

ROZDZIAŁ III.

Nagrzewanie wlewków.

7. Znaczenie racjonalnego nagrzewania.

Żeby przystąpić do gorącej przeróbki plastycznej trzeba doprowadzić metal do stanu plastycznego za pomocą nagrzewania w odpowiednim piecu i przy odpowiedniej temperaturze.

Przy gorącej obróbce plastycznej odbywają się deformacje dwóch rodzajów — zewnętrzna, oznaką której jest zmiana kształtu obrabianego metalu, i wewnętrzna, oznaką której jest zmiana struktury metalu.

Ta druga deformacja odbywa się nie tylko pod wpływem działań mechanicznych lecz i pod wpływem nagrzewania, ponieważ struktura metalu zawsze związana jest z reżimem, któremu jest poddany metal. Dlatego sprawa należytego nagrzewania wlewków jest ogromnie ważna, zależy bowiem od tego jakość gotowego produktu.

Podczas gorącej przeróbki plastycznej powstaje sporo rozmaitych defektów, nieraz zupełnie dyskwalifikujących gotowy produkt. Przeważnie zwała się to na karb stalownika, który jakoby dał zły materiał, jednak większość tych defektów (szczególnie w stalach stopowych) pochodzi jedynie z powodu nieodpowiedniego zagrzania wlewków lub operowania nimi nie we właściwych granicach cieplnych.

Niestety, do ostatnich czasów sprawa racjonalnego nagrzewania była zupełnie zaniedbana. Można było spotkać w poważnych zakładach walcowni i kuźni bardzo bogato wyposażone we wszelkie urządzenia mechaniczne, lecz mające nie dość silne lub źle skonstruowane, albo źle prowadzone piece, wskutek czego gotowy wyrób otrzymywało się z chronicznymi defektami.

Oprócz defektów w gotowym produkcie, przy złych piecach otrzymujemy większy rozchód paliwa i energii. Dopiero w ostatnich czasach zaczęto na to zwracać uwagę; powstały specjalne biura, które zajmują się konstruowaniem i budową racjonalnych pieców.¹⁾

Niedostatecznie jednak mieć dobry piec; trzeba jeszcze do tego umieć odpowiednio zagrzzać metal. W kursie niniejszym nie możemy szczegółowo poruszać tych kwestji, jednak musimy dać krótkie wskazówki co do 1) racjonalnego wygrzewania i 2) racjonalnej konstrukcji pieców.

8. Zasady racjonalnego nagrzewania.

Najważniejszą zasadą grzania, tyczącą się wszelkiego rodzaju tak miękiego żelaza jak i stali twardych, stopowych — jest:

¹⁾ U nas, w Polsce, przed paru laty powstało tego rodzaju biuro pod f.: „Piece przemysłowe“ w Katowicach, które jednak zostało zwinione. Od roku powstało drugie Biuro konstrukcyjne budowy pieców inż. R. Dąbrowskiego w Katowicach.

a) Zasada powolnego nagrzewania.

Trzeba pamiętać, że im więcej węgla i innych składników zawiera w sobie stal, tym, mniejsza jest pojemność cieplna stali. Na tabeli IV mamy podane ciepło właściwe rozmaitego rodzaju stali. Z tabeli tej widzimy, że np. żelazo ($C = 0,10$) ma ciepło właściwe $p = 0,14$; stal z zawartością $C = 1,00\%$ ma $p = 0,10$; stal chromowa z zawartością 13% Cr ma $p = 0,05$.

Również ze zwiększeniem temperatury ciepło właściwe zmniejsza się jak to widać z tejże tabeli IV.

T A B E L A IV.
Ciepło właściwe stali stopowych przy różnych temperaturach
w/g Wallquista.

S k ł a d s t a l i	Temperatura C^0	Ciepło właściwe
Żelazo	20^0	0,14
stal węglowa o zawartości $C = 1,0\%$	20^0	0,11
" " " "	300^0	0,10
" " " "	600^0	0,09
" " " "	900^0	0,08
stal węglowa o zawartości $C = 1,5\%$	20^0	0,09
" " " "	300^0	0,085
" " " "	600^0	0,08
stal chromowa:		
$C = 1,0\%$ $Cr = 1,5\%$	20^0	0,10
$C = 0,35\%$ $Cr = 13\%$	20^0	0,05
$C = 0,35\%$ $Cr = 20\%$	20^0	0,04
stal niklowa:		
$C = 0,2\%$ $Ni = 3,0\%$	20^0	0,10
$C = 0,2\%$ $Ni = 5,0\%$	20^0	0,08
$C = 0,35\%$ $Ni = 25\%$	20^0	0,035
stal wolframowa:		
$C = 1,0$ $W_0 = 1,0\%$	20^0	0,10
$C = 0,7$ $W_0 = 14\%$	20^0	0,07
$C = 0,7$ $W_0 = 18\%$	20^0	0,06

Z powyższego wynika, że im więcej stal zawiera w sobie składników, tym powolniej trzeba ją nagrzewać, żeby nie wywołać dużej różnicy w temperaturze na powierzchni wlewka i w jego środku. Przy szybkim nagrzewaniu temperatura między powierzchnią, a wewnętrznymi warstwami nie zdąży wyrównać się, co spowoduje pękanie wlewka wskutek nierównomiernego rozszerzania się tych warstw.

Czas przebywania wlewka w piecu zależy oprócz składu chemicznego od temperatury panującej w piecu, od konstrukcji pieca, pozatem od wielkości wlewka. Małe wlewki, mogą być dobrze wygrzane w ciągu paru godzin, gdy największe wlewki, przeznaczone do kucia, wygrzewa się parę dni. Dla dobrego i prawidłowego nagrzewania można zalecić takie правило: przy zawartości $C = 0,90\%$ grzać z szybkością $1\frac{1}{4}$ do $1\frac{3}{4}$ godz. na każdy cal grubości wlewka licząc do środka, co przy średniej grubości wlewka 300×300 mm. wyniesie $7\frac{1}{2}$ do $10\frac{1}{2}$ godzin. Stal z większą zawartością węgla lub stal wysokostopową trzeba grzać jeszcze powolniej, a mianowicie nie mniej niż 2 godziny na jeden cal grubości (do środka wlewka). Czas grzania wlewków stali miękiej ($C = 0,5$) można określić, wychodząc z założenia, że szybkość

przenikania ciepła wynosi 0,6 mm. na minutę, a więc wlewki o przekroju 300×300 mm. powinno grzać się $300 : 0,6 = 500$ min. = 8,3 godz.

Jedna z hut rosyjskich ¹⁾ daje taką receptę:

Skład stali:	Szybkość nagrzewania na każde 10 mm. grubości wlewka
C = 0,05 — 0,20	8 min
C = 0,20 — 0,40	10 „
C = 0,40 — 0,65	13 „
C = 0,65 — 0,90	16 „
C = 0,50 — 0,02; Cr = 0,80 — 1,10	13 „
C = 0,20 — 0,50 „ „ „	15 „
Cr = 0,20 — 0,80; Ni = 1,0 — 1,5	16 „
Cr = 0,80 — 1,75 Ni = 1,5 — 4,0	18 „

Przed wydaniem wlewka z pieca, należy go wytrzymać przy maksymalnej dopuszczalnej temperaturze w ciągu $\frac{1}{5}$ czasu wygrzewania.

A więc, np. wlewki o zawartości Cr = 0,80 — 1,75 i Ni = 1,5 — 4,0 o wymiarach 450×450 powinien wygrzewać się:

$$\frac{450}{10} \cdot 18 \neq 13,5 + \frac{13,5}{5} = 16 \text{ g. } 12 \text{ min.}$$

Jak widzimy z tych przepisów czas przebywania wlewka w piecu uzależniony jest od jego grubości. Otóż co do tej wielkości, to trzeba zaznaczyć, że całkowitą grubość wprowadzamy do powyższych wzorów w tym wypadku, jeżeli wlewki leżą na głuchym spodzie, t. j. od spodu niepodgrzewanym. Jeżeli wlewki leżą na rurach lub belkach, podniesionych nad spodem pieca i z dołu omywa się gazami, to za grubość uważamy $\frac{2}{3}$ jego grubości rzeczywistej; jeżeli wlewki ma kształt kwadratowy, okrągły lub wielokątny i ręcznie przetacza się przez piec, w ten sposób, że omywa się gazami naokoło, jak również jeżeli wlewki jest wsadzony pionowo do pieca (piece wgłębne), to w tych wypadkach przyjmujemy połowę grubości wlewka.

Np. wyżej podany wlewki o zawartości Cr = 0,80 — 1,75 i Ni = 1,5 — 4,0 o wymiarach 450×450 posadzony do pieca na rurach (od dołu podgrzewany), powinien siedzieć w piecu.

$$\frac{\frac{2}{3} \cdot 450}{10} \cdot 18 \neq 9 + \frac{9}{5} = 10 \text{ g. } 50 \text{ min.}$$

a wsadzony pionowo do pieca wgłębego:

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot 450}{10} \cdot 18 \neq 6,75 + \frac{6,75}{5} = \sim 8 \text{ g.}$$

Pozatem szybkość grzania nie jest jednakowa przy różnych temperaturach; nagrzewanie wlewków od $t = 0^\circ$ do temperatury odpowiadającej punktowi A_{1c} (a szczególnie w granicach $300-400^\circ$) powinno odbywać się jaknajpowolniej, wskutek małego stopnia plastyczności stali w tych granicach cieplnych; natomiast po przejściu tych granic szybkość grzania może być zwiększona.

Zresztą dla każdego gatunku stali są odpowiednie przepisy wygrzewania, którymi należy posługiwać się.

Z powyższej zasady, jako konsekwencja wypływa następująca:

b) Nie wolno wsadzać zimnych wlewków do pieca o wysokiej temperaturze. Niestety ta zasada jest mało przestrzegana, a to z tego względu, że temperatura w miejscach, gdzie ładują się wlewki do pieca grzewczego przekracza 600° , a w kuziennych nieraz i 1000° . Jednak trzeba pamiętać o tem, że stal wysokowęglową i stopową nie wolno sa-

¹⁾ Panasienko, „Prokatka listowej stali“.

T A B E L A V.

Temperatura kucia (walcowania) stali stopowych
w/g danych zakładów Brown Bayley (Steel Works Linde).

Skład stali stopowej	Temperatura kucia
0,15—0,20M C; 1% Ni	950—1250
0,25—0,30 „ „ 3 „ Ni	950—1100
0,25—0,30 „ „ 5 „ Ni	900—1100
0,25—0,30 „ „ 25 „ Ni	1000—1100
Cr-Ni z zawartością 1% Ni	1000—1250
0,20—0,30% C; 3% Ni; 1% Cr	850—1100
Nierdzewiąca 14% Cr	950—1200
Stal węglowa	
Przy zawartości C = 0,1%	1200
„ „ C = 0,2 „	1150
„ „ C = 0,4 „	1150
„ „ C = 0,6 „	1100
„ „ C = 0,8 „	1000
„ „ C = 0,9 „	1000
„ „ C = 1,0 „	950

T A B E L A VI.

Najwyższa temperatura nagrzewania stali
w/g Gadfield'a.

R o d z a j s t a l i	Max t°	T° spalania
0,1% C — węglowa	1450	1490
0,2 „ „ „	1320	1470
0,5 „ „ „	1250	1350
0,7 „ „ „	1180	1280
0,9 „ „ „	1120	1220
1,1 „ „ „	1080	1180
1,5 „ „ „	1050	1140
Stale stopowe:		
3,0% Ni	1250	1370
3,0 „ Cr — Ni	1250	1370
5,0 „ Ni, do cementacji	1270	1450
Stal Cr-Vanadowa	1250	1350
Stal Austenitowa Cr — Ni	1300	1380
Stal nierdzewna (14% Cr)	1280	1380

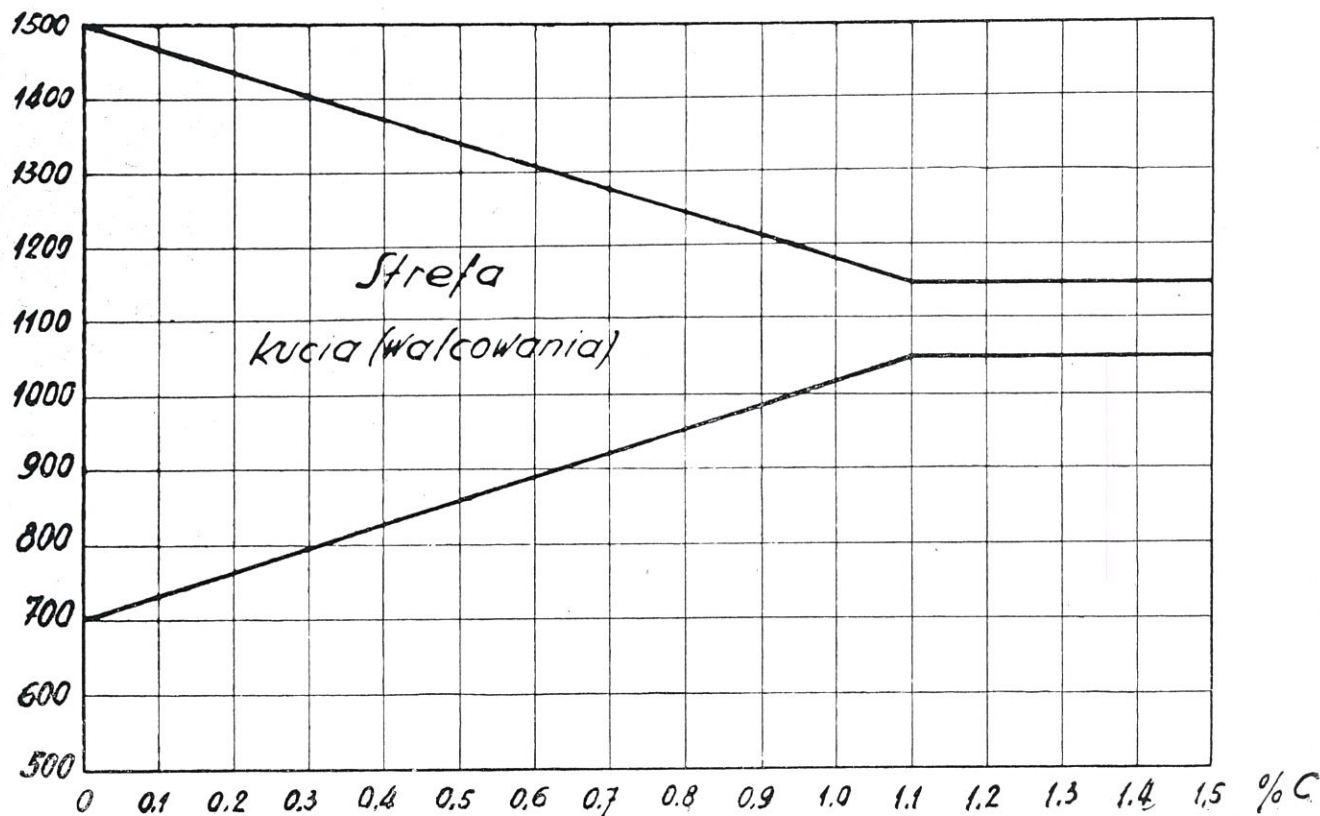
dzić do środowiska o temperaturze ponad 300—400°, a np. stale narzędziowe przy C = 1,2% jak również stale nierdzewne w zimie można sadzić do pieca o temperaturze nie wyższej 100°.

c) Każdy gatunek stali ma swoją maksymalną temperaturę do której może być nagrzany.

Niżej podajemy tablicę maksymalnych temperatur, do których można bezkarnie nagrzewać stal; w tabeli V i VI pokazane granice temperatur, przy których można obrabiać stale stopowe i na wykresie Brearley'a (rys. 29) pokazane granice temperatur, w których można obrabiać stale węglowe.

Wykres Brearley'a podaje nie tylko max. temperatury lecz granice temperatur, w których ma odbyć się przeróbka plastyczna. Jednak trzeba zaznaczyć, że linja ograniczająca maximum temperatury praktycznie powinna być o jakie 100° obniżona, gdyż nie można utrzymać tempe-

70 Wykres Brearley'a temperatur kucia stali węglowej



Rys. 29.

ratury na pewnym poziomie i łatwo ją przekroczyć, co pociągnie za sobą spalanie wlewka; dlatego powinien być ten zapas.

d) Wlewki powinny być wygrzane równomiernie, tak na wszystkich swoich powierzchniach, jak i w środku. W niektórych wypadkach, jak zobaczymy niżej, jest to trudno osiągnąć, np. we wlewkach płaskich, które używa się do walcowania blach. W danym wypadku decyduje konstrukcja pieca.

e) Stal nieuspokojona (pęcherzasta) powinna być wygrzewana przy maksymalnej dopuszczalnej temperaturze, żeby ułatwić zgrzewanie zawartych w niej pęcherzy. Takie wysokie nagrzewanie jest dopuszczalne, gdyż stal ta zawiera $C < 0,20$ i minimum innych składników. Z tego rodzaju stali wykonuje się wszelkie wyroby t. z. gatunku handlowego, jest to stal, która dopuszcza barbarzyńskie obchodzenie się z nią przy nagrzewaniu (np. sadzenie do wysokiej temperatury); jednak jeżeli chcemy otrzymać dobry produkt, np. blachy kotłowe, blachy do sztancowania i t. p. należy ją wygrzewać w/g podanych wyżej przepisów.

TABELA VII.

Marka	A n a l i z a				Temp. pieca w miej- scu sa- dzenia	N a g r z e w a n i e	Czas na- grze- wania	T e m p e r a t u r a		
	C	Si	Mn	Ni	Cr			przy wyjściu z pieca	początek walcowania	koniec walcowania
K-2	0,09—0,12	—	0,30—0,50	—	—	500—700	Stale konstrukcyjne Normalne, stopniowe w piecach metodycznych	1260—1320	1200—1260	900—950
K-3	0,10—0,15	—	0,30—0,50	—	—	500—600		1220—1250	1100—1220	830—850
K-4	0,13—0,20	0,20—0,35	0,50—0,70	—	—	500—600		1200—1250	1150—1200	800—850
K-5	0,30—0,38	0,20—0,40	0,50—0,70	—	—	500—600		1170—1200	1120—1170	800—850
K-6	0,45—0,55	0,20—0,40	0,50—0,70	—	—	300—400		1150—1180	1120—1150	800—830
K-7	0,47—0,55	0,40—0,60	0,60—1,00	—	—	500—600	Stale narzędziowe Normalne, stopniowe w piecach metodycznych	1150—1160	1090—1100	800—830
Nr 6	0,55—0,65	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	500—600		1150—1160	1090—1110	800—830
Nr 7	0,65—0,75	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	300—400		1150—1160	1090—1110	820—850
Nr 8	0,75—0,85	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	500—600		1150—1160	1090—1110	820—850
Nr 9	0,85—0,95	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	500—600		1150—1160	1090—1110	820—850
Nr 10	0,95—1,05	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	500—600	Nagrzewanie w atmosferze ściśle redukcyjnej	1200—1250	1150—1210	800—860
Nr 11	1,05—1,15	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	600—700		1250—1300	1220—1250	870—930
Nr 12	1,15—1,25	0,25—0,40	0,40—0,70	—	—	300—400		1250—1300	1210—1270	850—890
A-4	0,35—0,45	0,20—0,35	0,50—0,80	1,00—1,50	0,50—0,80	400—500		1250—1270	1190—1210	870—920
A-5	0,08—0,15	0,20—0,35	0,35—0,60	1,50—2,00	0,50—0,80	300—400		1230—1250	1180—1200	900—950
A-7	0,18—0,24	0,20—0,30	0,40—0,60	4,20—4,50	0,80—1,10	600—700	Wytrzymywanie przed wydaniem 1,5—2,0 g. " " " 2,0—2,5 " " " " 2,5—3,0 " " " " 2,0—2,5 " Wytrzymywanie przed wydaniem wlewka 2—3 godziny	1250—1300	1220—1250	900—920
X ₃	0,35—0,41	0,20—0,35	0,55—0,80	—	0,80—1,10	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
X ₄	0,40—0,47	0,20—0,35	0,55—0,75	—	0,80—1,10	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
X ₅	0,10—0,15	0,20—0,35	0,55—0,75	—	0,80—1,10	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
H-1	0,07—0,10	0,10—0,20	0,20—0,35	4,60—5,10	—	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
H-2	0,14—0,18	0,10—0,20	0,30—0,50	4,65—5,10	—	600—700	Wytrzymywanie przed wydaniem wlewka 2—3 godziny	1250—1300	1220—1250	900—920
H-3	0,18—0,24	0,15—0,30	0,20—0,35	4,60—5,10	—	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
H-4	0,18—0,25	0,20—0,35	0,35—0,50	3,00—3,50	—	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
H-5	0,23—0,28	0,20—0,30	0,45—0,60	3,20—3,70	—	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920
H-6	0,25—0,34	0,20—0,30	0,45—0,60	3,20—3,70	—	600—700		1250—1300	1220—1250	900—920

f) Starać się wogóle utrzymać w piecu atmosferę obojętną lub redukcyjną by się metal jak najmniej spalał, kosztem zwiększenia rozchodu paliwa. Niektóre stale, np. z zawartością Ni — można nagrzewać tylko w redukcyjnej atmosferze, gdyż stal ta łatwo utlenia się i daje lepką zendrę, którą trudno z wlewka usunąć, przeto po przewalcowaniu taka stal ma bardzo brzydką powierzchnię.

Ze wszystkiego tego, cośmy powiedzieli o własnościach plastycznych i nagrzewaniu metali, wynika, że tak nagrzewanie, jakisama przeróbka plastyczna (walcowanie, kucie) stali powinny odbywać się według ściśle określonych przepisów i w określonych granicach cieplnych, w zależności od składu chemicznego przerabianej stali.

W tym celu przed rozpoczęciem nagrzewania i przeróbki, majster powinien otrzymać ściśle instrukcję, jak daną stal powinien traktować. Instrukcję taką powinno opracować laboratorium metaloznawcze. Na tabl. IX podajemy wzór takiej, instrukcji, opracowanej przez jedną z zagranicznych hut dla różnych marek stali wyrabianych w tej hucie.¹⁾

Prawidłowe prowadzenie pieca dla wygrzewania stali wysokowęglowych i stopowych ma decydujące znaczenie na ostateczne wyniki walcowania tego rodzaju stali; dlatego też piec grzewczy powinien mieć odpowiednie przyrządy pomiarowe do kontrolowania dopływu paliwa, powietrza, co najważniejsze — do mierzenia temperatury.

Wszystkie przyrządy do mierzenia temperatury powinny być tak urządzone, by wskazania tych przyrządów odbywały się w jednym miejscu, w pobliżu palacza. Najlepiej mieć samorejestrujące przyrządy, gdyż wtenczas łatwiej jest kontrolować palacza.

Należy prowadzić specjalną książkę (dziennik) kontroli, w której zapisują się wsadzone do pieca wlewki z ich charakterystyką i instrukcją co do sposobu nagrzewania i walcowania, wzgl kucia; w książce tej notuje się faktyczną temperaturę pieca i wydawanych wlewków, jak również wszelkie okoliczności uboczne, które mogą mieć wpływ na charakter nagrzewania wlewków.

Żeby zrozumieć wpływ konstrukcji pieca na racjonalne grzanie wlewków, musimy w krótkich zarysach dać pojęcie o teorii spalania oraz konstrukcji palenisk i pieców grzewczych, co stanowić będzie treść następnych rozdziałów.

¹⁾ Ginzburg, „Prokatka specjalnej stali“.