

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 242731 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435753**

(22) Data zgłoszenia: **2020.10.21**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.04.25 BUP 17/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.04.17 WUP 16/2023**

(51) MKP:

**C25C 7/00** (2006.01)

**C25C 1/00** (2006.01)

- (73) Uprawniony z patentu:  
**CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE  
GLOKOR SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Gliwice, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:  
**JAN JUSZCZYŃSKI, Gliwice, PL  
TOMASZ KRASZEWSKI, Gliwice, PL**
- (74) Pełnomocnik:  
**Adam Pawłowski, Łódź, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób intensyfikacji procesów elektrowydziałania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera oraz elektrolizer**

**PL 242731 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera oraz sam elektrolizer. W sposobie według wynalazku do komory elektrolizera wprowadza się energię impulsowym polem magnetycznym, a dostarczoną energię pola magnetycznego przetwarza się w inne formy energii, powodując lokalne występowanie zjawisk intensyfikujących procesy elektrolizy.

Przemysłowe procesy elektrowydzielania metali z roztworu są prowadzone w dużych objętościach i w zmiennych warunkach (zmienny skład roztworu w procesie elektrolizy, polaryzacja warstw roztworu przy elektrodach, stopniowy wzrost oporności elektrycznej). Konsekwencją tego jest długi czas procesów, a co za tym idzie ich mała wydajność.

Szczególnie ważnymi aspektami w procesie elektrowydzielania metali z roztworu są:

1. maksymalnie rozwinięta powierzchnia elektrod;
2. intensywne warunki prądowe (jak największe natężenie prądu na jednostkę powierzchni);
3. równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod (minimum gradientu natężenia prądu na jednostkę powierzchni);
4. stabilność przepuszczalności membrany;
5. eliminowanie negatywnych efektów od zjawisk zachodzących na granicy faz elektroda—roztwór elektrolitu (polaryzacja, zmniejszająca wydajność Faradaya);
6. wytrącanie się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie.

Wszystkie te zjawiska są ze sobą powiązane, nieliniowe i zależą od wielu parametrów. Dla optymalizacji procesów elektrolizy stosowane różne sposoby uzyskania bilansu parametrów elektrolizy.

Z literatury patentowej znane są liczne sposoby elektrowydzielania metali z zastosowaniem prądu stałego oraz prądu przemiennego.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL406225 sposób elektrorafinacji i elektrowydzielania miedzi rafinowanej ogniowo, charakteryzujący się tym, że realizuje się go z kontrolą rzeczywistej/elektrochemicznej powierzchni katody, a prąd, który podaje się na wannę elektrolityczną uzależniony jest od wartości współczynnika szorstkości katody stanowiącego miarę jej szorstkości/porowatości, przy czym proces prowadzi się ze stałą gęstością prądową na jednostkę rzeczywistej/elektrochemicznej powierzchni katody, z okresowymi zmianami prądu podawanego na wannę elektrolityczną i katodę. Pomiar szorstkości in situ lub ex situ dokonuje się za pomocą sensora umieszczonego w elektrolicie.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL409023 elektrolizer przepływowy do elektrowydzielania metali i stopów galwanicznych oraz sposób elektrowydzielania. Przepływ elektrolitu przez elektrolizer jest pionowy, o kierunku prostopadłym do wolnej powierzchni elektrolitu w elektrolizerze i równocześnie równoległym do powierzchni elektrod znajdujących się w wannie. W tym sposobie jest rozwiązane podwyższone wytrącanie się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie, ale nie wyeliminowano niskiej równomierności rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL406976 elektrolizer do głębokiego usuwania jonów metali z roztworów wodnych charakteryzujący się tym, że ma kształt pionowego cylindra. W tym sposobie jest rozwiązane podwyższone wytrącanie się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie, lecz nie wyeliminowano negatywnych efektów od zjawisk zachodzących na granicy faz elektroda—roztwór elektrolitu (efekty polaryzacji).

Znany jest z opisu patentu PL2419550 sposób i układ dla wydajności prądowej pojedynczego ogniwa elektrolizera. Sposób ten obejmuje: pomiar napięcia wielu pojedynczych ogniów w elektrolizerze; pomiar prądu zasilającego pojedyncze ogniwa; wykrywanie jednego z okresów przestoju i okresu rozruchu dla każdej pojedynczej komórki: określanie czasu potrzebnego, aby poziom napięcia osiągnął kreślone wystąpienie na krzywej napięcia po wyzwoleniu prądu polaryzacji. W tym sposobie rozwiązano efekty polaryzacji oraz równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, ale nie wyeliminowano wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie.

Znany jest z opisu patentu PL125688 elektrolizer do selektywnego odzysku metali szlachetnych, zwłaszcza z powłok naniesionych na podłoża miedziane. Konstrukcja anody i katody daje możliwość eliminowania wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie i ustabilizowanie przepuszczalności membrany. Nie wyeliminowano jednak negatywnych efektów polaryzacji oraz równomierności rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod.

Znany jest z opisu patentu EP-PL3286356 zespół elektrod, elektrolizer i zastosowanie struktur elektrodowych. Konstrukcja anody i katody daje możliwość eliminowania wytrącania się niepożądanych

osadów na elektrodach oraz membranie, stabilność przepuszczalności membrany, lecz nie wyeliminowano negatywnych efektów polaryzacji oraz małej powierzchni elektrod.

Znany jest z opisu patentu EP-PL2553229 sposób selektywnej redukcji katalitycznej poprzez elektrolizę mocznikiem. W tym sposobie rozwiązano równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, ale nie wyeliminowano wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie.

Znana jest z opisu patentu EP-PL2776611 komora anodowa do elektrolizerów do otrzymywania metali. Konstrukcja anody i katody jest następująca: szkielet w kształcie ramy zawierający przepuszczalny separator w kształcie ramy za pomocą kołnierza w kształcie ramy oraz co najmniej jedna anoda uzyskana z metalowego podłoża pokrytego warstwą katalityczną. W tym sposobie rozwiązano problem efektów polaryzacji, ale nie wyeliminowano problemu wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL403367 sposób elektroroztwarzania i elektrolizer do tego sposobu. Sposób charakteryzuje się tym, że materiał roztwarzany umieszcza się w komorach elektrodowych i działa na niego prądem przemiennym symetrycznym o przebiegu prostokątnym. W tym sposobie rozwiązano efekty polaryzacji, wyeliminowano wytrącanie się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie. Lecz nierozwiązane zostały problemy: niskiej równomierności rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, słabo rozwiniętej powierzchni elektrod oraz mało intensywnych warunków prądowych.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL400792 sposób in-situ regeneracji katody na bazie włókna węglowego w elektrolizerze wytwarzania wodoru. Sposób charakteryzuje się tym, że regenerację katody przeprowadza się okresowo przy zastosowaniu ultradźwięków. W tym sposobie wyeliminowano problem wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach, ale pozostały problemy z niską równomiernością rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, słabo rozwiniętą powierzchnią elektrod i mało intensywnymi warunkami prądowymi.

Znany jest z opisu patentu EP-PL3257819 generator elektrolityczny on-site. Sposób działania generatora charakteryzuje się tym, że poprzez odwrócenie biegunowości wykonanej elektrod i przyłożenie mniejszej gęstości prądu do elektrod, przez regulację zasolenia lub stężenia solanki w elektrolicie, przy jednoczesnym utrzymaniu stałego napięcia daje on możliwość eliminowania wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach. Ale sposób ten charakteryzuje się także niską równomiernością rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, słabo rozwiniętą powierzchnią elektrod i mało intensywnymi warunkami prądowymi.

Znane jest z opisu zgłoszenia patentowego PL355720 ogniwo elektrochemiczne dla elektrolizerów w technologii pojedynczych elementów. Konstrukcja anody i katody daje możliwość eliminowania wytrącania się niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie oraz zwiększa stabilność przepuszczalności membranie. Nie eliminuje jednak negatywnych efektów polaryzacji oraz małej powierzchni elektrod.

Znane są z opisu patentów PL97550, PL98123, PL105858 podobne sposoby optymalizacji procesów elektrolizy. Większość sposobów pozwala rozwiązywać problemy tylko częściowo, aby rozwiązać problemy procesu elektrolizy: jeden lub kilka parametrów ulega poprawie, natomiast pozostałe parametry ulegają pogorszeniu.

Znane są także liczne sposoby elektroosadzania impulsowego, elektrolityczne impulsowe powlekanie metalu, elektroliza z zastosowaniem prądu pulsacyjnego (ang. pulse electrodeposition, pulse electrowinning, pulse electrolysis).

Ewentualny zwiększony wpływ prądu pulsującego na korozję metali został po raz pierwszy zbadywany przez de la Rive w 1837 roku. Około 60 lat później Coehn zbadał to pod kątem wpływu prądu o przebiegu prostokątnym na platerowanie osadów cynku (jak opisano w opisie patentowym DE75482).

Prąd pulsacyjny można zmieniać na wiele sposobów, co zwiększa możliwe wyniki i może zmieniać właściwości osadzonych metali podczas galwanizacji. Każdy system osadzania musi mieć opracowaną unikalną sekwencję, aby zoptymalizować proces i uzyskać pożądane wyniki.

Znany jest z opisu patentu US4124460A sposób elektrolitycznego otrzymywania miedzi w obecności żelaza o wysokim stężeniu. Sposób charakteryzuje się tym, że polega na doprowadzeniu do roztworu prądu stałego i okresowej zmianie polaryzacji tego prądu. Zastosowanie prądu pulsacyjnego powoduje jednak wiele problemów związanych z zasilaniem ogniwo elektrolitycznych.

Znane są także liczne sposoby zasilania komory elektrolizera w procesie elektrowydzielania metali, w których do komory elektrolizera wprowadza się energię z zastosowaniem przewodów i elektrod, a dostarczoną energię przetwarzana się w ruch jonów (elektroliza roztworów).

Szczególnie ważnymi aspektami w sposobie zasilania komory elektrolizera są:

1. niskie napięcie (czasami mniejsze niż 1 V) przy bardzo wysokim natężeniu prądu (setki i tysiące amperów);
2. wysoka pojemność elektryczna elektrolizera (jako rodzaj kondensatora);
3. konieczność podłączenia zasilacza do wielu elektrod;
4. równomierność rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod;
5. nierówne zmiany trybów pracy wszystkich elektrod w czasie.

Znany jest z opisu patentu EP-PL1639154 elektrolizer z katodowym złożem opadającym do elektrolitycznego otrzymywania metali. Konstrukcje anody i katody dają możliwość eliminowania nierównych zmian trybów pracy wszystkich elektrod w czasie (regeneracja elektrod), ale nadal charakteryzują się niską równomiernością rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod, problemami z doprowadzeniem energii z niskim napięciem przy wysokim natężeniu prądu.

Znany jest z opisu patentu EP-PL1969159 system membranowych reaktorów elektrolitycznych z czterema komorami. Konstrukcja anody i katody (wiele komór) daje możliwość wyeliminowania problemów nierównomierności rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod.

Znany jest z opisu patentu EP-PL1601818 sposób elektrolitycznego otrzymywania miedzi z roztworu kwasu chlorowodorowego. Konstrukcja anody i katody składająca się z katody z opadającego złoża metalowych kulek, daje możliwość eliminowania nierównej zmiany trybów pracy wszystkich elektrod w czasie (regeneracja elektrod).

Znana jest z opisu patentu EP-PL3175020 komórka do elektrolitycznego otrzymywania metali. Elektrolizer wyposażono w urządzenie odpowiednie do wykrywania anomalii w rozkładzie prądu elektrycznego do odpowiedniej anody. Sposób daje możliwość eliminowania nierównych zmian trybów pracy wszystkich elektrod w czasie (regeneracja elektrod).

Znany jest z opisu patentu EP-PL2756115 stały system dla wykrywania w sposób ciągły dystrybucji prądu w połączonych wzajemnie ogniwach elektrolitycznych. Elektrolizer wyposażony jest w szynę zbiorczą prądu zawierającą obudowę elektrod do pomieszczenia wielu elektrod pozostających z nimi w kontakcie elektrycznym. Sposób daje możliwość eliminowania problemów nierównomierności rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego PL418313 detektor rozkładu potencjału, zwłaszcza do zastosowania w elektrolitycznej produkcji metali z zastosowaniem anody i katody zanurzonych w elektrolicie. Elektrolizer wyposażony jest w detektory połączone do układu odczytu napięć w taki sposób, że możliwe jest zmierzenie różnicy potencjałów pomiędzy anodą a poszczególnymi elektrodami detektora i/lub katodą. Sposób pracy detektora daje możliwość eliminowania problemów nierównomierności rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod. W dalszym ciągu nierozwiązane pozostają problemy z doprowadzeniem energii z niskim napięciem przy wysokim natężeniu prądu, bardzo trudna regulacja trybów pracy elektrolizera przez wysoką pojemność elektryczną elektrolizera.

Znane są również liczne sposoby intensyfikacji procesów elektrochemicznych i reakcji chemicznych. Sposoby te wykorzystują występowanie zjawisk: reakcji sonochemicznych, kawitacji, polaryzacji elektrycznej, punktowego podwyższenia temperatury, polaryzacji magnetycznej. Wymienione sposoby intensyfikacji są bardzo skuteczne i znajdują zastosowanie w wielu branżach. Jednak wywołanie tych zjawisk wymaga dużych nakładów energii.

Znany jest z opisu patentu US4338169A proces wzmacniania fizycznych i/lub chemicznych reakcji prowadzonych w płynie. Proces zapewnia skuteczne mieszanie płynu i ułatwia zachodzenie reakcji. Wzmacnianie polega na dostarczaniu do reaktora wyłącznie energii mechanicznej.

Znane są także liczne aparaty do intensyfikacji procesów elektrochemicznych za pomocą impulsów pola elektromagnetycznego. Wyniki badań wykazały wysoką skuteczność pól elektromagnetycznych jako pomocniczych lub alternatywnych dla konwencjonalnych metod.

Znany jest z opisu patentu US3969129A sposób wytwarzania pigmentów nieorganicznych z roztworu wodnego soli metali w polu elektromagnetycznym. Ale w sposobie dostarczona energia jest zużywana tylko na rozbitcie struktury krystalicznej soli metali.

Znane są z opisu patentu US3757846A: metoda i aparatura do elektromagnetycznego przemieszczania płynów, wykorzystywana do transportowania i mieszania płynów, w tym ciekłych gazów, oparów i plazmy. Niedogodnością metody jest to, że wytworzone pole elektromagnetyczne działa tylko

na płyny przewodzące prąd elektryczny oraz dostarczona energia jest zużywana na wprawianie płynu w ruch.

W urządzeniach tych energia elektryczna pobrana z sieci jest przetwarzana w impulsy pola magnetycznego i tak wytworzone impulsy są kierowane do strefy aktywnej.

Z drugiej strony, zasilacze ogniw elektrolitycznych mają podobną budowę. Wysokonapięciowy prąd przemienny z sieci jest przetwarzany w transformatorze na prąd przemienny niskiego napięcia. W nowoczesnych zasilaczach ogniw elektrolitycznych zwykle stosuje się obwód impulsowy. Wykorzystuje się transformator impulsowy wysokiej częstotliwości, z generatorem na tranzystorach. Specyfika takiego transformatora: niewielka liczba zwojów w uzwojeniu wtórnym (może nawet 1 zwój przy małym napięciu). W tym przypadku uzwojenie wtórne składa się z wielu izolowanych przewodników (litz).

Wskazaniem byłoby zatem usprawnienie elektrowydzielania metali przez intensyfikację procesów za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera, celem uzyskania optymalnego procesu elektrowydzielania.

Optymalny proces elektrowydzielania metali charakteryzowałby się zwiększeniem wydajności reakcji elektrowydzielania metali z roztworu przez:

1. maksymalnie rozwinięta powierzchnia elektrod;
2. intensywne warunki prądowe (maksymalne natężenie na jednostkę powierzchni);
3. równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod (minimum gradientu natężenia elektrycznego na jednostkę powierzchni);
4. stabilność przepuszczalności membrany;
5. eliminowanie negatywnych efektów polaryzacji;
6. eliminowanie niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranie;
7. łatwe tworzenie niskiego napięcia przy bardzo wysokim natężeniu prądu na elektrodach;
8. stabilna praca zasilacza przy wysokiej pojemności elektrycznej elektrolizera;
9. łatwe podłączenia zasilaczy do wielu elektrod;
10. równomierność rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod;
11. minimum wpływu nierównych zmian trybów pracy wszystkich elektrod w czasie.

Przedmiotem wynalazku jest sposób intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera charakteryzujący się tym, że do komory elektrolizera wprowadza się energię impulsowym polem magnetycznym, a dostarczona energia pola magnetycznego jest przetwarzana w inne formy energii, powodując lokalne występowanie zjawisk: reakcji sonochemicznych, kawitacji, polaryzacji elektrycznej, punktowe podwyższenie temperatury, polaryzacji magnetycznej.

Sposób intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera według wynalazku charakteryzuje się tym, że roztwór soli metali wprowadza się do strefy aktywnej komory elektrolizera, na zewnątrz której zainstalowane jest uzwojenie pierwotne transformatora impulsowego, a wewnątrz której znajdują się anoda oddzielona od katody membraną, a ponadto pomiędzy anodą a katodą zainstalowany jest co najmniej jeden zespół uzwojenia wtórnego połączony z diodą, przy czym do uzwojenia pierwotnego transformatora impulsowego doprowadza się impulsy energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz, które za pomocą wspomnianego uzwojenia pierwotnego przetwarza się w impulsy indukcji pola magnetycznego o wartości maksymalnej indukcji magnetycznej 0,4 T, a dostarczoną energię pola magnetycznego przetwarza się wewnątrz strefy aktywnej w inne formy energii powodując lokalne zjawiska intensyfikujące procesy elektrolizy.

Korzystnie, roztwór soli metali poddaje się jednocześnie działaniu pola elektrycznego w przestrzeni pomiędzy anodą a katodą z różnicą potencjałów od 0,1 do 5 Volt oraz impulsów pola magnetycznego o wartości  $dB/dt$  od 0,1 do 0,2 T/ms.

Korzystnie, różnicę potencjałów w przestrzeni między anodą a katodą wytwarza się przez indukcyjne przekazanie energii z uzwojenia pierwotnego transformatora impulsowego do uzwojenia wtórnego z diodą, przystosowanego do pracy z częstotliwością od 20 kHz do 1 MHz.

Przedmiotem wynalazku jest ponadto elektrolizer do przeprowadzania zintensyfikowanych procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera, charakteryzujący się tym, że komora elektrolizera zawiera strefę aktywną, na zewnątrz której zainstalowane jest uzwojenie pierwotne transformatora impulsowego, a wewnątrz której znajdują się anoda oddzielona od katody membraną, a ponadto pomiędzy anodą a katodą zainstalowany jest co najmniej

jeden zespół uzwojenia wtórnego połączonego z diodą, przy czym do uzwojenia pierwotnego transformatora impulsowego dołączony jest układ do generowania impulsów energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz.

Korzystnie, anoda i katoda są umieszczonymi koncentrycznie względem siebie rurami wykonanymi z tkaniny z włókien węglowych, które są aktywowane i mają rozwiniętą powierzchnię o współczynniku aktywacji od 100 do 20 000.

Korzystnie, elektrolizer zawiera co najmniej dwa połączone równolegle zespoły uzwojenia wtórnego i diod.

Korzystnie, zbrojenie anody i katody wykonane jest z siatki ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych dla których magnetostrykcja przy parametrze pola 39,8 kA/m, 10 MPa wynosi powyżej  $1100 \times 10^{-6}$ .

Korzystnie, membrana wykonana jest z porowatego syntetycznego materiału ze zbrojeniem w postaci włókien ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych dla których magnetostrykcja przy parametrze pola 39,8 kA/m, 10 MPa wynosi powyżej  $1100 \times 10^{-6}$ .

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia schematycznie układ do intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera;

Fig. 2 przedstawia izometryczną wizualizację przykładowej konstrukcji elektrolizera;

Fig. 3 i 4 przedstawiają schematycznie przykłady konfiguracji zespołów elementów uzwojenia wtórnego i diod.

Sposób według wynalazku można prowadzić następująco.

Roztwór soli metali wprowadza się do strefy aktywnej 19 komory elektrolizera. Na zewnątrz obudowy strefy aktywnej 19 umieszczone jest uzwojenie pierwotne 13 transformatora impulsowego, które przetwarza impulsy energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz w krótkie impulsy indukcji pola magnetycznego o wartości maksymalnej indukcji magnetyczną 0,4 T. Wspomniane impulsy energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz wytwarzane są w sekcji kluczującej 12.

W sekcji kluczującej 12 jako klucze wykorzystuje się tranzystory, przełączane między stanem nasycenia a stanem zatkania przy pomocy impulsów sterujących o zmiennej długości (stosując modulację szerokości impulsów).

Napięcie stałe dociera do sekcji kluczującej 12 z sekcji prostownika 11, która służy do przetwarzania napięcia przemiennego z sieci 10 na napięcie jednokierunkowe i do zmniejszenia jego zmian.

Roztwór soli metali wpływa do strefy aktywnej 19 elektrolizera, w której poddany jest działaniu pola elektrycznego w przestrzeni między anodą 14 a katodą 16 oraz impulsów pola magnetycznego o wysokiej wartości dB/dt. Energia impulsów pola magnetycznego o wysokiej wartości dB/dt dostarczonego do strefy aktywnej 19 generuje znaczny moment dipolowy jonów roztworu soli metali przez siłę Lorentza w elektrycznej warstwie podwójnej na powierzchni anodą 14 a katodą 16. Moment dipolowy cząsteczek powoduje eliminowanie negatywnych efektów polaryzacji pomiędzy anodą 14 a katodą 16. Dodatkowo energia impulsów pola magnetycznego o wysokiej wartości dB/dt dostarczona do strefy aktywnej 19 generuje znaczny makroskopowy moment dipolowy cząsteczek zanieczyszczeń, co powoduje eliminowanie niepożądanych osadów na elektrodach 14, 16 oraz membranie 15.

Anodę 14 i katodę 16 oddziela membrana 15. Anoda 14 i katoda 16 wykonane są z materiału o rozwiniętej powierzchni w kształcie rur, umieszczonych koncentrycznie. W celu rozwinięcia powierzchni elektrod do ich wykonania stosuje się tkaninę z włókien węglowych które są aktywowane i mają rozwiniętą powierzchnię. Współczynnik aktywacji (określający stosunek powierzchni właściwej po aktywacji względem powierzchni właściwej przed aktywacją) wynosi od 100 do 20000.

Różnica potencjałów w przestrzeni pomiędzy anodą 14 a katodą 16 wynosi od 0,1 do 5 V. Różnicę potencjałów w przestrzeni między anodą 14 a katodą 16 wytwarza się przez indukcyjne przekazanie energii z uzwojenia pierwotnego 13 transformatora impulsowego do uzwojenie wtórnego 18, prostownika z diodą 17, przystosowanego do pracy z częstotliwością od 20 kHz do 1 MHz. Dioda 17 działa jak prostownik dla napięcia wychodzącego z uzwojenia wtórnego 18. Tętnienia napięcia są wygładzane przez pojemność utworzona przez anodę 14 i katodę 16. Uzwojenie wtórne 18 to izolowany drut umieszczony bezpośrednio w strefie aktywnej 19. Uzwojenie wtórne 18 połączone jest z katodą 16. Diody 17 połączone są z anodą 14.

Można zastosować wiele zespołów składających się z elementów uzwojenia wtórnego 18 i diod 17. Wszystkie takie zespoły konstrukcyjne połączone są równolegle. Na Fig. 1, 2 i 3 przedstawiono dwa takie przykładowe zespoły. Na Fig. 4 przedstawiono cztery takie przykładowe zespoły. Dzięki temu

można osiągnąć: równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod, łatwe tworzenie niskiego napięcia przy bardzo wysokim natężeniu prądu na elektrodach; stabilną pracę zasilacza przy wysokiej pojemności elektrycznej elektrolizera; łatwe podłączenia zasilacza do wielu elektrod, minimum wpływu nierównych zmian trybów pracy wszystkich elektrod w czasie.

Zbrojenie anody 14 i katody 16 wykonane jest z siatki ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych (tj. takich, dla których magnetostrykcja przy parametrze pola 39,8 kA/m, 10 MPa wynosi powyżej  $1100 \times 10^{-6}$ ). Membranę 15 wykonano z porowatego syntetycznego materiału ze zbrojeniem w postaci włókien ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych. Przykładowo, jako syntetyczny materiał można wykorzystać włókna polipropylenowe, azbest lub włókna szklane, a jako stop na włókna można wykorzystać nikiel lub materiały zwane terfenolami (przykładowo stop o składzie Fe = 67,5%, Tb = 9,6%, Dy = 22,9% (terfenol-D)). Zastosowanie stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych powoduje przetwarzanie części energii impulsów pola magnetycznego o wysokiej wartości dB/dt dostarczonego do strefy aktywnej 19 w energię mechaniczną w postaci ultradźwięków. W wyniku magnetostrykcji generowane są fale dźwiękowe o natężeniu od 100 do 200 W/cm<sup>2</sup>, zakresie częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz, które inicjują, katalizują i modyfikują reakcje sonochemiczne, co powoduje eliminowanie niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranach. Dodatkowo reakcje sonochemiczne powodują zjawiska kawitacji, wynikiem czego jest eliminowanie negatywnych efektów polaryzacji pomiędzy anodą 14 a katodą 16.

Na powierzchni anody 14 i katody 16 zachodzi rozkład elektrolityczny związków jonowych znajdujących się w roztworze, co powoduje elektrowydzielanie się metali z roztworu. Anolit i katolit z cząsteczkami metali odprowadzane są ze strefy aktywnej 19.

Wszystkie inne procesy intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera według sposobu przedstawionego na Fig. 1 mogą być wykonywane z wykorzystaniem urządzeń znanych ze stanu techniki.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia uzyskanie co najmniej części z następujących korzyści technicznych:

1. zwiększona wydajność elektrowydzielania metali z roztworu o 70–130%;
2. rozwinięta powierzchnia elektrod 100 do 20 000 razy więcej niż elektroda metalowa);
3. intensywne warunki prądowe (zwiększone o 70–300%);
4. równomierność rozkładu gęstości prądu na całej powierzchni elektrod;
5. stabilność w czasie przepuszczalności membrany;
6. wyeliminowanie negatywnych efektów polaryzacji;
7. wyeliminowanie niepożądanych osadów na elektrodach oraz membranach;
8. łatwe tworzenie niskiego napięcia przy bardzo wysokim natężeniu prądu na elektrodach;
9. stabilna praca zasilacza przy wysokiej pojemności elektrycznej elektrolizera;
10. łatwe podłączenia zasilacza do wielu elektrod;
11. równomierność rozkładu gęstości prądu do wielu elektrod;
12. minimum wpływu na nierówne zmiany trybów pracy wszystkich elektrod w czasie.

#### PRZYKŁAD WYKONANIA

Przykład 1 wykonania wynalazku

Zastosowano elektrolizer o konstrukcji przedstawionej na Fig. 1 i omówionej powyżej. Objętość elektrolizera to 2 litry, czas prowadzenia reakcji to 5 godz. Membranę 15 wykonano z włókna polipropylenowego. Zbrojenie membranę 15, anodę 14 i katodę 16 wykonano w postaci włókien ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych typu "Terfenol-D" o składzie: Fe = 67,5%, Tb = 9,6%, Dy = 22,9%. Do strefy aktywnej 19 komory elektrolizera wprowadzono wodny roztwór zawierający siarczan cynku w ilości 20 g/l. W uzwojeniu pierwotnym transformatora impulsowego przetwarzano impulsy energii elektrycznej o częstotliwości 200 kHz w krótkie impulsy indukcji pola magnetycznego o wartości indukcji magnetycznej 0,4 T. W przestrzeni pomiędzy anodą 14 a katodą 16 wytworzono różnicę potencjałów 2,5 Volt. Impulsy pola magnetycznego miały wartość dB/dt równą 0,1 T/ms. Anodę i katodę w postaci koncentrycznych rur wykonano z materiału o rozwiniętej powierzchni w postaci aktywowanej tkaniny węglowej o współczynniku aktywacji 100. Dostarczoną energię pola magnetycznego przetworzono w inne formy energii: fale dźwiękowe o natężeniu 100 W/cm<sup>2</sup>, częstotliwości 200 kHz. W wyniku tego wystąpiły lokalne zjawiska sonochemiczne, intensyfikujące procesy elektrolizy, zaobserwowano zjawisko sonoluminescencji. Dodatkowo reakcje sonochemiczne wywoływały zjawiska kawitacji. W rezultacie uzyskano wydajność wydzielania metali (wydajność katody) na poziomie 100 (mg/Amin), brak osadów na elektrodach oraz membranach.

### Przykład 2 – porównawczy

Dla porównania przeprowadzono proces wydzielania metali z roztworu znaną metodą. Zastosowano elektrolizer z przykładu 1, przy czym zmieniono pewne jego elementy na typowe. Objętość elektrolizera 2 l, czas prowadzenia reakcji 5 godz. Membranę 15 wykonano z włókna polipropylenowego. Zbrojenie membrany 15, anodę 14 i katodę 16 wykonano w postaci włókien z polipropylenu. Do strefy aktywnej 19 komory elektrolizera wprowadzono wodny roztwór zawierający siarczan cynku w ilości 20 g/l. Elektrolizer zasilono standardowym zasilaczem 2,5 V. W przestrzeni pomiędzy anodą 14 a katodą 16 wytworzono różnicę potencjałów 2,5 Volt. Anodę i katodę w postaci koncentrycznych rur wykonano z nieaktywowanej tkaniny węglowej. W rezultacie uzyskano wydajność wydzielania metali na poziomie jedynie 40 (mg/Amin). Zaobserwowano osady na elektrodach oraz membranie i spadek natężenia prądu o 30% po upływie 2 godzin. Następnie porównano wyniki wydajności wydzielania metali z przykładu 1 i przykładu 2. Stwierdzono znaczną (powyżej 100%) poprawę parametrów procesów w przykładzie.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób intensyfikacji procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera, **znamienny tym**, że roztwór soli metali wprowadza się do strefy aktywnej (19) komory elektrolizera, na zewnątrz której zainstalowane jest uzwojenie pierwotne (13) transformatora impulsowego, a wewnątrz której znajdują się anoda (14) oddzielona od katody (16) membraną (15), a ponadto pomiędzy anodą (14) a katodą (16) zainstalowany jest co najmniej jeden zespół (31) uzwojenia wtórnego (18) połączonego z diodą (17), przy czym do uzwojenia pierwotnego (13) transformatora impulsowego doprowadza się impulsy energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz, które za pomocą wspomnianego uzwojenia pierwotnego (13) przetwarzają się w impulsy indukcji pola magnetycznego o wartości maksymalnej indukcji magnetycznej 0,4 T, a dostarczoną energię pola magnetycznego przetwarza się wewnątrz strefy aktywnej (19) w inne formy energii powodując lokalne zjawiska intensyfikujące procesy elektrolizy.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że roztwór soli metali poddaje się jednocześnie działaniu pola elektrycznego w przestrzeni pomiędzy anodą (14) a katodą (16) z różnicą potencjałów od 0,1 do 5 Volt oraz impulsów pola magnetycznego o wartości dB/dt od 0,1 do 0,2 T/ms.
3. Sposób według dowolnego z wcześniejszych zastrzeżeń, **znamienny tym**, że różnicę potencjałów w przestrzeni między anodą (14) a katodą (16) wytwarza się przez indukcyjne przekazanie energii z uzwojenia pierwotnego (13) transformatora impulsowego do uzwojenia wtórnego (18) z diodą (17), przystosowanego do pracy z częstotliwością od 20 kHz do 1 MHz.
4. Elektrolizer do przeprowadzania zintensyfikowanych procesów elektrowydzielania metali z roztworu za pomocą indukcyjnego zasilania komory elektrolizera, **znamienny tym**, że komora elektrolizera zawiera strefę aktywną (19), na zewnątrz której zainstalowane jest uzwojenie pierwotne (13) transformatora impulsowego, a wewnątrz której znajdują się anoda (14) oddzielona od katody (16) membraną (15), a ponadto pomiędzy anodą (14) a katodą (16) zainstalowany jest co najmniej jeden zespół (31) uzwojenia wtórnego (18) połączonego z diodą (17), przy czym do uzwojenia pierwotnego (13) transformatora impulsowego dołączony jest układ (10, 11, 12) do generowania impulsów energii elektrycznej o częstotliwości od 20 kHz do 1 MHz.
5. Elektrolizer według zastrz. 4, **znamienny tym**, że anoda (14) i katoda (16) są umieszczonymi koncentrycznie względem siebie rurami wykonanymi z tkaniny z włókien węglowych, które są aktywowane i mają rozwiniętą powierzchnię o współczynniku aktywacji od 100 do 20 000.
6. Elektrolizer według dowolnego z zastrz. 4–5, **znamienny tym**, że elektrolizer zawiera co najmniej dwa połączone równolegle zespoły (31) uzwojenia wtórnego (18) i diod (17).
7. Elektrolizer według dowolnego z zastrz. 4–6, **znamienny tym**, że zbrojenie anody (14) i katody (16) wykonane jest z siatki ze stopu o właściwościach supermagnetostrykcyjnych dla których magnetostrykcja przy parametrze pola 39,8 kA/m, 10 MPa wynosi powyżej  $1100 \times 10^{-6}$ .

8. Elektrolizer według dowolnego z zastrz. 4–7, **znamienny tym**, że membrana (15) wykonana jest z porowatego syntetycznego materiału ze zbrojeniem w postaci włókien ze stopu o właściwościach super magnetostrykcyjnych dla których magnetostrykcja przy parametrze pola 39,8 kA/m, 10 MPa wynosi powyżej  $1100 \times 10^{-6}$ .

## Rysunki

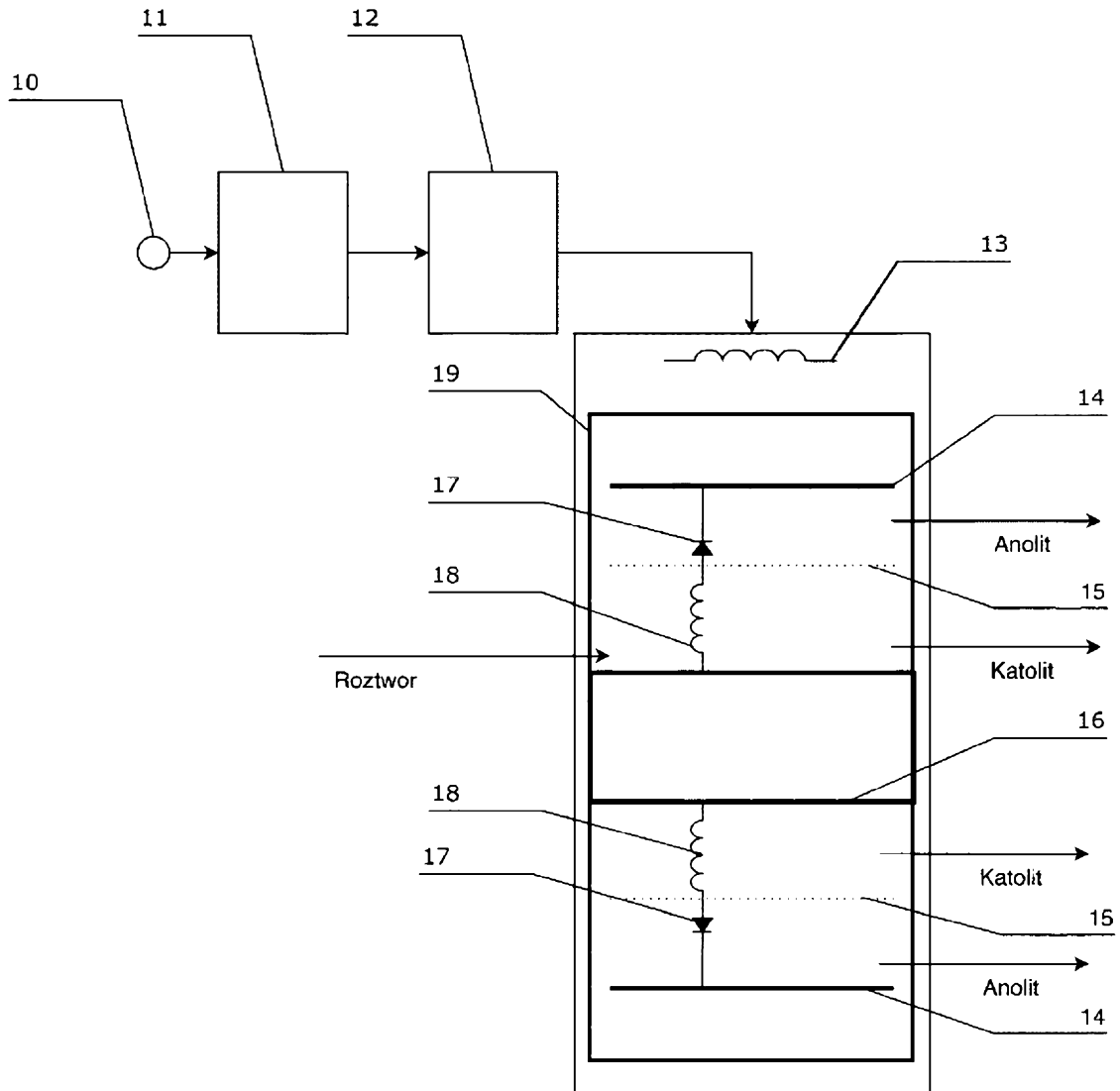


Fig. 1

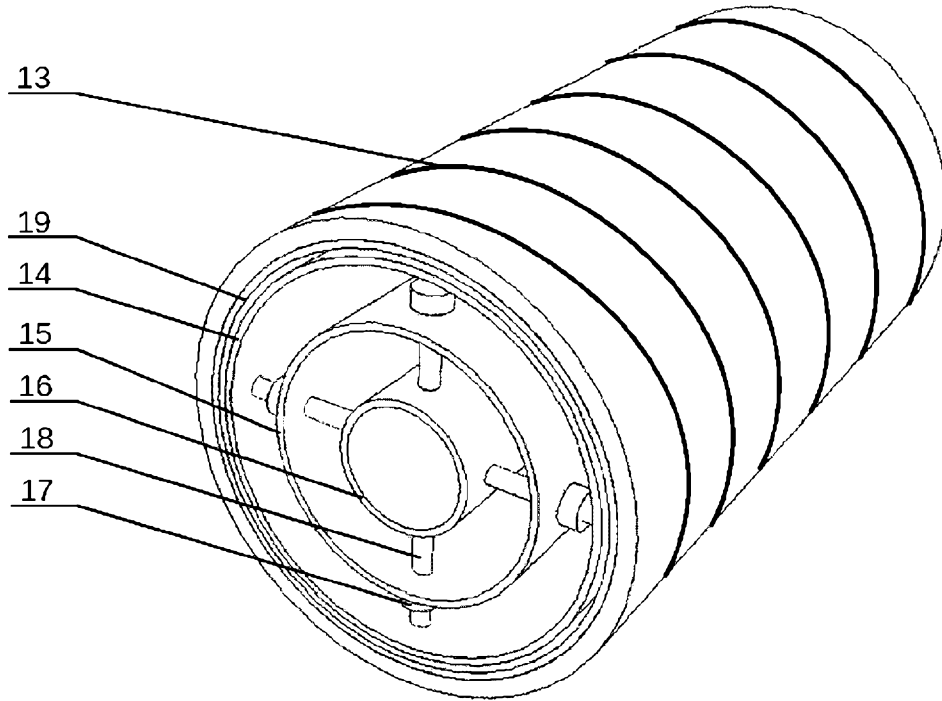


Fig. 2

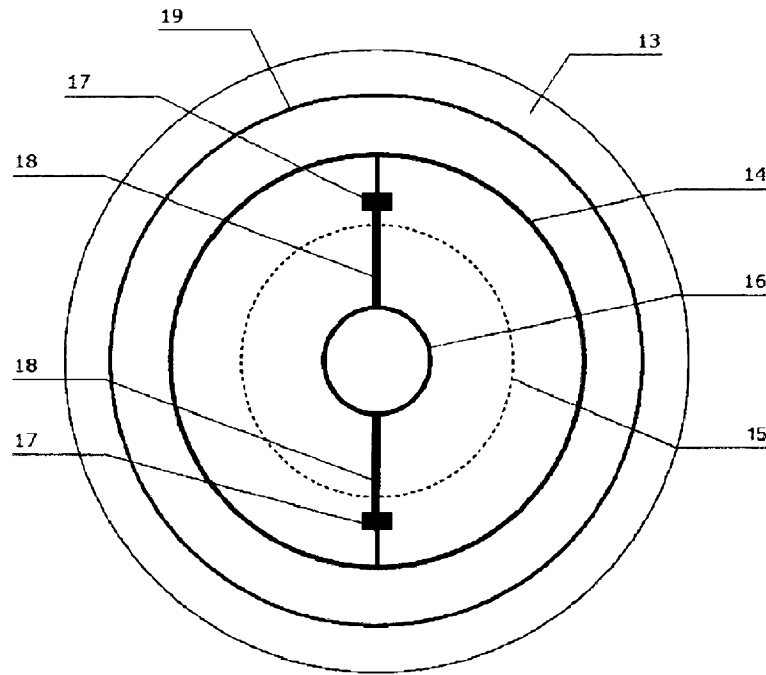


Fig. 3

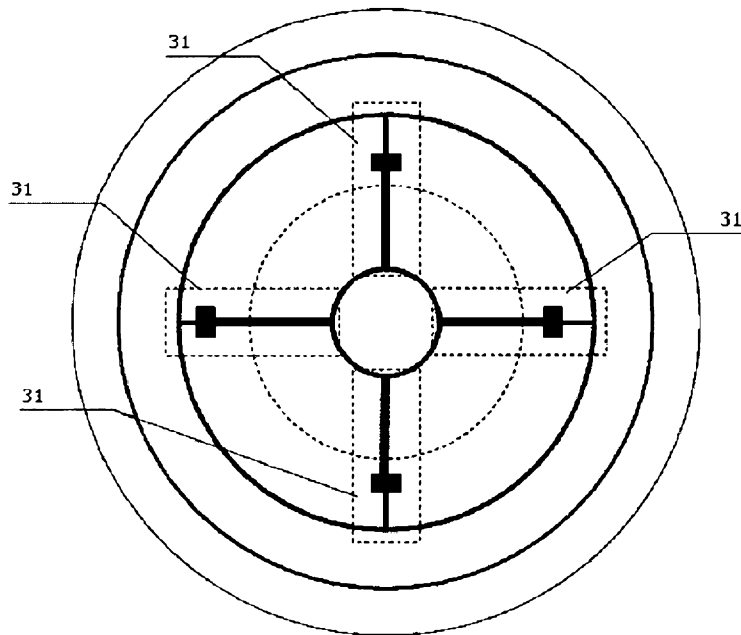


Fig. 4