

Warszawa, dn. 02.09.2024r.

mgr inż. Leszek Ajdys  
(tytuł zawodowy, imię i nazwisko)  
Chemiczny/Technologii Chemicznej  
(Wydział/Katedra/Zakład)  
Politechnika Warszawska  
(Uczelnia)

**STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**pt. „Formowanie cienkich warstw spinelowych na elementach**  
**stalowych do zastosowań w stosach stałotlenkowych ogniwi**  
**paliwowych (SOFC)”**

promotor: dr hab. inż. Paulina Wiecińska, prof. uczelni  
promotor pomocniczy: dr inż. Agnieszka Żurawska

Transformacja energetyczna przyczynia się do rozwoju niskoemisyjnych sposobów wytwarzania energii oraz jej magazynowania. W tym kontekście coraz częściej zwraca się uwagę na technologie wodorowe, w tym ogniwa elektrochemiczne. W pracy omówiono stałotlenkowe ogniwa elektrochemiczne (SOC, z ang. *Solid Oxide Cell*), które w zależności od potrzeby mogą produkować energię elektryczną w reakcji elektrotleniania wodoru z tlenem z powietrza bądź magazynować energię elektryczną przekształcając ją w trwały nośnik jakim jest wodór, węglowodory czy amoniak. Technologie tego typu mogą przyczynić się do rozwoju OZE (odnawialnych źródeł energii) na masową skalę poprzez umożliwienie magazynowania bardzo dużych ilości energii w ww. związkach chemicznych.

Pojedyncze ogniwo SOC, pracujące w trybie ogniwa paliwowego, przy zasilaniu wodorem charakteryzuje się napięciem obwodu otwartego (OCV, z ang. *Open Circuit Voltage*) około 1,15-1,30 V, natomiast pod obciążeniem prądowym może pracować w przedziale od napięcia uzyskiwanego w OCV do 0,7 V. Pojedyncze ogniwo jest w stanie pracować przy obciążeniu poniżej 0,5 A/cm<sup>2</sup>. Zatem w celu uzyskania urządzenia o wyższej mocy, ogniwa łączy się w stosy ogniwi elektrochemicznych. Stosy to urządzenia składające się z ułożonych na sobie ogniwi paliwowych połączonych elektrycznie w sposób szeregowy. Do ich budowy używa się uszczelek oddzielających strefę powietrzną od paliwowej oraz konstrukcyjnych elementów stalowych. W następnym kroku stosy ogniwi elektrochemicznych można wykorzystywać do budowy układów klasy MW, pracujących w trybie ogniwa paliwowego (SOFC, z ang. *Solid Oxide Fuel Cell*), elektrolizera (SOE, z ang. *Solid Oxide Electrolyser*) lub naprzemiennie w obu trybach (rSOC, z ang. *reversible Solid Oxide Cell*).

Do prawidłowej i niezawodnej pracy stosów w temperaturze 700-800 °C potrzebne jest odpowiednie zabezpieczenie elementów stalowych – warstw ochronnych. Celem pracy doktorskiej było wprowadzenie modyfikacji w obszarze materiałów oraz metody wytwarzania ceramicznych powłok ochronnych gwarantujących długotrwałą oraz niezawodną pracę ogniów bez spadku ich wydajności. W tym celu opracowano zmodyfikowane warstwy ochronne na interkonektorach oraz separatorach tj. elementach stalowych znajdujących się w stosie w bezpośrednim kontakcie z ogniwami SOC. Finalnie opracowane rozwiązania skutkują zwiększeniem niezawodności pracy stosu stałotlenkowych ogniów SOC.

Badania obejmowały część naukową oraz typowo wdrożeniową. Część naukowa pracy dotyczyła doboru odpowiednich materiałów, zbadanie zawiesin używanych do formowania powłok ochronnych metodą elektroforezy (EPD z ang. *Electrophoretic Deposition*), zaprojektowanie multimodalnych układów proszków, badań elektrofizycznych, mikrostrukturalnych oraz szeregu analiz materiałowych pozwalających w optymalny sposób otrzymać i scharakteryzować powłokę ochronną o wysokiej jakości, a co najważniejsze zrozumieć procesy zachodzące podczas formowania warstw ochronnych oraz ich eksploatacji w długotrwałych badaniach trwających min. 1000 h. Część wdrożeniowa dotyczyła zaprojektowania oraz zbudowania stanowiska do pokrywania pełnowymiarowych elementów stalowych używanych w stosie metodą EPD, następnie pokrycie interkonektorów oraz przetestowanie ich w prototypowym stosie ogniów elektrochemicznych opracowywanym w Instytucie Energetyki – Państwowym Instytucie Badawczym. Metoda EPD jest techniką znaną oraz skalowalną, używaną do pokrywania elementów o dużej powierzchni oraz skomplikowanym kształcie, jednak w literaturze nie jest to metoda powszechnie używana do nanoszenia powłok ochronnych na pełnowymiarowe elementy stosu ogniów SOC.

W pracy przedstawiono wpływ procesu rozdrabniania oraz tworzenia multimodalnych mieszanin proszku  $Mn_{1,5}Co_{1,5}O_4$  (MC11) na jakość formowanych warstw. Powłoki ochronne otrzymane z niemodyfikowanego proszku ceramicznego posiadały wyższą porowatość oraz niższą przewodność elektryczną w stosunku do proszków rozdrabnianych oraz mieszanin proszków. Ponadto, wykazano niższy stopień degradacji dla powłok ochronnych otrzymanych z proszków modyfikowanych w testach 1000 h niż w przypadku materiałów niemodyfikowanych, co jest ważnym czynnikiem wpływającym na niezawodną oraz bezawaryjną pracę stosów ogniów SOC podczas ich eksploatacji.

Otrzymano również powłoki ochronne na pełnowymiarowych elementach stosu ogniów SOC z wykorzystaniem metody EPD oraz przetestowano je w stosie opracowanym w Instytucie Energetyki – Państwowym Instytucie Badawczym.

**Słowa kluczowe:** powłoki ochronne, spinel manganowo-kobaltowy, osadzanie elektroforetyczne, stałotlenkowe ogniwo paliwowe – SOFC, elektrolizer stałotlenkowy SOEC, stos ogniw SOC, ASR



[własnoręczny podpis doktoranta]

