

## Reaktor do prowadzenia rozkładu ciekłych substancji w plazmie nierównowagowej wyładowania ślizgowego

Przedmiotem wynalazku jest reaktor do prowadzenia rozkładu ciekłych substancji w plazmie nierównowagowej wyładowania ślizgowego, w której prowadzone są procesy rozkładu toksycznych i wycofanych z użycia substancji ciekłych.

Plazma nierównowagowa generowana w wyładowaniu ślizgowym jest bardzo korzystnym środowiskiem do prowadzenia reakcji chemicznych ze względu na obecność elektronów o dużej energii, które aktywują reagenty i reakcje mogą zachodzić z większą szybkością.

Do prowadzenia procesów zachodzących w plazmie nierównowagowej wyładowania ślizgowego z udziałem gazowych reagentów stosowane są obecnie reaktory:

- w kształcie rury albo komory, w której umieszcza się symetrycznie w stosunku do jej osi dwie lub większą liczbę elektrod zasilanych prądem przemiennym jedno- lub trójfazowym, co znane jest z opisów patentowych US5711859, US5993761 i US6007742 oraz zgłoszenia patentowego FR2773500,
- reaktory znane z opisu patentowego PL196319, które posiadają komorę ustawioną pionowo i rozszerzającą się ku górze,
- reaktory tzw. tornado plazmowe oraz układ z elektrodą spiralną o stałej średnicy.
- reaktory znane ze zgłoszenie patentowe P403073, składające się z pionowej stożkowej komory z kanałem, w którym znajdują się co najmniej dwie elektrody zasilane z układu elektrycznego i wstępnej komory cyklonowej wprowadzającej strumień gazu w ruch wirowy.
- w reaktorze znanym z opisu patentowego PL207074, z co najmniej dwiema spiralnymi elektrodami o zmiennej średnicy rosnącej wzdłuż ściany reaktora w ten sposób, że ich zwoje w przekroju wzdłuż pionowej osi reaktora opisuje kształt lejkiowaty, a w rzucie prostym wyglądają jak zbiór spiral Archimedesesa.
- reaktory, w których centralna elektroda ma kształt stożka i umieszczona jest w metalowej rurze stanowiącej drugą elektrodę (X. D. Li i inni, IEEE Transactions on Plasma Science, 41, 1, 2013).

- reaktory, w których stosowana jest centralna, stożkowa elektroda, a plazma wprowadzana jest w ruch wirowy pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego (S. Gangoli i inni, Rotating non-equilibrium gliding arc plasma disc for enhancement in ignitron and combustion of hydrocarbon fuels, 17 Int. Symp. on Plasma Chemistry, Canada 2005),
- reaktory, w których stosuje się obracającą się centralną elektrodę, co powoduje wirowanie kolumny łukowej w przestrzeni między elektrodami (E. Hnatiuc i inni, Cold plasma electrochemical reactor with rotary discharge, Mat.VIII Int. Symp. on High Pressure Low Temp. Plasma Chemistry, Estonia 2002).

Opisane reaktory stosowane są do prowadzenia procesów z udziałem fazy gazowej. W przypadku rozkładu substancji ciekłych, pierwszym etapem procesu jest odparowanie cieczy i doprowadzenie jej do strefy wyładowania ślizgowego.

Przedmiotem wynalazku jest reaktor, w którym generowane jest wyładowanie ślizgowe, który pozwala uzyskiwać wysokie wydajności reakcji chemicznych przy wysokich natężeniach przepływu cieczy wprowadzanej bezpośrednio do komory, w której generowana jest plazma. Opracowana konstrukcja reaktora umożliwia stosowanie dużych mocy wyładowania oraz pozwala na powiększanie w prosty sposób skali prowadzenia procesów chemicznych. Cel ten osiągnięto przez zaprojektowanie reaktora tak, by możliwe było uzyskanie wirowego ruchu wprowadzanego strumienia gazu reakcyjnego do dolnej jego części.

Reaktor wg wynalazku zbudowany jest z komory cyklonowej, elektrody centralnej z kanałem do doprowadzenia cieczy, korpusu ceramicznego oraz elektrod roboczych wysokonapięciowych. Zamknięcie reaktora składa się z pierścienia aluminiowego.

W górnej części komory cyklonowej znajduje się pierścień na korpus ceramiczny z elektrodami, jest on jednocześnie przykryciem dolnej części komory cyklonowej reaktora. W dolnej części komory cyklonowej znajduje się  $n = 2-6$ , korzystnie 4, dysz gazu roboczego, ustawionych stycznie do krzywizny cyklonu oraz pod kątem  $0,5 - 5^\circ$  w górę, korzystnie  $3^\circ$  co zapewnia wprowadzenie do komory reakcyjnej wirującego gazu roboczego. W dolnej części komory cyklonowej umieszczono ceramiczną podstawę elektrody centralnej oraz otwór umożliwiający odprowadzanie nieprzereagowanej cieczy. Dysze gazu roboczego umieszczone są co  $360/n$  stopni. Gazem roboczym może być powietrze, powietrze wzbogacone w tlen, gaz obojętny, podtlenek azotu, w zależności od typu prowadzonej reakcji.

Ceramiczny korpus reaktora w postaci rury wykonano korzystnie z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , mieszaniny  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{ZrO}_2$  lub  $\text{ZrO}_2$ . Pełni on rolę izolatora elektrod roboczych. W rurze wywiercone są otwory w górnej i w dolnej części. W tych otworach mocowane są elektrody robocze wysokonapięciowe. Elektrod tych jest od 3 do 24, korzystnie 6, i rozmieszczone są one symetrycznie na obwodzie korpusu ceramicznego.

Elektroda centralna umieszczona jest wewnątrz korpusu reaktora. Ma ona kształt stożka. Odległość pomiędzy elektrodą centralną i elektrodami wysokonapięciowymi, w miejscu, w którym średnica elektrody centralnej jest największa, wynosi od 1-6 mm. Przez elektrodę centralną wprowadzana jest ciecz do reaktora. Dysze dozujące ciecz mają średnicę od 0,5 - 1 mm, co zabezpiecza ewentualne przedostanie się płomienia do wewnętrznej części elektrody. Elektroda centralna składa się z dwóch części wykonanych z mosiądzu lub brązu i ceramicznej podstawy. Części metalowe łączone są w miejscu, gdzie rozkładana ciecz wprowadzana jest dyszami cieczy do reaktora. Rozwiązanie takie umożliwia wyczyszczenie dysz w przypadku ich zatkania. Ciecz do dysz doprowadzana jest kanałem od dołu reaktora. W tej części elektroda jest chłodniejsza niż jej górna część. Rozwiązanie takie komplikuje budowę ceramicznej podstawy elektrody, ale zabezpiecza badaną ciecz przed odparowaniem lub niekontrolowaną pirolizą wewnątrz elektrody. Ciecz jest wprowadzana od dołu, wypływa przez dysze i splywa po elektrodzie centralnej, gdzie napotyka wyładowanie, i w tym miejscu zaczyna się reakcja rozkładu lub utlenianie gdy gaz, w którym generowane jest wyładowanie zawiera tlen. Dysze cieczy zostały umieszczone w połowie wysokości elektrody centralnej. Gdyby dysze umieszczono zbyt nisko to wypływająca ciecz mogłaby splywać bezpośrednio do komory cyklonowej z powodu zbyt niskiej temperatury lub braku wystarczającego czasu na odparowanie, natomiast umieszczenie dysz za wysoko w reaktorze mogłoby spowodować szybkie odparowanie cieczy pod wpływem wysokiej temperatury i obecność nieprzereagowanej substancji w gazach opuszczających strefę reakcji. Podawana do przestrzeni reakcyjnej ciecz dodatkowo chłodzi elektrodę centralną. Elektrodę centralną wykonano z mosiądzu lub brązu, ze względu na ich wysoką temperaturę topnienia (około  $900^\circ\text{C}$ ). W górnej części elektrody wywiercono otwór umożliwiający umieszczenie tam podstawy pod złożę katalityczne.

Elektroda centralna została umieszczona na podstawce ceramicznej, aby odizolować ją od uziemionych części reaktora. Podstawa otwór, do którego

wprowadzona jest rurka połączona z kanałem wewnątrz elektrody centralnej, przez którą wprowadzana jest ciecz do układu.

Przedmiot wynalazku został pokazany na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia przekrój podłużny reaktora.

Działanie reaktora według wynalazku oraz wyniki przeprowadzonych doświadczeń przedstawiają następujące przykłady, które nie ograniczają istoty wynalazku.

#### Przykład 1.

Reaktor zbudowany jest z komory cyklonowej 1, elektrody centralnej 2 z kanałem do doprowadzenia cieczy 7, korpusu ceramicznego 3 oraz elektrod roboczych wysokonapięciowych 4. Zamknięcie reaktora składa się z pierścienia aluminiowego 5. Na górnej części komory cyklonowej 1 znajduje się pierścień 12, w którym umieszczono korpus ceramiczny 3 o średnicy wewnętrznej 50 mm z 6 elektrodami roboczymi wysokonapięciowymi 4. Pierścień 12 jest jednocześnie przykryciem dolnej części komory cyklonowej 1 reaktora. W dolnej części komory cyklonowej 1 znajdują się  $n = 4$  dysze gazu roboczego 9 ustawione stycznie do krzywizny cyklonu oraz pod kątem  $3^\circ$  w górę, co zapewnia wprowadzenie do komory reakcyjnej wirującego gazu roboczego - powietrza. W dolnej części komory cyklonowej 1 umieszczono ceramiczną podstawę 8 elektrody centralnej 2 oraz otwór 10 umożliwiający odprowadzanie nieprzereagowanej cieczy. Dysze gazu roboczego 9 umieszczone są co  $90$  stopni. Ceramiczny korpus 3 reaktora w postaci rury wykonano z  $Al_2O_3$ . Pełni on rolę izolatora elektrod roboczych 4. W ceramicznym korpusie 3 wywiercone są otwory w górnej i w dolnej części. W otworach tych mocowane są elektrody robocze wysokonapięciowe 4. Elektrod tych jest 18 i rozmieszczone są symetrycznie na obwodzie korpusu ceramicznego 3. Korpus ceramiczny 3 przykryty jest pierścieniem 5.

Elektroda centralna 2 umieszczona jest wewnątrz korpusu ceramicznego 3 reaktora. Ma ona kształt stożka. Odległość pomiędzy elektrodą centralną 2 w jej najszerszej części i elektrodami roboczymi wysokonapięciowymi 4 wynosi 2 mm. Przez elektrodę centralną 2 wprowadzana jest ciecz do reaktora. Dysze cieczy 6 mają średnicę 0,75 mm, co zabezpiecza ewentualne przedostanie się płomienia do wewnętrznej części elektrody centralnej 2. Elektroda centralna 2 składa się z dwóch części 2a i 2b wykonanych z mosiądzu i ceramicznej podstawy 8. Części metalowe

łączone są w miejscu, gdzie rozkładana ciecz wprowadzana jest do reaktora dyszami cieczy 6. Rozwiązanie takie umożliwia czyszczenie dysz cieczy 6 elektrody centralnej 2 w przypadku ich zatkania. Ciecz do dysz dozujących 6 doprowadzana jest kanałem 7 od dołu reaktora. W tej części elektroda centralna 6 jest chłodniejsza niż jej górna część. Rozwiązanie takie komplikuje budowę ceramicznej podstawy 8 elektrody centralnej 2, ale zabezpiecza badaną ciecz przed odparowaniem lub niekontrolowaną pirolizą wewnątrz tej elektrody. Ciecz jest wprowadzana od dołu, wypływa przez dysze cieczy 6, spływa po elektrodzie centralnej 2, gdzie napotyka wyładowanie i w tym miejscu zaczyna się reakcja rozkładu lub utlenianie gdy gaz, w którym generowane jest wyładowanie zawiera tlen. Dysze cieczy 6 zostały umieszczone w połowie wysokości elektrody centralnej 2. Podawana do przestrzeni reakcyjnej ciecz dodatkowo chłodzi elektrodę centralną 2. W górnej części elektrody centralnej 2 wywiercono otwór 12 umożliwiający umieszczenie tam podstawy pod złoże katalityczne. Elektroda centralna 2 została umieszczona na podstawie ceramicznej 8, aby odizolować ją od uziemionych części reaktora. Podstawa ceramiczna 8 posiada otwór, przez który wprowadzona jest rurka 13 połączona z kanałem 7 wewnątrz elektrody centralnej 2, przez którą wprowadzana jest ciecz do układu. Elektrody zasilane są z układu elektrycznego.

Do reaktora wprowadzano toluen o natężeniu przepływu 160 g/h i powietrze o natężeniu przepływu 6 Nm<sup>3</sup>/h. Głównym produktem procesu był dwutlenek węgla i para wodna, a stopień przemiany toluenu wynosił 100%.

Przykład 2.

Reaktor jak w przykładzie I ale do reaktora wprowadzano aceton o natężeniu przepływu 200 g/h i powietrze o natężeniu przepływu 4,8 Nm<sup>3</sup>/h. W wyniku reakcji uzyskano 99% stopień przemiany acetonu do dwutlenku węgla i pary wodnej.

Przykład 3.

Reaktor jak w przykładzie I, w którym prowadzono rozkład odpadowego czterochloru węgla. Przez reaktor przepuszczano czterochlorek węgla o natężeniu przepływu 100g/h i powietrze o natężeniu przepływu 4,8 Nm<sup>3</sup>/h. Dla mocy 0,8 kW uzyskano całkowity rozkład czterochloru węgla.

Przykład 4.

Reaktor składa się z pionowej centralnej elektrody i dwunastu elektrod umieszczonych w ceramicznej rurze o średnicy wewnętrznej 80 mm. Elektrody zasilane są z układu elektrycznego. Do reaktora wprowadzano toluen o natężeniu

przepływu 220 g/h. i powietrze o natężeniu przepływu 10 Nm<sup>3</sup>/h. Uzyskano stopień przemiany toluenu w dwutlenek węgla 95% dla mocy 2 kW.

Przykład V.

Stosowano reaktor o następujących parametrach:

Materiał ceramiczny	Ilość dysz gazu roboczego	Ilość dysz cieczy	Kąt nachylenia dysz gazu roboczego {stopnie}	Materiał elektrody centralnej
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	6	1	mosiądz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>2</sub>	4	12	2	brąz
ZrO <sub>2</sub>	5	18	4	brąz
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	24	5	mosiądz

Procesy prowadzono jak w przykładach I-IV uzyskując porównywalne rezultaty.