

Wysokotemperaturowa korozja ceramicznych materiałów konstrukcyjnych dla Reaktora Dwuprzepływowego

Streszczenie

Głównym celem tej pracy jest analiza korozji węgla krzemu, rozpatrywanego jako jeden z głównych materiałów konstrukcyjnych Reaktora Dwuprzepływowego (DFR). Wstęp pracy przedstawia teoretyczne tło dotyczące omawianych zjawisk oraz wykorzystanych modeli matematycznych. Zawiera on opis technologii reaktora, podsumowanie obecnej wiedzy teoretycznej i eksperymentalnej na temat wybranych aspektów użycia węgla krzemu oraz korozji spowodowanej ciekłymi metalami używanymi jako paliwo i chłodziwo w wysokich temperaturach. W celu poszerzenia wiedzy uwzględniono również stopy i związki tych metali, takie jak PbLi, testowane do zastosowań w fuzji oraz badania paliwa TRISO, które dostarczają dodatkowych informacji o interakcjach z produktami rozszczepienia. Omówiono również potencjalne niepożądane interakcje z innymi materiałami konstrukcyjnymi oraz zanieczyszczeniami. Przedstawiono także właściwości fizykochemiczne SiC, metody produkcji mogące wpłynąć na przebieg reakcji, oraz mechanizmy i skutki utleniania, istotne ze względu na możliwość tworzenia ochronnej warstwy pasywacyjnej.

Kolejna część skupia się na przeprowadzonych symulacjach. Najpierw omówiono modele wykorzystujące Teorię Funkcjonału Gęstości (DFT), zastosowaną metodologię, pseudopotencjały oraz kalibrację systemu. Badania skoncentrowały się na 3C-SiC, najbardziej wytrzymałej i odpornej formie polimorficznej tego materiału. Zakres badań obejmuje wyznaczenie stałej siatki krystalicznej, rekonstrukcje powierzchni (100, 110 i 111) kryształu, zmierzenie energii adsorpcji oraz analizę interakcji z ołowiem na podstawie gęstości stanów i różnicy gęstości ładunku. Przeprowadzono także symulacje dynamiki molekularnej oddziaływania tych materiałów oraz analogiczne dla tlenku krzemu. Przedstawiono metodologię, używane potencjały międzyatomowe oraz kalibrację systemu. Ten rodzaj obliczeń umożliwia badanie interakcji na poziomie nanoskalowym, co pozwala zbadać dominujące mechanizmy korozji w zależności od temperatury oraz określić współczynniki dyfuzji. Oprócz badania różnych powierzchni, zbadano także oddziaływania na granicy ziarn, wpływ wakancji i uszkodzeń radiacyjnych.

Następna sekcja dotyczy przygotowania do eksperymentu mikrodemonstratora reaktora DFR. Bazując na informacjach o innych, podobnych obiegach, zwłaszcza TALL-3D, określono specyfikacje poszczególnych części obiektu oraz ich materiały, tworząc wytyczne dotyczące przygotowania do eksperymentu. We współpracy z ekspertami z Zakładu Aparatury Jądrowej HITEC opracowano projekt jednostki zgodnie z obowiązującymi normami. System składa się z dwóch obiegów z ciekłym ołowiem: pierwszy z elementami grzewczymi, który ma symulować obieg paliwowy, oraz drugi, działający jako chłodziwo. W tej części zostały opisane wszystkie elementy systemu, ich funkcje, aparatura pomiarowa i sterownicza. Określono również niezbędne procedury działania, potrzebne do uruchomienia, obsługi, kontroli oraz sposoby weryfikacji bezpieczeństwa. Jako pierwsza jednostka tego typu dostarczy wielu wartościowych informacji, między innymi związanych z wymianą ciepła, konwekcją naturalną, walidacją modeli CFD oraz długoterminowymi badaniami korozji, służącymi także weryfikacji wyników modeli matematycznych. Mikrodemonstrator jest prototypem, ale także bazą do tworzenia kolejnych, już planowanych, większych i bardziej zaawansowanych eksperymentów, które będą lepiej odzwierciedlały rzeczywistą konfigurację reaktora. W kontekście dalszych badań przygotowano przegląd różnego rodzaju aparatury, między innymi pomp magneto hydrodynamicznych i pomp tlenowych, które z różnych względów nie znalazły zastosowania w obecnej wersji.