

EMIL OLEWICZ, PIOTR WAWRZYK, PIOTR KOŻUSZEK
Katedra Metaloznawstwa

PIOTR WAWRZYK - Instytut Metalurgii Żelaza
PIOTR KOŻUSZEK - Biprohut - Gliwice

UTLENIANIE I ODWĘGLANIE STALI ORAZ METODY JEJ BEZZGORZELINOWEGO NAGRZEWANIA

Streszczenie: Omówiono ogólnikowo znane zjawiska odwęglania i utleniania powierzchniowego stali podczas nagrzewania w piecach komorowych płomieniowych i elektrycznych. Omówiono metody nagrzewania bezgorzelinowego oraz przedstawiono korzyści wynikające z ich zastosowania. Przedstawiono wyniki badań własnych nad utlenianiem stali kotłowych.

1. Wstęp

W piecach grzewczych płomieniowych i elektrycznych podczas nagrzewania zachodzi znaczne utlenianie powierzchni wsadu. Powstająca zgorzelina powoduje stratę materiału wynoszącą od 1 do 3% masy pierwotnej nagrzewanego wsadu.

Jeżeli dla przykładu przyjąć, że strata materiału przy nagrzewaniu wlewków stalowych wynosi 2%, to odpowiada to stracie 20000 ton stali, na każdy milion ton nagrzewanego materiału.

Przyjmując średnio cenę stali 30 000 zł za tonę, to straty te wyniosą 60 milionów zł na każdy milion ton nagrzewanego materiału.

Powstająca zgorzelina wpływa również bardzo niekorzystnie na piece i urządzenia do obróbki cieplnej i plastycznej.

Skutkiem utleniania jest wiele niekorzystnych zjawisk:

- zgorzelina wpływa ujemnie na jakość powierzchni wyrobów zmniejsza ich masę, stanowiąc istotną pozycję strat w kosztach przerobu wydziału;

- powstanie zgorzeliny podczas procesu nagrzewania wsadu w piecach grzewczych powoduje stopniowe zanieczyszczenie komór piecowych i zmniejszenie trwałości poszczególnych ich elementów;
- pokrycie nagrzewanego materiału grubą warstwą zgorzeliny utrudnia wymianę ciepła, tak że wzrasta zużycie paliwa;
- zgorzelina utrudnia kucie w matrycach na dokładny wymiar i przyspiesza ich zużycie;
- podczas obróbki cieplnej, a w szczególności podczas chłodzenia przy hartowaniu, zgorzelina powoduje powstawanie miękkich plam i wiele innych wad.

Jednocześnie z utlenianiem się stali zachodzi odwęglanie powierzchniowe. Ma ono szczególnie duże znaczenie przy obróbce cieplnej stali o specjalnych właściwościach (stale sprężynowe, stale na łożyska toczne itp.), gdzie nawet minimalne odwęglenie powierzchni powoduje utratę pożądaných właściwości, a tym samym dyskwalifikację wyrobu.

W celu ograniczenia powyższych ujemnych zjawisk zaczęto badać procesy utleniania stali, co doprowadziło do opracowania metod bezzgorzelinowego jej nagrzewania.

2. Utlenianie i odwęglanie stali w procesie nagrzewania

2.1. Utlenianie stali w piecach płomieniowych i elektrycznych komorowych oraz właściwości powstającej zgorzeliny

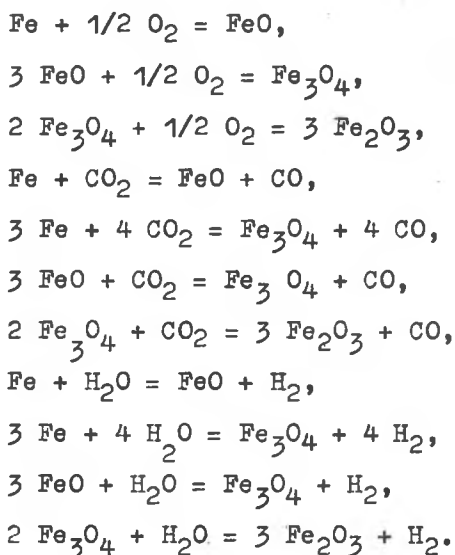
Nagrzewaniu stali w piecach płomieniowych zazwyczaj towarzyszy utlenianie jej powierzchni, czego następstwem jest tzw. zgorzelina. Ilość powstającej zgorzeliny zależy od:

- a) składu chemicznego paliwa,
- b) temperatury,
- c) czasu nagrzewania.

Utlenianie żelaza zachodzi wskutek różnego rodzaju reakcji powierzchniowych. Według danych literatury technicznej [1] utlenianie metalu należy rozpatrywać jako wypadkową dyfuzji

utleniających gazów, przechodzących z powierzchni do wewnątrz przez warstwę zgorzeli oraz dyfuzji żelaza w odwrotnym kierunku, tzn. od metalu na zewnątrz. Dlatego skład chemiczny warstwy zgorzeli wykazuje zmienny udział tlenków żelaza: zewnętrzną warstwę stanowi Fe_2O_3 , średnią - Fe_3O_4 , wewnętrzną - FeO .

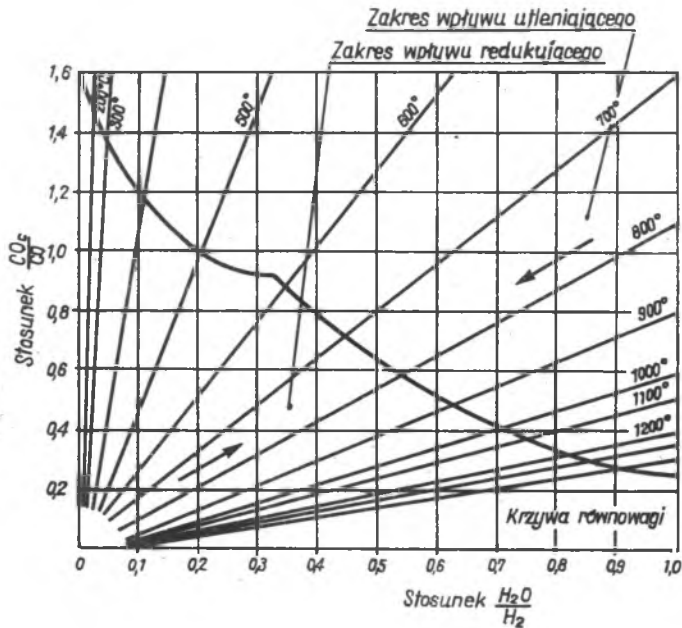
Utlenianie żelaza zachodzi według następujących reakcji chemicznych:



Są to reakcje odwracalne. Występują one wskutek działania gazów utleniających O_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 na stal z jej domieszkami. Na ogół H_2O utlenia silniej niż CO_2 . W atmosferze pieca mogą występować również gazy redukujące, jak CO , H_2 . Na ogół H_2 redukuje silniej niż CO . Wynik działania atmosfery piecowej na metal zależy od stosunków objętościowych składników utleniających i redukujących w tej atmosferze, w zestawieniu z wartościami stałych równowagi dla tych samych temperatur (rys. 1).

Badania wykazały, że suchy tlen bardzo słabo działa na suche żelazo nie tylko przy temperaturze otoczenia, ale i przy słabym nagrzewaniu [1]. Przy nieznacznym podwyższeniu tempera-

tury ($200 \div 300^{\circ}\text{C}$) żelazo pokrywa się w obecności tlenu warstwą tlenków, dających mu różne zabarwienie w zależności od temperatury i czasu nagrzewania. Przy dalszym podwyższeniu temperatury utlenianie wzmaga się, grubość zgorzeliny wzrasta, a przy wyższych temperaturach (1000°C i wyżej) utlenianie staje się bardzo intensywne [1].



Rys. 1. Wpływ atmosfery złożonej z CO , CO_2 , H_2 i H_2O na stal [8]

Jeżeli np. dla spalin gazu koksowniczego ilość zgorzeliny przy 900°C przyjętą za jedną, to przy 950°C stanowi ona już 1,25, przy 1000°C - 2,0, przy 1100°C - 3,5, zaś przy 1300°C - 7,0 itd. [1].

Silny wpływ na ilość zgorzeliny ma również współczynnik nadmiaru powietrza λ . Po przekroczeniu wartości $\lambda = 1,05$ następuje duże zwiększenie ilości zgorzeliny. Powyżej $\lambda = 1,2$ wzrost ten ulega zahamowaniu ze względu na działanie zewnętrznej warstwy zgorzeliny.

Zgorzelina przedstawia mieszaninę różnych tlenków żelaza o rosnącej zawartości tlenu:

- a) tlenek żelazawy FeO , powstający przy temperaturze powyżej 570°C , topniejący przy 1377°C ;
- b) Fe_3O_4 , powstający przy wyższych temperaturach i topniejący przy temperaturze 1538°C ;
- c) tlenek żelazowy Fe_2O_3 powstający przy wyższych temperaturach i topniejący przy 1565°C .

Dodatki stopowe stali tworzą na ogół również tlenki o różnych stopniach utlenienia. W zgorzelinie najwięcej jest FeO .

Badania zgorzeleny stali stopowych wykazały, że warstwy druga i trzecia bogatsze są w elementy stopowe, niż warstwa pierwsza zewnętrzna. Jest to wynikiem albo nierozpuszczalności składników stopowych w stałych fazach systemu żelazo-tlen, albo też wyraźnie mniejszej prędkości ich dyfuzji niż żelaza [1] [6] [8].

Wydatne zwiększenie szybkości utleniania zachodzi przy temperaturze powierzchni metalu 1275 do 1375°C , gdyż wówczas występuje dodatkowo topienie się zgorzeleny, która spływając z powierzchni wsadu odsłania coraz to nową powierzchnię metalu.

Wpływ czasu przebywania metalu w piecu na zgorzelinę jest bardzo wyraźny, im dłużej metal przebywa w wysokiej temperaturze tym większa jest ilość zgorzeleny przy tych samych innych warunkach. Z drugiej strony im wyższa jest temperatura pieca przy tej samej temperaturze metalu, tym większa jest szybkość nagrzewania i tym mniejsza ilość zgorzeleny.

Dlatego w nowoczesnych piecach z szybkim nagrzewaniem, pomimo podwyższonych temperatur, powstaje stosunkowo mała ilość zgorzeleny.

W spalinach może znajdować się siarka w postaci SO_2 lub H_2S , przy czym H_2S występuje tylko w atmosferze redukcyjnej. Obecność SO_2 w gazach powiększa wartość zgaru oraz powiększa szkodliwą zawartość siarki w zewnętrznej warstwie metalu.

Badania wykazały, że nawet obecność $0,1\%$ SO_2 w gazach znacznie powiększa szybkość utleniania [1].

Tak np. przy zawartości w gazie 0,1% SO₂ oraz w temperaturze 1260°C zawartość siarki w zgorzelinie dochodzi do 0,5%, zaś w powierzchniowej warstwie metalu do 0,156% [1].

Ponieważ w składzie metalu było początkowo tylko 0,024% siarki, przeto w warstwie zewnętrznej zawartość jej powiększyła się 7 ÷ 8 razy. Zwiększenie zawartości SO₂ w gazie z 0,1 do 0,5% powiększa ilość siarki w zgorzelinie potrójnie. Z podniesieniem temperatury wsadu zawartość siarki w metalu wzrasta [1].

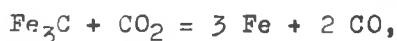
Obecność H₂S w spalinach wpływa mniej szkodliwie niż SO₂. Redukcyjna atmosfera w komorze pieca zmniejsza zarówno szkodliwy wpływ siarki jak i szybkość utleniania oraz przedostawanie się siarki do metalu. Obecność siarki przynosi więcej szkody stalom stopowym niż węglowym. Szczególnie szkodliwe jest działanie siarki na stale zawierające nikiel, gdyż tworzy on z siarką łatwotopliwą eutektykę.

2.2. Odwęglanie stali

Jednocześnie z utlenianiem stali podczas nagrzewania może również zachodzić odwęglanie.

Podobnie jak utlenianie również i odwęglanie obejmuje powierzchniowe warstwy metalu. Badania wykazały, że odwęglanie zachodzi wcześniej niż utlenianie [1]. W obu przypadkach wpływ ma przede wszystkim temperatura i atmosfera w piecu. W każdym razie wytworzona zgorzeliina zabezpiecza metal przed odwęglaniem, tzn. odwęglanie jest tym mniejsze, im grubsza i gęstsza jest warstwa utlenionego metalu. Gazami powodującymi odwęglanie są: H₂O, CO₂, O₂, H₂.

Odwęglanie polega na dyfuzji gazu odwęglającego do wewnątrz metalu i węgla (albo węglika żelaza) w kierunku odwrotnym. Odwęglanie metalu zawierającego węgiel żelaza może zachodzić wg następujących reakcji [1]:





Rezultatem odwęglania jest produkt gazowy. Badania wykazały, że najsilniej odwęglą H_2O , słabiej CO_2 , a najslabiej H_2 [1]. Szkodliwy wpływ odwęglania ma duże znaczenie w tych zakładach, gdzie nagrzewa się przede wszystkim stale wysokowęglowe i stopowe. Nagrzewanie bezzgorzelinowe zmniejsza na ogół niebezpieczeństwo powierzchniowego odwęglania wyrobów stalowych, jakkolwiek nie zawsze w dostatecznym stopniu.

Przeprowadzono próby podatności na utlenianie stali 15 HM i 16 M, stosowanych do wyrobu rur kotłowych [2].

Powierzchnię próbek mierzono z dokładnością $\pm 1 \text{ mm}^2$. Próbki ważono z dokładnością do $\pm 10 \text{ mg}$ na wadze laboratoryjnej przed i po wygrzaniu. Obydwa gatunki stali wygrzewano kolejno w temperaturze 600 do 1200°C w czasie dwóch godzin. W piecu komorowym elektrycznym PEM1 wygrzewano próbki w temperaturach 600 do 900°C. Natomiast w piecu elektrycznym silitowym wygrzewano próbki w temperaturze 1000, 1100 i 1200°C.

Uzyskane wyniki zestawione są w tablicy 1 i 2. Obserwacje próbek po wygrzaniu wykazały charakterystyczne cechy, występujące na powierzchni stali przy nagrzewaniu w atmosferze otoczenia. Próbki były pokryte warstwą zgorzelinej o barwie szarostalowej l e k k o p r z y l e g a j ą c e j do powierzchni.

Przeprowadzone badania wykazały, że stal 15 HM i 16 M ulega znacznemu utlenianiu. Z wykresu na rys. 2 wynika, że ubytki ciężaru są dość znaczne w wysokich temperaturach. Przykładowo dla stali 15 HM wynoszą one 0,37 $\text{kg/m}^2/2 \text{ h}$ w temperaturze 900°C i około 0,5 $\text{kg/m}^2/2 \text{ h}$ przy 950°C. Podobnie dla stali 16 M otrzymano 0,54 $\text{kg/m}^2/2 \text{ h}$ dla temperatury 900°C oraz ponad 1 $\text{kg/m}^2/2 \text{ h}$ przy 950°C [2].

Tablica 1

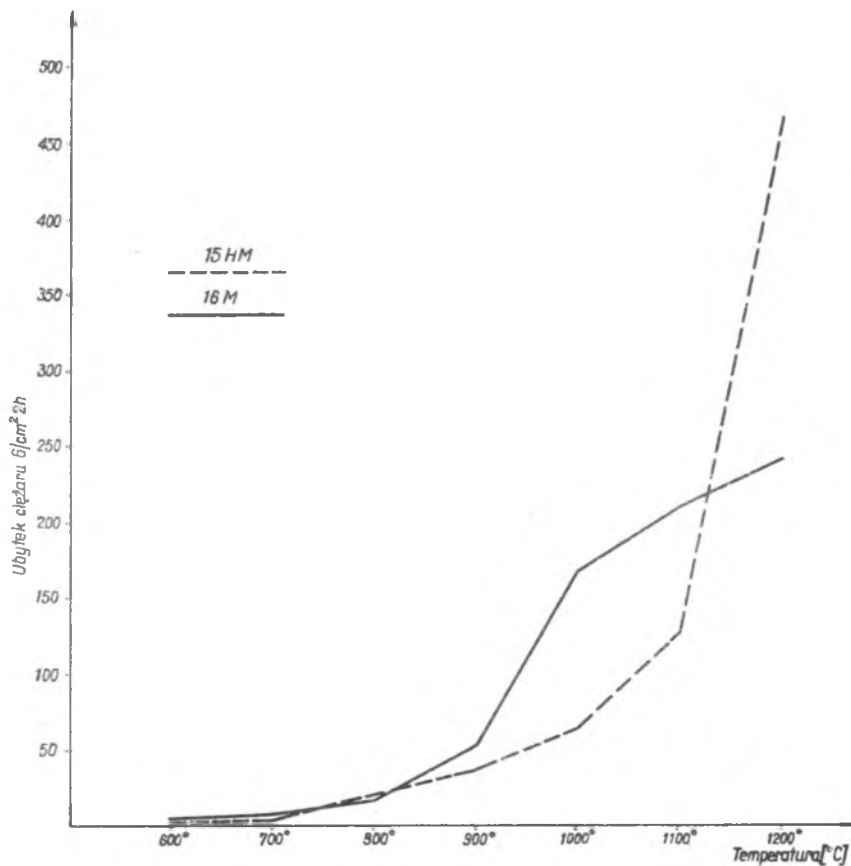
Wpływ temperatury na utlenianie powierzchni stali 15 HM wygrzewanej w czasie 2 godzin

Nr próbki	Temperatura °C	Wymiary próbki				Ciężar przed wygrzewaniem [G]	Ciężar po wygrzewaniu [G]	Strata ciężaru [mG/cm ²]
		szerok. a [mm]	wysok. b [mm]	grubość c [mm]	powierzchnia s [cm ²]			
H1	600	44,1	26,3	3,7	28,1	31,10	31,00	3,6
H2	700	29,1	25,5	3,1	28,2	28,40	18,25	5,3
H3	800	40,0	26,1	3,3	25,2	26,45	25,95	20,6
H4	900	31,0	26,0	3,5	20,1	21,25	20,50	37,0
H5	1000	34,2	29,0	3,8	24,5	26,75	25,15	65,0
H6	1100	32,4	29,4	3,4	22,7	25,10	22,20	127,0
H7	1200	38,0	28,4	3,4	26,10	27,10	14,80	462,0

Tablica 2

Wpływ temperatury na utlenianie powierzchni stali 16 M wygrzewanej w czasie 2 godzin

Nr próbki	Temperatura °C	Wymiary próbki				Ciężar przed wygrzewaniem [G]	Ciężar po wygrzewaniu [G]	Strata ciężaru [mG/cm ²]
		szerok. a [mm]	wysok. b [mm]	grubość c [mm]	powierzchnia s [cm ²]			
M1	600	36,2	31,4	3,5	27,1	30,07	29,90	6,3
M2	700	36,4	32,0	4,0	28,7	34,35	34,10	8,7
M3	800	36,0	29,4	3,6	26,0	28,50	28,10	16,0
M4	900	36,0	30,0	4,0	26,9	32,75	31,30	54,0
M5	1000	32,3	24,4	3,8	20,0	22,70	20,35	167,0
M6	1100	31,0	25,0	4,0	20,0	23,8	19,60	210,0
M7	1200	32,7	24,8	3,9	20,6	22,95	18,00	240,0



Rys. 2. Wpływ temperatury na utlenianie powierzchni stali 16M i 15HM

3. Metody bezzgorzelinowego nagrzewania stali

3.1. Szybkościowe nagrzewanie

Zmniejszenie utleniania metalu najłatwiej daje się osiągnąć w normalnych piecach przez tzw. szybkościowe nagrzewanie, przy którym zmniejsza się do minimum czas przebywania stali w piecu i wyraźnie zmniejsza się ilość tworzącej się zgorzeliny. Nagrzewanie metalu przed przeróbką plastyczną przy grzaniu szybkościowym odbywa się bardzo intensywnie przy znacznym gradientcie temperatury między źródłem i wsadem. W tej sytuacji czas nagrzewania jest bardzo krótki, a tym samym ilość tworzącej się zgorzeliny jest stosunkowo niewielka. Dużą zaletą tej metody jest także zwiększenie wydajności pieca (nawet do 80%) [3] [9].

3.2. Nagrzewanie w komorach piecowych w obecności atmosfer ochronnych

Skutecznym sposobem umożliwiającym bezzgorzelinowe nagrzewanie jest wprowadzenie odpowiedniej atmosfery ochronnej i to zarówno w piecach gazowych, jak i elektrycznych. Atmosfera ochronna utrudnia w znacznej mierze lub nawet uniemożliwia utlenianie, a często zapobiega też odwęglaniu materiału. Atmosferę taką uzyskuje się w samej komorze roboczej pieca lub też wytwarza się w oddzielnej wytwornicy skąd doprowadza się ją do przestrzeni roboczej pieca [7] [10] [11].

Piece z atmosferami ochronnymi, otrzymywanymi z gazów produkowanych w wytwornicach gazowych, stosuje się przede wszystkim przy obróbce cieplnej stali.

Atmosfery ochronne stosowane w przemyśle krajowym można ogólnie podzielić na trzy grupy:

- 1) Atmosfery typu $CO - CO_2 - H_2 - N_2$ otrzymane przez spalanie wysokokalorycznych gazów opałowych. W tej atmosferze przeprowadza się przeważnie wyżarzanie stali średnio- i niskowęglowych oraz stali stopowych.

- 2) Atmosfera typu $\text{CO} - \text{CO}_2 - \text{N}_2$ otrzymywana z gazu generatorowego na węglu drzewnym. Tego typu atmosferę stosuje się przeważnie do wyżarzania w temperaturach do około 750°C dla stali nisko- i średniowęglowych oraz stopowych.
- 3) Atmosfera typu $\text{H}_2 - \text{N}_2$ otrzymywana przez rozkład amoniaku i przez częściowe lub całkowite spalanie otrzymanych gazów. W tej atmosferze przeprowadza się wyżarzanie nierdzewnych stali chromowych, chromowo-niklowych. Dla stali szybkoznaczej, stali węglowych i stopowych o zawartości powyżej 0,5% węgla przeprowadza się w tej atmosferze nagrzewanie przed hartowaniem [5] [3].

Piece z atmosferami redukującymi własnymi, uzyskiwanymi w przestrzeni roboczej pieca dzięki niezupełnemu spalaniu gazu, są przeważnie stosowane przy wielkoseryjnej przeróbce plastycznej. Atmosferę ochronną "własną" otrzymuje się drogą dwu- lub trzystopniowego spalania paliwa gazowego. Natężenie przepływu spalin i wartość współczynnika nadmiaru powietrza dobiera się tak, aby przy potrzebnej temperaturze komory zapewnić wymagany skład chemiczny spalin w przestrzeni roboczej pieca.

Istota tego sposobu polega na dwu- lub trzystopniowym spalaniu gazowego paliwa o dużej wartości opałowej. Gaz taki w strefie wysokich temperatur spalany jest z dużym niedomiarem powietrza ($\lambda = 0,5$ do $0,55$), dzięki czemu otrzymuje się silnie redukcyjne spaliny o dużej zawartości CO i H_2 . Produkty niezupełnego spalania dopala się przez doprowadzenie powietrza wtórnego w strefie niższych temperatur, albo też w osobnej komorze przed regeneratorami lub rekuperatorem.

Aby jednak umożliwić osiągnięcie przy takim spalaniu paliwa pożądanej temperatury w przestrzeni roboczej pieca, trzeba koniecznie podgrzewać w odpowiednich rekuperatorach pierwotne i wtórne powietrze do spalania. Przykładowo podgrzewa się do $800 \pm 900^\circ\text{C}$ powietrze do spalania gazu ziemnego i do 650°C - do spalania gazu koksowniczego [3].

Na rys. 1 przedstawiono krzywą równowagi pomiędzy utleniającym i redukującym działaniem atmosfery w piecu przy niezupełnym spalaniu gazu koksowniczego i ziemnego [8].

Tego rodzaju nagrzewanie mało zgorzelinujące (zwane dla pro-
stoty bezzgorzelinowym) stosuje się w piecach różnych typów.
Wskutek świadomie niezupełnego spalania nie wykorzystuje się
początkowo całej energii chemicznej paliwa. Jednakże następnie
przez dopalanie uchodzących spalin i dzięki daleko idącemu wy-
korzystaniu ich ciepła, poprawiamy wydatnie sprawność cieplną
pieca. Jest to metoda najprostsza i najbardziej rozpowszechnio-
na.

3.3. Nagrzewanie w cieczech ochronnych

Ten sposób nagrzewania polega na całkowitym zanurzeniu stali
w cieczy, którą bywa w tym przypadku stopione szkło lub sól.
Przy nagrzaniu w masie szklanej lub w solach nagrzany metal nie
styka się z atmosferą, a więc nie występuje jego utlenienie.

Ponadto cienka warstwa szkła lub soli, pokrywająca powierz-
chnię nagrzewanego metalu wyciągniętego z tygla, zabezpiecza
ją także od utleniania przy przenoszeniu z tygla do walcarki
lub prasy.

3.4. Powłoki ochronne

Istnieją dwa sposoby posługiwania się powłokami ochronnymi.
Powłoki powstają z odpowiednich mas ochronnych, które nakłada
się na zimny wsad przed załadowaniem go do komory piecowej lub
też wprowadza się je do komory po załadowaniu wsadu na począt-
ku nagrzewania. Do tego celu stosuje się chlorek i węglan litu.
Przegrzane pary chlorku litu i węglanu litu, wytwarzane w prze-
strzeni roboczej pieca osadzają się na chłodnej powierzchni na-
grzewanego materiału, tworząc ochronną powłokę zabezpieczającą
stal przed utlenieniem. Lit intensywnie łączy się z O_2 , CO_2
 H_2O i nie dopuszcza do reakcji z metalem. Powłoka z tlenku litu
chroni też nagrzany materiał w czasie przenoszenia z pieca do
prasy lub walcarki.

4. Korzyści stosowania bezzgorzelinowego nagrzewania

Stosowane metody bezzgorzelinowego nagrzewania wyrobów ze stali w piecach grzewczych i do obróbki cieplnej przynoszą szereg korzyści.

1. Zmniejszają radykalnie straty materiału podczas nagrzewania przed dalszą przeróbką.
2. Zmniejszają grubość odwęglonej warstwy na powierzchni nagrzewanej stali.
3. Pozwalają na zmniejszenie kosztów związanych z usuwaniem zgorzeli z pieców grzewczych.
4. Zmniejszają zużycie pracujących elementów maszyn roboczych (walcarek i pras) i tym samym zwiększają ich trwałość.
5. Ułatwiają przeprowadzenie właściwej obróbki cieplnej.
6. Poprawiają jakość wyrobów hutniczych.

Podane przykładowo korzyści są powodem coraz powszechniejszego stosowania bezzgorzelinowego nagrzewania w hutnictwie żelaza. Obecnie również i hutnictwo polskie zajmuje się wprowadzeniem metod bezzgorzelinowego nagrzewania. Oprócz pracujących już pieców do obróbki cieplnej z atmosferami ochronnymi, przeprowadza się badanie kilku różnych rozwiązań konstrukcyjnych pieców do bezzgorzelinowego nagrzewania, aby na tej drodze ustalić rozwiązanie optymalne nadające się do szerokiego rozpowszechnienia w hutach krajowych.

LITERATURA

- [1] KOPYTOW W.E.: Okislenie stali w piecach i bezokislotelnyj nagrew. Mašgiz, Moskwa 1936.
- [2] KOZUSZEK P.: Wplyw wyzarzania na jakość powierzchni stali kotlowych 16M i 15HM. Praca dyplomowa magisterska Pol. Šl. 1968, niepublikowana.
- [3] WAWRZYK P., WARTAK A.: Bezzgorzelinowe nagrzewanie stali. Praca badawcza IMZ R-1552, Gliwice, 1967.

- [4] SMYKOW A.A., MAŁYŚEW B.W.: Kontrolirujemyje atmosfery pri termičeskoj obrabotkie stali, Moskwa 1953.
- [5] KOSIERADZKI P.: Obróbka cieplna metali, Wyd. 2 PWT, Warszawa 1955.
- [6] TOJE N.Jw.: Technologia nagrewa stali. Metałkurgizdat, Moskwa 1950.
- [7] BARK S.F, KOZŁOWA A.W, i inni: Bezokislitelnyj nagrew stali w metodičeskoj trechzonnoj pieči s primienieniem kisłoda. Kuzn. Stamp. Proizw. 1960 nr 3, s. 28 - 33.
- [8] SCHMIDT Th.: Das zunderfreie Warmen von Stahl in direkt brennstoffbeheizten Ofen. Werkstattstechnik 1963 Nr 6, 239-303.
- [9] KOSTJAKOW W.N., JERINOW A.E.: Bezokislitelnyj nagrew metala pod štampowku w połumetodičeskoj tołkatelnoj pieči. Kuzn. Stamp. proizw. 1963, nr 10, s. 32-36.
- [10] STAINES D.N.: Direct - fired furnaces for scale - free heating. Metal Treatment, 1965, No 235, s. 131-138.
- [11] STANCEL J.P.: Robota pieči bezokislitelnogo nagrewa metala w zaščitnoj atmosferze. Stal, 1965, Nr 9, s. 859-860.

ОКИСЛЕНИЕ И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ СТАЛИ И МЕТОДЫ
БЕЗОКИСЛИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА

Р е з ю м е

Для уменьшения отрицательного влияния окислыны на процесс продукции и на качество изделия, исследовано процесс окисления стили. В результате определено влияние температуры, количества сжигаемого воздуха серы, скорости течения продуктов горения их состава на процесс окисления. Полученные результаты дали возможность применять в широком диапазоне безокислительный нагрев стили. В зависимости от предназначения продукции и вида термической обработки применяется скоростный нагрев, нагрев в защитных атмосферах, жидкостях или охранных покрытиях.

VERZUNGERUNG UND ENTKOHLUNG DES STAHL ES UND METHODEN SEINER
ZUNDFREIER ERWÄRMUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Um eine Verminderung des ungünstigen Einflusses des Zunder im Prozess der Stahlproduktion und auf die Qualität der Produkte zu erhalten, wurden intensive Forschungen des Stahlverzunderungsprocesses unternommen.

Die Ergebnisse erlaubten den Einfluss der Temperatur, der Luftmenge, des Schwefelgehaltes, der Durchflussgeschwindigkeit, der Abgase und der Abgasezusammensetzung auf den Zunderprozess zu definieren, sowie eine Ausarbeitung verschiedener industrieller Methoden der zundfreien Erwärmung.

Abhängig von der Bestimmung des Produktes und der nötigen Wärmebehandlung werden Schnellerwärmung, Schutz-atmosphären, - Flüssigkeiten und- Hüllen angewendet.