

Posudek disertační práce Jana Škarohlída „Pokročilé povlaky jaderného paliva“.

Předložená práce je věnována experimentálnímu studiu povlaků Zr trubek používaných jako pokrytí jaderného paliva. Studované povlaky by měly chránit Zr trubky proti korozi ve vodou chlazených jaderných reaktorech. Pozornost byla věnována intervalu provozních teplot, kdy jsou Zr trubky vystaveny páře o teplotě mezi 300 a 400 °C. Povlak by měl v tomto případě prodloužit životnost trubek a umožnit vyšší vyhoření jaderného paliva. Dále bylo sledováno chování povlaků při teplotách nad 1000 °C, tedy v podmínkách, které by mohly nastat při havárii reaktoru. Studovány byly dva typy povlaků – polykrystalický diamant (PCD) a nitridický povlak CrAlSiN. Bylo ukázáno, že PCD povlak je účinný především při běžných provozních podmínkách, kdy zabraňuje přímému kontaktu Zr trubek s horkou vodou resp. párou a navíc uhlík uvolněný z povlaku vstupuje do podpovrchové Zr vrstvy a mění její fyzikální vlastnosti. CrAlSiN povlak je účinný především za vysokých teplot, kdy slouží jako bariéra proti difúzi kyslíku do Zr materiálu. Zvolené téma je vysoce aktuální a výsledky výzkumu mohou najít bezprostřední uplatnění v technické praxi, o čemž svědčí i spolupráce autora práce s firmou Westinghouse.

První část práce má rešeršní charakter. Jsou popsány mechanismy, které mohou vést k selhání pokrytí jaderného paliva tvořeného trubkami ze Zr slitin. Je zde uveden přehled Zr slitin používaných pro tento účel a velká pozornost je věnována povrchové korozi Zr slitin, především kinetice oxidace. Další odstavec se zabývá úlohou povlaků Zr slitin.

V další části práce je popsána příprava povlaků a metodika jejich vystavení různým experimentálním podmínkám simulujícím podmínky v reaktoru. Je uveden přehled experimentálních metod, které byly při studiu připravených povlaků použity. Zde je třeba ocenit množství použitých pokročilých experimentálních metod.

Těžištěm práce je část popisující výsledky experimentálního studia. Část výsledků je popsána přímo v práci, další část je uvedena v příložených publikacích autora. O kvalitě a originalitě získaných experimentálních výsledků svědčí právě příložené publikace v renomovaných zahraničních časopisech s vysokým impact faktorem. Uvedené výsledky ukazují, že autor úspěšně splnil zadání své disertační práce.

K předložené práci mám připomínky především k její formální stránce.

- Skutečnost, že autor některé výsledky vložil do textu disertační práce a jiné jsou uvedeny jen v příložených publikacích, ztížila srozumitelnost textu.
- V práci mi v úvodní části chybí širší rešerše dosud používaných materiálů, zda se již používají nějaké povlaky, o jaké se jedná a jaké jsou jejich výhody či nevýhody. Vzhledem k tomu, že tyto údaje chybí, nemohl autor ani srovnat svoje výsledky s výsledky jiných autorů, chybí diskuze výsledků. Pokud výsledky jiných autorů neexistují, měl to autor explicitně uvést.
- Domnívám se, že šťastnou volbou nebylo vypracování dizertace v anglickém jazyce. V textu je řada gramatických chyb, některé z nich by autor objevil, kdyby nechal text zkontrolovat alespoň textovým editorem.
- Není mi zcela jasné, proč některé obrázky, vesměs se jedná o obrázky mikrostruktur, jsou číslovány jako tabulky. U některých těchto obrázků jsou v popisu obrázků uvedena čísla dokumentující, o jakou část materiálu se jedná, ale v obrázku příslušná čísla chybí (table 9 vpravo, table 9 vlevo, table 15 dole, table 24).

- Mnohé výsledky nejsou v textu adekvátně popsány, takže je pro čtenáře těžké se ve výsledcích dokumentovaných pouze obrázky orientovat.
- Doporučil bych používat termín „light microscopy“ místo „optical microscopy“, protože např. i elektronové mikroskopy mají optiku.
- U veškerých kvantitativních údajů by bylo dobré si uvědomit přesnost měření. Např. uvádění tloušťky velice hrbolatého povlaku na setiny mikrometru je zcela nesmyslné, podobný problém je i u naměřených hodnot koncentrace vodíku (tabulka 10). Uvědomění si chyby měření může pomoci i při porovnávání experimentálních výsledků naměřených na různých typech materiálů.

K uvedeným experimentálním výsledkům mám následující dotazy, na které by měl autor práce při obhajobě odpovědět:

- Na straně 42 je uvedeno chemické složení nitridu CrAlSiN, kde není uvedena přítomnost dusíku.
- V obrázcích 13 a 21 je vynesena produkce vodíku v závislosti na době expozice pro různé teploty expozice. Výsledky jsou pak zopakovány v tabulkách 5 a 13. Jaký je důvod, že hodnoty uvedené v tabulkách pro teploty 1100 a 1200 °C nesouhlasí s hodnotami vyneseny v grafech?
- Je možné odhadnout, jak nepřítomnost povlaku na vnitřní straně trubky ovlivní hodnoty hmotnostního zisku uvedené v tabulce 4?
- Výsledky EDS měření udávají nesmyslně vysoké hodnoty obsahu uhlíku. Autor to přisuzuje povrchové kontaminaci při přípravě povrchu vzorku pro tato měření. Nebylo možné povrch např. odleptat či jinak zpracovat, aby se tento efekt vyloučil?
- Protože i přiložené publikace svědčí o tom, že se jedná vždy o práci širšího kolektivu, prosím autora o vyjádření, které experimenty prováděl sám.

Celkově konstatuji, že práce přináší řadu originálních experimentálních výsledků, které mohou výrazně přispět k vývoji nových povlaků Zr trubek pokrývajících jaderné palivo a mohou nalézt bezprostřední uplatnění v technické praxi. Z tohoto důvodu doporučuji předloženou práci uznat jako disertační a po úspěšné obhajobě udělit autorovi vědecký titul PhD.

V Praze dne 24. 10. 2018

Doc. RNDr. Přemysl Málek, CSc.