

Oponentský posudek

doktorské disertační práce v oboru Jaderné inženýrství

„Limiting Characteristics of the New Accident Tolerant Fuel Cladding Concepts“

Ing. Martin Ševeček

student doktorského studia na FJFI ČVUT v Praze v oboru Jaderného inženýrství

Posudek vypracoval: **prof. Ing. Václav Sklenička, DrSc.**

Ústav fyziky materiálů AV ČR

Jaderná havarie japonské jaderné elektrárny Fukušima Daiči v roce 2011 byla bezprostředním impulzem k dalšímu intenzivnímu výzkumu a vývoji jaderných paliv se zvýšenou odolností při havarijních stavech v současnosti provozovaných lehkovodních reaktorů – Accident Tolerant Fuels (ATF) s cílem zlepšit chování a vlastnosti materiálů palivových systémů těchto reaktorů. Proto lze jednoznačně přijmout názor, že řešené téma disertační práce je velmi aktuální.

Ačkoliv práce přináší popis řady současných ATF konceptů, její těžiště je zaměřeno na nové palivové povlaky s ochrannou vrstvou, která je nanesena na standardní zirkoniové povlaky používané v lehkovodních reaktorech. Z technologického hlediska byly vybrány dvě metody nanášení tenkých vrstev – magnetronové naprašování a cold-spray technika. Na tradiční zirkoniové slitiny povlakových trubek (Zircaloy-2, ZIRCLO, Zr1Nb, HiFi) byly naneseny ochranné vrstvy. V rámci rozsáhlého repertoáru experimentálních metodik a sofistikované infrastruktury, použitých k náročným experimentům a následným výpočtům, byly stanoveny parametry creepového a únavového namáhání, charakteristiky urychlené a dlouhodobé koroze, neutronově-fyzikální charakteristiky a další. Obecně lze konstatovat, že zvolené metody realizace experimentů i následného modelování a výpočtů byly na vysoké a v řadě případů na originální úrovni. Vlastní rozsah provedených prací je mimořádný.

Není pochyb o tom, že práce splnila svůj cíl. Pojetí práce jasně ukazuje i na skutečnost, že bez relevantních znalostí o chování povlakových systémů v nominálním provozu či v přechodových stavech nelze zlepšit vlastnosti palivových systémů v havarijních stavech. Proto je účelně studováno chování palivových povlaků ATF jak za normálních provozních podmínek, tak i za podmínek havarijních. Zvláštní pozornost je věnována možnostem a omezením modelování chování nových palivových povlaků typu ATF. V závěru práce je

provedeno porovnání a hodnocení jednotlivých ATF konceptů na základě metrik, které byly autorem disertace publikovány již dříve.

Vědecký přínos práce spatřuji především v komplexním pojetí studia z hlediska jak materiálové a technologické problematiky, tak i výpovědi o chování jednotlivých typů ATF ve značně rozdílných podmínkách provozního, přechodového či dokonce havarijního namáhání. Většina veřejně dostupných publikací řeší velmi zúženou problematiku, neumožňující ucelený a zobecňující názor. Proto si myslím, že by disertant měl zvážit možnost kumulativního publikování dosažených výsledků formou monografie. Výborným základem by mohla být skutečnost, že disertace je vypracována v angličtině

V rámci případné diskuze v rámci obhajoby bych uvítal názor disertanta na následující havarijní situace vedoucí k destrukci palivového pokrytí. V podstatě můžeme uvažovat dva krajní havarijní případy: (i) situaci LOCA (loss of coolant accident), kdy se zřejmě nejvíce uplatní creep a koroze, a (ii) situaci RIA (reactivity initiated accident), kdy se uplatňuje mechanismus PCMI (pellet-clad mechanical interaction) a DNB (departure from mechanical boiling). V práci byla věnována pozornost hlavně situaci LOCA. Můžete provést alespoň informativní porovnání závažnosti obou případů?

Druhý dotaz směřuje k vlivu fázových transformací či krystalografických změn struktury zirkoniových slitin v průběhu teplotního přechodu LOCA. Během „normálního“ provozu, krystalografické struktury palivového pokrytí odpovídá alfa fáze, zatímco fáze beta je dosaženo až za podmínek LOCA (např. u slitiny Zr1%Nb dochází k růstu β fáze na hranicích zrn v oblasti teplot 600 – 700°C, nad 800°C dochází k transformaci fází $\alpha \rightarrow \beta$ i uvnitř zrn). V rámci α fáze odpovídající HCP struktura způsobuje deformaci povlakové trubky jak v obvodovém tak i v axiálním směru s rozdílnou úrovní deformace, což vede k její výrazné anizotropii. Naproti tomu, v β fázi, která představuje BCC krystalografickou strukturu v podmínkách LOCA, se materiál chová isotropicky. Znamená to, že v průběhu LOCA creepová anizotropie v α fázi vede ke zkracování trubky, zatímco při existenci β fáze nedochází k významné změně délky trubky díky izotropii creepu?

Závěr:

Podle mého soudu předložená doktorská disertační práce v plném rozsahu splňuje požadavky a kritéria pro získání PhD v oboru Jaderné inženýrství. Disertační práce má mimořádnou vědeckou i technickou úroveň, která jednoznačně prokazuje předpoklady disertanta k samostatné tvořivé vědecké práci. **Práci doporučuji přijmout k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení udělit disertantu panu Ing. Martinu Ševečkovi titul PhD.**

V Brně dne 5. května 2019