

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Eksperymentalne badania mikrofalowych źródeł plazmy do konwersji gazów
pod ciśnieniem atmosferycznym

Mgr inż. Dariusz Czyłkowski

Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk

Mikrofalowe źródła plazmy są to urządzenia, które do generacji plazmy wykorzystują energię pola elektromagnetycznego o częstotliwości mikrofalowej. Plazma wyładowania mikrofalowego jest plazmą nierównowagową, charakteryzuje się dużą koncentracją i energią elektronów przy stosunkowo niskiej temperaturze gazu. Przy tym jej parametry (koncentrację elektronów, temperaturę gazu) można regulować w szerokim zakresie poprzez zmianę mocy mikrofal dostarczanej do wyładowania. Wyładowania mikrofalowe należą do wyładowań bardzo stabilnych i powtarzalnych. Odpowiednio zaprojektowane źródła plazmy mikrofalowej umożliwiają prawie stuprocentowe przekazywanie energii mikrofal z pola elektromagnetycznego do plazmy. Jednymi z bardziej znaczących praktycznych zalet plazmy wyładowania mikrofalowego jest to, że plazma tego typu może być generowana w gazach pod ciśnieniem atmosferycznym oraz bez zastosowania elektrod. Dzięki temu można uniknąć stosowania drogich systemów próżniowych, tym samym upraszczając źródło plazmy i obniżając koszty generacji plazmy. Możliwe jest też otrzymanie plazmy o wysokiej czystości pozbawionej zanieczyszczeń materiałem elektrod, tym samym unikając kosztów związanych z regeneracją i wymianą elektrod. Ze względu na swoje specyficzne cechy plazma mikrofalowa pod ciśnieniem atmosferycznym już od kilkadziesiąt lat znajduje liczne zastosowania. Może być ona wykorzystana np. do obróbki powierzchni, produkcji nanorurek węglowych, sterylizacji i dezynfekcji oraz gazyfikacji biomasy.

Jednym z rosnących zainteresowań jest wykorzystanie plazmy mikrofalowej pod ciśnieniem atmosferycznym do konwersji gazów. Obecne w gazie lekkie elektrony w wyniku przekazywania im energii pola elektromagnetycznego o częstotliwości mikrofalowej zderzają się z cząsteczkami gazu, co prowadzi do ich wzbudzenia, jonizacji i dysocjacji. W ich wyniku powstają odpowiednio nowe elektrony i jony, atomy i molekuły w stanie wzbudzonym oraz rodniki. Powstają zatem charakteryzujące się wysoką reaktywnością cząstki chemiczne, które

wchodzą w liczne reakcje, w wyniku których powstają nowe składniki plazmy. Plazmowa konwersja gazu prowadzi zatem do zmian właściwości fizycznych i chemicznych składników plazmy, w tym do zmiany jednych składników plazmy w inne. Dzięki temu, że plazma mikrofalowa jest źródłem aktywnych chemicznie cząstek, które zwiększają szybkość reakcji chemicznych, w konwersji gazów można uniknąć kosztownych i wrażliwych na zanieczyszczenia katalizatorów.

W nawiązaniu do powyższego, niniejsza rozprawa doktorska przedstawia wyniki eksperymentalnych badań mikrofalowych źródeł plazmy do konwersji gazów pod ciśnieniem atmosferycznym.

W pierwszej części badań własnych autora rozprawy doktorskiej przeprowadzono badania wpływu warunków wyładowania i warunków zasilania na charakterystyki strojenia mikrofalowego źródła plazmy typu surfaguide. W tego rodzaju źródle plazma ma kształt kolumny rozchodzącej się w dielektrycznej rurze wyładowczej, a sam surfaguide jest wykorzystywany do konwersji gazów np. ditlenku węgla i do produkcji wodoru z substancji gazowych (np. metanu). Otrzymane wyniki badań wskazują, że na charakterystyki strojenia surfaguide'u znaczący wpływ mają wysokość sekcji środkowej, średnica otworu sprzęgającego oraz obecność metalowego cylindra ekranującego kolumnę plazmy, natomiast charakterystyki te są mało wrażliwe na zmiany mocy fali padającej i natężenia przepływu gazu roboczego oraz na obecność chłodzenia cieczowego rury wyładowczej.

W drugiej części rozprawy zaproponowano jakościowe i ilościowe oszacowanie mocy wypromieniowanej przez mikrofalowe źródło plazmy typu TIAGO. Podobnie jak surfaguide, TIAGO jest wykorzystywany do konwersji gazów jednak generowana w nim plazma ma kształt płomienia powstającego na końcu metalowej, stożkowej dyszy. Wyniki badań wykazały, że wartość mocy wypromieniowanej z nieekranowanego TIAGO wynosi ponad 30% mocy wchodzącej do wyładowania. Ze względu tak dużych strat mocy, zagrożenia dla ludzi i otoczenia oraz negatywnego wpływu tego zjawiska na stabilność plazmy koniecznym jest zatem stosowanie metalowych osłon ekranujących źródło plazmy. Z przeprowadzonych badań wynika, że taka metalowa osłona, aby pełniła rolę ekranującą nie musi być zamknięta u góry, a jej promień musi być mniejszy od promienia krytycznego (promienia odcięcia) dla falowodu kołowego pracującego na zadanej częstotliwości roboczej mikrofal. Stosowanie osłon o promieniu większym niż promień krytyczny, bowiem nie tylko nie zapewnia ekranowania, ale wręcz przeciwnie, powoduje wzrost mocy wypromieniowanej przez źródło plazmy.

W kolejnych dwóch częściach rozprawy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych produkcji wodoru w procesie plazmowej konwersji metanu i par substancji ciekłych. Badania przeprowadzono, stosując mikrofalowe źródła plazmy typu surfaguide zasilane mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz i 915 MHz i pracujące pod ciśnieniem atmosferycznym. W badaniach nie stosowano katalizatora. W przypadku plazmowej konwersji metanu przeprowadzono badania takich procesów jak piroliza, suchy reforming i kombinowany reforming parowy. Najwyższe wartości wydajności produkcji wodoru i energetycznej wydajności produkcji wodoru otrzymano dla kombinowanego reformingu parowego metanu i wyniosły one odpowiednio 192 g(H₂)/h i około 43 g(H₂)/kWh. W tym przypadku energetyczna wydajność produkcji wodoru jest konkurencyjna w porównaniu z innymi plazmowymi metodami produkcji wodoru wykorzystującymi dla przykładu wyładowanie dielektryczne barierowe i wyładowanie łukowe. W procesie plazmowej konwersji par substancji ciekłych, jako substrat wodoru zastosowano etanol, izopropanol i naftę. W badaniach najwyższą wartość energetycznej wydajności produkcji wodoru wynoszącą 22 g(H₂)/kWh otrzymano w przypadku plazmowej konwersji par mieszaniny etanolu i wody unoszonych do plazmy przez azot. Z porównania energetycznej wydajności produkcji wodoru dla różnych plazmowych metod produkcji wodoru z różnych substancji ciekłych wynika, że istnieją rozwiązania zapewniające większe wartości tej wielkości. Jednak prawie stu procentowy stopień konwersji stosowanych substancji ciekłych powoduje, że zaproponowana metoda wykorzystująca plazmę wyładowania mikrofalowego może być konkurencyjna w stosunku do innych plazmowych metod produkcji wodoru.