

Zwiększające się globalnie zapotrzebowanie na energię elektryczną wymaga opracowania nowych zaawansowanych technologii jej pozyskiwania cechujących się większą efektywnością oraz znikomym oddziaływaniem na otaczające środowisko naturalne. Obecnie prace w tym zakresie koncentrują się na opracowaniu reaktorów jądrowych IV generacji, jak też na rozwoju przyszłych reaktorów termojądrowych. Technologia ta wykorzystuje reakcję fuzji termojądrowej dwóch lżejszych jąder np. wodoru w jedno cięższe - w tym przypadku hel. Proces ten jest źródłem energii docierającej do nas ze Słońca, natomiast z aplikacyjnego punktu widzenia energia uzyskana w takiej reakcji jest znacznie większa niż ta otrzymywana w procesie rozszczepienia jądra atomowego np. U-235, który wykorzystywany jest w obecnie pracujących reaktorach jądrowych. Co ważne, w przypadku reakcji fuzji nie mamy do czynienia z powstawaniem promieniotwórczych produktów. Technologia ta może stać się niezawodnym oraz ekonomicznym źródłem energii, jednak efektywność samych reaktorów będzie w znacznej mierze zależeć od materiałów strukturalnych stosowanych przy ich budowie. Kluczowe elementy takich reaktorów będą wystawione na działanie niespotykanych dotąd warunków – wysoką temperaturę, ogromne naprężenia cieplne oraz znaczne uszkodzenia radiacyjne spowodowane oddziaływaniem z wysokoenergetycznymi neutronami oraz cząstkami α . Niestety materiały które są używane w obecnie działających reaktorach jądrowych nie są w stanie sprostać pracy w tak trudnych warunkach.

Dlatego głównym celem proponowanego projektu jest opracowanie nowoczesnych, odpornych na promieniowanie jonizujące materiałów, które będą zdolne do długotrwałej pracy w warunkach panujących w reaktorze termojądrowym. Jednym z głównych kandydatów do tego zastosowania mogą stać się nowo opracowane stopy zawierające skoncentrowane roztwory stałe (z ang. concentrated solid solution alloys; CSAs). W przeciwieństwie do klasycznych stopów np. stali zawierających jeden główny składnik (Fe) oraz w znacznie mniejszym stężeniu dodatki stopowe (np. Cr, Ni, Mo), CSAs zawierają kilka pierwiastków (zazwyczaj od 2 do 5) w podobnym stężeniu. Odpowiednie dobranie takich pierwiastków sprawia, że pomimo znacznej złożoności chemicznej mogą one stworzyć roztwory stałe. W takich materiałach przypadkowe rozmieszczenie atomów prowadzi do znacznych deformacji ich struktury krystalicznej, co makroskopowo objawia się w postaci unikatowych własności tych materiałów jak np. wysoka wytrzymałość, odporność na pęcznienie czy korozję. Jednak ostatnie badania pokazały, że również odporność radiacyjna tych materiałów może być znacząco wyższa w stosunku do czystych metali czy też konwencjonalnych stopów stosowanych w energetyce jądrowej. Niestety jak dotąd źródło tych wyjątkowych własności pozostaje nieznanne. Dlatego proponowany projekt zakłada analizę mechanizmów powstawania zniszczeń radiacyjnych w tego typu materiałach.

W tym celu zaprojektowano i wytworzono trzy nowe, żarowytrzymałe stopy CSA. Materiały poddano implantacji wysokoenergetycznymi jonami w celu wytworzenia w ich strukturze uszkodzeń podobnych do tych, które mogą powstać w trakcie ich pracy w reaktorze termojądrowym. W ramach projektu zostaną one poddane wielkoskalowej analizie mającej na celu zrozumienie procesów powstawania i ewolucji defektów radiacyjnych jak też ich wpływu na własności mechaniczne stopów. W badaniach zostaną wykorzystane najpotężniejsze techniki eksperymentalne w inżynierii materiałowej – skaningowa oraz transmisyjna mikroskopia elektronowa (SEM i TEM). Ta ostatnia pozwoli na obserwacje defektów radiacyjnych na poziomie atomowym. Jednocześnie prowadzone będą prace mające na celu określenie wpływu uszkodzeń na własności mechaniczne stopów z zastosowaniem techniki nanoindentacji. Uzyskane dane eksperymentalne pozwolą na wytypowanie stopu cechującego się największą odpornością na uszkodzenia radiacyjne, który to zostanie wytworzony w większej ilości metodą topienia łukowego. Materiał ten zostanie następnie poddany zaawansowanym badaniom mającym na celu określenie jego stabilności wysokotemperaturowej, żarowytrzymałości, jak również odporności radiacyjnej w zakresie temperaturowym zbliżonym do tego na jaki wystawione są materiały pracujące we wnętrzu reaktora termojądrowego.

Uważa się, że zaprezentowany plan badawczy przyczyni się do zrozumienia procesów zachodzących w strukturze materiałów wystawionych na działanie ekstremalnych warunków panujących w reaktorze termojądrowym. Wiedza uzyskana w trakcie realizacji projektu pozwoli na określenie mechanizmów decydujących o odporności na promieniowanie tych materiałów oraz w jaki sposób ich własności można dostosować do wymagań konstrukcyjnych przyszłych komercyjnych reaktorów termojądrowych. Wydaje się to być szczególnie ważne w obecnych czasach, w dobie globalnego kryzysu energetycznego i przechodzenia na zeroemisyjne, czyste źródła energii.