

NAGRZEWANIE ELEKTRODOWE

Nagrzewanie elektrodowe jest to nagrzewanie elektryczne oparte na wydzielaniu ciepła przy przepływie prądu przez ośrodek ciekły połączony ze źródłem energii za pośrednictwem elektrod.

Celem nagrzewania elektrodowego jest bezpośrednio dostarczenie energii do ośrodka ciekłego lub za jego pośrednictwem do umieszczonych w nim ciał (substancji), nie wykluczając elektrod. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z nagrzewaniem bezpośrednim, w drugim - z pośrednim. Oba te sposoby mogą niekiedy występować równocześnie, co nie zawsze jest pożądane.

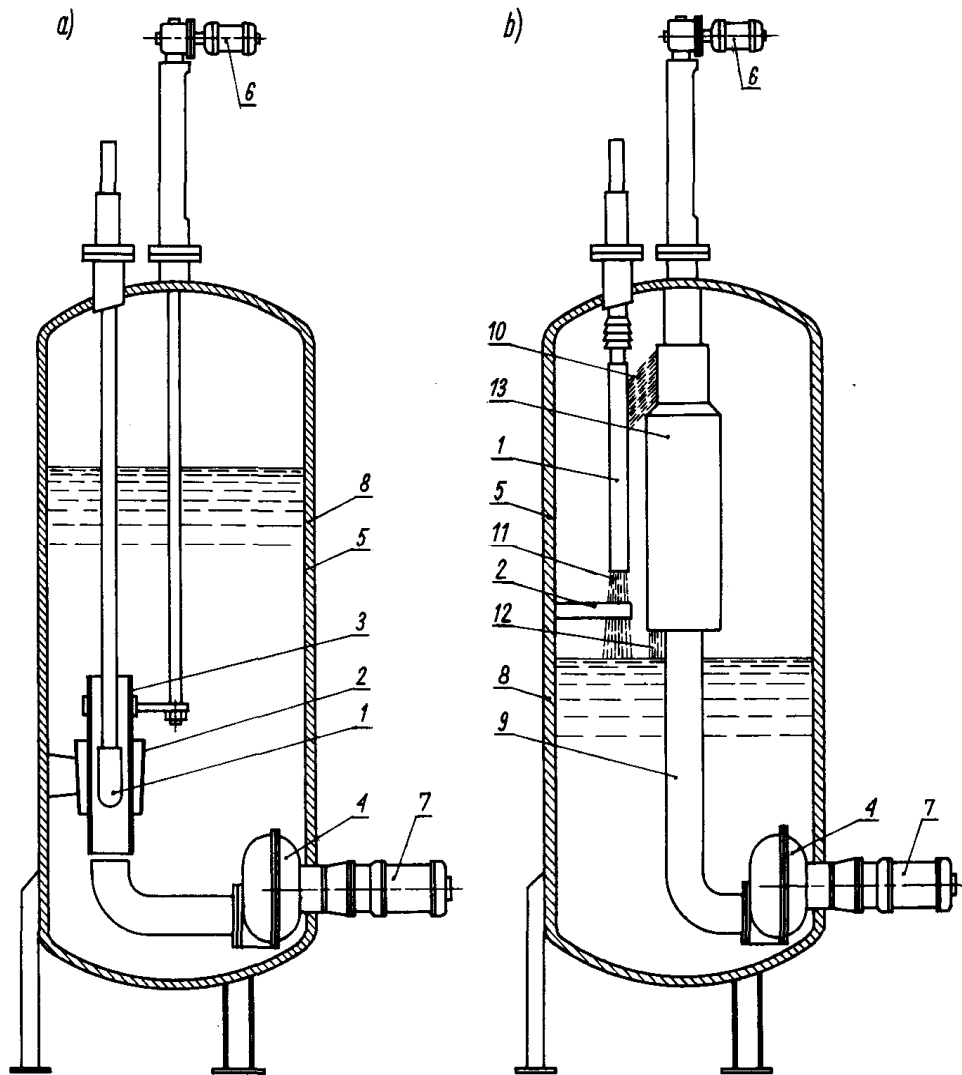
Urządzenia elektrodowe i ich zastosowania

Urządzenia do nagrzewania wody.

Nagrzewanie elektrodowe wody, a także wytwarzanie pary wodnej realizowane jest prądem przemiennym w urządzeniach nieprzelotowych i przelotowych. Zasada nagrzewania polega na bezpośrednim przepływie prądu przez wodę, której rezystywność zależy nie tylko od temperatury, lecz także od ilości i rodzajów rozpuszczonych w niej substancji.

Do nagrzewania wody i do wytwarzania pary stosuje się kotły elektrodowe (rys. 4.1). Ich moce dochodzą do 70 MW. Napięcia mogą być doprowadzona bezpośrednio z sieci do elektrod bez stosowania jakichkolwiek urządzeń pośredniczących, np. transformatorów. Wartość napięcia zasilającego, zwłaszcza małych kotłów, jest ograniczona względami konstrukcyjnymi. Kotły duże o mocach 4÷70 MW są zasilane bezpośrednio z sieci o napięciu 6÷30 kV, podobnie kotły średnie o mocach 1÷4 MW zasilane są z sieci o napięciu 1÷3 kV zaś małe kotły o mocach 15÷1000 kW napięciem niskim.

Współczynnik mocy kotłów elektrodowych jest praktycznie równy jedności. Ich sprawności elektrotermiczne zawierają się w przedziale 0,96÷0,99, przy czym niższe wartości dotyczą kotłów do wytwarzania pary. Możliwość uzyskania tak dużych sprawności wynika z łatwości izolowania kotłów.



Rys. 4.1. Kotły elektrodowe: a) kocioł o mocy regulowanej położeniem rury izolacyjnej umieszczonej między elektrodą i przeciwelektrodą; b) kocioł wytryskowy
1 - elektroda, 2 - przeciwelektroda, 3 - rura izolacyjna, 4 - pompa, 5 - zbiornik, 6 - silnik z układem napędowym do zmiany położenia rury izolacyjnej, 7 - silnik pompy, 8 - termoizolacja, 9 - rura, 10 - górny strumień wody, 11 - dolny strumień wody, 12 - nadmiar wody, 13 - obudowa rury

Z kotła o mocy 12 MW można otrzymać w ciągu godziny ok. 15 Mg pary nasyconej o ciśnieniu 15,7 MPa ($t_n=200,43\text{ }^\circ\text{C}$). Maksymalne temperatury wytwarzanej w nich pary mogą sięgać 850°C . Kotły elektrodowe znalazły zastosowanie w niektórych procesach wytwórczych i przetwórczych, a głównie w układach ogrzewniczych. Ich użytkowanie w przemyśle koncentruje się w branżach: papierniczej, drzewnej, tekstylnej, skórzaney, farmaceutycznej i chemicznej

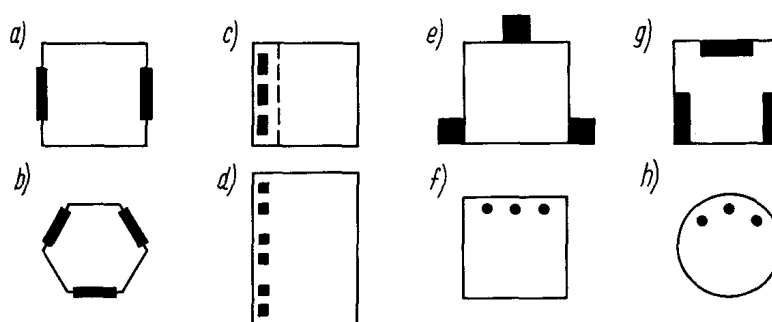
Urządzenia elektrodowe do obróbki cieplnej metali

Obróbkę cieplną metali można realizować metodą elektrodową w wannach z roztopionymi solami. Szczególnie nadają się do tego celu sole metali alkalicznych.

Zasilanie wanien realizuje się prądem przemiennym, z wyjątkiem gdy jest ono połączone z elektrolitycznym rozkładem soli (np. w technologii borowania). Wówczas zasila się wanny napięciem zawierającym także składową stałą. Nagrzewanie ma dwojaki cel: podwyższenie temperatury wsadu i dalszą jego obróbkę cieplną w urządzeniu lub poza urządzeniem elektrodowym bądź obróbkę dyfuzyjną w soli aktywnie chemicznej.

Nagrzewanie elektrodowe charakteryzuje się bardzo intensywnym przejmowaniem ciepła między kąpielą solną i wsadem. W wyniku tego wsad podczas nagrzewania w soli ma równomierną temperaturę na całej swej powierzchni, w stanie ustalonym - w całej objętości. Dalsze zalety tej techniki to możliwość długotrwałego nagrzewania w zakresie temperatur $1000\div 1300^{\circ}\text{C}$, a nawet do 1650°C .

Urządzenie elektrodowe do obróbki cieplnej metali w roztopionych solach składa się z następujących członów: grzejnego, którym jest piec solny niekiedy nazywany wanną solną; zasilającego czyli transformatora zaczepowego obniżającego napięcie do $4\div 30\text{ V}$; pomiarowo-regulacyjnego oraz wyciągu przeznaczonych do usuwania oparów powstających od rozgrzanych soli.

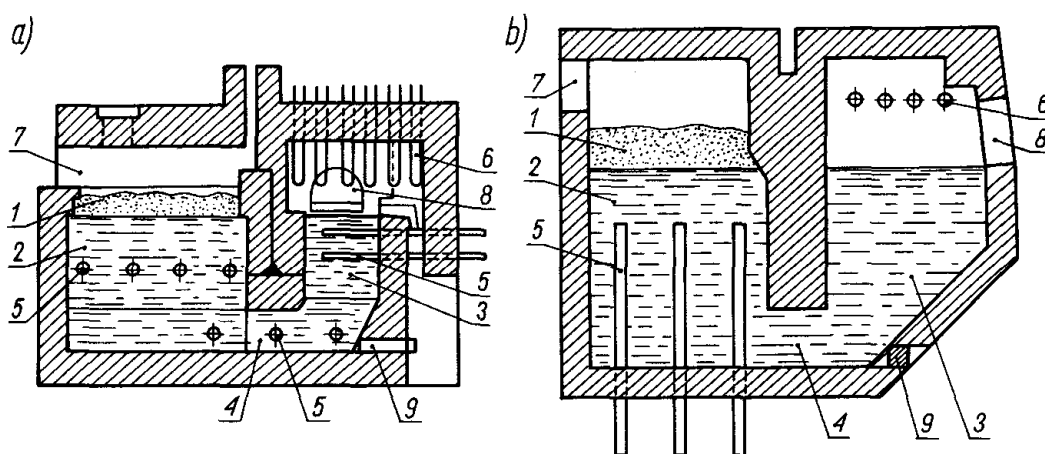


Rys. 4.3. Układy elektrod w wannach solnych: a) jednofazowy dwuelektrodowy z niewyodrębnioną przestrzenią grzejną; b), e), g) trójfazowy trójelektrodowy z niewyodrębnioną przestrzenią grzejną; c) trójfazowy trójelektrodowy z wydodrębnioną przestrzenią grzejną, oddzieloną od przestrzeni elektrodowej perforowaną przegrodą; d) trójfazowy sześcielektrodowy z wydodrębnioną przestrzenią grzejną; f), h) trójfazowy trójelektrodowy z wydodrębnioną przestrzenią grzejną

Urządzenia do topienia szkła

Metodę elektrodową wykorzystuje się do topienia szkła przy nagrzewaniu wyłącznie elektrycznym, skojarzonym tzn. elektryczno-paliwowym oraz przy dogrzewaniu elektrycznym, realizowanym w urządzeniach paliwowym dodatkowo wyposażonych w układy elektrodowe. Technologia topienia szkła realizuje się w urządzeniach, których podstawowymi członami są piece, niekiedy nazywane wannami szklarskimi. Temperatury topienia szkieł: $1000\div 1800^{\circ}\text{C}$.

Elektrody w piecach elektrodowych, elektrodowo-paliwowych i w paliwowych z dogrzewaniem elektrycznym wykonuje się głównie z molibdenu.



Rys. 4.6. Elektrody w piecu szklarskim: a) umieszczone w ścianach bocznych; b) umieszczone w dnie

1 - zestaw, 2 - część topliwna, 3 - część wyrębowa, 4 - przepływ, 5 - elektrody, 6 - elementy grzejne rezystancyjne, 7 - okno wsadowe, 8 - okno do poboru masy, 9 - spust

Transformatory zasilające dopasowujące napięcie sieci do napięcia zasilania elektrod pracują w różnych układach: jedno-, dwu-, trój- i wielofazowych, z regulacją napięcia po stronie pierwotnej i wtórnej za pomocą odcięć, z podziałem uzwojeń na sekcje i ich przełączaniem, w układach skojarzonych i nieskojarzonych. Często same transformatory nie zapewniają wymaganej regulacji mocy lub prądu, wówczas współpracują one z autotransformatorem, regulatorami indukcyjnymi typu transformatorowego, dławikami, transduktorami i układami tyrystorowymi.

Moce grzejne urządzeń elektrodowych do topienia szkła zależą od ich wydajności dobowej, rodzaju topionego szkła, konstrukcji pieców. Moce największych jednostek nie przekraczają 10 MVA.

Urządzenia do wytwarzania metali nieżelaznych

Do kategorii tej zaliczają się termoelektrolizery do wytwarzania głównie Al, Mg, Na i Ca, a ponadto Be, Li, Ce, Nb, Th, Ti, U, Zr, Ta i in. Termoelektrolizery są to urządzenia, w których wymienione pierwiastki otrzymuje się drogą elektrolizy w roztopionych solach stanowiących elektrolit. Procesy takie, nazywane termo-elektrolizą, podlegają tym samym prawom co elektroliza roztworów wodnych. Różnica polega na prowadzeniu procesów w wysokich temperaturach i zużyciu części energii elektrycznej na nagrzanie i utrzymywanie elektrolitu w stanie ciekłym,

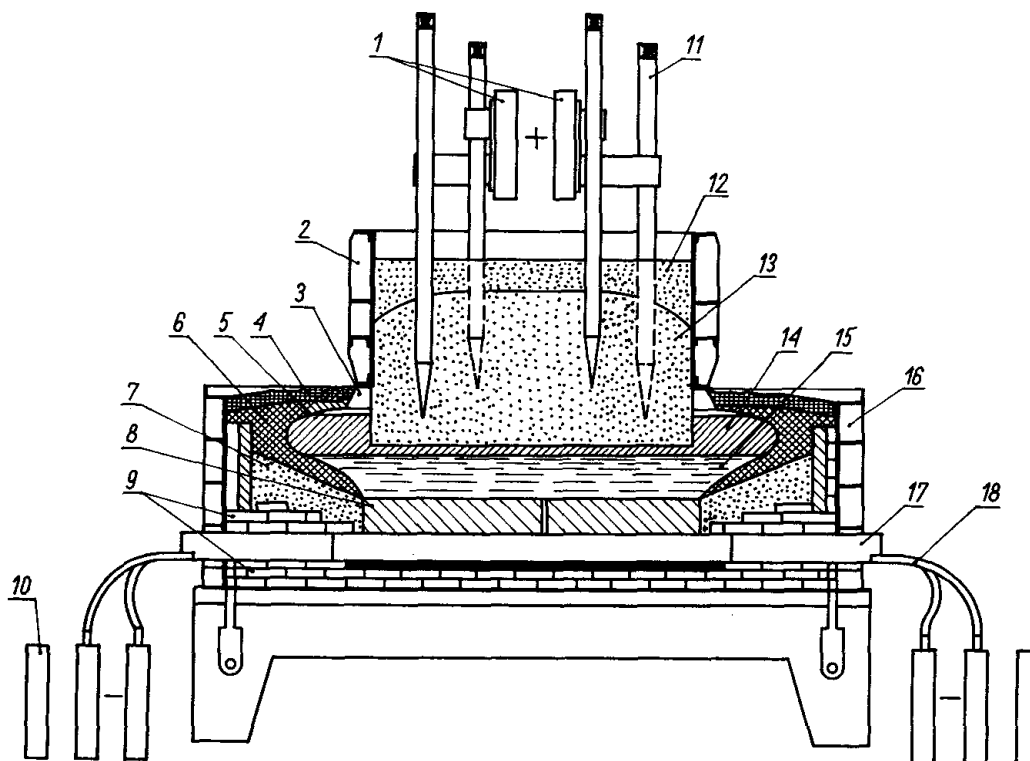
Aluminium otrzymuje się w procesie elektrolizy tlenku glinu Al_2O_3 rozpuszczonego w stopionym kriolicie $3NaF \cdot AlF_3$ (metoda Halla-Heroult'e'a). W wyniku rozkładu Al_2O_3 m.in. na Al^{3+} oraz AlO_3^{3-} na katodzie węglowej wydzielają się ulegające zobojętnieniu jony Al.

Optymalna temperatura elektrolitu waha się w granicach $940 \div 960^\circ C$.

Tablica 4.3. Wskaźniki charakteryzujące termoelektrolizery do Al

Wskaźnik	Jednostka	Rodzaj termoelektrolizera			
		Z anodą Söderberga i bocznym doprowadzeniem prądu	Z anodą Söderberga i pionowym doprowadzeniem prądu	Z anodą uprzednio spieczoną ciąglą (jednoblokowe)	Z anodą uprzednio spieczoną nieciąglą (wieloblokowe)
Stosowane natężenia prądów	kA	30÷80	50÷150	50÷80	30÷260 ¹⁾
Gęstości prądów	kA/m ²	0.7÷1	0.55÷0.7	0.7	0.7÷1.2
Napięcie	V	4.1÷5	4.1÷5	4.8	4÷5
Wydajność prądowa	-	0.86÷0.88	0.86÷0.88	0.88	0.86÷0.90
Zużycie właściwe energii elektrycznej	kW·h/kg	15÷17	15÷17	16.5	13÷17

¹⁾ Opracowano już termoelektrolizer 275 kA przewidziany dla nowourochamianej huty aluminium w Kanadzie.



Rys. 4.13. Przekrój poprzeczny termoelektrolizera z anodą Söderberga

1 – szyny anodowe, 2 – płaszcz anody, 3 – dzwon do zbierania gazów, 4 – tlenek glinu, 5 – skorupa na powierzchni elektrolitu, 6 – garnisaż (zakręple składniki zawartości wanny stanowiące naturalną termoizolację), 7 – warstwa masy węglowej dennej, 8 – węglowe bloki denne, 9 – cegły termoizolacyjne, 10 – szyny katodowe, 11 – sworzeń anodowy, 12 – niespieczona masa anodowa, 13 – spieczona masa anodowa, 14 - elektrolit, 15 – ciekłe aluminium, 16 – stalowy płaszcz katody, 17 – rdzeń katodowy, 18 – giętkie przewody aluminiowe

Czystość Al, otrzymanego w procesie elektrolizy, wynosi 99,5÷99,7%.

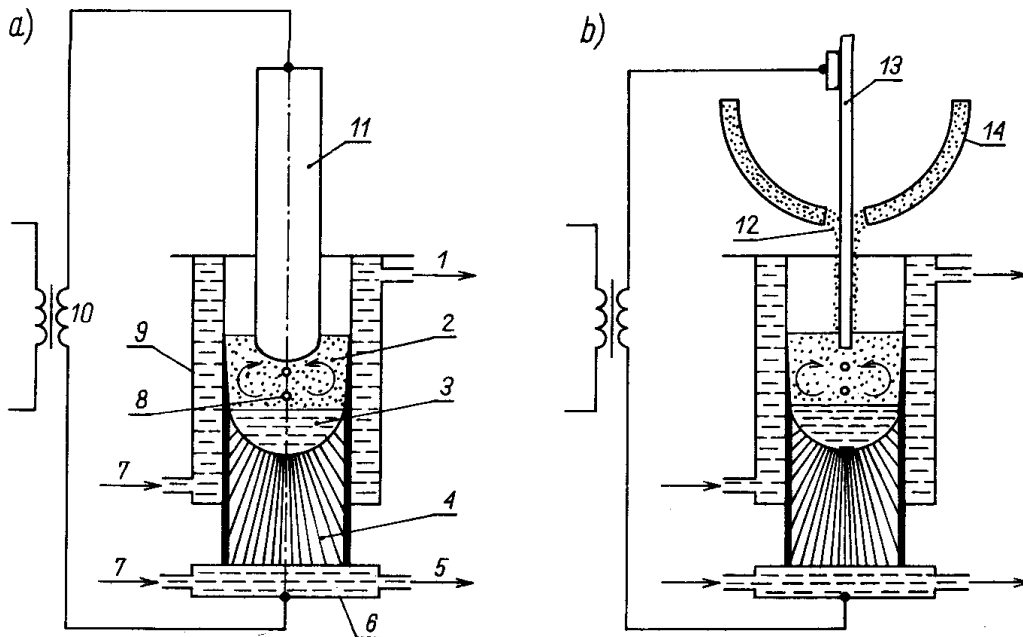
Sprawność zespołów prostownikowych do termoelektrolizerów opartych na diodach krzemowych łącznie z transformatorami, dławikami regulacyjnymi i oszynowaniem wynosi 97,5÷98,5%. Sprawność najnowszych rozwiązań z tyrystorowymi zespołami prostownikowymi sięga 98,6%. Znane są rozwiązania zespołów prostownikowych z transformatorami 48-fazowymi.

Napięcie zasilania jednej wanny ok. 4.2 V, przy czym napięcie wyjściowe prostownika jest rzędu 1000 V, co sprawia, że wanny łączy się w szereg.

Za najbardziej ekonomiczne uważa się zakłady wytwarzające rocznie powyżej 100 000 Mg Al. Najnowsze huty (w Wenezueli i Rosji) mają zdolności produkcyjne 400 000 Mg rocznie.

Urządzenia do przetapiania metali

Zasada działania urządzeń tej kategorii (nazywanych także elektrożuźłowymi) polega na przetapianiu metali w nagrzewanym prądem ciekłym żuźlu. Konwersja energii elektrycznej w ciepło Joule'a sprawia, że temperatura żuźla wzrasta do $1700\div 1800^{\circ}\text{C}$, a w niektórych obszarach do 2100°C . Prąd doprowadzany jest do żuźla przy użyciu elektrod roztapianych bądź stałych, czyli nieroztapianych. Elektrody roztapiane stanowią zarazem wsad.



Rys. 4.16. Piece elektrożuźłowe: a) z jedną cylindryczną elektrodą roztapianą; b) z jedną taśmową elektrodą przetapianą oraz z doprowadzaniem wsadu proszkowego

1 – wylot wody chłodzącej krystalizator, 2 – żużel przewodzący, 3 – płynny metal, 4 – wlewek, 5 – wylot wody chłodzącej płytę denną krystalizatora, 6 – płyta denną, 7 – wlot wody chłodzącej, 8 – krople przetapianego metalu, 9 – krystalizator, 10 – transformator zasilający, 11 – roztapiana elektroda, 12 – sproszkowany materiał wsadowy, 13 – taśma wsadowa, 14 – zasypnik proszku

Piecy elektrożuźłowe małej i średniej mocy zasilane są najczęściej prądem przemiennym o częstotliwości sieciowej. Piecy wielkiej mocy zasilane są prądem o częstotliwości zmniejszonej do $2\div 10$ Hz.

Piecy elektrożuźłowe są zasilane ze specjalnych transformatorów o dużej przekładni i znacznej liczbie zaczepek (do 50), przełączanych pod napięciem. Zakres wtórnych napięć zawiera się w przedziale od kilkudziesięciu do kilkuset woltów.