

15 marca 1930 r.

2

C216 11/10



RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

OPIŚ PATENTOWY

Nr 11418.

Emil Gustaf Torvald Gustafsson
(Stockholm, Szwecja).

~~Kl. 18 a 19.~~

18a, 11/10

Sposób otrzymywania metali w elektrycznym piecu elektrodowym.

Zgłoszono 26 września 1927 r.

Udzielono 16 grudnia 1929 r.

Pierwszeństwo: 27 września 1926 r. (Szwecja).

Wynalazek niniejszy dotyczy sposobu otrzymywania metali, np. żelaza i stopów żelaza, w którym zawierający metal ładunek, bądź jednocześnie bądź po swej redukcji i utworzeniu metalu i żużła, stapia się w piecu elektrycznym, zaopatrzonym w jedną lub więcej elektrod umieszczonych nad kąpielą, a skierowanych nadół i dających się podnosić i opuszczać. Sposób ten daje się stosować zwłaszcza wtedy, gdy ładunek redukuje się i stapia w piecu tego rodzaju w kąpeli żużlowej, a mianowicie gdy stosunkowo cienka warstwa leży na podobnej kąpeli żużlowej lub w niej pływa. Kąpiel żużlową tworzy się bądź przed wprowadzeniem ładunku, bądź też podczas stapiania, poczem kąpiel ta zwiększa stopniowo swą głębokość pod-

czas stapiania, wskutek tworzenia się żużła pochodzącego z ładunku.

Sposób stanowiący przedmiot wynalazku można stosować tam, gdzie wymagane są piece duże, zbudowane na skalę stosowaną w przemyśle, np. o 250 kW na elektrodę lub piece jeszcze większe, natomiast do pieców małych, laboratoryjnych sposób ten nie ma zastosowania.

Przy przetapianiu ładunków, składających się z rudy żelaznej i węgla drzewnego lub kamiennego i wapna w tak obliczonych stosunkach, by otrzymać odpowiedni żużel i żelazo o pożądanej zawartości węgla, przyczem ładunki te złożone były z brykietów z rozdrobionych surowców lub gorszych albo lepszych mieszanin obliczonych według ilości drobno- lub grubo-ziar-

nistych surowców, okazało się, że napięcie w piecu pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową albo dnem pieca winno być stosowane w pewnej zależności od użytego natężenia prądu, to znaczy, że opór pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową winien posiadać daną wartość celem najlepszego wykorzystania prądu w piecu oraz samego pieca i uzyskania najlepszego przebiegu procesu otrzymywania metali oraz najmniejszego zużycia elektrod. W elektrycznych piecach do wyrobu stali, np. typu Heroult'a, i w elektrycznych piecach do wyrobu surowki, np. typu elektrometalowego, wartość tego oporu była zwykle zbyt niska i nie wystarczała do skutecznego przeprowadzenia omawianych procesów redukcji lub, innymi słowami, użyte napięcie było zbyt niskie w stosunku do natężenia prądu. W piecach do wyrobu stali o trzech elektrodach i przy trójfazowym prądzie zmiennym pomiędzy dwiema elektrodami utrzymuje się zwykle napięcie 110—120 V. Moc potrzebną do pieca określonej wielkości reguluje się natężeniem doprowadzanego prądu; a mianowicie, przy użyciu elektrod włączonych w trójkąt, stosuje się zwykle równanie:

$$N = \sqrt{3} \cdot e \cdot i \cdot \cos \varphi$$

gdzie $N =$ w W

$e =$ napięcie w V

$i =$ natężenie prądu w A i

$\cos \varphi =$ współczynnik mocy.

Przyjawszy, że $\cos \varphi = 0,90$ i $e = 110$ V, dla pieca o 3000 kW, otrzymamy natężenie prądu $i =$ mniej więcej 17 500 A. W piecu Heroult'a podanej powyżej wielkości napięcie pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową $\frac{110}{\sqrt{3}} = 63,5$ V. Omowy opór pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową wyniesie wtedy $\frac{63,5}{17\,500} = 0,0036 \, \Omega$,

co wystarcza dla zwykłego pieca do wyrobu stali. Taki mały opór, a nawet jeszcze niższy, zdarza się w zwykłych piecach typu elektrometalowego do wyrobu surowki, w których napięcie pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą żelazną, przy stosowaniu natężenia 12 000 do 16 000 A, wynosi normalnie 30 do 40 V, co odpowiada oporowi 0,0025 Ω .

Przedmiotem niniejszego wynalazku jest sposób prowadzenia większych pieców wspomnianego typu przy procesach opisanego rodzaju, który umożliwia skuteczne wykorzystanie doprowadzonej energii elektrycznej oraz samego pieca, lepszy przebieg całego procesu wyrobu metali oraz mniejsze zużycie elektrod.

Cel ten według wynalazku zostaje osiągnięty przez to, że podczas głównego okresu topienia do pieca doprowadza się na początku topienia prąd elektryczny o takim napięciu pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową lub dnem pieca, zależnym od mocy, iż opór ogólny łuku świetlnego i żużła wynosi co najmniej 0,0125 Ω na elektrodę.

W tem zestawieniu wyrażenie „opór omowy” oznacza stosunek napięcia do natężenia, a „topienie” — okres czasu pomiędzy dwoma spustami surowca.

Przy prowadzeniu pieca o oporze omowym niższym od 0,0125 Ω na elektrodę okazało się, że proces coprawda można przeprowadzić, jednakże z trudnościami, że w porównaniu z prowadzeniem pieca o wyższym oporze zużycie prądu i elektrod jest znacznie większe, redukcja przebiega wolniej, a temperatura przy dnie pieca ma skłonność do wzrastania, przyczem ta ostatnia okoliczność wpływa na trwałość pieca. Im opór będzie wyższy, tem lepiej odbędzie się redukcja i topienie ładunku na kąpeli żużlowej lub w kąpeli żużlowej. Stosownie do tego przeprowadzono topienie z bardzo dobrym skutkiem przy oporze omowym aż do 0,06 Ω na elektro-

dę oraz przy wszystkich pośrednich oporach, np. przy 0,015, 0,020, 0,025, 0,030, 0,035, 0,040 Ω na elektrodę. Przy redukowaniu i stapianiu w piecu elektrycznym np. na 3000 kW i ładunku brykietowanym, zawierającym mieszaninę rozdrabianej rudy tlenkowej z rozdrobionym środkiem redukującym okazało się, że najlepsze wyniki otrzymano wówczas, gdy piec szedł przy oporze omowym 0,035 do 0,045 Ω pomiędzy każdą z trzech elektrod a kąpielą metalową. W piecach jeszcze większych, np. na 5000 kW lub więcej, trudno jest z praktycznych względów utrzymywać opór na najwyższej wartości, np. powyżej 0,040 Ω , a to dlatego, że napięcia pomiędzy elektrodami, to jest napięcia główne, wzrastają przytem tak znacznie, że powstają trudności przy izolowaniu elektrod i wzrasta niebezpieczeństwo dla robotników, o ile doprowadzany prąd nie zostanie rozdzielony na dużą ilość mniejszych elektrod, co znów z rozmaitych względów jest niecelowe, np. dlatego, że sklepienie pieca słabnie i że konieczna jest tu odpowiednio większa ilość miejsc chłodzenia i przyrządów doprowadzających prąd. W takich wielkich piecach często należy utrzymać się przy niższych oporach, np. 0,015 do 0,030 Ω na elektrodę, choć wyższe opory są bardziej pożądane. W przypadku redukowania i topienia lub tylko topienia ładunków, złożonych nie z brykietowanej lub w inny sposób skawalkowanej mieszaniny rozdrobionych surowców, lecz z mniej lub więcej luźnej mieszaniny tych surowców, okazało się, że piec należy prowadzić z dużym oporem. Przy takim ładunku należy stosować opór co najmniej 0,0125 Ω , choć wyższe jeszcze opory są bardziej pożądane.

Okazało się również, że opór pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową można zmieniać zależnie od natury wyrabianego metalu. Jeżeli się sporządza np. stopy żelaza z ładunku rudy żelaznej oraz

ładunku, zawierającego rudę tlenkową metalu stopowego, przyczem obojętnem jest, w jakiej kolejności redukuje się i topi te ładunki, wówczas przy redukowaniu i topieniu ładunku rudy żelaznej można z korzyścią stosować inne opory, niż przy redukowaniu i topieniu ładunku metalu stopowego. Można tu powiedzieć w formie ogólnej zasady, że stosuje się tem niższe opory, im trudniej redukuje się i topi, lub tylko topi, otrzymywany metal lub stop.

Powodem stosowania do omawianych procesów oporu omowego o wiele wyższego, niż w zwykłych elektrycznych piecach do otrzymywania stali lub surówki, jest szczególny sposób redukowania i stapiania ładunku pływającego lub leżącego na kąpieli żuźłowej w piecu. Ciepło musi przytem być możliwie dobrze rozdzielone po powierzchni kąpieli żuźłowej, gdzie zużycie ciepła jest największe, co uzyskuje się przez wytworzenie dostatecznie długich łuków świetlnych pomiędzy elektrodami a kąpielą żuźłową. Ponieważ zwykle kąpiel żuźłowa stanowi stosunkowo wysoki opór, wzrastający wraz z wysokością warstwy kąpieli, więc pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową musi być utrzymywany dostatecznie duży opór, to jest napięcie w stosunku do doprowadzanej mocy musi być wysokie, gdyż inaczej, jeżeli utrzymuje się stałe natężenie zapomocą samoczynnych regulatorów, które równocześnie regulują położenie elektrod względem kąpieli metalowej, to elektrody mogą zanurzyć się do kąpieli żuźłowej tak, iż nie będą powstawały zupełnie łuki świetlne. Krzywa rozdziału temperatur łuku świetlnego wskazuje wyraźnie, że aby otrzymać dobry rozdział ciepła w kąpieli łuk świetlny musi mieć pewną dość znaczną długość. Długość łuku świetlnego oraz stosunkowo wysoka warstwa żużla są więc powodem konieczności stosowania dużych oporów lub, inaczej mówiąc, konieczności dużej liczby stosunkowej napięcia i natę-

żenia. Prowadzenie redukowania lub topienia zapomocą łuków świetlnych ma tę zaletę, że elektroda nie styka się z ładunkiem, co ma szczególne znaczenie przy otrzymywaniu metali lub stopów o małej zawartości węgla i pochłaniających węgiel.

Ważne zadanie oporu żużła w omawianym procesie polega na wywiązywaniu ciepła celem podtrzymywania temperatury w żużlu i metalu, leżącym pod nim. Procesów redukowania i topienia ładunku, pływającego na powierzchni żużła, na której w miejscach, gdzie leży ładunek, tworzy się sztywna skórka, nie można przeprowadzać z dobrym skutkiem wówczas, gdy doprowadza się ciepło np. przez dwa łuki świetlne, drgające nad kąpielą, bez takiego oporu w żużlu, gdyż zużycie ciepła na powierzchni kąpieli żużłowej uniemożliwia uzyskanie dostatecznie wysokiej temperatury na dnie pieca, o ile utrzymywać temperaturę nad kąpielą poniżej temperatury użytecznej pieca. Gdy prąd przepływa przez żużel, wywołuje się skutek oporu znaczna ilość ciepła, tak, iż żużel ogrzewa się dostatecznie, by ogrzać metal do pożądanego stopnia oraz by oddać ciepło ładunkowi pływającemu lub leżącemu na powierzchni żużła. Im trudniej topi się otrzymywany metal, tem, oczywiście, cieplejszy musi on być na dnie pieca, aby tam nie skrzepnął. Przy otrzymywaniu stopów o dużej zawartości metalu stopowego, np. o małej zawartości węgla żelazo-chromu lub tak zwanego nierdzewiejącego żelaza o zawartości 13 do 15% chromu, stosunkowo duża część oporu na elektrodę przypada na żużel. Ogólny opór w żużlu i łuku świetlnym podczas głównej części topienia winien wynosić co najmniej $0,0125 \Omega$, a nawet korzystniej gdy może być jeszcze większy.

Jeżeli podczas topienia temperatura metalu spada zbyt tak, iż zachodzi obawa skrzepnięcia metalu lub pogorszenia

przemiany pomiędzy metalem a żużlem, np. celem odsiarczenia metalu, dobrze wówczas jest na krótszy lub dłuższy przeciąg czasu podczas topienia opuścić elektrodę lub elektrody do żużła, to jest zmniejszyć opór na elektrodę, a przez to do dolnych warstw kąpieli żużłowej doprowadzić większą ilość ciepła. Zmieniając położenie elektrod względem kąpieli metalowej, a wskutek tego zmieniając ogólny opór na elektrodę w łuku świetlnym i w żużlu, można dowolnie doprowadzać ciepło do rozmaitych części kąpieli żużłowej i w ten sposób regulować temperaturę w rozmaitych częściach pieca. Piec prowadzi się zwykle w taki sposób, że utrzymuje się stałą moc elektryczną, to znaczy dla określonych wartości napięcia utrzymuje się odpowiednie wartości natężenia, co uskutecznia się zapomocą samoczynnych regulatorów, które nastawia się na rozmaite wartości natężenia, regulując w ten sposób położenia elektrod względem kąpieli metalowej. Przy dużym oporze, to znaczy przy stosunkowo długim łuku świetlnym, ciepło dopływa głównie do powierzchni kąpieli żużłowej; przy średnim oporze, czyli przy krótkim łuku świetlnym lub przy rozpoczynającym się stykaniu elektrody z kąpielą żużłową, ciepło dopływa jeszcze wciąż najbardziej do górnej części kąpieli żużłowej; przy małym zaś oporze, to znaczy gdy elektroda zanurza się w żużlu, ciepło dopływa najbardziej do dolnej części kąpieli żużłowej.

Ponieważ przy procesach topienia omawianego rodzaju, w których ładunek zawierający metal wprowadza się do pieca na kąpiel żużłową bądź sposobem ciągłym, bądź odpowiednimi okresami, wysokość kąpieli żużłowej, a przez to i spadek napięcia oraz opór w kąpieli żużłowej podczas topienia stale wzrastają; znaczyłoby to, że przy stałym oporze ogólnym w łuku świetlnym i żużlu spadek napięcia w łuku świetlnym oraz wskutek tego i opór łuku

światelnego stale by się zmniejszały. Aby tego uniknąć należy podczas topienia spuścić lub w inny sposób usunąć odpowiednią część żużla. Z tego względu najbardziej wskazanem jest stałe spuszczenie żużla tak, aby jego warstwa utrzymywała się na stałej wysokości, co jednak trudno wykonać. Przy użyciu pieców wywrotowych stosunkowo łatwo już jest spuszczać żużel dowolnie często bez znaczniejszych przerw w procesie. Wysokość warstwy żużla jest przytem tak dostosowana, iż opór żużla dostarcza tylko ciepło potrzebne do ogrzewania kąpeli metalowej i żużla, podczas gdy reszta ciepła wywiązuje się w miejscu największego zużycia ciepła, to znaczy na powierzchni kąpeli żużlowej.

Zwiększenie oporu a stąd i spadek napięcia w kąpeli żużlowej podczas przebiegu topienia może być wyrównany także oprócz spuszczenia żużla jeszcze i w inny sposób, np. zapomocą zwiększenia napięcia pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową odrazu lub stopniowo, co powstrzyma spadek napięcia lub opór łuku świetlnego oraz jego długość. Przy niezmiennem natężeniu wzrośnie energja, doprowadzana do pieca. Takie regulowanie napięcia można uzyskać np. przez zmianę połączeń transformatorów lub zmianę liczby stosunkowej uzwojeń transformatorów przez wykorzystanie odpowiednich miejsc czołów. Jeżeli należy utrzymać stałą energję elektryczną, co zwykle ma miejsce, wówczas zmniejsza się natężenie prądu doprowadzanego do pieca, i to w tym samym stopniu, jak wzrasta napięcie; uzyskuje się to zapomocą naregulowania elektrody, najkorzystniej zapomocą samoczynnego regulatora, w położenie odpowiadające zarówno najwyższemu spadkowi napięcia, jak i zmniejszonemu natężeniu. Dopływ prądu reguluje się więc zapomocą zmiany napięcia i położenia elektrod względem kąpeli metalowej w taki sposób, że ogól-

ny opór w łuku świetlnym i w żużlu pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową wzrasta w tym samym stopniu, jak i poszczególne opory w kąpeli żużlowej, to znaczy, że opór łuku świetlnego podczas przebiegu topienia jest stały.

Wady zwiększonego oporu, wskutek wzrastającej wysokości kąpeli żużlowej podczas topienia, będą oczywiście mniejsze, gdy żużel będzie miał duże właściwe przewodnictwo elektryczne. W ten sposób można zrównoważyć te wady zapomocą odpowiedniego dobrania składu żużla, np. zapomocą utworzenia silnie zasadowego żużla lub przez powiększenie w żużlu zawartości tlenków metali, przyczem ten ostatni zabieg posiada szczególne zalety w tych przypadkach, gdy chodzi o otrzymywanie metali o bardzo niskiej zawartości węgla, np. żelaza lub jego stopów z zawartością węgla poniżej 0,05%.

Piece do wykonania sposobu w myśl wynalazku, posiadające elektryczne transformatory, przewody i t. d., oblicza się bądź na wysokie napięcie robocze, np. 110—120 V pomiędzy każdą z elektrod a kąpielą metalową, bądź na napięcie poniżej 110 V. Można też, nie wychodząc poza ramy wynalazku, stosować wyższe napięcia. W pierwszym przypadku przy użyciu trójfazowego prądu zmiennego i trzech elektrod napięcie główne pomiędzy dwiema elektrodami wynosi 190—380 V; napięcie takich dotychczas w elektrycznych piecach elektrodowych jeszcze nie stosowano. Przy tak wysokich napięciach liczba elektrod jest stosunkowo mała, zwłaszcza przy najwyższym napięciu oraz przy oporze np. 0,03—0,04 Ω na elektrodę. W drugim przypadku, a mianowicie przy stosowaniu napięć niższych od 110 V, liczbę elektrod należy zwiększyć, celem utrzymania mniejszej mocy elektrycznej na elektrodę tak, iż na elektrodę uzyskuje się stosunek użytego napięcia do elektrycznej mocy odpowiadający pożądanemu wyż-

szemu oporowi. Pierwszy przypadek posiada tę zaletę, że straty energii w transformatorach i przewodach są mniejsze, a elektryczne urządzenia pieca tańsze, podczas gdy w drugim przypadku uzyskuje się lepsze przewodnictwo cieplne całkowitej powierzchni kąpieli.

Przeciw proponowanemu sposobowi regulowania dopływu prądu odpowiednio do określonego oporu pomiędzy elektrodą a kąpielą metalową lub żużlową możnaby było podnieść ten zarzut, że rozdział oporu w żużlu i łuku świetlnym przy rozmaitych przekrojach poprzecznych elektrod jest rozmaity, gdyż doprowadzany prąd rozdziela się na większej powierzchni kąpieli żużlowej, wskutek czego opór zmniejsza się wraz ze wzrostem poprzecznego przekroju elektrod. Jest to słuszne, gdy elektroda dotyka żużła lub zanurza się w nim; jeżeli jednak pomiędzy elektrodą a żużlem utworzy się łuk świetlny, wówczas drga on głównie, np. pomiędzy częścią dolnej krawędzi elektrody a kąpielą i porusza się zwykle dokoła obwodu elektrody. Z tego powodu przy stosowaniu łuków świetlnych rozdział prądu w żużlu przy rozmaitych przekrojach elektrod jest praktycznie jednakowy, a w każdym razie utrzymuje się wewnątrz granic spotykanych w piecach budowanych na skalę przemysłowo-handlową. Dalszym powodem do nieuwzględniania średnicy elektrod jest zjawisko stałego nagryzania dolnej części elektrod podczas biegu pieca tak, iż zależnie od rozmaitych okoliczności posiadają one różne przekroje. Przy stosowaniu elektrod o większych przekrojach poprzecznych można utrzymywać niższy opór na elektrodę, niż przy mniejszych przekrojach, przyczem jednak należy utrzymać wyżej podaną dolną granicę $0,0125 \Omega$ na elektrodę.

Powyżej podano tytułem przykładu zastosowanie wynalazku do otrzymania żelaza i jego stopów, przyczem ładunek

tlenku żelaza i, o ile potrzeba, tlenku metalu stopowego przerabia się razem z termicznym środkiem redukującym, np. żelazokrzemem, żelazoglinokrzemem, glinem lub podobnym, albo z węglem dowolnego rodzaju lub z mieszaniną węgla i termicznego środka redukującego; oprócz tego sposób w myśl wynalazku daje się zastosować do otrzymywania innych metali z ich rud tlenkowych, np. glinu i jego stopów, z gliny lub bauksytu albo z ich rud siarczkowych, stosując np. wapien lub żelazo jako środki wiążące siarkę, jak np. przy otrzymywaniu cynku z zespolonych rud, zawierających cynk i ołów. Wynalazek nie jest wtedy związany z przytoczonymi powyżej jako przykład materiałami i może znaleźć zastosowanie do otrzymywania wszelkich metali z rud lub innych materiałów, zawierających metal.

Zastrzeżenia patentowe.

1. Sposób otrzymywania metali, np. żelaza i jego stopów, w którym zawierający metal ładunek bądź jednocześnie, bądź po swej redukcji i utworzeniu metalu i żużła stapia się w kąpieli żużlowej lub na kąpieli żużlowej w piecu elektrycznym, zaopatrzonym w jedną lub więcej elektrod umieszczonych nad kąpielą, skierowanych nadół, i dających się podnosić i opuszczać, znamienny tem, że podczas głównego okresu topienia do pieca doprowadza się prąd elektryczny o takim napięciu w stosunku do użytej mocy, iż ogólny opór w łuku świetlnym i w żużlu wynosi co najmniej $0,0125 \Omega$ na elektrodę.

2. Sposób według zastrz. 1, w zastosowaniu do otrzymywania wiążących węgiel metali o niskiej zawartości węgla, np. kowalnego żelaza lub stali, przez redukcowanie i topienie ładunku, zawierającego rudy tlenkowe i środki redukujące, np. materiały zawierające węgiel, znamienny tem, że ogólny opór w łuku świetlnym i

żuźlu utrzymuje się pomiędzy 0,0125 i 0,04 Ω na elektrodę.

3. Sposób według zastrz. 1—2, znamieny tem, że głębokość kąpieli żuźlowej podczas topienia reguluje się np. przez ciągle lub dowolnie częste spuszczenie żuźła podczas topienia w ten sposób, iż opór żuźła dostarcza tylko ciepło, potrzebne do podtrzymania temperatury kąpieli metalowej i żuźła, podczas gdy reszta oporu w łuku świetlnym pomiędzy elektrodą a kąpielą żuźłową służy do wywiązywania ciepła, potrzebnego do redukcji i topienia lub topienia.

4. Sposób według zastrz. 1—3, znamieny tem, że napięcie pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową podczas topienia zwiększa się odrazu lub stopniowo, zależnie od wzrostu oporu kąpieli żuźlowej, pogłębiającej się podczas topienia.

5. Sposób według zastrz. 1—4, znamieny tem, że dobiera się taki skład ładunku, aby podczas topienia w piecu powstawał żużel dobrze przewodzący elektryczność celem zmniejszenia oporu w

żuźlu, a wskutek tego zwiększenia spadku napięcia w łuku świetlnym na elektrodę, czyli zwiększenia oporu łuku.

6. Sposób według zastrz. 1—5, znamieny tem, że prąd elektryczny doprowadzany jest do pieca przy napięciu 110—220 V pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową zapomocą takiej liczby elektrod, iż ogólny opór na elektrodę wynosi co najmniej 0,0125 Ω , a lepiej jeszcze więcej.

7. Sposób według zastrz. 1—5, znamieny tem, że do pieca doprowadza się prąd elektryczny zapomocą tak dużej ilości elektrod, niezależnych jedna od drugiej, iż pomiędzy każdą elektrodą a kąpielą metalową utrzymuje się napięcie najwyżej 120 V przy ogólnym oporze na elektrodę co najmniej 0,0125 Ω , a lepiej jeszcze większym.

Emil Gustaf Torvald
Gustafsson.

Zastępca: Inż. M. Zoch,
rzecznik patentowy.