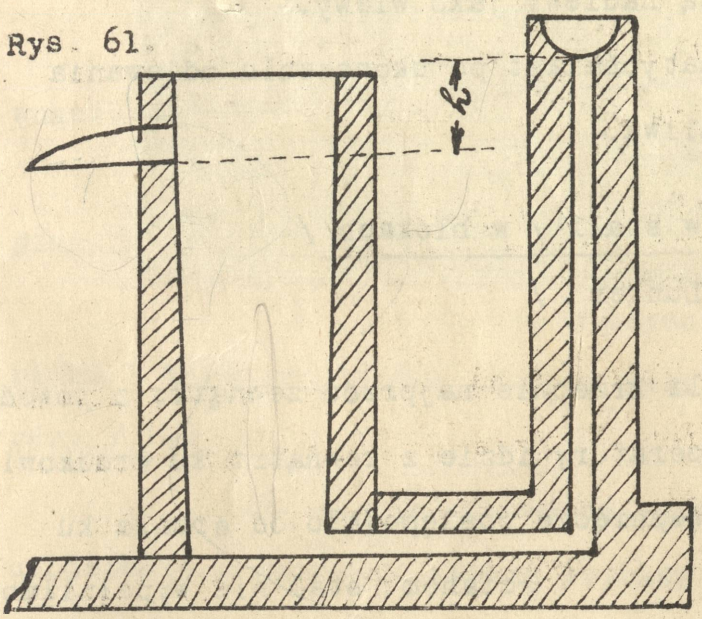
Rys.: 60.



c/ Przy odlewaniu wałców stosujemy bardzo duże nadlewy / verlorener Kopf / / 25% całego wałca / i dolewając ciągle prze grzane żeliwo " pompujemy " za pomocą drąga żelaznego w celu umożli wienia gorącemu żeliwu dostępu do krzepnącego żeliwa / rys.60 /.-

d/ Przy wlewaniu żeliwa z dołu do formy wysokiej, kiedy zachodzi obawa, że żeliwo - nim zdoła wypełnić górną część formy - za bardzo wystygnie i nie będzie tak ciepłe, aby mogło spływać do jamy na dole formy się tworzącej, odprowadzamy za zimne żeliwo z formy w ten sposób, że urządzamy wysoko nad górną częścią formy wlew i tuż nad formą rynnę, którą odchodzi zimne żeliwo z górnej części formy, podczas ciągłego wlewania przegrzanego żeliwa do wlewu / rys. 61 /.-

Rys. 61



e/ grube, masywne proste odlewy wykonujemy z żeliwa o średniej zawartości krzemu, mało przegrzanego, n.p. kostka o boku 600 mm = 6 dcm odlewana żeliwa przegrzanego ponad punkt krzepnięcia o 200°C oddaje na 1 dcm² pow. według powyżej obliczonego wzoru:

6 . 42 = 252 ciepłostek.-

Jeżeli temperatura lania wynosi tylko 50° C wyżej ponad punkt krzepnięcia, wtedy ilość ciepła na 1 dcm² powierzchni formy wynosić będzie tylko:

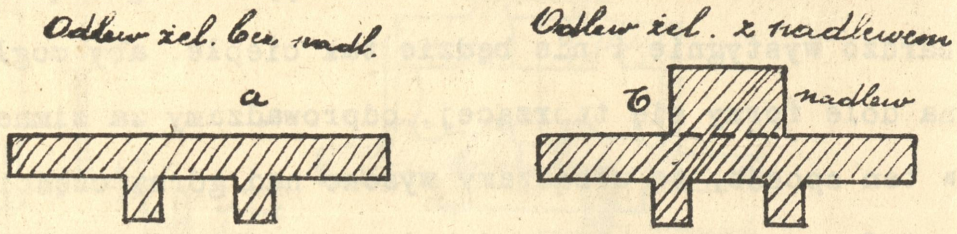
$$7 \cdot 0{,}18 \cdot 50 \frac{a^3}{6a\,a} = \frac{63}{6} \cdot a = 10{,}5\ a \text{ ciepł./dcm t.j.}$$

63 ciepłostek.-

Krzepnięcie żeliwa nastąpi w tych samych warunkach 4 razy szybciej niż przy żeliwie przegrzanym o 200° C.

Staliwo krzepnie szybciej niż żeliwo, oprócz tego skurcza się 2 razy więcej i dlatego niebezpieczeństwo tworzenia się jam skurczowych jest tem większe.- Wlewy i nadlewy stosujemy daleko większe i częściej niż przy żeliwie / rys. 62 a b /.-

Rys. 62 a, b/



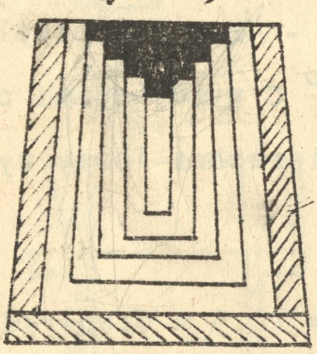
W staliwniach bardzo często nie stosujemy osobnych wlewów, w tych wypadkach służą nadlewy jako wlewy.-
Ogólna zasada: Szybko lac i natychmiast po ukonczeniu odlewania dolać do nadlewu gorącego staliwa.-

Jamy skurczowe w stali / w blokach /

/ Lunker /

Stal wlana do kokili krzepnie najprzód zewnątrz z powodu zimnych ścian i obniżanie temperatury idzie z zewnątrz ku środkowi kokili / rys. 63 /.-/Gdyby krzepnięcie postępowało od środka ku ścianom stal nie wypełniłaby formy ! /.- W miarę obniżania się temp., tworzą się pojedyncze skorupy zajmujące ostatecznie nie całą objętość pierwotną.- U góry bloku widzimy stożkowe wgłębienie przedstawiające jamę skurczową otwartą

Rys. 63.



Jamy skurczowe tem się różnią od pęcherzy, że ich ściany nie są gładkie, lecz szorstkie, często obłożone kryształami w postaci jodełek przy szarem żeliwie i staliwie.- W miejscach, w których żeliwo względnie stal pozostaje najdłużej w stanie płynnym występują także " wysięki " / Saigerungen /.- łatwo topliwe ciała, jak P i S często w dużych ilościach znachodzą się w jamach skurczowych.-

Bardzo często jednak tworzy się z powodu studzenia

powietrza także skorupa, o większej lub mniejszej grubości i zamyka tworzącą się pod nią jamę skurczową / jama zamknięta /Rys 64a/.- Skorupa powierzchni kurcząc się powinna tworzyc powierzchnię wypukłą, ale nacisk atmosfery jest większy i wgniata ją na dół.- Często tworzy się druga i trzecia skorupa i powstaje kilka jam 64b/.- Skorupy te mogę pod naporem ciśnienia powietrza pęknąc.-

Środki zaradcze:

I. polegające na zmniejszeniu różnicy temperatur zewnątrz i wewnątrz bloku.-

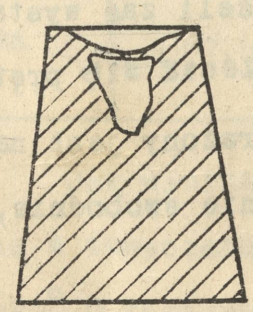
a/ Nie lać zbyt gorąco.- Jeżeli stal gorąca, lac powoli.- Studzenie szybkie powiększa, studzenie powolne zmniejsza jamy.-

b/ Trzymac w stanie płynnym jak najdłużej górną część bloku Niektórzy radzą odlewać kokile szerokim przekrojem do góry / rys. 65 /.-

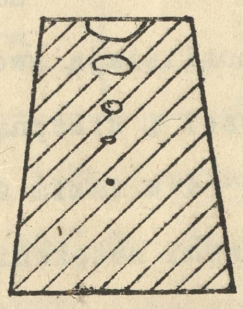
II. Sposób odlewania, z dołu, czy z góry.- Kwestja upodobania.- Decyduje zawsze szybkość lania, mniej to, czy lejemy z góry, czy z dołu.-

III. Sposób Harmel a.- Blok po ukonczonym odlewie podlega ciśnieniu hydraulicznemu.- Skutek dobry, jednak sposób kosztowny.-

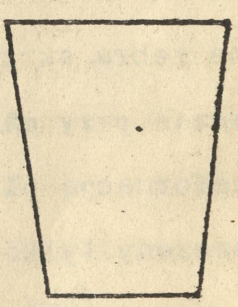
Rys. 64a.



Rys. 64b.



Rys. 65.



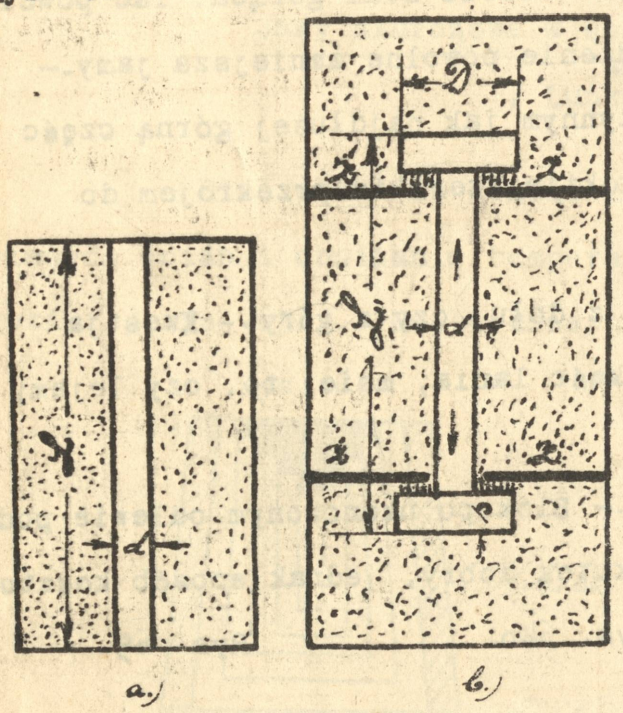
Skutki kurczenia się skrzepłego żeliwa.

Natężenie wewnętrzne i pękanie odlewów, krzywienie się i wypaczania się odlewów. Środki zaradcze.-

1/ Natężenia wewnętrzne powstają wskutek utrudnienia lub uniemożliwienia swobodnego skurczania się.-

Jeżeli odlejemy pręt n.p. o średnicy 30 mm zupełnie gładki i pozostawimy go po odlewie w formie aż do zupełnego wystygnięcia.wówczas przyjąć możemy, że będzie wolny od natężeń.- Jeżeli natomiast pręt ten posiada na obydwóch końcach szerokie płyty o średnicy D i grubości s, jeżeli pręt prędzej stygnie niż płyty, wówczas powierzchnia $/ D^2 - d^2 / \cdot \frac{\pi}{4}$ płyt ucisku na piasek formy wskutek kurczenia się pręta.- Jeżeli piasek nie stawia dużego oporu, /n.p. przy małej długości L / wówczas przekrój pręta będzie wolny od natężeń.- Jeżeli zaś wystające żebra skrzyni uniemożliwiają swobodne kurczenie się pręta wówczas przy małej długości L krzepnący pręt narażony jest na " deformację plastyczną " i w takim stanie stygnie swobodnie, obarczony tylko nieznacznemi natężeniami.-

Rys. 66



Przy większej długości L pręt plastycznie zdeformowany kurczy się i zależnie od wielkości oporu albo rozrywa się, albo pozostaje cały, lecz obarczony natężeniami wewnętrznemi.- Pręt taki badany na wytrzymałość na rozrywanie, czy na zginanie, nie wykazuje normalnej wytrzymałości.-

Obowiązuje równanie:

$$\frac{\pi}{4} / D^2 - d^2 / \cdot p = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot W_r$$

p - oznacza ucisk płyty na 1 cm^2 powierzchni piasku,

W_r - wytrzymałość na rozerwanie pręta, której wysokość zależna od temperatury stygnącego pręta wana się pomiędzy 0° i normalną wytrzymałością zależnej od jakości żeliwa.-

Wytrzymałośc żeliwa w różnych temperaturach.

Wytrzymałość kg/mm^2	18°C	300	400	500	600	800	Analiza		
							C	Si	Mn
na rezerw W_r	23,6	23,4	21,8	17,9	12,3	-	3,6	1,2	1,7
W_r	28	26	-	27	12		3,3	1,5	0,7
W_r	18	16	-	19	7		3,6	2,9	0,5
na gięcie W_g	37,1	31,3	-	-	19	11,9			
W_g	37,1	-	33	-	25.4	9,7			
Strzałka przeg. f.	7,6		75		14,5	20			

Jak wynika z pow. um. tabeli wytrzymałość żeliwa maleje znacznie w temperaturach ponad 400° C.- Żeliwo przy temperaturach ponad 620° C zaczyna mieć charakter plastyczny, przy 700° C jest całkiem plastyczne.-

Zrównania pow.um. obliczamy ucisk płyty na 1 mm^2 powierzchni piaszczystej formy p:

$$P = \frac{d^2}{D^2 - d^2} \cdot W_r$$

a/ dla D = 2.d otrzym. $p = \frac{1}{3} W_r$

b/ " D = 5.d " $p = \frac{1}{24} W_r$

c/ " D = 10.d " $p = \frac{1}{99} W_r$

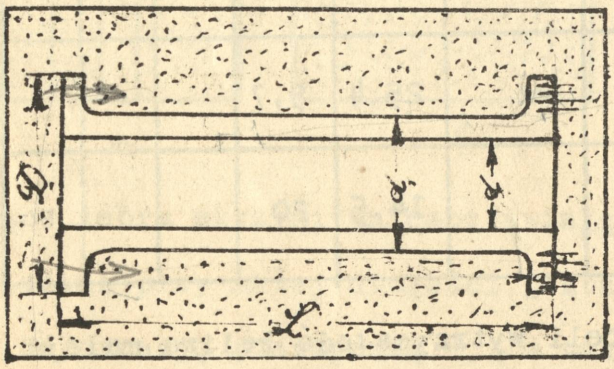
Jeżeli, przyjmiemy w wypadku c/ w temp. około 800^0 W = 3 kg/cm^2 t.j. 300 kg/cm^2, wówczas siła ugniatająca piasek $p = \frac{300}{99} = \frac{3 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$; jeżeli piasek jest bardziej ubity, albo jeżeli żebra stoją na przeszkodzie, wówczas pręt się rozrywa.- Wypadki podobne spotykamy często w odlewniach rur przy odlewaniu rur kołnierzowych, gdzie słup rury odrywa się od kołnierza górnego, będącego jeszcze w stanie plastycznym podczas gdy słup rury już dawno wystygł poniżej 600^0 C.-

Piasek ubity ręcznie wytrzymuje obciążenie p = 1 - 3 kg/cm^2.- Przyjmujemy, że wytrzymałość stygu żeliwa w temp. 800^0 C wynosi 3 kg/cm^2 względnie 300 kg/cm^2.-

Jakie stosunki panują po odlaniu rury kołnierzowej?

Rys. 67

$$\frac{\pi \cdot (D^2 - d_1^2) \cdot p}{4} = \frac{(d_1^2 - d^2) \cdot \pi \cdot W_r}{4}$$



$$p = \frac{d_1^2 - d^2}{D^2 - d_1^2} \quad W_r$$

d_1 = 1,18 dm

d = 1,00 "

D = 1,5 "

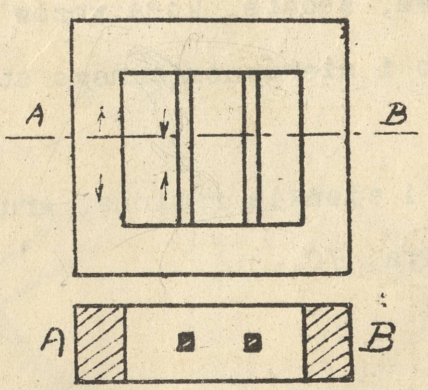
W_r = 3 kg

$$p = \frac{1,18^2 - 1}{1,5 - 1,18^2} \cdot 3 = \frac{0,3924}{2,25 - 1,3924} \cdot 3 = \frac{0,3924}{0,8576} \; 3 = 0,45 \cdot 3 =$$

= 135 kg.-

Ponieważ opór piasku wynosi najwyżej 3 kg/cm^2, więc siła kurczenia zgniecie z łatwością piasek i odlewowi nie grozi żadne niebezpieczeństwo, naturalnie pod warunkiem, ze <u>żeliwo słupa rury i kołnierza</u> stygnie równocześnie i równomiernie.- W praktyce jednak słup rury krzepnie wcześniej niż znacznie grubszy kołnierz i niebezpieczeństwo wyrwanie się rury z kołnierza zawsze istnieje przeważnie przy dużej długości D.- Zapobiegamy temu przez pogrubienie ścianki rury za kołnierzem, względnie przy słupach za pomocą żeber.- Wówczas pogrubiona ścianka łącznie z grubym kołnierzem dostarczają dostateczną ilość płynnego żeliwa miejscom luźniejszym wskutek skurczania się słupa rury.-

2) <u>Utrudnianie swobodnego</u> skurczania się jest często spowodowane nierównomiernem stygnięciem pojedynczych części odlewu z powodu za bardzo różnych grubości ścianek.-

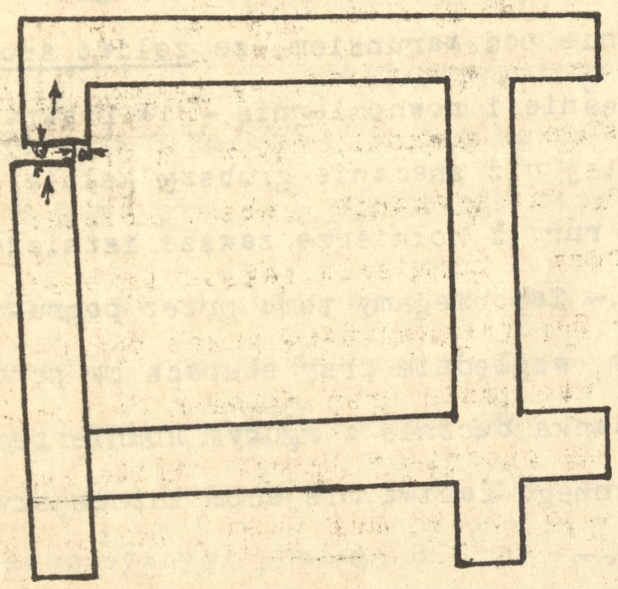


Rys. 68

<u>Gruba rama</u> kraty jeszcze jest albo w stanie płynnym albo conajmniej w stanie plastycznym podczas gdy cienkie pręty dawno ostygły. - Kiedy rame zaczyna się kurczyć, naciske na pręty, które swej długości nie mogą już zmienić, pręty sie wyginają, albo pękają nawet.- Pręty natężone są na ciśnienie / wyboczenie /, rama zaś na rozerwanie.- Jezeli pręty są dosyć silne, wówczas pęka rama.- Jeżeli stosunki stygnięcia są tego rodzaju, że nie pękają ani rama, ani prety wówczas w każdym razie rama obarczona jest natężeniem na rozerwanie, pręty zaś na ciśnienie / wyboczenie /.- Wystarczy uderzyć słabo młotkiem w ramę, albo ją trochę ogrzać i już pęka.- Po pęknięciu nie pozostają złamane części w tem samem miejscu, rozstępują się w pionowym kierunku co świadczy o

że rama wywierała ucisk na pręt kraty.- Zdawałoby się, że pręty stygnąc prędzej i z powodu swego mniejszego przekroju bardziej narażone są chyba na rozerwanie względnie oderwanie od ramy i tymczasem tak nie jest, a to z tego powodu, że pręty kurcząc się wytwarzają w miejscach styku z ramą niby próżnię, do której z ramy krzepnącej później dopływa żeliwo i że pręty w ten sposób są dłuższe niżby były pręty o tej samej długości, ale stygnące i kurczące się swobodnie z osobna / rys. 69 / -

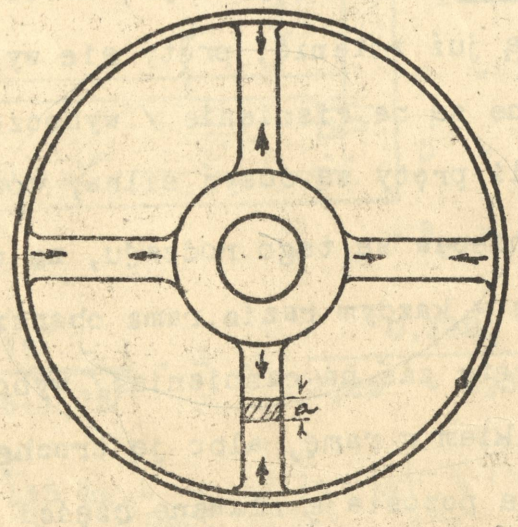
Rys. 69.

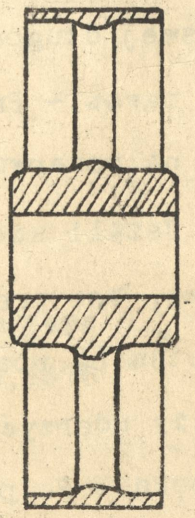


3) Natężenia tworzą się także w odlewach pierścieniowatych.- / Koła pasowe, zamachowe, zębate, koła wozów i lokomotyw etc./ wskutek nierównoczesnego i nierównomiernego stygnięcia i skurczania się.-

Koła pasowe: / cienki wieniec i cienkie ramiona, gruba piasta /.-

Rys. 70.

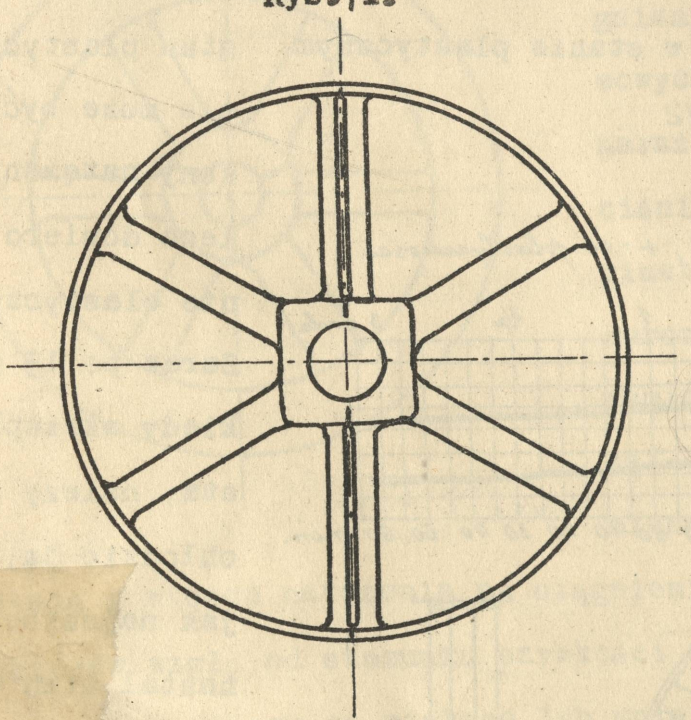




Cienki wieniec i cienkie ramiona szybciej stygną i kurczą się niż gruba piasta.— Piasta dopiero zaczyna krzepnąć i kurczyć się, kiedy ramiona i wieniec zupełnie już skrzepły i częściowo się skurczyły.— Piasta kurcząc się później ciągnie ku sobie ramiona, które jednak połączone z wieńcem nie mogą się ruszyć.— W ramionach powstają natężenia na rozerwanie, które przy słabym przekroju nawet pękają / a na rys. 70 /.— Powstawaniu natężeń można przeciwdziałać przez umożliwienie możliwie równomiernego stygnięcia.— Natychmiast po odlewie należy odkryć piastę, wybrać jądro, odbić ewentualnie wlewy na piaście, i ewent. studzić jeszcze piastę wodą.—

Bardzo dobrym środkiem zwalczania natężeń w kołach pasowych jest odlewanie ich z dwóch części w jednej formie; W przegrodzie obydwóch części formy pozostawione są otwory nieduże wprawdzie, ale wystarczające, aby odlew przedstawiał jedną całość.— Po Odlewie rozbijamy w miejscu przegrody ramiona i piastę i uwalniamy odlew od natężeń / rys. 71 /.—

Rys. 71.



Stosunki stygnięcia wieńca i ramion koła pasowego o średn. 1000 mm przedstawione są na rys. 72.—

Piasta posiada przekrój 130 x 40 x 1 = 5200 mm²

" " obwód 130 x 2 + 2 x 40 = 340 mm

Stosunek $\sigma = \frac{p}{o} = \frac{340\ mm^2}{5200\ mm} = \frac{34}{520} = 0{,}0654$

Wieniec natomiast ma objętość na dług. 1 mm: 140 x 11 x 1 = 1540 mm^3

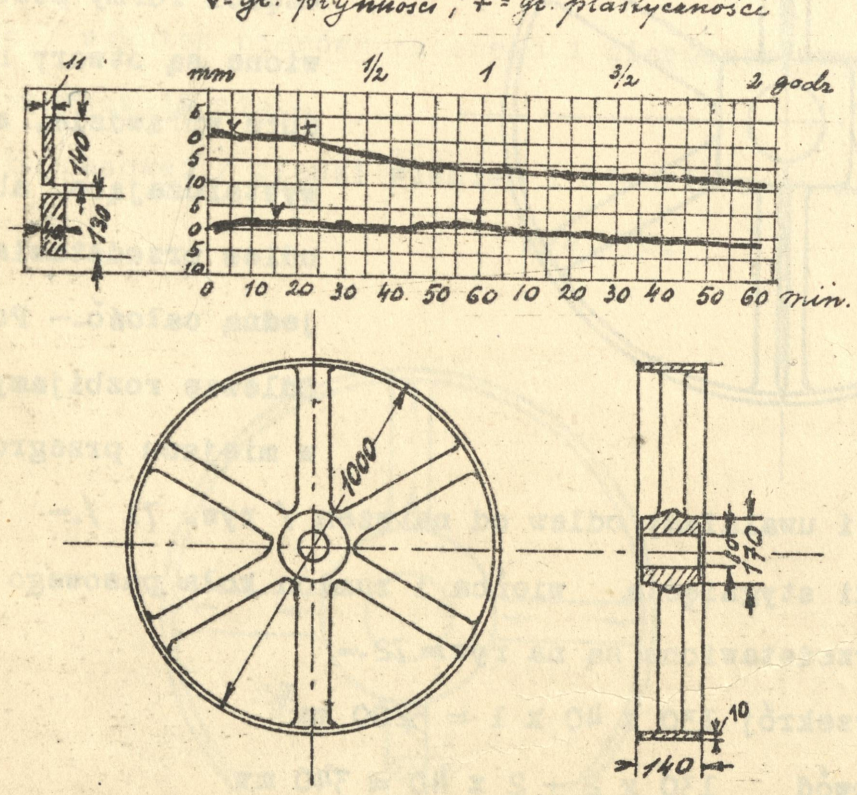
Powierzchnia wienca 2 x 140 + 2x 11 = 302 mm^2

Stosunek $\sigma = \left(\frac{p}{o}\right) = \frac{302}{1540} = 0{,}2$

Stosunek σ jest przy wieńcu trzy razy większy niż przy piaście.- Szybkość stygnięcia wieńca trzy krotna.-

W wykresie oznacza v granicę płynnego stanu / + / granicę plastycznego stanu.- Żeliwo wienca cienkiego jest już za 3 minuty na granicy płynności, zaś za 20 minut na granicy plastyczności, podczas gdy żeliwo piasty krzepnie dopiero po 15 minutach i jest dopiero po ca 60 min. na granicy plastyczności Żeliwo wienca jest przez 40 min. w stanie elastycznym, podczas gdy w tym samym czasie piasta jest jeszcze w stanie plastycznym Stan plastyczny nie może być obciążony natężeniami, lecz dopiero w stanie elastycznym. Zaraz po 15 min kiedy skrzepła piasta, należy silnie chłodzić ją, aby jak najszybciej nastał stan elastyczny i dorównał stanowi wienca.- Jeżeli piasta jest w stosunku do wieńca za gruba, to najszybsze chłodzenie jaz nic nie pomoże;

Rys 72



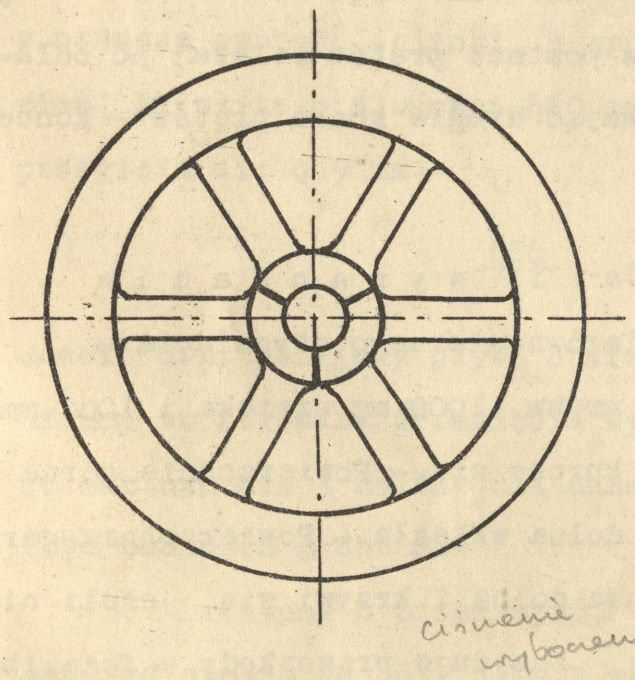
natężenia pozostają w ramionach i wieńcu.-

K o ł a r o z p ę d o w e .-

Tutaj stosunki stygnięcia są zupełnie inne; wieniec w stosunku do ramion jest bardzo gruby, podczas gdy wieniec kół pasowych jest bardzo cienki

Cienkie ramiona krzepną wcześniej niż piasta i wieniec.- Ubytek długości ramion wskutek skrzcu wyrównuje się w ten sposób, że z grubej piasty i wienca płynne jeszcze żeliwo ścieka do kurczących się ramion.- Masa piasty w porównaniu do grubego wieńca jest stosunkowo bardzo mała.- Piasta kurcząc się wywołuje w ramionach natężenia naciągnienie / jak przy kołach pasowych/. Kurczący się wieniec naraża natomiast ramiona na ciśnienie i wyboczenie.- Gdy piasta już wystygła, wieniec kurczy się dalej i uciska na ramiona.- Ramiona często pękają.- W wypadkach, w których ramiona wytrzymują ucisk wienca, powstają w wiencu natężenia na ciągnienie.- Zależnie od stosunków przekrojów wzgl, od stosunku szybkości stygnięcia natężenia na ciągnienie w wiencu są większe lub mniejsze, przy niekorzystnym stosunku natężenia na ciągnienie osiągnąć mogą wytrzymałość żeliwa na rozerwanie wówczas pęka wieniec / eksploduje /.-

Rys. 73.



Środki zaradcze Odkryć zaraz po odlaniu wieniec i piastę.- Jeszcze lepiej podzielić piastę na tyle części, aby ilość ich odpowiadała połowie ramion / rys. 73 /.- Przy takiej konstrukcji koła rozpędowego nie mogą powstać natężenia niebezpie-

czne, gdyż co dwa ramiona z odpowiednią częścią piasty i wieńca tworzą całość - Szczelina działowa rozszerza się z początku, poźniej jednak pod naciskiem wienca maleje.- Przy montowaniu koła zalewamy szczelnie metalem białym i bandażujemy piastę silnemi pierścieniami.- Większe koła rozpędowe odlewamy najlepiej z osobna z dwóch części.- Bardzo ciężkie koła rozpędowe maszyn walcowni wykonujemy w ten sposób, że odlewamy z osobna wieniec i z osobna piastę i łączymy je za pomocą ramion z żelaza płaskiego.-

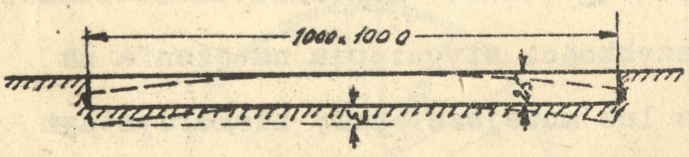
Duże koła linowe wykonujemy w podobny sposób: osobno odlewamy wieniec, osobno piastę.- Ale odlewając wieniec zalewamy równocześnie z wieńcem ramiona w postaci prętów żelaza; po odlaniu wienca odlewamy piastę zalewając drugie końce prętów.- Końce prętów są nadcięte i cynowane.-

K r z y w i e n i e i w y p a c z a n i e

się odlewów wskutek nierównomiernego stygnięcia.-

Płyta żeliwna 25 mm gruba, 1000 mm szeroka i 1000 mm długa odlana w formie otwartej kurczy się.- Powierzchnia górna robi się wypukła, powierzchnia dolna wklęsła.- Powierzchnia górna stygnie szybciej niż powierzchnia dolna i krzywi się, jeżeli nie znajduje przeszkody.- Jeżeliby zaś wypaczyć się nie mogła, wówczas w górnej części płyty powstawałyby natężenia na ciśnienie, w dolnej zaś części płyty natężenia na ciągnienie.-

Rys. 74.



Środek zaradczy:

Po odlewie pokrywamy płytę warstwą suchego piasku i obnażamy potem środek płyty w celu przyspieszenia stygnięcia.-

Płyta żeliwna, odlana w formie zamkniętej, wypacza się w ten sam sposób, lecz mniej.- Żeliwo bowiem wypełnia formę

nie naraz, lecz stopniowo; dolna powierzchnia formy jest już gorąca i wchłania ciepło żeliwa wolniej, podczas gdy górna powierzchnia formy jest znacznie zimniejsza i studzi bardzo żeliwo - i tak już zimniejsze - po wypełnieniu formy.- Aby otrzymać płyty równe, stosujemy model odpowiednio wygięty w odwrotnym kierunku.- Strzałkę ugięcia modelu ustalamy na podstawie doświadczeń.- Dla płyt cienkich i stosunkowo wąskich / n.p. płyty kuchenne / obliczamy strzałkę wygięcia ze wzoru.

$$x = \frac{L \cdot 0{,}04}{s}$$

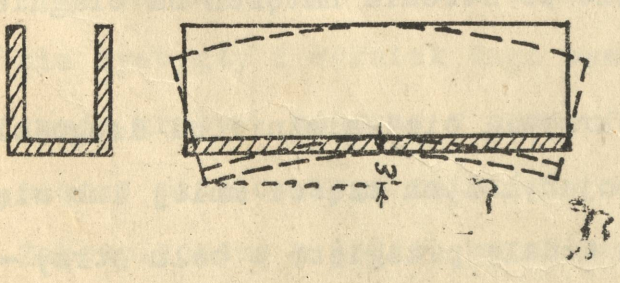
s oznacza grubość ścianki, S grubość płyty w mm.- Okazało się bowiem, że płyta o długości 680 mm i grubości 3 mm, szerokości 300 mm przegięła się o 9 mm.-

$$\frac{680}{3} \cdot y = 9 \qquad y = 0.04$$

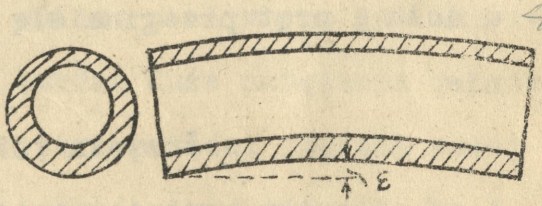
Jeżeli n.p. odlejemy płytę o średn. 2000 mm i grubości ścianki 18 mm, to strzałka przegięcia wyniesie x = 4.44 mm.- Rzecz jasna, że wartość dla x należy dla danego gatunku żeliwa z osobna oznaczyc badaniem próbnem.-

Rynny o przekroju ⊔ o tej samej grubości ścianki odlewane ze spodem na dół, albo z grubszą ścianką spodu, krzywią się wypukle po stronie boków.- / rys. 75 /

Rys. 75.



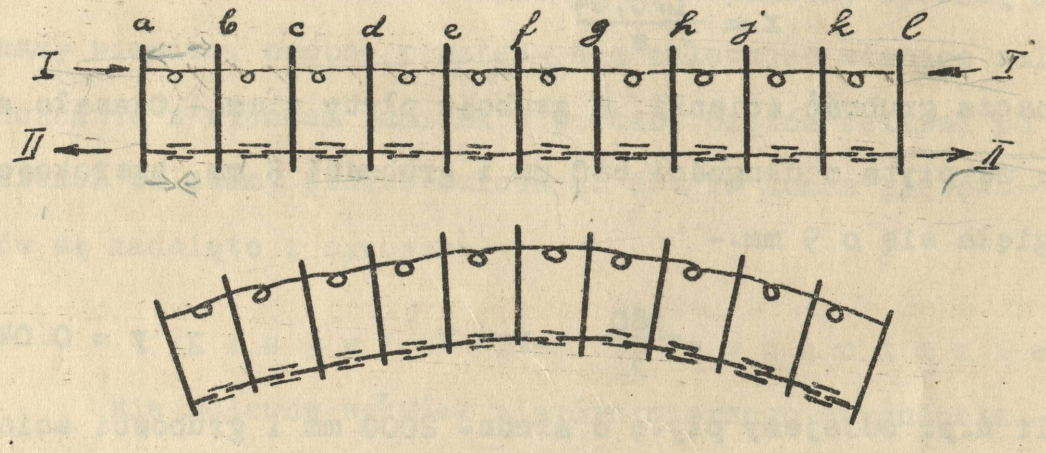
Rys. 76.



Rury ekscentryczne / rys. 76 / krzywią się wypukle na stronię ściany o mniejszej grubości ścianki.-

Jezeli przegięcie się odlewu jest niemożliwe z jakiegokolwiek powodu, wówczas obarczone są części odlewu stygnące później natężenia na ciągnienie, części stygnące wcześniej obarczone są natężeniami na ciągnienie Ściany grubsze krzywią się wklęśle, ściany cienkie zaś wypukle Uzmysłowic możemy sobie działanie natężeń za pomocą rys. 77.-

Rys. 77.



Płyty a b c d e f g h j k l przedstawiają przekroje olanej belki o nierównej ściance.- W poziomie I I połączone są płyty sprężynami cisnącemi, w poziomie II II sprężynami ciągnącemi - Jeżeli siły cisnące i ciągnące są w równowadze, wówczas prym jest prosty; jeżeli zaś sprężyny mogą działac, wówczas sprężyny cisnące rozpychają pojedyncze płyty u góry, sprężyny ciągnące przyciągają je u dołu i pręt przegina się wklęśle po stronie natężeń na ciągnienie

Łożyska tokarek krzywią się zależnie od długości i od stosunku grubości ścianek pojedynczych części mniej lub więcej. Stosujemy tu prawie zawsze modele przegięte w celu otrzymania odlewów prostych Lecz nie zawsze się to uda, gdyż wielkość strzałki przegięcia zależy w dużej mierze także od temperatu-

ry i składu chemicznego żeliwa.- Naogół obowiązuje dla tokarek o długości do 15.m.równanie.

$$x = 120 \; / \; 1 - \frac{15.000 \; L}{15.000} \; /$$

w którem x oznacza strzałkę przegięcia w mm, L ogólną długość tokarki w mm.- Przy tokarkach małych odlewanie żeliwa miękkiego / bogatego stosunkowo w grafit / strzałka przegięcia jest ca 10% mniejsza niż wynika z obliczeń według wzoru.-

N a p r ę ż e n i a w s t a l i w i e .

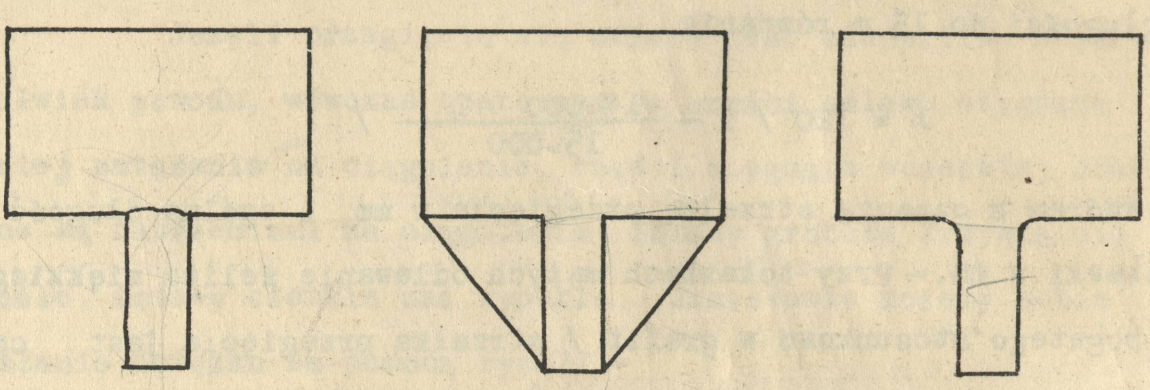
Ponieważ współczynnik wytrzymałości staliwa E jest prawie 2 — 2.5 krotny niż E żeliwa, to jak wynika ze wzoru

$$\sigma = \frac{1}{2} \; E \cdot \alpha \; / \; t_2 - t_1 \; /$$

będą natężenia w staliwie znacznie większe niż w żeliwie. Skurcz staliwa wynosi ca 2%, podczas gdy żeliwo kurczy się tylko o 1% - Dlatego też staliwnik ma daleko większe trudności niż żeliwnik - Temperatura staliwa zdatnego do odlewania powinna być jak najwyższa, aby staliwo było dobrze ciepłe i wypełniało dobrze formy.- Tymczasem właśnie z powodu tej dużej temperatury grubsze miejsca odlewu stygną bardzo powoli co powiększa niebezpieczeństwo tworzenia się jam, jakoteż natężeń.-

Staliwo nie krzepnie natychmiast, lecz przechodzi stopniowo w stan ciastowaty; w stanie tym wytrzymałość staliwa jest bardzo mała. Jeżeli inne części odlewu staliwnego już zupełnie wystygły i wskutek tego wywołały bardzo duże natężenia w przekroju grubym, wówczas z powodu małej wytrzymałości jeszcze mniej więcej ciastowatego materjału nastąpi pęknięcie / rys.- 78 /.- Zabezpieczamy w takich wypadkach odlew przed pęknięciem stosując żebra.- / rys. 79 / Żeliwo nie wymaga żeber, lecz tylko zaokrąglenia kątów / rys. 80 /.—

Rys. 78 Rys. 79. Rys. 80.



Pęknięcia albo nadpęknięcia, jeżeli występują w gorącym jeszcze odlewie, nazywamy " pęknięciami na gorąco ",; Jeżeli odlew pęka już w stanie zimnym wówczas mamy do czynienia z "pęknięciami na zimno".- Pęknięcia na gorąco zwykle większe z brzegami nierównemi zardzewiałemi, niż pęknięcia na zimno niekiedy trudno dostrzegalne okiem, o równej linji złomu zdrowego - nie oksydowanego.- Przy konstruowaniu odlewów największą należy zwracać uwagę na możliwie równe grubości ścianek, aby zapewnić równomierne stygnięcie i zabezpieczyć odlew przed powstawaniem jam i naprężeń.-

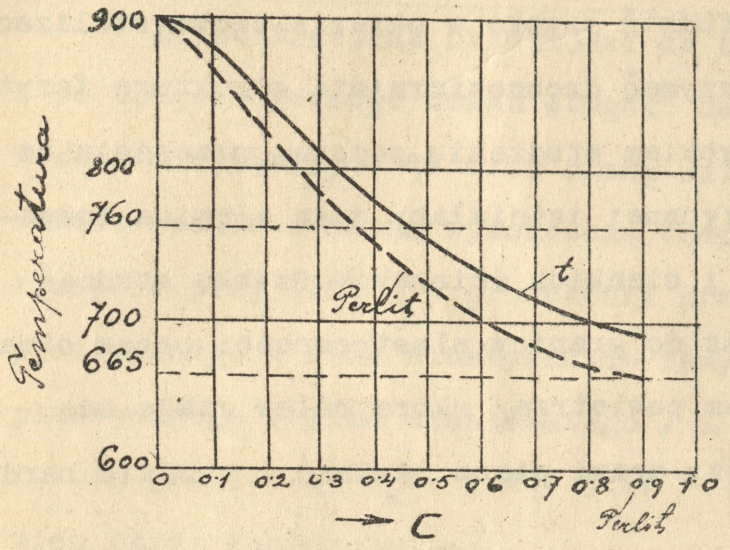
Podkreślić wypada, że niektórzy konstruktorzy nie obznajomieni z odlewnictwem, są zdania, że należy w miejscach narażonych na naprężenia z powodu różnic temperatur pogrubic znacznie ściankę.- Jest to gruba pomyłka pociągająca za sobą odwrotne skutki niż zamierzone.-

Każdy odlew staliwny jest obarczony naprężeniami i dla usunięcia tych naprężeń bywa wyżarzany w temperaturze sięgającej do 900° C. zależnie od zawartości węgla.-

K r z y w a w y ż a r z a n i a s t a l i w a .-

Do usunięcia naprężeń wystarczałaby temperatura 600 700° C, trochę ponad " temperaturę graniczną " T_g/ ciemno-czerwony kolor /.- Wyżarzanie staliwa do temp. strefy elastyczności

Rys. 81.



nie usunęłoby wcale naprężeń. Podwyższanie temperatury należy uskuteczniać powoli, przeważnie przy odlewach dużych.— Ale temperaturę wyrażanie staliwa obecnie stosujemy daleko wyższą niż 600 700° C w celu spowodowania zmiany struktury i osiągnięcia znacznie większej wytrzymałości staliwa.— W tym celu wyżarzamy staliwo w temp. 850 – 900° C / w okolicy trzeciego punktu krytycznego Ac_3 906° C przy żelazie czystem /.— Pierwotna gruboziarnista, niejednolita struktura przemienia się pod wpływem tak wysokiej temperatury w jednolitą perlityczną drobnoziarnistą, którą odlew zatrzyma już studzony ostrożnie powoli i długo.— Nawet kryształy ferytu się zmieniają w bardzo drobne.— Objaw ten nazywamy "perkrystalizacją".— Przegrzane staliwo t.j. wyżarzone przy temp. ponad Ac_r 906 1000° C wykazuje znowu bardziej gruboziarnistą strukturę i "figury Widmanstätten'a ".—

Uwaga "Perkrystalizacja" oznacza zmianę struktury w staliwie przez żarzenie i następne studzenie.— "Rekrystalizacja" oznacza zmianę struktury w walcowanem lub kutem żelazie wzgl. stali wskutek wyżarzania przy ściśle określonej temperaturze.—

Trwanie żarzenia staliwa wywiera tak jak wysokość temperatury duży wpływ na jakość staliwa Żarzenie powinno trwać tak długo, aby na całym przekroju odlewu nastąpiła perkrystalizacja.— Najwyższa temp. winna działać tylko kilka godzin.— Za długie żarze-

nie wyniera ten sam niekorzystny wpływ na strkturę, jak za duża temperatura.

Najlepiej byłoby studzić szybko w okresie perkrystalizacji, aby w wystygłym odlewie otrzymać drobnoziarnistą strukturę ferytu perlitu.- Niestety przy szybkiem studzeniu podczas przejścia ze strefy plastycznej do elastycznej istniałaby duża różnica temperatur grubszych przekrojów i cienkich ścianek.- Szybko studzić można zaraz po wyżarzeniu aż do granicy elastyczności przez otwarcie pieca silnym przeciągiem powietrza, skoro odlew staje się ciemno-czerwony, wtedy należy drzwi pieca zamknąć i studzić bardzo powoli.-

Zależność wytrzymałości staliwa od wysokości temp.żarzenia.-

Temperatura żarzenia	granica ciastowatości kg/mm^2	Wytrzymałość na rozerw. kg/mm^2	Wydłużenie %	Zmniejszenie przekroju.zwężenie %
niężarzone	23	47,3	14,6	17
750	22,5	46,9	8,1	14,2
800	24	49,4	20,7	28,2
850	28	51,3	22,5	29,2
900	27	51,1	20	26 7
1000	26	52,1	14	20,4

Wpływ temperatury wyżarzania na wytrzymałość karbową staliwa.

Temperatura żarz : niężarz 760 790 820 850 880 910 940 1000

Wytrz. wrębowa: 1,94 4,38 3,31 6,84 7,22 8,39 7,08 3.44 2 81

Uwaga. Pręty próbne 30 x 30 i,długości 160 mm, wrąb okrągły o średn. 4 mm

Skład chemiczny: C - 0,3% Mn - 0,98% Si - 0 38%

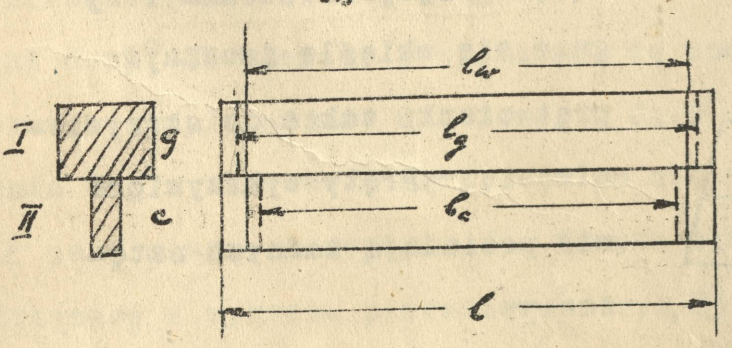
P - 0 042% S - 0,038%.-

T e o r j a n a t ę ż e ń w o d l e w a c h .-

Odlew krzepnąc przechodzi ze stanu płynnego w stan plastyczny a po upływie pewnego czasu stygnąc dalej ze stanu plastycznego w stan elastyczny.- Te trzy stany odlewu związane są dla kazdego metalu ściśle z pewną wysokością temperatury.- N.p. żeliwo szare krzepnie przy 1100° C i przechodzi przy tem 690 - 700° C ze stanu plastycznego w stan elastyczny.- Temperaturę na granicy stanu plastycznego / albo ciastowatego / i elastycznego nazywamy "temperaturą graniczną" T_g.- / Nie jest to ściśle jeden punkt, lecz pewien okres temperatur.-/

Odlew w stanie ciastowatym pozwala - bez oporu - na trwała zmianę kształtu / deformacja trwała /; natężenia wewnętrzne powstać tu nie mogą.- Inaczej przy odlewie znajdującym się w stanie elastycznym; odlew taki nie zezwala już na deformację - na zmianę kształtu - bez oporu.- Jeżeli opór jakikolwiek nie zezwala na deformację, wówczas w odlewie powstają natężenia.- Jeżeli natężenia w stanie elastycznym nie przekraczają granicy wydłużalności wówczas po ustaniu działania oporu wzgl. różnicy temperatur natężenia znikają / " natężenia znikające "," tymczasowe " /.- Jeżeli natomiast różne części odlewu nie przekraczają równocześnie "temperatury granicznej ", wówczas powstające natężenia są " natężeniami trwałemi ".-

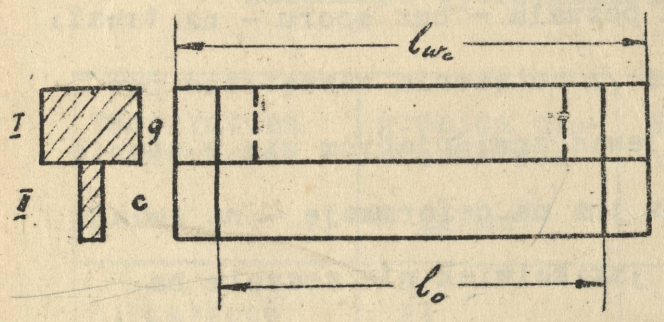
Rys. 82.



Pręty g / gruby / i c /cienki / o równej długości l, połączone ze sobą ściśle, znajdują się równocześnie w strefie ciastowatości i plastyczności P.- Pręt c stygnie prędzej niż pręt g

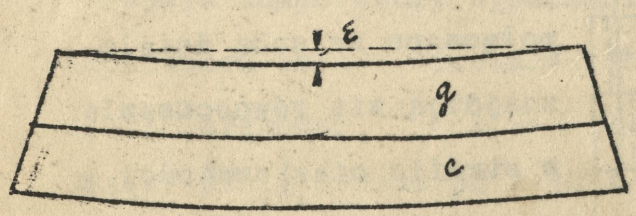
W pewnym momencie temp. pręta c wynosi t_p, podczas gdy pręt g ma wyższą temp. T_p.- Pręt cienki c dąży odpowiednio do temp t_p do zajęcia długości l_c, pręt gruby do długości l_g, godzą się ostatecznie na wspólną długość l_w przyczem pręt gruby g uległ plastycznemu zgnieceniu, pręt cienki zaś plastycznemu wydłużeniu.- Natężen żadnych tu nie ma - Przy dalszym stygnięciu wstępuje pręt cienki c w strefę elastyczności / sprężystości /, podczas gdy pręt gruby jest jeszcze w strefie ciastowatości.- Przyjmijmy, że już po przekroczeniu temp granicznej pręty g i c zajmują równą długość l_{wc} - Temperatura prętów w tym momencie nie jest równa.-

Rys. 83.



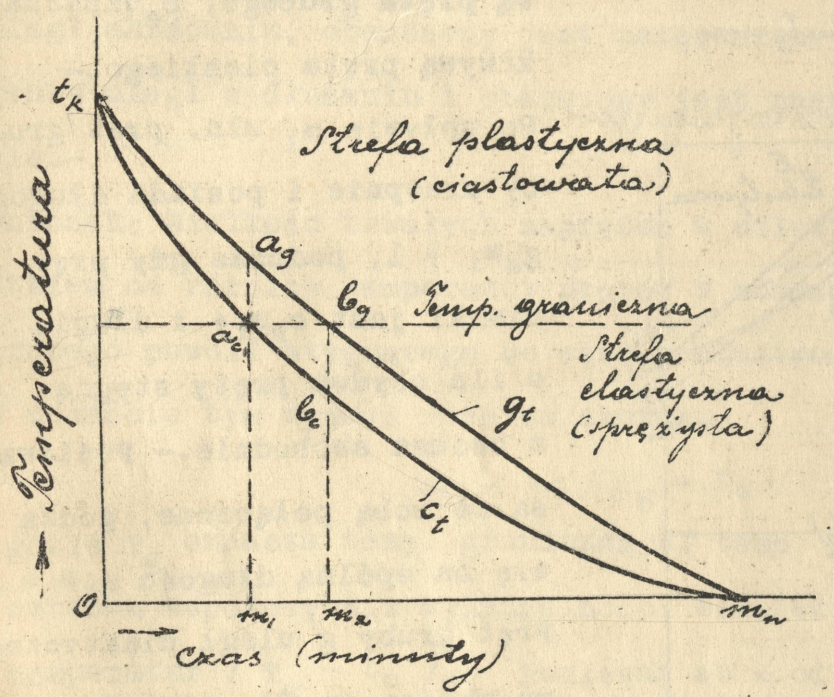
Pręt gruby ma temp T_e, pręt cienki t_e.- Od tego momentu począwszy pręty stygną dalej aż do temp. 0°, której to temp odpowiada długość l_o.- Pręt cienki stygnąc szybciej osięgnie temp. 0° i ostateczną długość l_o prędzej niż pręt gruby g; gdy już pręt c zajął długość l_o, wówczas pręt g dąży do dalszego kurczenia się, ale przeszkadza mu pręt c.- Z tego powodu powstają w pręcie grubym g natężenia na ciągnienie, w pręcie cienkim c tworzą się natężenia na ciśnienie wówczas, jeżeli skrzywienie się zespołu prętu jest niemożliwe.- Jeżeli skrzywienie się jest możliwe, wtedy pręt gruby g posiadający przymusowo długość większą będzie dążył do jej skrócenia i wygnie się wklęśle zmuszając pręt cienki także do skrzywienia się.- Pręty wykrzywione nie posiadają żadnych natężeń.-

Rys. 84.



Stosunki stygnięcia dwóch prętów o równej prędkości stygnięcia przedstawiają nam wykres na rys 85 i rys. 86, przyczem krzywe g_t i c_t wzgl. g_e c_e odnoszą się do prętów stygnących swobodnie z osobna

Rys. 85.

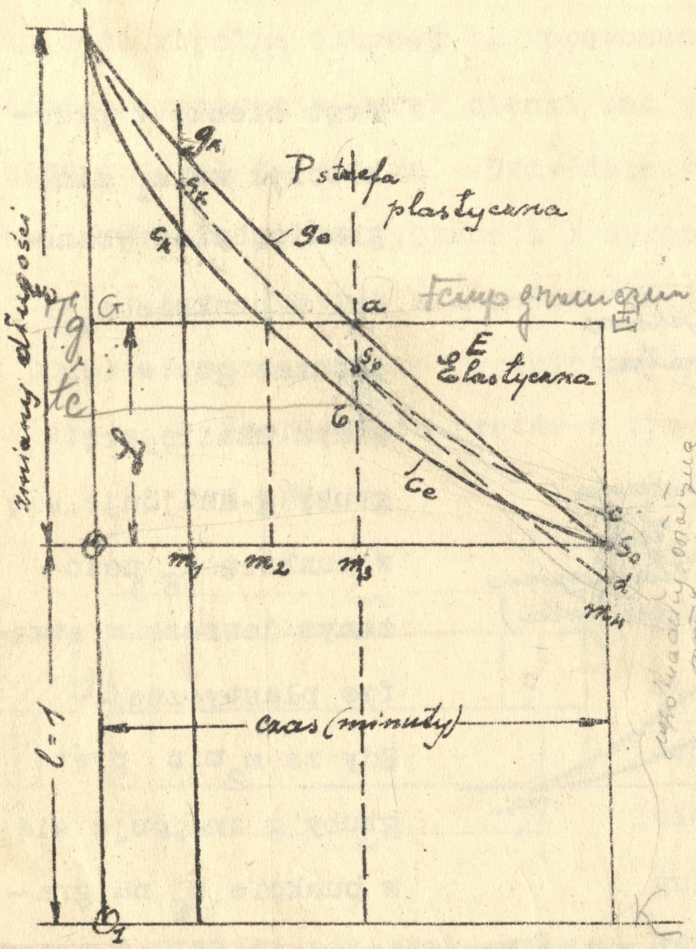


Pręt cienki c przekroczył za m_1 min. granicę plastyczności w punkcie a_c, podczas gdy w tym samym czasie pręt gruby g znajduje się w punkcie a_g położonym jeszcze w strefie plastycznej.- Gdy za m_2 min pręt gruby g znajduje się w punkcie b_g na granicy ciastowatości, to pręt cienki w tym momencie znajduje się w punkcie b_c położonym już w strefie sprężystości.- Z wykresu powyższego / rys.85 / czasu - temp. można skonstruować wykres czasu - skurczu wzgl. wydłużenia / rys. 86 /.-

Skurcze wzgl. wydłużenia $\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$ są umieszczone na osi rzędnej, min. natomiast na osi odciętej.- Te zmiany długości ε odnoszą się do prętu o długości $l = 1$ swobodnie stygnący od temp. t aż do 0° C.- Jeżeli przyjmiemy, że spółczynnik wydłużalności wskutek ciepła α jest dla temp. t do 0° C stały, wówczas owe wydłużenia wzgl. skurcze ε są w prostym stosunku do wydłużeń $\varepsilon = \alpha . t$ / ε jest miarą skurczenia /.- Krzywe skurczów czy wydłużeń g_e i c_e otrzymamy z wykresu pierwszego / rys.85/ jeżeli odnośne temp. t pomnożymy przez spółczynnik wydłużalności α Jeżeli przesuniemy

punkt O układu spółrzędnie o jednostkę długości 1 = 1 niżej, wówczas otrzymamy nowe rzędne / 1 + ε /, których długość przedstawia długość pręta.-

Rys. 86.



W ten sposób skonstruowany wykres przedstawia rys. 86, przyczem g_e oznacza krzywą pręta grubego, c_e oznacza krzywą pręta cienkiego.- Po upływie m_1 min. pręt gruby krzepnie i posiada długość $g_k m_1 + 1$, podczas gdy pręt cienki jest $c_k m_1 + 1$ długi, o ile obydwa pręty stygną z osobna swobodnie.- Ponieważ są ze sobą połączone, godzą się na spólną długość $s_k m_1 + 1$.- Pręt gruby g uległ plastycznemu skróceniu, pręt cienki o plastycznemu wydłużeniu.-

Linja GG przedstawia linję granicznej temp., którą przechodzi pręt cienki po m_2 min., pręt gruby po m 3 min.- Długość prętów w temp. granicznej jest L + 1 o ile stygną swobodnie.- W momencie, w którym pręt gruby przekracza temp. graniczną, godzą się obydwa pręty na wspólną długość $s_p m_3 + 1$, przyczem pręt gruby ulega plastycznemu skróceniu, pręt cienki natomiast elastycznemu wydłużeniu.- Począwszy od punktu s_p stygną obydwa pręty w strefie elastycznej aż do temp. 0° i przyjmują ostateczną wspólną długość $s_0 k = 1$.-

W punkcie s_p naprężeń żadnych nie ma.- Natomiast przy dalszym stygnięciu występują naprężenia w obydwu prętach, których

przebieg przedstawia kreskowana linja $s_p c$ równoległa do krzywej bg, dla pręta cienkiego, linja $s_p d$ równoległa do as_o dla pręta grubego.— Jeżeli przekrój prętów jest równy, wówczas:

$$as_p = s_p b$$
$$cs_o = s_o d$$

Po m4 min. wspólna długość prętów jest $s_o k$, przyczem pręt cienki uległ skróceniu, obarczony jest natężeniami na ciśnienie, pręt gruby uległ wydłużeniu i obarczony jest naprężeniami na ciągnienie.—

Wniosek: Wielkość trwałych naprężeń w odlewie zależy przedewszystkiem od różnicy temperatur prętów w momencie wkroczenia pręta grubego powoli stygnącego do strefy elastyczności.—

W momencie tym wynosi różnica skurczu:

$$ab = \alpha / T_g - t_c /$$

gdzie T_g oznacza temp. graniczną, t_c temp. pręta cienkiego, α oznacza współczynnik wydłużalności wskutek ciepła w okresie temperatur $/ T_g - t_c /$.— Ponieważ $ab = od$ więc ostatecznie będzie

$$od = \alpha . / T_g - t_c /$$

Przy równych przekrojach prętów jest:

$$cs_o = s_o d = \frac{od}{2}$$

Otrzymamy więc

$$cs_o = s_o d = \frac{\alpha}{2} / T_g - t_c / = \varepsilon$$

W przybliżeniu natężenie:

$$n = E . \varepsilon$$

gdzie E oznacza współczynnik sprężystości.—

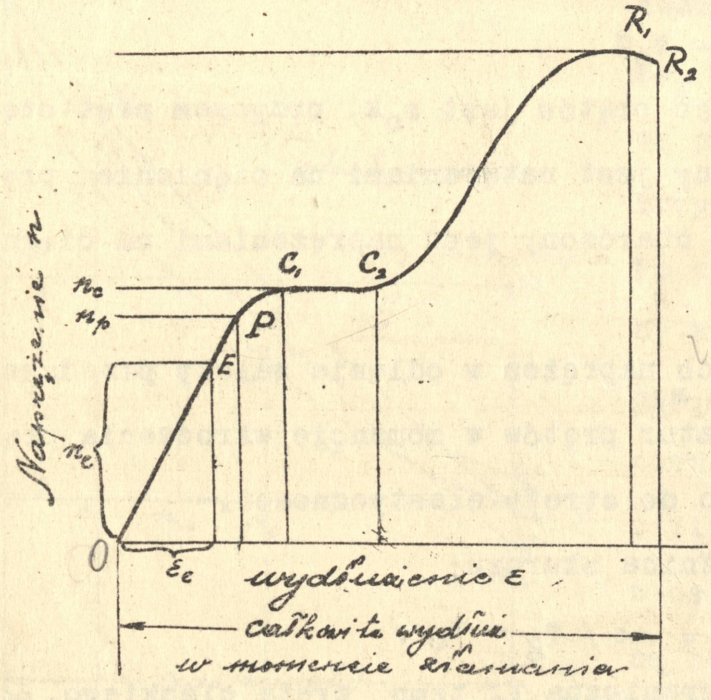
$$n = E \frac{\alpha}{2} / T_g - t_c /$$
$$T_g - t_c = \Delta t$$
$$\pm n = \frac{1}{2} E \alpha . \Delta t,$$

przyczem + oznacza ciągnienie, — ciśnienie.—

Natężenia wywołane w odlewie różnicą temperatur nie różnią się wcale od natężeń wywołanych zewnętrzną siłą przy obcią-

zeniem prętów stałych Dla lepszego zrozumienia tych stosunków przytoczę zasady nauki o wytrzymałości materjałów na podstawie wykresu naprężeń - wydłużeń / rys. 87 /.- Wykres naprężeń - wydłużeń podobny jest do wykresu temperatury - skurczów; temperatura odgrywa rolę naprężenia, skurcze odpowiadają wydłużeniu.-

Rys .87.



OP = linja prosta

P = granica proporcjonalne;wydłużenia wzrastają równomiernie z naprężeniem n.- Stosunek $\frac{\varepsilon}{n}$ jest stały.

C_1 = granica zlastowatości: Linja pozioma $C_1 - C_2$ oznacza, że wydłużenie wzrasta bez podwyższenia naprężeń.-

R = granica złamania w momencie największego naprężenia.-

Uwaga: Właściwie pręt wydłuża się przy opadaniu naprężeń dochodzących do R_2 i rozrywa się, ale w praktyce uwzględniamy zawsze moment największego naprężenia R_1, gdyż R_2 nie da się ustalic ani zmierzyc.-

E = " granica sprężystości = elastyczności " położona na prostej OP przy naprężeniu elastycznem n_e.- Wydłużenie elastyczne ε_e po zniknięciu naprężeń znika.- Pręt wraca napowrót do swojej pierwotnej długości.- Dalsze wzrastanie naprężeń wywołuje wydłużenie trwałe.-

Wydłużenie elastyczne / Elastische Dehnung /:

Stosunek $\alpha = \frac{\varepsilon}{n}$ / wydłużeń ε do naprężeń n / jest w strefie elastyczności stały i nazywa się " liczbą wydłużenia"

i oznacza wydłużenie pręta o długości 1 cm o przekroju 1 cm^2 przy obciążeniu n = 1 kg.- n.p. dla stali wynosi $\alpha = 0{,}0000004583$.- Zamiast tak długiego ułamka piszemy $\alpha = \frac{1}{2.180\,000}$ przyczem mianownik tego ułamka 2.180 000 oznacza " spółczynnik sprężystości " - W praktyce obliczamy spółczynnik sprężystości α dla okresu naprężeń $n_2 - n_1$ w sposób następujący:

$$\varepsilon_2 = \alpha n_2 \qquad \varepsilon_1 = \alpha n_1 \qquad / \varepsilon = \alpha n \text{ pr Hooke a/}$$

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = \alpha / n_2 - n_1 /$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{n_2 - n_1}$$

Spółczynnik wydłużalności linijnej albo rozszerzalności linijnej ciał z powodu zmiany temperatury wynosi z równania:

$$l_t = l_0 / 1 + \alpha_c t /$$

$$\alpha_c = \frac{l_t - l_0}{l_0 t}$$

oznacza on wydłużenie pręta o długości 1 cm przez podwyższenie jego temperatury o 1^0 C.- α_c dla wszystkich gazów jest stały i wynosi 1/273.- Natomiast dla pojedynczych ciał stałych jest różny i zależy także od wysokości temperatur n.p.

żeliwo przy $t = 40^0$ $\alpha_c = 0{,}0000106$

$t = 1000^0$ $\alpha_c = 0{,}0000175$.-

Jeżeli we wzorze natężeń z powodu różnej temperatury

$$\pm \sigma = \frac{1}{2} E \alpha_c \cdot \Delta t$$

wezmiemy dla żeliwa E = 1.000.000 / spółczynnik sprężystości /

" " $\alpha_c = 0{,}000014$ / " rozszerzalności/

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

otrzymamy natężenie z powodu różnicy temperatury o 1^0

$$= \frac{1}{2} 1.000.000 \times 0{,}000014 = 7{,}0 \text{ kg/cm}^2$$

Jeżeli różnica temperatur wynosi 100^0, wówczas natężenie wyniesie 700 kg/cm^2, przy 300^0 będzie 2100 kg/cm^2.-

Uwaga: Siła wydłużająca lub skracająca o stałym przekroju F

i o spółczynniku sprężystości E przy zmianie temperatur o t^0 wyraża się wzorem:

$$P = \alpha_c \cdot E \cdot t \cdot F$$

Zadanie: 1/ Jaka duża różnica temperatur / $t_2 - t_1$ / potrafi wywołać w odlewie żeliwnym natężenia równające się jego wytrzymałości na rozerwanie i wynoszące 16 kg/mm^2 przy założeniu, że E = 1.000.000; α_c = 0,000014.-

$$x = t_2 - t_1 = \frac{2 \cdot \sigma}{E \cdot \alpha_c}$$

$$\frac{32}{14} \cdot \quad x = \frac{2 \times 1600}{1.000.000 \times 0,000014} = 230^0 \text{ C}$$

Różnica temperatur wynosząca 230^0 C powoduje pęknięcie odlewu żeliwnego.-

2/Jak duża będzie ta różnica przy odlewie staliwnym, jeżeli dla staliwa spółczynnik sprężystości E = 20.000 kg/mm^2 a wytrzymałość staliwa wynosi 40 kg/mm^2.-

$$t_2 - t_1 = \frac{2 \times 40}{20.000 \times 0,000012} = 666^0 \text{ C}$$

3/ Żelazo kute posiadające wytrzymałość na rozerwanie 3600 kg/cm^2 / blacha kotłowa / nie powinno w praktyce być obciążone aż do granicy ciastowatości /plastyczności / zachodzącej przy natężeniu na 1 cm^2 wynoszącemu 2200 kg.- Jeżeli E = 2.000.000 kg/cm^2 i α_c = 0,00001 jaka maksymalna różnica temperatur jest dopuszczalna ?

$$t_2 - t_1 = \frac{2 \times 2200}{20} = \frac{440}{2} = 220^0 \text{ C}.-$$

b/ <u>WYSIEKI - ROZMIESZANIE STOPÓW.-</u>

Już w stanie płynnym, przedewszystkiem zaś w okresie

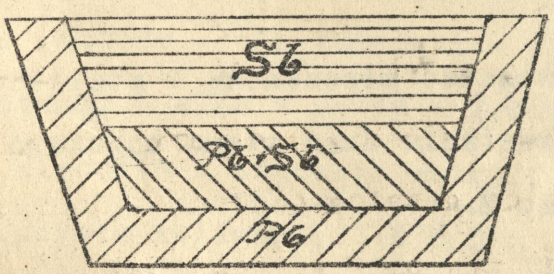
stężenia żeliwo i dużo innych stopów podlega procesowi rozmieszania / Entmischung /, którego następstwem są t.zw. " wysięki " / Saigerungen / znachodzące się w odlewie skrzepłym.-

Wysięki te polegają na różnym ciężarze właściwym albo małej ilości pewnego składnika n.p. MnS, FeS i t.d., albo rozmieszaniu całej masy stopu, tak, że tworzą się warstwy lżejszego składn składnika lub jego stopów na górze warstwy składnika lub jego stopów o dużym ciężarze właściwym na dole / stopy: ołów - cynk, cynk - bismut, ołów - antymon /-

Stopy niektórych metali tracą w pewnym stopniu w miarę obniżania się temperatury podczas stężenia zdolność rozpuszczania swych składników, które potem według swego ciężaru właściwego albo opadają na dół, albo uchodzą do góry, tworząc powyżej wspomniane warstwy.-

Przykład: Rozmieszanie stopu ołowiu z antymonem z zawartością 30% Sb stężałego powoli.-

Rys. 85.



Kryształy antymonu o mniejszym ciężarze właściwym powstały na początku podczas krzepnięcia i zgromadziły się u góry, podczas gdy stop ołowiu uboższy w antymon i cięższy pozostał na spodzie naczynia i tam stężał.- Warstwa górna zawierała 40% Sb, dolna tylko 13% Sb.-

Wielki wpływ na tworzenie się wysięków wywierają stosunki stygnięcia odlewu; powolne stężanie i stygnięcie nierównomierne dużych grubych odlewów jest zawsze powodem do rozmieszania się żeliwa.- Składniki osobne albo ich stopień posiadające niższy punkt krzepnięcia / łatwo topliwe / wyciekają z krzepnącej

zewnętrznej warstwy odlewu na wewnątrz i gromadzą się w środku odlewu.-

Przykład: Zewnętrzna warstwa bloku staliwnego zawiera mało S,P,C, podczas gdy warstwa środkowa jest bardzo bogata w te składniki.-

W y s i ę k i s i a r k i .

W surowcu zawierającym Mn tworzy się MnS, który z powodu swego niskiego ciężaru gromadzi się w górnej części kąpieli.- To odsiarczanie surowca ma duże znaczenie przy procesie Thomasa

Surowiec przy spuście wielkiego pieca:	0,19% S	1,16% Mn
" wlany do miksera	0,11% S	0,83% Mn
" przy spuście do gruszki	0,05% S	0,78% Mn

Widać z tego, że odsiarczanie częściowo się odbyło już w kadzi na drodze od wielkiego pieca do miksera.- Warunkiem dobrego odsiarczenia żeliwa jest większa zawartość Mn, gdyż w żeliwie bardzo ubogiem w Mn następuje odwrotne tworzenie się FeS:

$$MnS + Fe = FeS + Mn$$

wynika stąd, że żeliwa ubogiego w Mn nie można oczyścić zupełnie ze siarki.-

W żeliwnictwie należy stosować mieszaninę z możliwie dużą zawartością Mn, jeżeli się przetapia dużo złomu bogatego w S na koksie zawierającym także dużo S.-

Analiza walca 5000 kg wagi:

u góry	1,49% Si	0,212% S	0,64% Mn	0,42% P
w środku	1,47% Si	0,206% S	0,64% Mn	0,42% P
na dole	1,49% Si	0,111% S	0,64% Mn	0,42% P

Ponieważ siarka gromadzi się w tak dużych ilościach na górnej części odlewu, należy przy braniu próby do analizy fakt ten uwzględniać.-

Eutektyka żelaza - FeS - MnS krzepnie przy 980° C zawierająca 4% MnS.-

Wysięki fosforu i węgla.-

Wysięki fosforyczne przedstawiają zawsze eutektykę żelazo - karbid - fosfid zawierającą według prof. Wüsta:

1,96% C 6,39% P 91,15% Fe

i topniejąca przy 953° C, podczas gdy reszta żeliwa krzepnie już w temp. 1150° C.- Przy tak dużej różnicy temperatur topnienia fosforycznej eutektyki i masy żeliwa wysięki fosforyczne w odlewach przeważnie z większą zawartością fosforu spotykamy zawsze.-

Te łatwo topniejące wzgl. późno krzepnące fosfidy gromadzą się albo w środku odlewu pozostającym najdłużej w stanie płynnym, albo pod wpływem ciśnienia krzepnącej skorupy na ścianach formy przebijają skorupę i tężeją w postaci małych kuleczek na powierzchni zewnętrznej odlewu.- Kuleczki te niekiedy są tak małe, że wolnem okiem nie można ich widzieć, niekiedy wielkości ziarnek maku rozsiane albo w wielkości grochu.- Jeżeli te większe kulki w wolnej przestrzeni pomiędzy formą i zewnętrzną już stężałą skorupą odlewu nie znajdują wystarczające miejsca, wówczas tracą kształt kulki i w postaci małych placków krzepną na zewnętrznej ścianie odlewów.- Te kuleczki - niby krople potu - nazywamy " wypocinami " albo " potem " / Schwitzkugeln /.- Zawierają one zawsze więcej P i znacznie mniej C niż masa żeliwa, jak n.p.

Pot na płycie żeliwnej: 3,07% C 1,98% P 0,42% Mn 1,63% Si

żeliwo: 3,41% C 0,44% P 0,43% Mn 2,04% Si

Kuleczki potu na walcach utwardzonych składały się z:

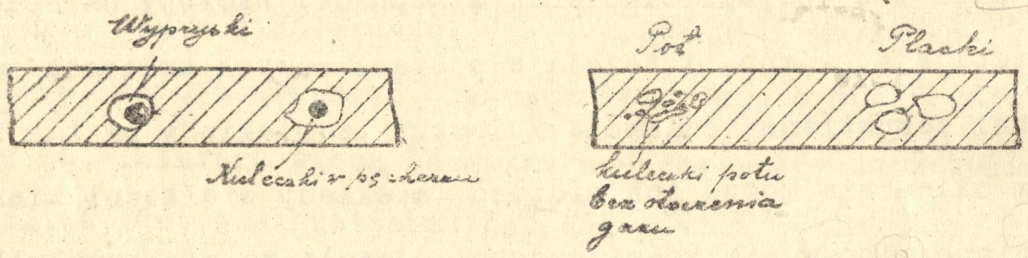
2,01% C 6,69% P 0,4% Mn 0,52% Si

podczas gdy masa żeliwna zawierała tylko 0,5% P.- Kuleczki potu występują przy walcach utwardzonych najczęściej na granicy wału walca i czopu.-

Kulki " potu " należy odróżnić od kuleczek wyrzucanych z płynnego żeliwa podczas spuszczania do kadzi albo podczas odlewa

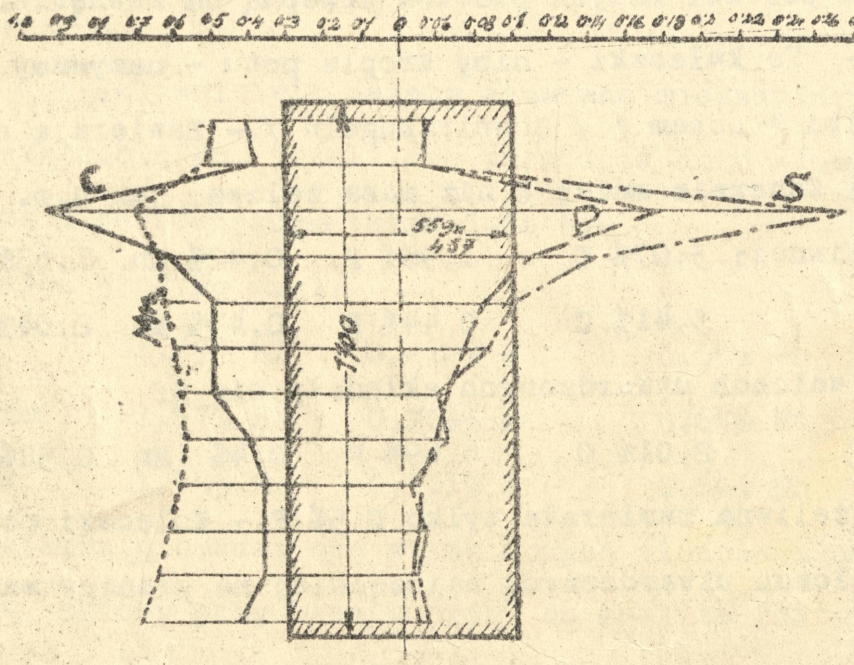
nia do formy.- Kuleczki te nazywamy " wypryskami ".- Te "wypryski" spotykamy przeważnie wtedy, jeżeli masa żeliwna nie jest dobrze przegrzana; wówczas przy uderzeniu prądu żeliwa o powierzchni kąpieli żeliwnej w kadzi, albo o spód formy wyskakują w górę kuleczki, stygną, opadają na powierzchnię płynnego żeliwa, albo topnieją, albo zatrzymują się w postaci kulek, otoczone często warstwą gazu pęcherzyków, w szybciej stygnących częściach odlewu.- Ta warstwa gazu tworzy się około kuleczki z tego powodu, że żarząca kulka pokryła się będąc w powietrzu rdzą, która reagując z węglem jej otoczenia wytwarza gaz CO w/g. wzoru: FeO + C = CO + Fe

Rys. 89.



Rozmieszczenie składników w bloku stalowym odlanym w kokili:-

Rys 90.



R o z m i e s z a n i e s t a l i w a .-

W staliwie jakoteż w stali zlewnej przebieg rozmieszania jest inny, jak w żeliwie.- Tutaj rozmieszania następują już podczas tworzenia się kryształów krzepnącej masy.- To rozmieszanie ograniczyć się może tylko do kryształów samych, albo ogarnia cały odlew; w pierwszym wypadku pojedyncze kryształy posiadają inny skład chemiczny niż kryształy sąsiednie; w drugim wypadku mamy w odlewie warstwy o różnym składzie.- Tak jak w żeliwie tworzą się wysięki w staliwie w najpóźniej krzepnących częściach odlewu.- Mamy tutaj do czynienia także przeważnie z wysiękami siarczków i fosfidów, otaczających zwykle kryształy ferytu; oprócz tych siarczków i fosfidów spotykamy w staliwie często wysięki tlenków / FeO . MnO - Al_2O_3 . SiO_2 / pochodzące albo ze żużla albo z dodatków stosowanych w celu dezoksydacji staliwa.- Wysięki te obniżają wytrzymałość staliwa w czerwono gorącym stanie i przyczyniają się często do " pęknięć na gorąco ".-

Sposoby badania rozmieszania żeliwa i staliwa.-

Chemiczna analiza wykazuje, że spostrzeżony wysięk ma dany skład chemiczny.- Metalograficzne badanie odkewu natomiast wskazuje wyraźnie miejsca rozmieszania i także tutaj odgrywa obecnie ważniejszą rolę niż analiza chemiczna.-

Wysięki fosforyczne ujawniają się w staliwie, jeżeli wytrawiamy szlif roczynem chlorku amonowego miedzi w wodzie /12%/; strefa rozmieszania fosforycznego jest ciemna.- Do badania żeliwa lepiej stosować według Martensa roczyn kwasu azotowego w alkoholu / 4 cm^3 HNO_3 o c.wł. 1,4 w 100 cm^3 alkoholu /.-

Wysięki siarczku konstatujemy łatwo n.p. sposobem Bauma na, kładąc na szlifowaną powierzchnię Bromsilberpapier zamaczany w słabym kwasie siarkowym / 1 cm^3 konc. H_2SO_4 o c.wł. 1,84 w 60 - - 100 cm^3 wody /.- Po 10 sekundach papier w miejscach wysięku czerniejе

c/ P ę c h e r z e .-

Jamy skurczowe są próżne, posiadają ściany nierówne, obsadzone kryształami; natomiast pęcherze tworzą się wskutek uchodzących gazów zawartych w metalu przedewszystkiem podczas krzepnięcia części odlewu najpóźniej stygnące i zatrzymanych z jakiegokolwiek powodu w masie metalu; ich powierzchnia jest gładka i lśniąca, pęcherze posiadają kształt kul lub gruszki.- W pęcherzach nie spotykamy żadnych kryształów ani wysięków, jak w jamach skurczowych; niekiedy tylko kuleczkę stężałego żeliwa t.zw. " wypryск "-

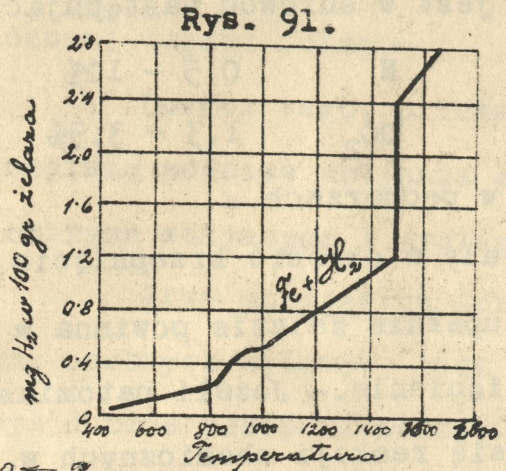
Żelazo ma sposobność stykać się z następującemi gazami:
1/ tlenem i azotem z powietrza umyślnie wprowadzonego do żelaza / Bessemer, Thomas / albo nie umyślnie / Martin, Kopulek, tygiel/
2/ wodorem przeważnie z rozkładu wilgoci
3/ tlenkiem lub dwutlenkiem węgla albo z gazów spalinowych / Martin, piec płomienny / albo z naboju pieca.-

Już surowiec tworząc się z rudy w wielkim piecu w wysokiej temperaturze pod dużem ciśnieniem pochłania sporą ilość gazów.- Wprawdzie uchodzi podczas spustu pewna część.- Przy przetapianiu w piecach kopulakowych lub płomiennych styka się płynne żeliwo z inną mieszaniną gazów, z których pewną część wchłania.- W piecu płomiennym po ukończonem stopieniu jeszcze dłuższy czas zatrzymujemy żeliwo i przegrzewamy jej ciekłość żeliwa, jakoteż depresja panująca w piecu płomiennym przyczyniają się do oczyszczenia kąpieli żeliwnej od gazów.- Żeliwo kopulakowe zawiera naogół zawsze więcej gazu, niż żeliwo z pieca płomiennego.- Żelazo wchłania przeważnie następujące gazy: wodór, azot, tlenek węgla.-

Najwięcej bywa w żelazie wodoru pochodzącego z pary spalin lub powietrza.- Zależnie od temperatury ciśnienia panującego w piecu ilości wodoru są różne.- Im wyższa tempt i ciśnienie, tem

większa ilość wodoru, jak widać z wykresu na rys. 91.- W momencie

Rys. 91.



krzepnięcia / 1528° / obniża się gwałtownie zdolność żelaza zatrzymania wodoru i gaz ten w dużych ilościach uchodzi z żelaza / 130 cm^3 H na 1 kg żelaza przy temp. 0° i 760 mm /.- Wodór rozpuszcza się nie tylko w żelazie płynnym, lecz także w stałym.- Miękkie żelazo przegrzane do 730 - 1000° wchłania bardzo duże ilości wodoru, który znowu oddaje, jeżeli stygnie powoli.- Żelazo stydzone bardzo szybko zatrzymuje wodór.- Żelazo także w stanie stałym wchłania wodów n.p. przy " wytrawianiu":

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2$$

Azot w żelazie znajduje się w stanie rozpuszczonym tak jak wodór.- Azot prawdopodobnie tworzy z żelazem związek Fe_4N_2.- Przegrzewanie żelaza w gazie amoniakowym wchłania w temp. 800° nawet 11,1% wag. azotu.- Biały surowiec zawiera zwykle więcej azotu niż surowiec szary.- Stal zawiera więcej azotu niż surowiec, stal z gruszki zawiera go więcej niż stal z pieca martinowskiego.- Zawartość azotu w żelazie ma wpływać dodatnio na wytrzymałość, ujemnie na zwięzłość.-

Tlenek węgla w żelazie pochodzi albo wprost z gazów, albo z powodu reakcji chemicznej węgla i tlenu w postaci powietrza, czy różnych tlenków n.p. FeO.-

$$FeO + C = Fe + CO$$

$$Fe + CO = FeO + C$$

$$4\,Fe + CO = Fe_3C + O$$

Tlen znajduje się przeważnie w żelazie w postaci tlenków MnO, FeO, SiO_2, Al_2O_3.-

Skład chemiczny gazów jest w surowcu następujący:

H	46,8 - 58,3%	N	0,5 - 10%
CO	37.3 - 48,4%	CO_2	1,3 - 3,9%

Ciśnienie gazów w pęcherzach.-

Jeżeli pęcherze powstały w okresie krzepnięcia, więc w wysokiej temp., to w wystygłym zupełnie żelazie powinna w pęcherzykach panować depresja, a nie ciśnienie.- Jeżeli natomiast pęcherze powstają z powodu odbywającej się reakcji chemicznych w płynnym żelazie, to w wystygłym żelazie mogą pęcherze być pod ciśnieniem.- Badania wykazały, że niekiedy ciśnienia gazów w pęchęrzach wahają się od 3 - 8 atm.

P r z y c z y n y t w o r z e n i a s i ę
p ę c h e r z y .-

Wiemy, że żeliwo zawiera pewną ilość gazów,.- Ale ta ilość gazów nie jest dla odlewów tak niebezpieczna, jak inne przyczyny warunkowane sposobem odlewania, jakością formy, składem chemicznym materjału formierskiego i t.d.-

1/ Wprowadzanie powietrza do formy podczas odlewania.- Metaliwo czy żeliwo nie zawierające gazów zupełnie nie daje gwarancji dobrego odlewu, jeżeli podczas odlewania z prądem płynnego żeliwa wprowadzamy do formy powietrze.- Odlewanie odbywać się winno zawsze, przedewszystkiem przy formach średnich, w ten sposób, aby wlew zawsze był pełny; warunek ten łatwo zachować za pomocą odpowiednio wielkiego zbiornika obok wlewu.- Zbiornik połączony z wlewem oddaje i tę cenną usługę, że podczas odlewu gromadzą się w nim wszelkie nieczystości / żużel, piasek /, które przypadkowo dostały się do żeliwa.-

2/ Powietrze nie może się odpowiednią szybkością wydobyć z formy podczas odlewania.-

a/ Aby powietrze w miarę napełniania się formy żeliwem mogło

łatwo opuszczac formę, stosujemy przy średnich i dużych odlewach zawsze t zw. "wyloty", urządzone - o ile tylko możliwe - na najwyżej położonej części formy.-

b/ Oprócz tego, przeważnie przy dużej powierzchni odlewu rozluzniamy podczas ubijania piasku w formie piasek za pomocą drutów ostrych wbijanych i wyciąganych.-

c/ Przy mniejszych formach, n.p. płyty kuchenne, nie urządzamy osobnych wylotów, lecz starać się musimy, aby materjał formy był dobrze przepuszczalny, aby nie był za silnie ubity.- Jeżeli powietrze nie może uchodzić z formy dosyc szybko, czy przez wyloty, czy też przez piasek, wówczas przezwycięża ciśnienie żeliwa i uchodzi przez odlew.- Powietrze przechodzące przez płynne żeliwo ogrzewa się znacznie, powiększa 4 - 5-krotnie swoją objętość /przy staliwie 7-krotnie /.- Mówimy w tym wypadku, że żeliwo " burzy się".- Przy odlewaniu długich wydrążonych walców / n.p. rur / powietrze uchodzić winno swobodnie tak przez piasek formy i przez ściany skrzyni, jakoteż przez porowatą glinę i przez rdzeń.- W tym celu tak w skrzyniach żeliwnych, jakoteż w rdzeniach wiercimy otwory odległe od siebie co kilkadziesiąt mm.-

3/ Przy odlewaniu form świeżych tworzy się przy odlewaniu para o dużej prężności.- Piasek form świeżych zawiera 8 - 10% wilgoci.- Jeżeli nie może dosyć szybko wydostać się z formy, niszczy formę, przeważnie wtedy, gdy ciepłość żeliwa jest mała.- Przy odlewaniu form suchych mamy także do czynienia z parą, o ile forma nie jest dobrze wysuszona.- Niebezpieczeństwo dla formy jest tutaj daleko większe, bo formy suche ~~przesuniemy~~ stosujemy przy dużych stosunkowo odlewach, gdzie duża masa płynnego żeliwa wytwarza raptownie w niedosyć suchych formach bardzo duże ilości pary.-

4/ Podobna przyczyna tworzenia się pęcherzy w żeliwie zaistnienie także wtedy, jeżeli w materjale formieskim, /piasku /

znajdują się węglany wapna, czy magnezu.- Pod wpływem wysokiej temperatury ulegają węglany te prażeniu i wydobywający się przy rozkładzie ich kwas węglowy CO_2 niszczy formę i przechodząc do płynnego żeliwa tworzy w niem pęcherze, o ile ciekłość żeliwa nie jest już dosyć duża.-

5/ Zimne kokile.-

Wiemy, że ciężar gatunkowy płynnego żeliwa jest mniejszy niż żeliwa stałego; a jednak kawałek zimnego żeliwa wrzucony do kąpieli wyrzucany z niej bywa gwałtownie.- Przyczyny tego zjawiska nieoczekiwanego należy szukać w fakcie, że na powierzchni zimnego żeliwa, czy żelaza zgęszcza się powietrze i przylega silnie do niego, następnie w fakcie, że w porach żelaza znajdują się różne gazy H_2O, O, N absorbowane z powietrza.- Z kawałka żelaza, wrzuconego do płynnego żeliwa, wydobywają się tak gwałtownie gazy i tak rozszerzają swą objętość, że uchodząc z ogromną chyżością do góry wyrzucają z kąpieli kawałek żelaza.- Z tego powodu należy przez odlewanie ogrzac kokile, obojętne czy stosujemy je jako całe formy /walce utwardzone/, czy też jako części formy / płyty studzące/.-

6/ Reakcje chemiczne w płynnym żeliwie czy staliwie.-

a/ O " wypryskach " / Spritzkugeln / była już mowa.-

b/ " Pluskwy ".- Na powierzchni żeliwa płynnego będącego w kadzi gromadzą się niekiedy różne ciałka, pochodzące od prędzej krzepnących połączeń tlenowych t.zw. " pluskwy ".- Wlane przez nieostrożność z żeliwem do formy rozkładają się tworząc gaz CO

Rutes! TAK! JEST! KUTAS! Mu Mu

$$\cancel{MO} + C = \cancel{M} + CO$$

Metal-ogólnie

c/ Niedobrze cynowane, albo nawet surowe " podpinki " / Kernstützen / pokryte są rdzą, która pod wpływem zawartego w płynnym żeliwie węgla odtlenia się, przyczem tak samo jak przy pluskwach powstaje CO -

d/ Zardzewiałe kokile przyczyniają się z tego samego powo-

du do tworzenia gazów.- / Kokile jako formy utwardzonych walców, wzgl. jako wlewnice w stalowniach /.-

e/ Z tem samem zjawiskiem mamy do czynienia, jeżeli piasek formierski zawiera dużo tlenku żelaza Fe_2O_3.- W tym wypadku tak samo pod wpływem węgla w żeliwie odtlenia się Fe_2O_3 na Fe O tworząc CO w myśl wzoru:

$$Fe_2O_3 + C = 2\ FeO + CO$$

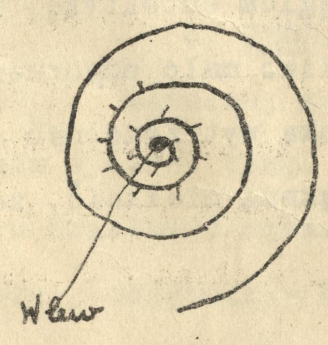
Wewnątrz odlewu tworzy się duży pęcherz tuż pod powierzchnią odlewu; górna ściana pęcherza kurczy się i tworzy wklęsłe miejsce; mamy wrażenie, jakoby żeliwo się"osadziło".-

d/ CIEKŁOSC ŻELIWA.-

Ciekłość jest najważniejszą własnością metali, czyni je zdatnemi do celów odlewniczych; tylko dobrze ciekłe żeliwo potrafi wypełnić dokładnie najdelikatniejsze kontury formy.- Ciekłości nie wolno utożsamiac z łatwą topliwością.- Białe żeliwo jest łatwiej topliwe niż szare, a jednak jego ciekłość jest znacznie mniejsza w normalnych warunkach.-

Ciekłość zależy od wielkości tarcia zewnętrznego najmniejszych cząsteczek płynnego metalu, od t.zw. " lepkości ".- Im większa lepkość, tem większe tarcie, tem mniejsza ciekłość.- Lepkość, a więc i ciekłość, zależy przedewszystkiem 1/ od składu chemicznego, 2/ od temperatury przegrzania i 3/ od ilości łatwo topliwych, czy trudno topliwych stopów w rozczynie płynnym metali.-

Rys.92.



Ciekłość mierzymy w praktyce odlewniczej według długości pręta o małym stosunkowo przekroju.- Ciekłość danego gatunku żeliwa jest tem większa / przy tej samej temp odlewa-

nia /, im dalej bieży we formie płynne żeliwo, im dłuższy więc jest odlany pręt.- Jeżeli podczas odlewania formy przy obniżającej się zwolna temp. tężeje większa ilość stopu o wyższym punkcie topnienia, wówczas te skrzepłe stopy kładą się - niby kamienie - na drodze prądu płynnego metalu; zwalniając jego chyżość nie zezwalają mu - wobec dalszego spadku temp. - wypełnić tak długiej formy pręta, jaką wypełnia inny metal, krzepnący w innych warunkach.- Jeżeli reszta metalu pozostającego w stanie płynnym posiada dużą ciepłość, to pręt odlany mimo tych przszkód będzie dość długi.- Ale jeżeli i ta reszta jest bardzo lepka, wówczas długość odlanego pręta będzie znacznie ~~dłuższa~~.-

Żeliwo z dużą zawartością siarki / 0,2% / jest mało ciekłe.- Wysokotopliwe siarczki manganu stygną prędzej i obniżają ciepłość.-

W nowszych czasach mierzymy ciekłość pośrednio przez oznaczenie lepkości za pomocą specjalnych przyrządów "wiskozymetrów". Widzimy z powyższych powodów, że nie zawsze ostatecznie decyduje skład chemiczny o stopniu ciekłości, czy lepkości.-

a/ Skład chemiczny.-

Z praktyki odlewniczej wiemy, że żeliwo bogate w fosfor / do 2% / jest bardzo ciekłe przy stosunkowo niskiej temp.- Z tego powodu stosujemy do wyrobu odlewów cienkościennych / rury, płyty cienkie, odlewy artystyczne / surowce fosforyczne.- Tak dużą ciekłość fosforycznego żeliwa tłumaczyć można w ten sposób, że zawarty w żeliwie fosfor tworzy z żelazem i węglem eutektykę, krzypnącą dopiero przy 953° C.- Fosfor czyni żeliwo mało odpornem na uderzenie, kruchem.- Gdzie nie chodzi o wysoką wytrzymałość odlewu, stosujemy chętnie tylko ze względu na większą ciekłość, żeliwo z zawartością około 0,5% P.-

b/ Temperatura.-

W wypadkach, gdzie ze względu na wymaganą wytrzymałość, czy na uderzenie / duże odlewy maszynowe /, czy też na działanie zmienne wysokich temperatur / kokile w stalowni / nie wolno stosować tak bogatego w fosfor żeliwa, wyższą ciekłość osiągamy tylko przez wyższe przegrzanie ponad punkt stopnienia, co jest niezbędnie konieczne przy odlewaniu cienkościennych odlewów.-

Białe żeliwo do wyrobu odlewów / odlewy temperowane, odlewy perlityczne / wymaga dużego przegrzania, dochodzącego n.p. przy odlewach perlitycznych do 1480° C i wyżej.-

c/ Temperatura topnienia.-

Zdawałoby się, że te składniki, które obniżają temperaturę topnienia, wywierają dodatni wpływ na ciekłość.- Czyste żelazo topnieje przy 1528° C bez C.- Żeliwo z zawartością 0,3 Mn, 0,3% P i 0,6% Si topnieje tem łatwiej, im więcej ma węgla chemicznie związanego, a mianowicie przy 1,6% C_z wynosi temp. topnienia 1210° C przy 4% C_z wynosi temp. topnienia 1088° C.- Tymczasem ciekłość takiego żeliwa przegrzanego normalnie nie będzie duża; powiększy się ona przez dodatek krzemu, chociaż Si sam przez się - tak jak grafit podwyższa temp. topnienia, prawdopodobnie dlatego, że wydziela grafit, który jest złym przewdonikiem ciepła w porównaniu do żelaza.- Naodwrót grafit, jako słaby przewodnik ciepła, stygnąc powoli nie zezwala na szybkie obniżenie temp. płynnego żeliwa i powiększa jego ciekłość.- Czyni to tylko t.zw. grafit eutektyczny.- Grafit wolny obniża bowiem ciekłość.-

e/ PĘCZNIENIE ŻELIWA.-

Wiadomo, że wszystkie ciała, - więc także żeliwo - pod wpływem wyższej temp. wydłużają się, wzgl. rozszerzają się, po ustaniu działania wyższej temp. stygną i przyjmują pierwotną długość wzgl. objętość.- Od tego wydłużenia wzgl. rozszerzenia żeliwa należy odróżniać pęcznieje żeliwa, polegające na wzroście

objętości danego odlewu spowodowanym dłuższem działaniem gorąca / gorące gazy spalinowe, gorąca para ect ,/zwrost objętości odlewu pozostaje stały po wystygnięciu odlewu.-/

Pęcznienie żeliwa jest z dwóch powodów niepożądane: wytrzymałość jego obniża się i wymiary odlewu zmieniają się wskutek czego n.p. przy cylindrach maszyn spalinowych powstają naprężenia niebezpieczne.- Pęcznienie żeliwa polega na przemianie składników struktury i na rozluźnieniu zwięzłości; tem się tłumaczy obniżenie wytrzymałości.-

Wpływ składników żeliwa na pęcznienie.-

Żeliwo białe - nie zawierające żadnego grafitu - ma małą skłonność do pęcznienia, jak długo nie następuje przemiana karbidu żelaza / Fe_3C / na węgiel żarzenia i na feryt pod wpływem wahań temp. i stałego działania gazów spalinowych.- W daleko wyższym stopniu pęcznieje żeliwo szare z powodu zawartości grafitu który w temp. 700° C spala się według wzoru $C + O_2 = CO_2$ albo w/g. wzoru $2C + O_2 = 2CO$; inni badacze spostrzegli, że grafit spala się w daleko większych temp. 800 - 950° C.w sprzeczności z temi wynikami są wyniki prof. Piwowarskiego, który skonstatował ubytek zawartości węgla w żeliwie o 10 - 15% przy długotrwającem działaniu gorącej pary o temp. 350° C.- Największy wpływ na pęcznienie wywiera zawartość krzemu w żeliwie, żeliwo białe zawierające 0,2 - 0,3 Si nie pęcznieje prawie nic; pozatem wiemy, że krzemień jest przyczyną wydzielania się grafitu, powodującego pęcznienie. niektórzy badacze są jednak zdania, że Si pod wpływem gorącego powietrza utlenia się na SiO_2 / $Si + O_2 = SiO_2$ / tak jak utlenia się pewna część żelaza / $2Fe + O_2 = 2FeO$ /.-

Wpływ fosforu nie jest dotąd jednolicie określony.- Niektórzy sądzą, że fosfor zmniejsza pęcznienie z tego powodu, że eutektyka fosfidyczna topniejąca w temp. 953° C utrudnia wnikanie

gorących gazów wzgl. powietrza do wnętrza odlewu.-

Wpływ manganu, utrudniającego wydzielanie się grafitu, jest dodatni przynajmniej przy zawartościach sięgających do 0,7% Mn.-

Siarka do 0,3% nie przyczynia się do pęcznienia.- Tak samo zawartość tytanu i chromu nie przyczynia się do pęcznienia.-

Oprócz tego przypisują niektórzy badacze zawartości gazów w żeliwie duże znaczenie: gazy pod wpływem wysokiej temperatury powiększają swą objętość i wywierają duże ciśnienie na żeliwo, które pod wpływem tego ciśnienia pęka.- Ciśnienie wynosi 3 - 4 kg/cm^2 przy temp. 1000° C obliczone według Gay - Lussac a.-/Teorja pęcznienia wskutek ciśnienia gazów w przeciwstawieniu do teorji pęcznienia wskutek utleniania pojedynczych składników żeliwa./

Według Nortona skłonność do pęcznienia / S / zależy od spółczynnika wydłużalności / E/, od spółczynnika elastyczności /N/, od wytrzymałości na rozerwanie /T/ i od przewodności ciepła /h/ według wzoru:

$$S = \frac{E}{M \cdot T \cdot h^2} = \frac{E}{M \cdot T \cdot h^2}$$

Stopień pęcznienia jest w odwrotnym stosunku do wytrzymałości; wyniki badań wskazują, że przy powiększeniu objętości wskutek pęcznienia o 40% zmalała wytrzymałość o 40%.- Wskutek pęcznienia zmiania się rzecz jasna - także ciężar gatunkowy; ciężar gatunkowy maleje nagół, chociaż ciężar utlenionych składników / SiO_2. FeO / wzrasta.-

Wpływ temperatury: Największe pęcznienie spotykamy przy temp. 600 - 850°C.-

<u>Wskazówki dla praktyki</u>: Odlewy niepęczniejące powinny zawierać mało krzemu / - 1% Si! / przy średniej zawartości węgla / 2,7 - 3,2% /.-

Uwaga na N= stronę

w piecach poziomych, w których końce rur ułożone są na podporach Z powodu wysokiej temp. żeliwo rur przechodzi w stan plastyczny i łatwo rury deformują się i przeginają; pierwotny przekrój okrągły staje się owalny.- Tę niedogodność starają się odlewnie ominąć, wyżarzając rury w pozycji wiszącej pionowo w piecach pionowych.- W każdym razie wyżarzanie powoduje duży wydatek paliwa i w dużej mierze obniża oszczędności osiągnięte na zarobkach formierzy, jądrarzy i na materjale formierskim.- Drugą dużą bolączką sposobu wirującego De Lavand jest mała wytrzymałość kokil.- Kokile te wywiercone wewnątrz na gładko jak lufy armatnie wykonuje się albo ze stali chromo-niklowej albo z żeliwa hematytowego.- Najmniejsze pęknięcie powierzchni wewnętrznej kokili powoduje jej dalszą nieużyteczność.- Sposób wirujący odlewu rur pod względem technicznym wzbudza wszędzie dużo zainteresowanie, gdyż umożliwia masową produkcję wymagającą tylko kilku robotników i stosunkowo mało miejsca.— Niedawno w Polsce puszczono w ruch w Ostrowcu odlewnię rur sposobu De Lavalld / Gelsenkirchen /.-

Bardzo duże znaczenie przypisuje się często sile odśrodkowej ze względu na gęstość odlewu i na brak pęcherzy i zanieczyszczeń w żeliwie.- Jeżeli zważy się jednak, że żeliwo natychmiast po zetknięciu się ze ścianą kokili krzepnie, łatwo pojąć, że nie siła odśrodkowa czyni żeliwo gęste i zwięzłe, lecz tylko szybkie natychmiastowe krzepnięcie, nie zezwalające na wydzielanie się grafitu.-

Rura wodociągowa narażona jest na hydrauliczne ciśnienie wewnętrzne.- Z nauki o wytrzymałości cylindrów wiemy, że przy danem ciśnieniu wewnętrznem natężenie żeliwa w ścianie wewnętrznej cylindra jest najmniejsze, w ścianie zewnętrznej największe

Pod tym względem odlew wirowy nie odpowiada, gdyż ściana wewnętrzna posiada mniejszą wytrzymałość niż ściana zewnętrzna - Ponieważ jednak grubość ściany rur jest stosunkowo mała, fakt

powyżej przytoczony nie odgrywa w praktyce większej roli.-

Nie ulega wątpliwości, że żeliwo białe i następnie wyżarzone posiada większą wytrzymałość na rozerwanie niż to samo żeliwo odlane do formy z piasku i krzepnące powoli.- Dla praktyki wodociągowej i ten moment nie przedstawia większej wagi.- Najwięcej kłopotu mają wodociągowcy z rurami o małych średnicach 40 – 100 mm; te rury najczęściej się łamią / nie pękają!/ z powodu niedokładnego ułożenia w ziemi; tymczasem tak małych rur nie można odlewac sposobem wirującym, ograniczonym do średnic 100 - 400 mm.-

Wniosek, jakiby można wyciągnąć z większej wytrzymałości na rozerwanie, jest ten, żeby można zmniejszyc grubość ścianki i oszczędzić na materjale.- W Ameryce, gdzie grubości ścianek rur były 30 - 45 mm większe niż w Europie, oszczędzono rzeczywiście na materjale około 20% obniżając przy sposobie wirującym grubość ścianek rur do wymiarów stosowanych dla rur w Europie.-

Sposób wirujący Cammen a i Hurst Ball a.

Cammen i Hurst Ball stosują bardzo grube kokile staliwne ogrzane do temp. 300° C w celu ominięcia konieczności wyżarzania rur po odlewie.- Ani rynna, ani obracająca się kokila nie przesuwa się; żeliwo ścieka przez kilka otworów rynny równocześnie do formy, przez co ma otrzymać się łatwiej równomierną grubość ścianki niż przy sposobie De Lavaud.

Sposób wirujący Moore a.-

Aby uniknąć kosztownego wyżarzania Moore stosuje kokile żeliwne wyprawione wewnątrz warstwą dobrze ubitego piasku formierskiego.- Do kokili - będącej w stanie spokoju - wlewa Moore odpowiednią ilość żeliwa dobrze przegrzanego; następnie puszcza kokilę odrazu w bardzo szybkie obroty; żeliwo stygnie na ścianach formy o złomie szarym i nie wymaga dalszego wyżarzania.-

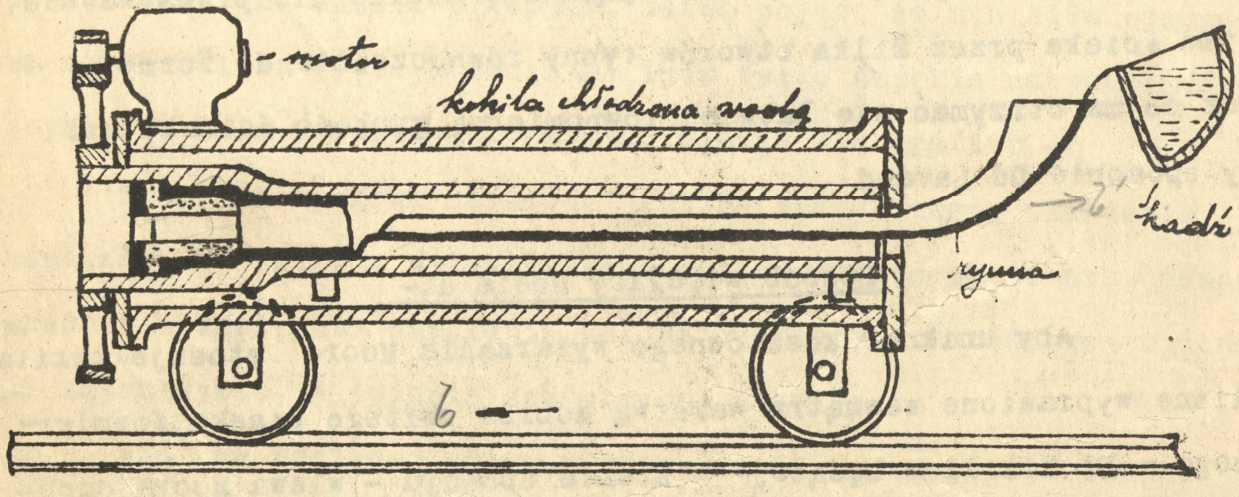
w kierunkach a i b / do ilości wylewanego z kadzi żeliwa w jednostce czasu Ponieważ chyżość krzepnięcia i stygnięcia żeliwa zależy od stopnia przegrzania ponad punkt topnienia i od jego składu chemicznego, jakoteż od tepm. kokili, więc chyżość ruchu w kierunkach a i b wzgl. a' i b' jakoteż szybkość lania dostosowana być powinna i do tych trzech czynników.-

Te same trudności pokonać należy i wtedy jeżeli zamierzamy odlać rurę jednolitą o wymaganej grubości ścianki w kokili wirującej.- Nie samo w i r o w a n i e nastręcza trudności, lecz odpowiedni sposób rozdziału żeliwa płynnego na całej długości kokili.- Ruchowi płyty w kierunku b odpowiada przesuwanie kokili, ruchowi płyty w kierunku a odpowiada chyżość obracania kokili, t.zn. ilość obrotów na jednostkę czasu.- Rozdział płynnego żeliwa w obracającej się kokili uskutecznić możemy w sposób dwojaki:

1/ Kadź z płynnem żeliwem wzgl. koniec rynny jest w pozycji stałej, natomiast przesuwamy obracającą się kokilę w odpowiednim kierunku poziomym.-

2/ Obracająca się kokila nie przesuwa się, natomiast rynna porusza się z odpowiednią szybkością od jednego końca rury do drugiego

Rys. 96.



Rys. 96 przedstawia sposób pierwszy.- Jeżeli wózek z kokilą posuwamy w kierunku b za szybko, wówczas odlew nie będzie przedstawiał rury ~~nie~~szczelnej, jednolitej, lecz mniej lub więcej od siebie oddalone, lub mniej lub więcej spojone ze sobą pasy spiralne Ponieważ rury wodociągowe lub gazowe powinny być zupełnie szczelne i jednolite, więc ścisłe zachowanie chyżości kokili b jest głównym warunkiem.- Ze względu na wymaganą, równomierną grubość ścianki nie mniej ważną jest ilość wlewanego do kokili żeliwa na jednostkę czasu t.j. " chyżość lania ", jakoteż chyżość obwodu obracającej się kokili / ilość obrotów na 1 min. /.- Dobrą rurę otrzymamy więc wtedy, jeżeli do składu chemicznego i temperatury dostosujemy ściśle:

1/ Ilość żeliwa wlewanego do kokili na jednostkę czasu

2/ Ilość obrotów kokili na minutę

3/ Chyżość posuwania kokili wzgl. rynny w kierunku b / wzgl. b' /

4/ Temperaturę kokili, chłodzonej wodą.-

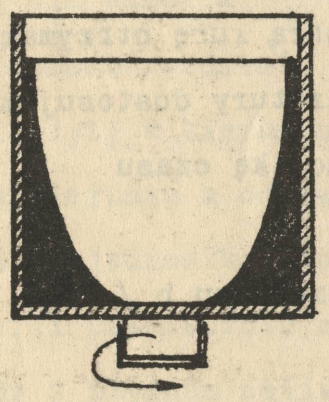
Sposób powyżej przedstawiony znany jest od r. 1916 jako sposób De Lavaud.- Trochę odmienny sposób stosuje Gelsenkirchner Bergwerks u. Huttengesellschaft pod nazwą sposobu Briede a.-

Sposób wirujący De Lavaud: Do obracającej się zimnej, chłodzonej wodą kokili ze stali lub żeliwa wlewamy w jednostce czasu pewną określoną ilość płynnego żeliwa, dobrze przegrzanego za pomocą rynny stałej, przyczem podczas odlewania przesuwamy obracającą się kokilę z odpowiednią szybkością.- Rury odlewane sposobem De Lavaud w stosunkowo zimnej kąpieli są na zewnętrznej ścianie twarde z powodu szybkiego krzepnięcia i stygnięcia żeliwa i obarczone dużemi naprężeniami wewnątrz materjału.- W celu zmiękczenia odlewu, jakoteż w celu usunięcia naprężeń rury należy po odlewie przez kilka godzin równomiernie w temp. sięgającej 900°C wyżarzać.- W tej wysokiej temp. rozkłada się karbid żelaza Fe_3C i żeliwo nabiera miękkości.- Zwykle dotąd wyżarzanie rur odbywa się

7/ ODLEWANIE SPOSOBEM WIRUJĄCYM.-

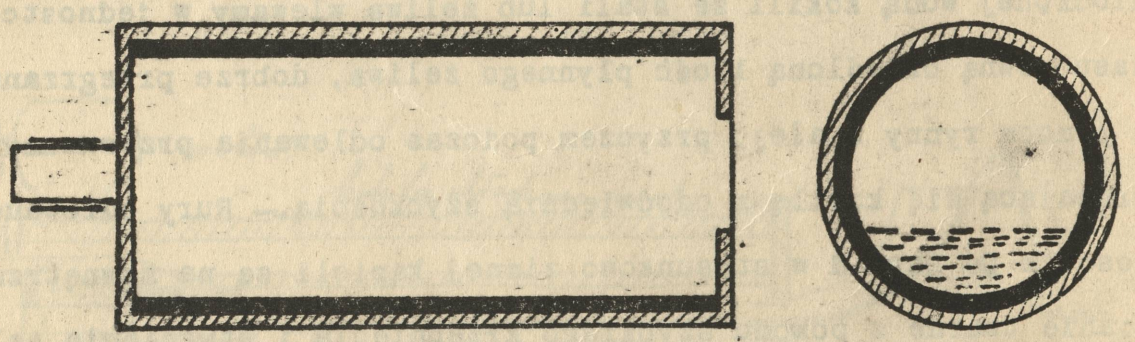
Ciecz, znajdująca się w naczyniu, obracającem się szybko koło osi pionowej, z powodu siły odśrodkowej rozmieszcza się wzdłuż ścian naczynia, przyjmując kształt paraboloidy obrotowej.- Grubość warstwy cieczy nie jest równomierna; u góry warstwa tej cieczy jest bardzo cienka, u dołu znacznie grubsza / rys.93 /.- Jeżeli ta ciecz byłoby żeliwo płynne, to cienka warstwa już krzepnie i stygnie, podczas gdy dolna grubsza warstwa jest jeszcze w stanie płynnym.- Tak nierównomierne krzepnięcie i stygnięcie żeliwa byłoby powodem dużych naprężeń w odlewie.-

Rys. 93.



Inaczej przedstawia się sprawa, jeżeli naczynie obraca się około osi pionowej.- Ciecz wlana do naczynia poziomego i obracającego się szybko z powodu siły odśrodkowej rozmieści się równomiernie na ścianach naczynia.- Gdy naczynie przestaje się obracać, wówczas ciecz gromadzi się na spodzie naczynia.- Żeliwo płynne jest także cieczą; podczas szybkiego obracania się naczynia rozmieści się także równomiernie na ścianach, krzepnie, stygnie, i po ustaniu obracania się naczynia pozostaje w postaci wydrążonego walca.-

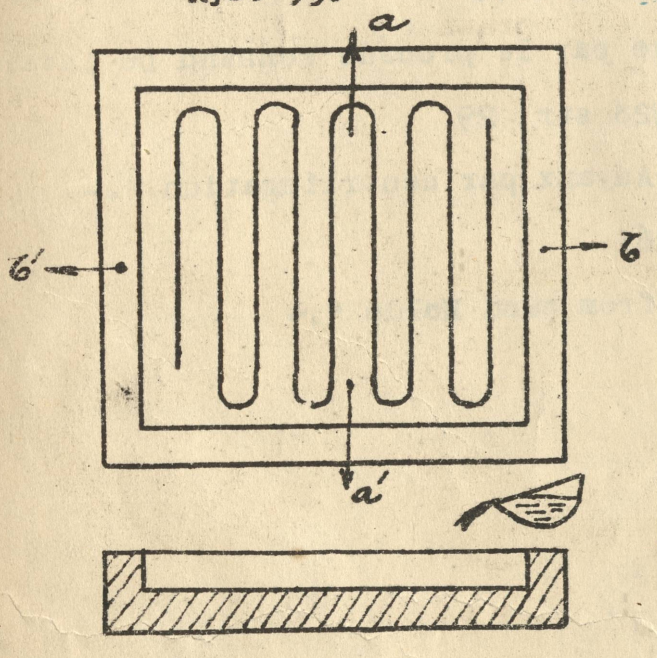
Rys. 94.



Rura ta żeliwna kurczy się stygnąc i łatwo można ją wyciągnąc z naczynia, jeżeli denko naczynia usuniemy.-

Z powodu szybkiego krzepnięcia i stygnięcia żeliwo nastręcza dużo trudności.- Żeliwo wlane naraz do cylindra ze stali lub żeliwa natychmiast krzepnie częściowo; otrzymanie równomiernej grubości ścianki jest niemożliwe.- Łatwo to zrozumieć; jeżeli na płytę żeliwną poziomą, nieruchomą nalejemy płynnego żeliwa w jednem miejscu, to otrzymamy odlew o nierównej grubości ścianki.- Jeżeli natomiast podczas odlewania poruszamy przy stałej pozycji kadzi czy łyżki odlewniczej płytę, to prąd płynnego żeliwa trafia coraz to inne miejsca płyty i przy odpowiedniem uregulowaniu szybkości lania i ruchu płyty / kokili /, otrzymać możemy odlew / płytę / o mniej więcej równej grubości ścianki.- Ten sam wynik otrzymamy, jeżeli na nieruchomą płytę nalewamy żeliwo z poruszanej odpowiednio szybko kadzi.- Jeżeli płyta porusza się w kierunku a / rys. 95 /

Rys. 95.



za szybko w stosunku do ilości wlewanego żeliwa w jednostce czasu, wówczas otrzymamy płytę cienką, o ile ruch płyty kokili w kierunku b jest odpowiednio uregulowany.- Jeżeli ruch w kierunku b jest za szybki, wówczas pasy wlewanego żeliwa krzepną z osobna i odlew płyty jest niemożliwy wcale, albo pojedyncze pasy będą tylko luźno ze sobą spojone.- Widzimy więc z tego przykładu, że warunkiem otrzymania jednolitej płyty o równomiernej grubości ścianki jest ścisłe dostosowanie chyżości poruszania płyty w kierunkach a i b / wzgl kadzi

ciąg dalszy
poprzednio

Dzisiaj w Ameryce, prodującej rocznie ca 1.500.000 t rur żeliwnych, odpada na rury wirowe ca 25% t.j. 375.000 t, z tego 75% odpada na rury De Lavand, 25% na rury Moore a.-

W Europie istnieją zakłady De Lavand w Anglji / Stanton Iron Werka / w Szwajcarji / Choindez / w Niemczech / Gelsenkirchen i Budens /.- Sposób Hurst Ball a stosuje odlewnia w Amberg /Bawarja/.-

Znamiennym jest faktem, że największa w Europie odlewnia rur w Pont a Mousson, jakoteż duża odlewnia niemiecka w Friedr.-Wilh. Hütte i Donnersmarkhütte i największa odlewnia czeska w Witkowicach dotąd nie interesują się zbytnio sposobem wirującym.-

Literatura:

Stahl u. Eisen 1924 Nr 31, 35, 40

Dr. Inż. C. Pardun: " Über die wissenschaftlichen Grundlagen des Schleudergusses ".-

Fonderie Moderne 1928 str.70

" Monlage centrifuge par le procéde sensand De Lavand".-

Fonderie Moderne 1928 str 29

" Fabrications des Auyaux par centrifugation ".-

Iron Age 15/4 1926:

" Centrifugal pipe from sand Molds ".-

Akademja Górnicza BIBLJOTEKA Kraków