



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

CZEŚĆ VII

RAFINACJA WTÓRNA

/do użytku wewnętrznego AGH/

Kierunek: Metalurgia, Rok: II, Semestr: IV

RAFINACJA WTÓRNA

Wzrost wymagań w stosunku do stali na elementy urządzeń i maszyn specjalnego przeznaczenia, stanowi konieczność poddania stali specjalnym procesom wtórnej rafinacji.

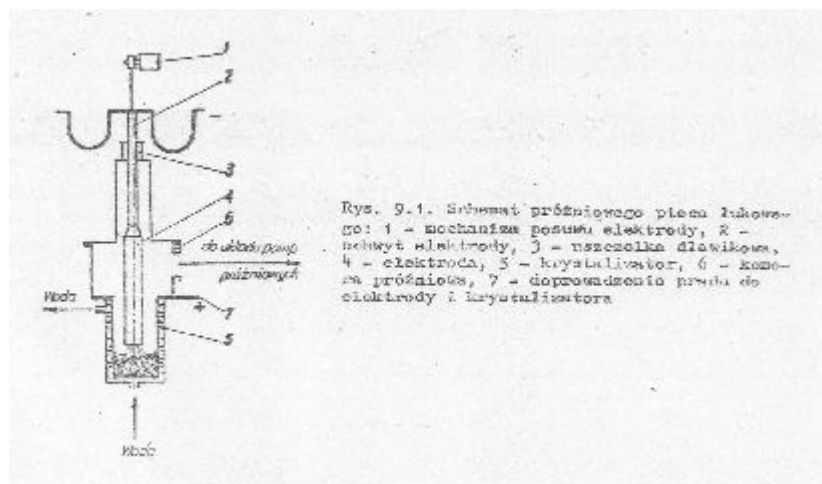
Wyróżnić tu można przetop stali w:

- Próżniowym piecu łukowym.
- Próżniowym piecu elektronowym.
- Piecu plazmowym.
- Elektrożużłowa rafinacja.

Cechą wspólną tych procesów jest przetop elektrod wykonanych /walcowanych, kutech/ ze stali wytworzonej metodami klasycznymi, a także brak kontaktu ciekłej stali z materiałami ogniotrwałymi, co pozwala na zmniejszenie zawartości tlenkowych wtrąceń niemetalicznych, ukierunkowaną krystalizację wlewka w chłodzonym wodą miedzianym krystalizatorze i ścisłą jego budowę.

1. Rafinacja stali w próżniowym piecu łukowym.

Piec taki składa się z komory próżniowej, która połączona jest z pompami próżniowymi. Od dołu zamocowany jest chłodzony wodą miedziany krystalizator. Od góry pieca podawana jest elektroda, która w komorze próżniowej będzie przetapiana. Schemat pieca pokazano na rys. 1



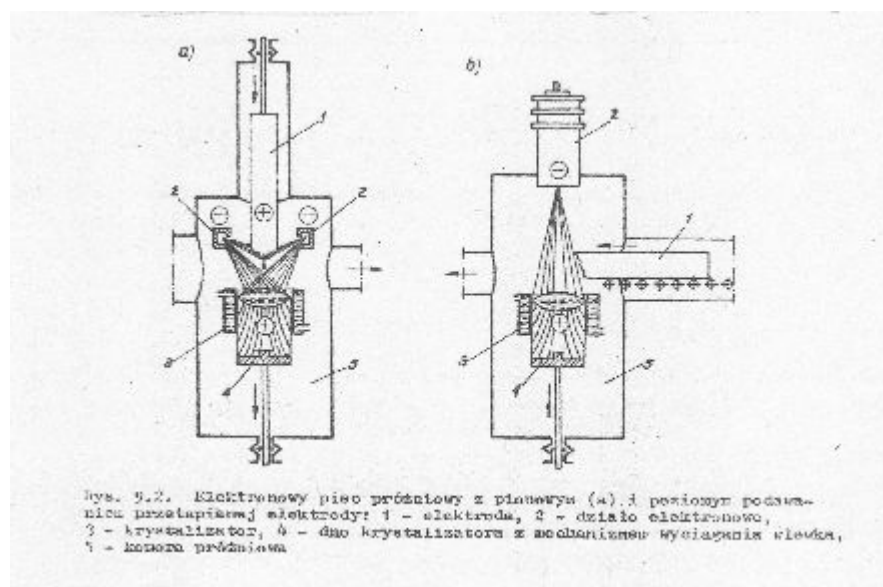
Wlewek z krystalizatora jest wyjmowany przez odłączenie dna lub systematyczne wyciąganie razem z dnem w czasie wytopu. Piec może być zasilany prądem zmiennym lub stałym. Zasilanie pieca wraz z układem automatycznej regulacji długości łuku, sprzężone jest z mechanizmem posuwu elektrody i szybkości krystalizacji wlewka. Ciśnienie w komorze próżniowej jest rzędu 0,015-0,15 Pa. W ciekłej kąpieli metalowej znajdującej się w krystalizatorze będą zachodzić procesy rafinacyjne stali: odtlenianie, odgazowanie, parowanie składników stali i odsiarczanie.

Uzyskane efekty metalurgiczne po przetopie:

- Zawartość tlenu w stali obniżona do poziomu poniżej 10 ppm, przy jednoczesnym zmniejszeniu wielkości wtrąceń niemetalicznych.
- Zawartość wodoru w stali niższa o około 90%, a azotu o 30-40%.
- Zmniejsza się zawartość w stali pierwiastków śladowych.
- Zmniejszenie zawartości siarki do 90%.
- Korzystna struktura wewnętrzna wlewka.

2. Rafinacja stali w piecach elektronowych.

Metodą tą wytwarzane są specjalne super czyste metale lub stopy. W piecach elektronowych metal w stanie ciekłym można wytrzymać przez dowolny okres czasu / w przeciwieństwie do próżniowego pieca łukowego/, co ułatwia i poprawia proces rafinacji. Schemat możliwych rozwiązań konstrukcyjnych pieca elektronowego przedstawia rys.2



Podstawową częścią pieca jest komora próżniowa. Ponadto piec ma chłodzoną wodą miedzianą krystalizator, mechanizm podawania elektrody i wyciągania wlewka. Elektrody mogą być, jak wynika z rysunku, podawane pionowo lub poziomo.

W piecach elektronowych do topienia elektrody wykorzystuje się energię kinetyczną wiązki elektronów wytwarzanej w specjalnych działach. Dział składa się z katody, z której odbywa się termiczna emisja elektronów, elektrostatycznego przyspieszania elektronów oraz elektromagnetycznych cewek do sterowania wytwarzaną wiązką elektronów. Przy różnicy potencjałów wynoszącej 30 kV prędkość elektronów osiąga wartość 10^5 km/s. Przy zetknięciu się wiązki elektronów z elektrodą lub kąpielą metalową w następstwie ich hamowania w materiale wyzwolane są duże ilości energii, która zużywana jest na topienie i nagrzewanie metalu. Proces rafinacji w piecu elektronowym pozwala na:

- Znaczne obniżenie zawartości: tlenu, azotu, wodoru i węgla do poziomu 10^{-3} – 10^{-4} %.
- Znaczne obniżenie zawartości: ołowiu, arsenu, cyny i innych metali nieżelaznych.
- Struktura wlewka jest zbliżona do wlewka z przetopu w piecu łukowym.

3. Rafinacja stali w piecach plazmowych.

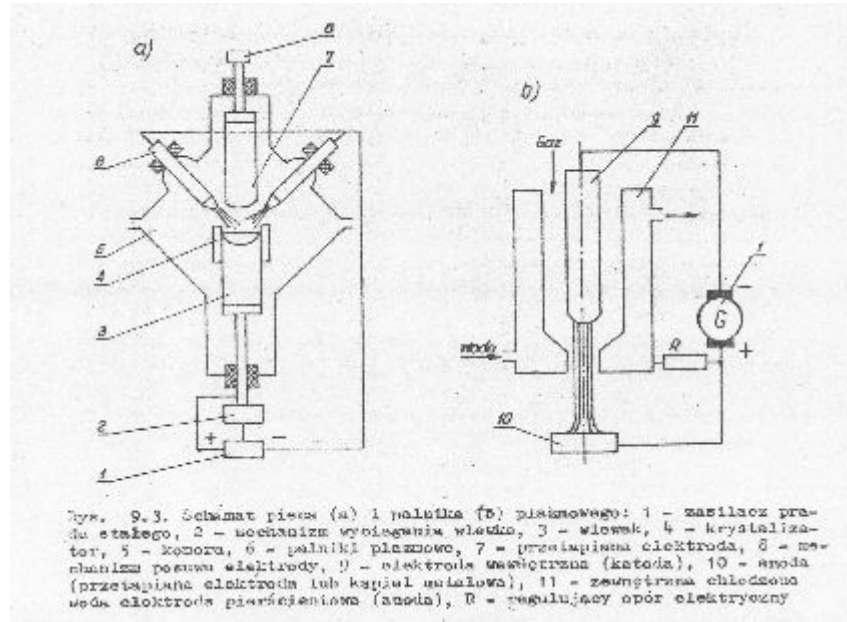
Piec plazmowy posiada palniki plazmowe, które pełnią rolę podobną do działu elektronowego w piecu elektronowym. Plazma jest to w pełni zjonizowany gaz, którego sumaryczny ładunek elektryczny wynosi zero. Plazma może być:

- Gorąca, o temperaturze setki tysięcy stopni, uzyskiwana przy prawie zupełnej jonizacji gazu.
- Zimna o temperaturze do 30 000 K, uzyskiwana przy jonizacji gazu nie przekraczającej 1%.

W metalurgii znalazła zastosowanie niskotemperaturowa plazma. Schemat palnika plazmowego i pieca plazmowego do wtórnej rafinacji metali i stopów przedstawia rysunek.

Palnik zbudowany jest z elektrody wewnętrznej /katody/ i chłodzonej wodą pierścieniowej zewnętrznej elektrody zbierającej /anody/, która za zadanie ma nadanie zwartości plazmowemu strumieniowi. Katoda zwykle wykonana jest z wolframu. Anoda wykonana jest z miedzi, a jej dysza przez którą przepływa strumień plazmy wykonana jest wolframu, molibdenu lub tytanu. Do chłodzenia dyszy stosuje się argon, hel, azot, wodór lub parę

wodną. W piecach plazmowych przetapianą elektrodę umieszcza się pionowo, a palniki zabudowuje się na obwodzie komory. Płomień plazmy może być skierowany równocześnie na przetapianą elektrodę i kapiel metalową w krystalizatorze /rys.3/.



Rafinację w piecu plazmowym można prowadzić z udziałem i bez udziału żużla. W piecu plazmowym efekty rafinacji jakie można osiągnąć są następujące:

- Można obniżyć zawartość i wielkość tlenkowych wtrąceń niemetalicznych nawet 4- krotnie.
- Mniejsze straty parowania składników stopowych w porównaniu do pieca łukowego lub elektronowego /piec plazmowy nie ma próżni/.

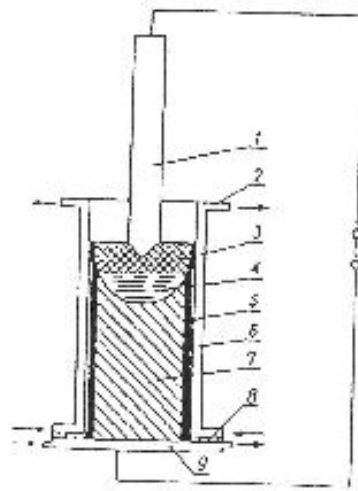
4. Elektrożużlowa rafinacja stali /EŻP/.

Urządzenia do elektrożużlowego przetapiania stali, w odróżnieniu od łukowych pieców próżniowych zasilane są w zasadzie prądem zmiennym o normalnej częstotliwości. Urządzenie może być zasilane prądem z jednej fazy lub prądem z trzech faz. Najprostszym rozwiązaniem jest urządzenie jednofazowe z jedną topioną elektrodą /rys. 4/.

Oprócz urządzeń jednofazowych stosowane są również urządzenia trójfazowe z trzema przetapianymi elektrodami, podłączonymi pojedynczo do trzech faz systemu energetycznego.

Typowe urządzenie jednofazowe do EŻP składa się z stojaka z uchwytem do podtrzymywania przetapianej elektrody /1/ i wolnego jej opuszczania w miarę jej stapiania. Elektroda jest

zanurzona w krystalizatorze /2/ o ściankach energicznie chłodzonych wodą /8/. Ze źródła prądu doprowadza się energię, łącząc jeden biegun z roztopianą elektrodą, a drugi z dnem krystalizatora /9/. Obwód prądu zostaje zamknięty przez warstwę żużla /3/ znajdującą się pomiędzy końcem roztopianej elektrody, a dnem krystalizatora lub w dalszej fazie procesu pomiędzy końcem roztopianej elektrody a zwierciadłem ciekłego metalu /4/ zbierającego się w górnej części krzepnącego w krystalizatorze wlewka /7/.



Rys.4. Schemat urządzenia EŻP

Ciepło potrzebne do topienia elektrody wywiązuje się wskutek przepływu prądu elektrycznego przez warstwę żużla, stanowiącą określony opór. Zachodzi zamiana energii elektrycznej na cieplną zgodnie z prawem Joule'a / $Q = k \cdot J^2 \cdot R \cdot t$ /. Pod wpływem wywiązującego się w warstwie żużla ciepła, żużel topi się, nagrzewa do temperatury 1700-2000°C, a od żużla nagrzewa się przetapiana elektroda aż do momentu osiągnięcia temperatury topnienia metalu. Tworząca się wówczas na czole elektrody kropla odrywa się od niej i przechodząc przez żużel sływa do krystalizatora.

Żużle do elektrożyłowego procesu przetapiania stali.

Wymagania dotyczące żużli:

- Powinien mieć punkt topienia niższy od punktu topienia materiału przetapianej elektrody.
 - Powinien być trwały aż do zakresu 400-500°C powyżej temperatury topnienia.
-

-
- W stanie ciekłym powinien przewodzić prąd elektryczny.
 - W temperaturach pracy powinien być lekko płynny.
 - Nie powinien zawierać śladów wilgoci.

Wymagania takie spełniają żuźle zawierające fluorek wapnia, a ponadto CaO i Al₂O₃.

Korzyści stosowania procesu elektrożuźlowego przetapiania stali.

- Możliwość znacznego obniżenia zawartości siarki w stali.
 - Wyrażna poprawa stopnia czystości przetapianych stali /mniej wtrąceń niemetalicznych/ oraz poprawa stopnia dyspersji i równomierności rozmieszczenia wtrąceń niemetalicznych.
 - Zmiana zawartości tlenu w przetapianej stali zależy od zasadowości żuźla ale jeszcze bardziej od zawartości Al₂O₃ w żuźlu. Można osiągnąć 2-2,5 krotne zmniejszenie zawartości tlenu w przetapianym materiale.
 - Proces EŻP w istotny sposób nie zmniejsza zawartości gazów w stali.
 - W zależności od zastosowanych parametrów elektrycznych procesu można osiągnąć niemal dokładnie pionowe ułożenie osi wszystkich kryształów we wlewkę lub bardzo zbliżone do poziomego. Ta możliwość regulowania procesu krystalizacji jest również ważną korzystną cechą EŻP. Wlewki po EŻP są pozbawione jamy skurczowej, nie wykazują wyraźnych stref likwacji składników ani osiowej strefy nieciągłości materiałowych.
-