



AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
im. Stanisława Staszica
w Krakowie



**WYDZIAŁ INŻYNIERII METALI
I INFORMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

Prof. dr hab. inż. Andrzej Łędzki
Dr inż. Andrzej Michaliszyn
Dr inż. Arkadiusz Klimczyk

METALURGIA EKSTRAKCYJNA ŻELAZA

CZĘŚĆ V

**WYTAPIANIE STALI W ELEKTRYCZNYCH
PIECACH ŁUKOWYCH**

/do użytku wewnętrznego AGH/

Kierunek: Metalurgia, Rok: II, Semestr: IV

I. WYTAPIANIE STALI W ELEKTRYCZNYCH PIECACH ŁUKOWYCH

Generacje elektrycznych pieców łukowych:

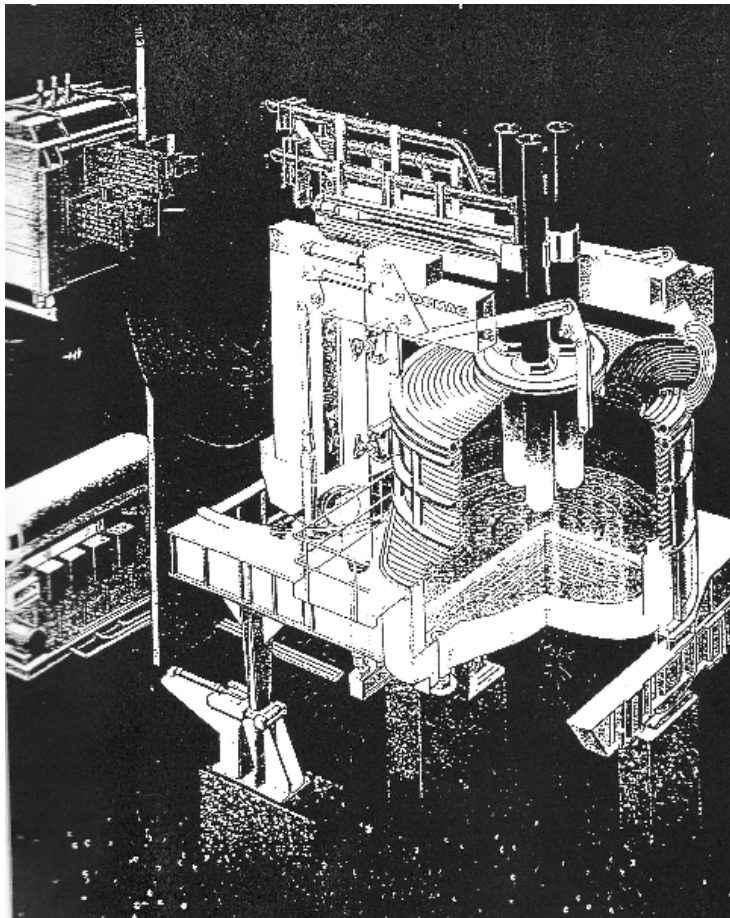
- I – trzony magnezytowe, ściany magnezytowe lub dolomitowe, sklepienia krzemionkowe a później wysokoglinowe. Piece posiadały transformatory o mocy pozornej 200 kVA/Mg pojemności pieca. Układ 3 elektrod połączony był z transformatorem torem wysokoprądowym składającym się z leżących w jednej płaszczyźnie trzech szyn chłodzonych powietrzem. Czas wytopu w piecu wynosił: 4-8 godzin. Poważne kłopoty powodowało nierównomierne zużywanie się ścian.
- II – z początkiem lat 60-tych. Piece posiadały transformatory o bardzo dużej mocy UHP /ultra-high-power/ o mocy pozornej 450-500 kVA/Mg pojemności pieca. Tor wysokoprądowy posiadał chłodzone wodą szyny i giętkie kable. Wymagania ekologów zmusiły do zastosowania czwartego otworu w sklepieniu pieca celem odbierania gazów odlotowych do oczyszczania. Skrócono czas wytopu do 2-2,5 godzin. Kłopoty – niska trwałość wyłożenia ogniotrwałego.
- III – z początkiem lat 70-tych. Ściany powyżej poziomu żuźla i częściowo sklepienie wyposażono w system chłodzenia wodnego. W celu dogrzewania zimnych stref pieca wyposażono go w 3-4 palniki olejowe /lub gazowe/ + tlen.
Moc pozorna transformatora: 650-850 kVA/Mg pojemności pieca. Prądowo-napięciowy system kontroli jest dla każdej fazy osobno. Piec wyposażono w system komputerowego sterowania. Ograniczono zużycie elektrod do 3-4 kg/Mg stali. Zmodyfikowano technologię wytopu. Proces rafinacji, odtleniania i uzupełniania składu chemicznego przeniesiono poza piec do kadzi lub piecokadzi.
- IV – z początkiem lat 80-tych. Przeniesienie wszystkich operacji technologicznych /poza roztopianiem wsadu/ poza piec, rozbudowa układu automatycznego sterowania. Zmiana usytuowania i roli otworu spustowego. Usytuowano go w trzonie pieca, co dało skrócenie czasu spustu oraz dokładne rozdzielenie żuźla i stali.

1. Budowa elektrycznego pieca łukowego typu UHP

Nowoczesne piece posiadają następujące cechy:

- Kształt owalny zapewniający równomierny rozkład naprężeń cieplnych.
- Trzon wyposażony w mimośrodowy spust denny.

- Chłodzenie wodne ścian bocznych i sklepienia.
- Przewodzące ramiona nośne z uchwytyami elektrod chłodzonymi wodą.



Konstrukcja pieca składa się z:

- Układ posadowienia pieca.
- Pancierz.
- Trzon.
- Ściany boczne.
- Sklepienie.
- Tor wielkoprądowy.
- Kolumny nośne z ramionami elektrod.
- Elektrody.

Układ posadowienia pieca umożliwia posadowienie kotła pieca na fundamencie wykonanym ze zbrojonego betonu oraz dwóch części połączonych ze sobą poziomą stalową ramą. Na fundamencie posadowione jest łożo, wykonane jako płaskie lub rolkowe. Na łożu spoczywa kołyska pieca składająca się z dwóch części połączonych ze sobą poziomą stalową, do

której przytwierdzony jest pancierz pieca, mechanizm podnoszenia i opuszczania elektrod oraz sklepienia. Tak skonstruowane posadowienie pieca umożliwia jego przechył na stronę okna roboczego jak i stronę spustową. Przechył pieca realizowany jest najczęściej przy użyciu siłownika hydraulicznego.

Układ przechyłu pieca powinien zapewniać:

- Prostą konstrukcję i łatwość obsługi.
- Wystarczającą trwałość.
- Możliwość łatwej regulacji szybkości przechylania pieca.
- Wystarczającą ochronę przed zalaniem ciekłym metalem lub żużlem.

Ze względu na ruch wykonywany przez koniec rynny spustowej przy przechylaniu pieca, stosowane są układy o następujących możliwościach:

- Kołyski przy przechylaniu toczą się na rolkach, a koniec balkonu przesuwa się pod piec.
- Kołyski przy przechylaniu toczą się po poziomej płycie, a koniec balkonu przesuwa się znacznie do przodu.

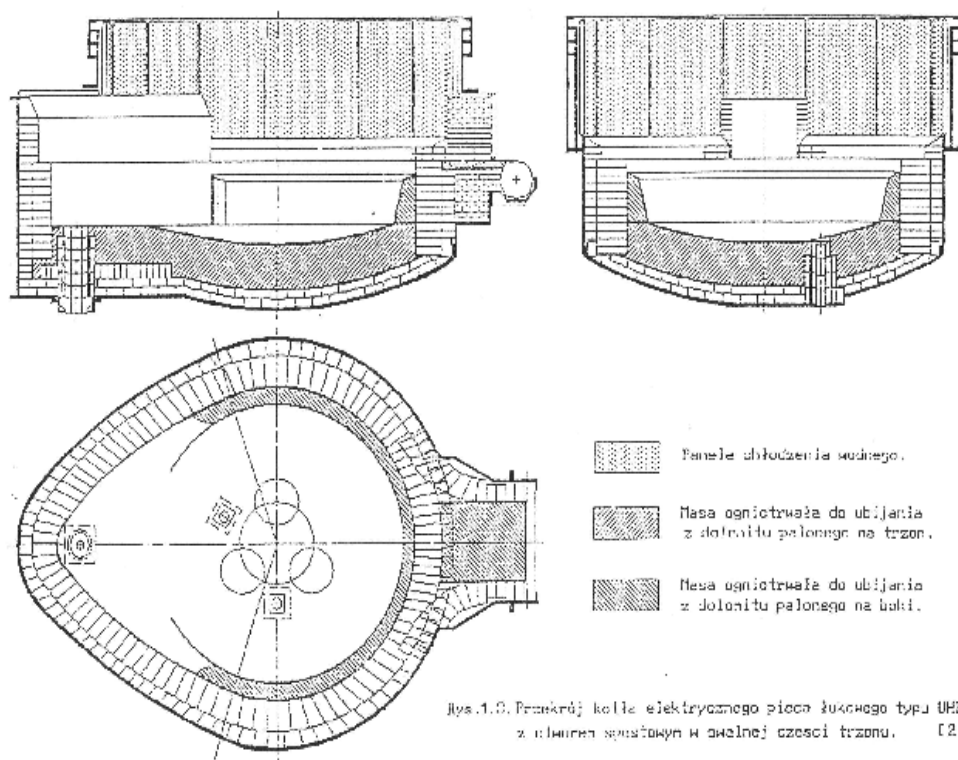
Korzystniejsze jest drugie rozwiązanie, gdyż zapewnia lepsze warunki spustu. Nie wymaga ono manewrowania kadzią odlewniczą podczas spustu kąpeli metalowej. W nowoczesnych piecach łukowych spust odbywa się poprzez otwór umieszczony w trzonie pieca. Kąt przechyłu pieca gwarantujący całkowite jego opróżnienie wynosi w tym przypadku 10-15°. Taki sposób spustu nie stwarza problemu manewrowania kadzią oraz skraca czas kontaktu ciekłego metalu z tlenem atmosferycznym podczas spustu.

Pancerz pieca składa się z cylindrycznej lub cylindryczno-stożkowej części górnej oraz sferycznej lub stożkowej części dolnej. Obie części połączone są ze sobą za pomocą bolców i klinów. Grubość blach pancerza wynosi 8-12 mm na małych piecach i 50 mm dla pieców o pojemności 400 Mg. Jeżeli piec jest wyposażony w mieszadło magnetyczne to blacha powinna być niemagnetyczna. Pancierz z uwagi na występujące w nim naprężenia powinien charakteryzować się odpowiednią sztywnością. W celu od strony zewnętrznej konstrukcja pancerza wzmocniona jest odpowiednim ożebrowaniem pionowym i poziomym. Zakończenie górnej części pancerza wykonane jest w postaci pierścienia uszczelniająco-usztywniającego, chłodzonego wodą. W pancierzu pieca naprzeciw siebie wycięte są dwa otwory: na okno robocze i otwór spustowy. Wokół otworu spustowego wykonane jest specjalne obramowanie, do którego przymocowana jest rynna spustowa. Przekrój poprzeczny rynny spustowej ma

kształt trapezowy. Piece większe, nowej generacji posiadają pancierz z tzw. Balkonem, w którym umieszcza się otwór spustowy zastępujący rynnę spustową.

Trzon pieca w nowoczesnych piecach posiada mimośrodowy otwór denny, który powoduje, że uzyskuje się zwarty strumień stali dający w rezultacie minimalne utlenienie stali i niższe straty ciepła. Ponadto można dokładnie oddzielić stal od żużła piecowego. Występuje też bardziej zintegrowany pobór mocy w początkowym okresie roztopiania /lepsza stabilność łuku elektrycznego/, przy pracy z pozostającą po poprzednim spuszczeniu kąpieli.

Z reguły trzon składa się z leżącej bezpośrednio na pancerzu warstwy izolacyjnej, zazwyczaj wykonanej z azbestu i szamoty porowatej. Następnie na niej umieszczona jest warstwa podstawowa wykonana z magnezytu, chromo magnezytu dolomitu /rys.1/.



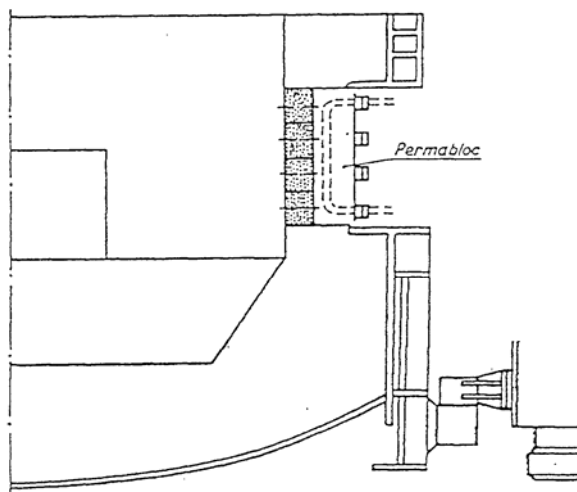
Rys.1. Przekrój kotła pieca łukowego

Na warstwę podstawową nakłada się warstwę roboczą. Zazwyczaj jest ona ubijana z mas magnezytowych i dolomitowych, których skład chemiczny i uziarnienie jest strzeżone patentami. Trwałość tej warstwy zależy od składu chemicznego, uziarnienia i wykonania. Skosy stanowiąc część trzonu wykonane są z tych samych materiałów.

Ściany boczne.

Duże obciążenie cieplne ścian bocznych związane z charakterystycznymi dla pieców UHP pracą długimi łukami elektrycznymi oraz dążenie do ograniczenia kosztów eksploatacji sprawiło, że chłodzenie wodne ścian bocznych jest dziś powszechnym wyposażeniem pieca.

Klasycznym przykładem rozwiązań konstrukcyjnych chłodzenia wodnego ścian pieca łukowego jest system PERMA BLOCK. Uzależnia on konstrukcję chłodzenia wodnego od wielkości strumienia ciepła pochodzącego od płonących łuków elektrycznych a docierających do ścian pieca. Powierzchnię chłodnic zazwyczaj osłania warstwa izolacyjna z masy magnezytowej lub magnezytowo-chromitowej. Rozwiązanie takie przedstawiono na rys.2. Każdy pionowy rząd stanowi oddzielną sekcję chłodzącą z oddzielnym źródłem zasilania i odpływu wody. W przypadku stwierdzenia przecieku wody w chłodnicy obieg wodny można wyłączyć zastępując go obiegiem powietrznym, wykorzystując do tego przewody sprężonego powietrza.



Rys.2. Chłodnica typu Permablock

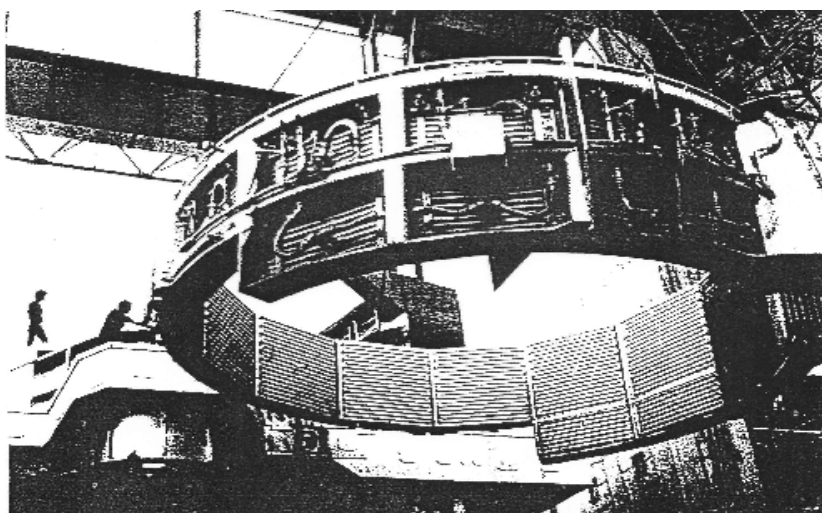
Firma Isikawajima-Harima Heavy Industries wprowadziła chłodnice wodne na całym obwodzie pieca. W gorących strefach i w strefie żużła chłodnice żeliwne zastąpiono chłodnicami skrzynkowymi, wykonanymi z grubych blach miedzianych. W tym rozwiązaniu chłodnice żeliwne stosuje się tylko w zimnych strefach pieca łukowego.

Płytkowy układ chłodzenia „Sideros” składa się z szeregu segmentów w postaci płyt stalowych, zabudowanych na całym obwodzie od wewnętrznej strony pancerza pieca. Chłodnice tego typu oddzielone są od przestrzeni roboczej warstwą wyłożenia ogniotrwałego.

Płyty stalowe z wtopionymi stalowymi rurami w postaci węzownic /umieszczone nad zwierciadłem kąpieli metalowej/ zajmują 50% powierzchni ścian. Na powierzchni tych chłodnic podczas procesu wytapiania tworzy się ochronna warstwa izolacyjna z zastygłego żużla, która chroni chłodnice przed bezpośrednim oddziaływaniem energii cieplnej łuku.

Francuska firma Clesid oferuje chłodnice imitujące rury w postaci segmentów chłodzących, dostosowanych do obwodu płaszcza pieca. Ścianka robocza od strony wewnętrznej i przeciwległa do niej ścianka chłodnicy są wykonane z połażowanych blach stalowych, zespanowanych ze sobą tak, że wypukłość obu blach tworzy ciąg poziomo biegnących kanałów do przepływu wody. Ścianka robocza pieca zbrojona jest krótkimi, przyspawanymi do niej we wgłębieniach prętami, które utrzymują powłokę żużlową tworzącą się na powierzchni podczas wytapiania stali. Najnowsze rozwiązanie górnej części pancerza chłodzonego wodą przedstawia rys.3.

Żywotność ścian wynosi kilka tysięcy wytopów. Naprawy polegają na wymianie uszkodzonej sekcji.



Rys.3. Górna część pancerza pieca chłodzonego wodą

Sklepienie

Ma kształt kulisty. Stanowi ono odrębny element konstrukcji pieca i nie jest związane na stałe z kotłem. Umożliwia szybką wymianę sklepienia oraz ładowanie pieca koszem z góry. Konstrukcję nośną stanowi chłodzony wodą stalowy pierścień wykonany z blach spawanych. W pierścieniu zamontowane są haki do transportu i podwieszania sklepienia. Wewnątrz pierścienia wykonuje się część ceramiczną. W przypadku sklepienia chłodzonego wodą część ceramiczna stanowi tylko około 15% powierzchni sklepienia. Ze względów elektrycznych jedynie środkowa część sklepienia osadzona w chłodzonym wodą pierścieniu, wymurowana

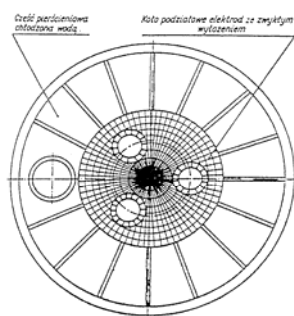
jest kształtkami ogniotrwałymi lub masą ubijaną w celu uniknięcia zwarć przez konstrukcje metalowe. Układ chłodzenia jest typu rurowego.

Sklepienie oprócz 3 otworów w części centralnej /do wprowadzania elektrod/, czwartego do odprowadzania gazów, może mieć piaty otwór do podawania sypkich materiałów wsadowych. Średnica otworów na elektrody grafitowe jest o około 20-40 mm większa od średnicy elektrod. Zarówno sklepienie jak i elektrody umocowane są na specjalnych uchwytach umożliwiających ruch w górę i odchylenie w płaszczyźnie poziomej. Najczęściej ruch wywoływany jest siłownikami hydraulicznymi.

Dominujące rozwiązania konstrukcyjne wodnego chłodzenia sklepienia to:

- Sklepienie o skrzynkowej konstrukcji elementów chłodzących /firma Korf-Fuchs i IHI Permablock.
- Sklepienie rurowe, które może być wykonane, jako sklepienie złożone /firma Demag/.
- Sklepienie monolityczne /firma Clesid/.

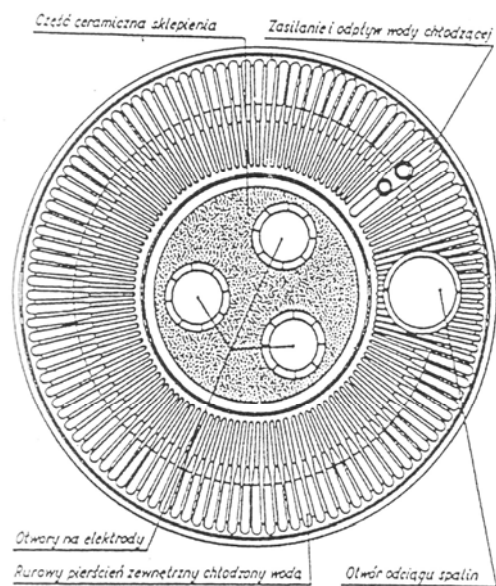
Do pierwszej grupy zaliczyć można sklepienie z zewnętrznym pierścieniem chłodzonym wodą /rys.4/



Rys.4. Sklepienie pieca łukowego z zewnętrznym pierścieniem chłodzonym wodą

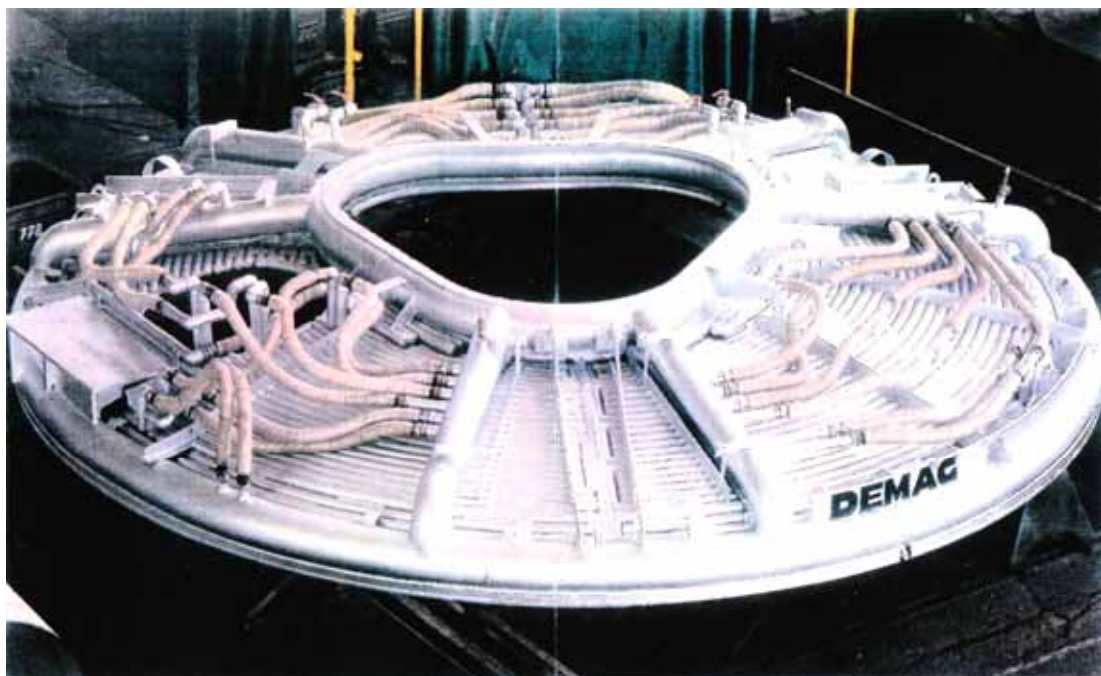
W sklepieniu z zewnętrznym pierścieniem chłodzonym wodą i kołem podziałowym elektrod wykonanym z materiałów ogniotrwałych, elementy chłodzące są konstrukcji skrzynkowej, a powierzchnia koła podziałowego wykonana jest z materiałów ogniotrwałych, jako małe sklepienie oparte na dodatkowym pierścieniu oporowym chłodzonym wodą, odpowiednio dopasowanym do pozostałej części sklepienia. Sklepienie to posiada otwór do odciągu spalin w części chłodzonej wodą i trzy otwory w małym sklepieniu ceramicznym.

Do drugiej grupy zaliczamy sklepienie monolityczne o konstrukcji rurowej /rys.5/. Część środkowa /koło podziałowe/ wykonane jest z materiałów ogniotrwałych i oparta na dodatkowo chłodzonym wodą pierścieniu oporowym.



Rys.5. Schemat sklepienia rurowego o konstrukcji monolitycznej.

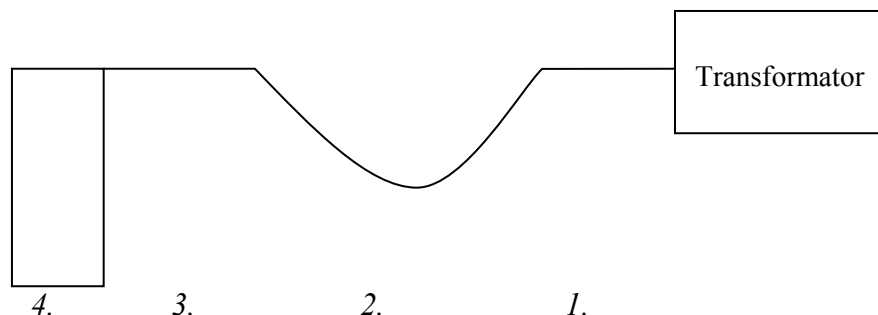
Jedno z nowocześniejszych rozwiązań konstrukcyjnych sklepienia chłodzonego wodą przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Sklepienie chłodzone wodą firmy Demag

Tor wielkoprądowy.

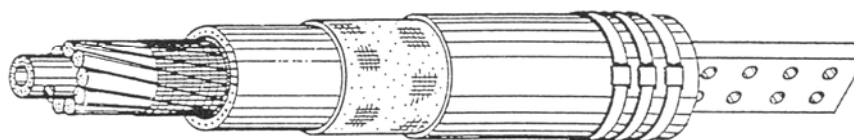
Jest to zespół przewodów umożliwiający doprowadzenie energii elektrycznej z transformatora piecowego do elektrod. W uproszczeniu schemat toru wielkoprądowego przedstawiono na rys.7.



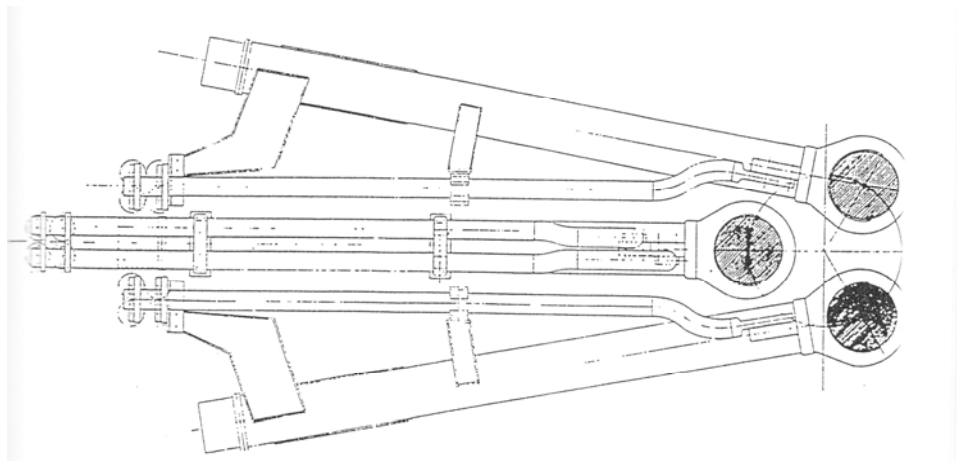
Rys.7. schemat toru wielkoprądowego: 1- przewody szynowe, 2- przewody giętkie, 3- przewody rurowe, 4 – elektroda.

Tor wielkoprądowy składa się z trzech głównych części:

1. Szyny łączące uzwojenie wtórne transformatora piecowego z przewodami giętkimi. Przewody szynowe wykonane są z pakietu blach miedzianych odizolowanych między sobą, celem zminimalizowania oporu elektrycznego.
2. Przewody giętkie. Wykonane są z linek miedzianych chłodzonych wewnątrz wodą. Przewody giętkie umożliwiają połączenie elektryczne pomiędzy nieruchomymi szynami a ruchomymi przewodami rurowymi. Przewody giętkie przedstawiono na rys.8.
3. Przewody rurowe łączące przewody giętkie z uchwytem elektrod. Ramiona nośne wraz z przewodami typu rurowego przedstawia rys.9.

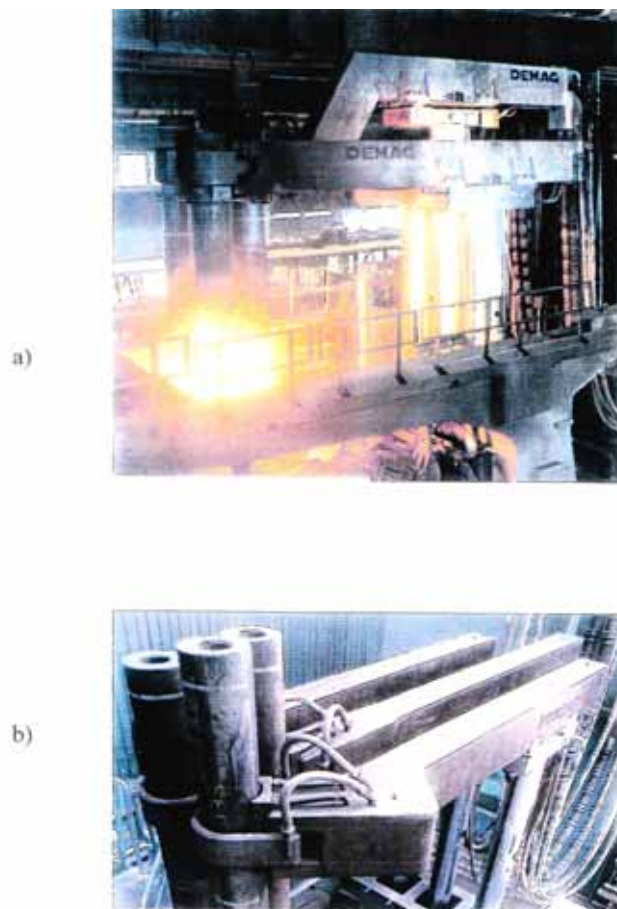


Rys.8. Przewody giętkie



Rys.9. Ramiona nośne elektrod z przewodami typu rurowego

Najnowsze rozwiązania to przewodzące ramiona nośne. Funkcje mechanicznego podtrzymywania elektrod oraz przewodzenia prądu elektrycznego spełnia jeden element. Ramiona takie wykonane są z aluminium lub miedzi i są odizolowane od konstrukcji pieca. Rozwiązania tego typu przedstawiono na rys.10.



Rys.10. Ramiona nośne przewodzące prąd: a/ aluminiowe, b/ miedziane.

Elektrody grafitowe.

Pomiędzy końcami elektrod a złomem lub ciekłą kąpielą metalową płoną łuki elektryczne. Energia elektryczna zamieniana jest w nich na energię cieplną potrzebną do realizacji procesu metalurgicznego.

Elektrody produkują się z w postaci odcinków o długości 2 – 2,5 m oraz średnicach 200 – 600 mm. Wykonywane są z: antracytu, koksu naftowego i pakowego oraz smoły lub oleju jako materiału wiążącego. Surowce po rozdrobnieniu poddawane są prasowaniu pod wysokim ciśnieniem celem ukształtowania elektrod. Następnie wygrzewa. Kolejnym etapem jest proces grafityzacji realizowany w specjalnych piecach oporowych. Czas grafityzacji jest zależny od średnicy elektrod i może wynosić kilkanaście dni. Odcinki elektrod łączy się na stalowni za pomocą złączy stożkowych lub cylindrycznych.

Elektrody grafitowe winny posiadać: małą oporność elektryczną, wysoką wytrzymałość mechaniczną, wysoka odporność na utlenianie. W celu zmniejszenia procesów utleniania stosuje się powłoki ochronne, które są niewrażliwe na działanie atmosfery utleniającej. Ich zastosowanie może prowadzić do zmniejszenia wskaźnika zużycia elektrod o 20-30%. Podstawowymi parametrami wpływającymi na zużycie elektrod grafitowych, poza jakością elektrod, są stany pracy układu zasilającego oraz czas trwania wytopu.

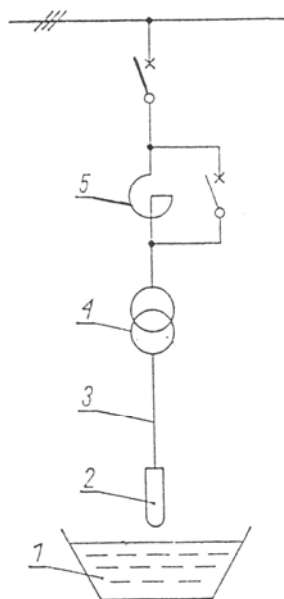
Układ zasilania.

Stalownicze urządzenie łukowe składa się z pieca łukowego, elektrod grafitowych, toru wieloprądowego, transformatora, dławika z bocznikującym go wyłącznikiem i wyłącznika mocy. Schemat takiego urządzenia przedstawia *rys.11*. Piec łukowy 1 ma różne urządzenia pomocnicze, jak: układ automatycznej regulacji łuków, mechanizm przechylania pieca, podnoszenia i odchylania sklepienia itp. Elektrody 2 są połączone z transformatorem 4 za pomocą toru wieloprądowego 3. Dławik 5 służy do ograniczenia zwarć eksploatacyjnych, powstających przy zatchnięciu się elektrod z wsadem pieca. Wyłącznik powietrzny stosowany jest do odłączania pieca łukowego od sieci w przypadku planowanych dłuższych postojów, np. remont pieca.

Transformator piecowy przetwarza energię elektryczną o wysokim napięciu i niewielkim natężeniu prądu na energię o napięciu kilkuset volt i prądzie do kilkudziesięciu kA. Moc transformatora zależy od pojemności pieca. Piece łukowe wyposażone są w transformatory trójfazowe, składające się z trzech uzwojeń pierwotnych i trzech wtórnych, osadzonych na wspólnym rdzeniu. Uzwojenia są izolowane, a rdzeń wraz z nimi jest

zamknięty w szczelnie izolowanym zbiorniku, zbiornik zaś wypełniony jest olejem transformatorowym.

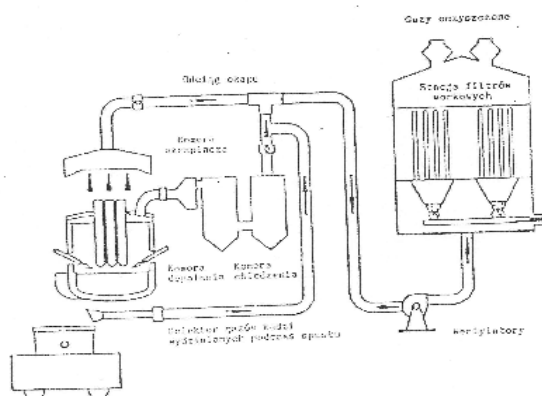
Regulacja poboru energii w łukowych piecach elektrycznych może się odbywać poprzez zmianę napięcia wtórnego transformatora piecowego oraz poprzez zmianę oporności łuku. Zadaniem jest tak regulować odstęp elektrody od kąpieli metalowej lub wsadu aby był optymalny pobór energii i optymalne oddziaływanie łuku na kapiel.



Rys. 11. Schemat stalowniczego urządzenia łukowego.

Odpylanie i ochrona przed hałasem.

W skład systemu oczyszczania gazów odlotowych wchodzi: układ odciągu bezpośredniego złożony z komór skraplania, dopalania i chłodzenia. W komorze skraplania następuje kondensacja par metali. W komorze dopalania – dopalanie CO, a komorze chłodzenia szybkie schłodzenie spalin. Układ pozwala podnieść wydajność i skuteczność systemu oczyszczania gazów bez konieczności zwiększania powierzchni filtrów.



Ważnym problemem jest ochrona przed hałasem. Ochrona przed hałasem realizowana jest:

- Środkami ochrony osobistej – niewystarczające.
- Sterowanie piecem z dźwiękoszczelnych kabin.
- Obudowanie pieca dźwiękoszczelną konstrukcją /”dog house” /.
- Obudowanie pieca i otaczających urządzeń dźwiękoszczelną konstrukcją, typu hangaru /”elephant house”/.

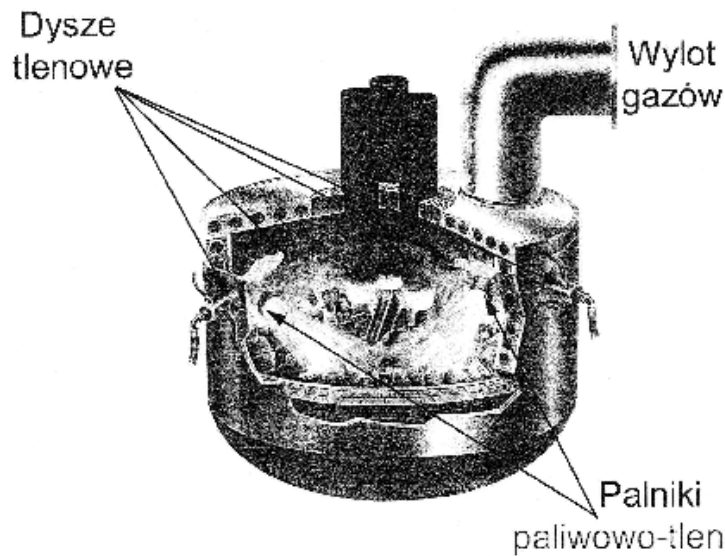
2. Technologia wytopu w piecu UHP.

Głównym celem jest: „W możliwie krótkim czasie, roztopić wsad, przeprowadzić podstawową rafinację, podgrzać kąpiel do temperatury spustu i spust”

Z uwagi na to, że większość operacji technologicznych /uzupełnianie składu chemicznego, odtlenianie, odgazowanie/ przeprowadzane są poza piecem łukowym, to technologia wytopu ograniczona jest do etapu:

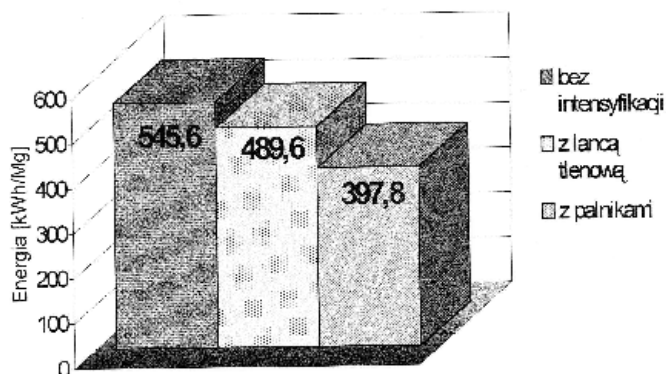
- Ładowanie wsadu.
- Roztapianie.
- Nagrzewanie.
- Spust.

W wielu piecach w celu zintensyfikowania technologii wytopu stosuje się palniki tlenowe, palniki tlenowo-paliwowe.

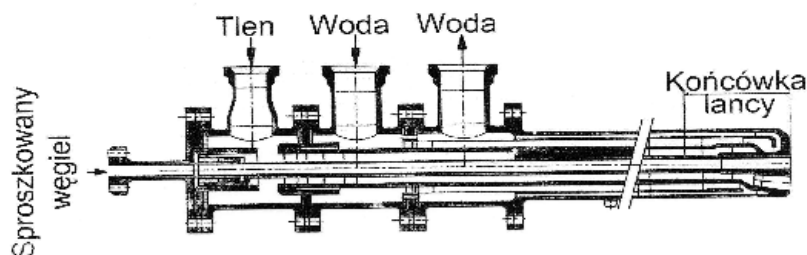


Rys. 7. Schemat przekroju elektrycznego pieca łukowego z systemem dopalania tlenku węgla.

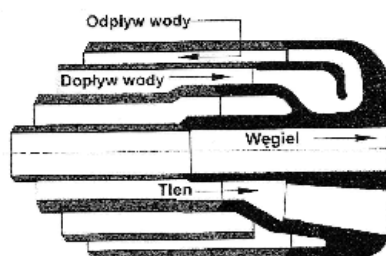
Na rysunkach poniżej przedstawiono schemat budowy lancy do wdmuchiwania tlenu i węgla, budowę lancy chłodzonej wodą a także przedstawiono efekty stosowania intensyfikacji procesu wytapiania stali w piecu łukowym. Z przedstawionego nomogramu wynika, że zastosowanie palników tlenowo-paliwowych pozwala na obniżenie zużycia energii elektrycznej z ok. 545 do 398 kWh/Mg, czyli prawie o 30%.



Rys. 4. Porównanie zużycia energii elektrycznej w piecach bez intensyfikacji, intensyfikacja przy użyciu lancy tlenowej oraz zastosowanie palników gazowo – tlenowych.

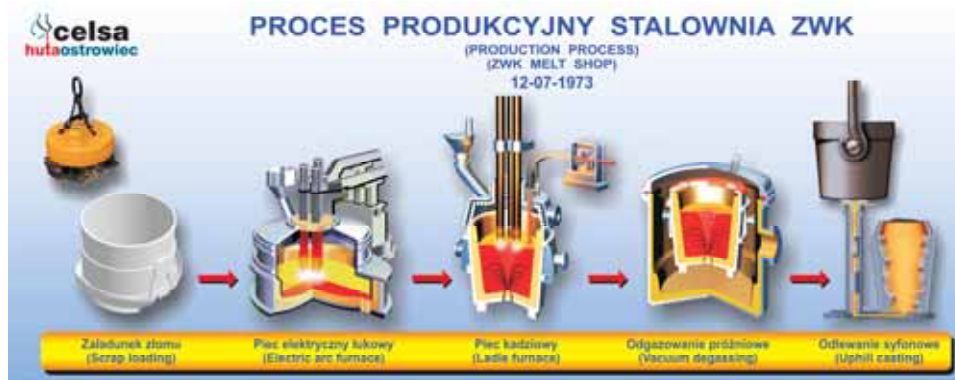


Rys. 5. Schemat przekroju lancy do wdmuchiwanu tlenu i węgla.



Rys. 6. Schematyczny przekrój końcówki lancy chłodzonej wodą.

Schemat zamieszczony poniżej przedstawia przykład technologii wytwarzania stali w warunkach Celsa – Huta Ostrowiec. Jest to wytwarzanie stali w piecu łukowym, pozapiecowa rafinacja a także syfonowe odlewanie wlewków kuziennych.



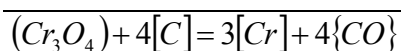
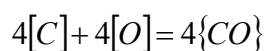
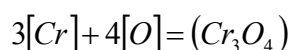
Inny przykład technologii wytwarzania stali, to: wytwarzanie stali ferrytycznych i austenitycznych.

Martensytyczne nierdzewiejące stale chromowe /12-14 %Cr/, ferrytyczne stale żaroodporne /23-27 %Cr/ oraz austenityczne chromowo-niklowe stale kwasoodporne /17-19 %Cr/ można wytapiać stosując przestarzałą *technologię ze świeżeniem rudą* bazując na złomie niestopowym i drogim bezwęglowym żelazochromie /FeCr/. Technologia ta jest droga i w praktyce rzadko stosowana.

Druga technologia to *technologia odzyskowa*, polegająca na przetopie złomu stopowego tych stali. Również ta technologia jest droga i ogranicza gatunki stali do tych w których zawartość węgla jest niższa niż w przetapianym złomie.

Należy, więc opracować taką technologię, by można było utleniać duże ilości węgla z kąpieli zawierającej powyżej 10 %Cr.

Przy zawartości chromu powyżej 10 %Cr tworzący się żużel będzie nasycony tlenkiem Cr_3O_4 .



$$K_{Cr-C} = \frac{a_{Cr}^3 \cdot p_{CO}^4}{a_C^4 \cdot a_{Cr_3O_4}}, \quad a_{Cr} = \left(\frac{K_{Cr-C} \cdot a_C^4 \cdot a_{Cr_3O_4}}{p_{CO}^4} \right)^{1/3}$$

Dla żużli nasyconych Cr_3O_4 , $a_{Cr_3O_4} = 1$

- Zakładając $p_{CO} = 1$ w oparciu o równania można obliczyć równowagową zawartość Cr w kąpieli: w zależności od zawartości w niej C i temperatury
- Zakładając $T = \text{const}$ można obliczyć równowagową zawartość Cr w kąpieli: w zależności od zawartości w niej C i ciśnienia cząstkowego CO

Powyższe równania stanowiły podstawę do opracowania technologii wytwarzania stali ferrytycznych i austenitycznych z zastosowaniem tlenu gazowego do świeżenia oraz grupy technologii świeżenia tlenem i argonem w kadziach próżniowych lub konwertorach z dolnym dmuchem.

A. Technologia ze świeżeniem tlenem gazowym w klasycznych piecach łukowych.

Z wykresu „równowagowa zawartość chromu w kąpieli metalowej w zależności od zawartości w niej węgla” wynika, że:

- Przy zawartości 12-14% Cr i temperaturze równej 1600°C w równowadze znajduje się ok. 0,4% C.
- Podwyższenie temperatury do ok. 1850°C pozwala na obniżenie zawartości węgla do 0,03-0,06%

W technologii tej wsad zestawia się w 70% ze złomu stali stopowej i w 30% złomu stali węglowej oraz złomu elektrod węglowych. Świeżenie prowadzi się laną zanurzoną w kąpieli. Rośnie temperatura oraz intensywnie utlenia się węgiel /do poniżej 0,07%/.

Wady technologii:

- Wysoka temperatura procesu, co obniża trwałość wyłożenia ogniotrwałego.
- Duże zużycie drogiego FeCr bezwęglowego.
- Niemożliwość wytwarzania stali o najniższej zawartości węgla /poniżej 0,03%/.
- Technologia ekonomicznie nieopłacalna.

B. Wytwarzanie stali w próżniowym piecu typu kadziowego.

Wykorzystuje się tu wpływ ciśnienia cząstkowego nad kąpielą na równowagową zawartość chromu i węgla.

Typowym przedstawicielem tej technologii jest proces VOD. Wsad zestawia się w 30-50% złomu stopowego, reszta złom stali węglowych oraz tani FeCr wysokowęglowy. Zawartość węgla może się zmieniać w szerokim zakresie w zależności od wytapianego gatunku. Po spuszczeniu stali do kadzi, obniżeniu ciśnienia rozpoczyna się wdmuchiwanie tlenu. Intensywne utlenianie tlenu regulowane jest natężeniem przepływu tlenu i ciśnieniem w komorze próżniowej. Czas świeżenia około 60 minut. Przedmuchiwanie argonem wspomaga utlenianie węgla. Ciśnienie w komorze rzędu 130 N/m².

Zalety technologii:

- Możliwość wytwarzania stali o zawartości C = 0,02% i niższych.
- Technologia opłacalna, gdyż bazuje na tanich wysokowęglowych żelazostopach i złomie niestopowym.
- Jedno urządzenie zwykle współpracuje z dwoma piecami łukowymi.
- Odzysk chromu ze wsadu jest rzędu 95%.

C. Konwertorowe metody produkcji stali wysokochromowych.

Wykorzystuje się tu wpływ ciśnienia cząstkowego CO na równowagę między węglem i chromem w kąpeli metalowej, przy czym ciśnienie CO nie obniżane jest nad kąpielą lecz bezpośrednio w miejscu przebiegu reakcji utleniania węgla. Efekt ten uzyskiwany jest przez obniżenie ciśnienia CO w strudze gazu świeżącego wprowadzanego przez dennicę konwertora. Jest to rozcieńczanie tlenu przez wdmuchiwanie: Ar, N₂, pary wodnej lub gazu ziemnego.

Najszerze zastosowanie mają metody: AOD, CLU. Półprodukt podobnie jak dla pieców kadziowych wytwarza się w piecu łukowym.