

ZAŘÍZENÍ PRO ZKUŠEBNICTVÍ V PROSTŘEDÍ TĚŽKÝCH TEKUTÝCH KOVŮ

TESTING DEVICE FOR HEAVY LIQUID METAL ENVIRONMENT

Michal Chocholoušek, Zdeněk Fulín a Zbyněk Špirit

Centrum výzkumu Řež s.r.o., Husinec-Řež

Abstrakt

V rámci projektu Udržitelné Energetiky (SUSEN) jsou plánovány zkoušky cyklické únavy a lomové houževnatosti kandidátních materiálů v prostředí těžkých tekutých kovů využívaných jako chladiva pro primární okruh reaktorů 4. Generace. Zmiňované druhy zkoušek mají mnohem vyšší požadavky na přesnost měření v porovnání s dosud provedenými zkouškami v tahu s konstantní rychlostí deformace. Pro optimalizaci prostředí těžkého tekutého kovu byla navržena zkušební komora s nucenou cirkulací a pro přesné měření v prostředí tekutého těžkého kovu byl vyvinut průtahoměr. V příspěvku je prezentován pokrok v řešení problémů zkušebního zařízení.

Abstract

In the frame of the project Sustainable Energy (SUSEN), the cycle fatigue and fracture toughness testing is prepared for the candidate materials in heavy liquid metal (HLM) environment used as a primary circuit coolant for Generation IV reactors. The mentioned types of tests have significantly higher requirements for the precise deformation measurement compared to the previously performed Constant Extension Rate Tensile tests. A testing cell with pumping circulation was developed for the HLM environment optimization and an extensometer was developed for precise measurement in HLM environment. The progress in solution of testing device issues is presented in the paper.

Úvod

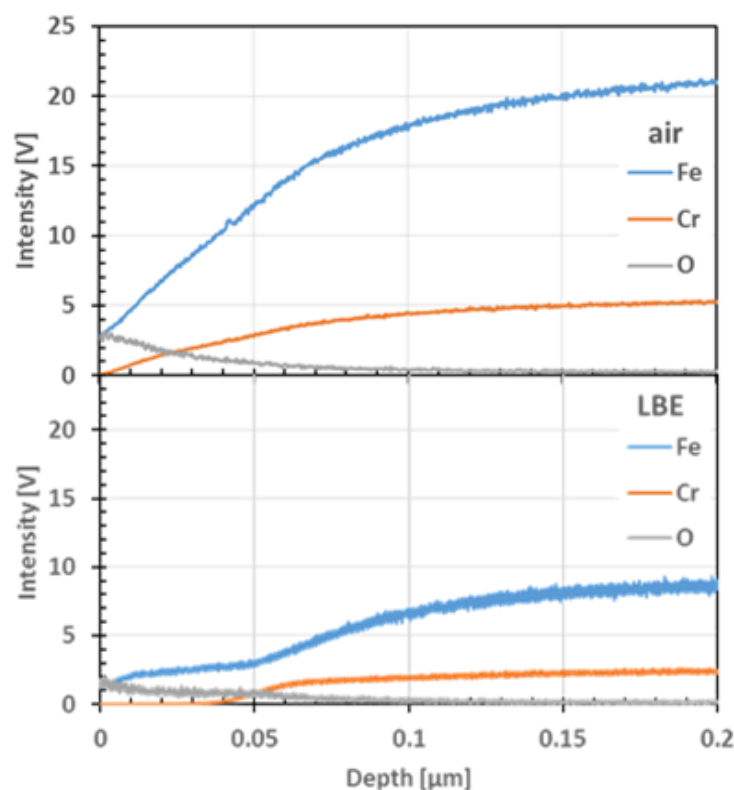
Olovem chlazené rychlé reaktory (LFR) jsou jedním z uvažovaných systémů chlazení pro primární okruhy reaktorů Generace IV. Za tímto účelem se Centrum výzkumu Řež (CVR) vyvíjí zkušební zařízení pro zkoušky v HLM, zejména v tekutém Pb a eutektiku PbBi (LBE). Toto zařízení je průběžně zlepšováno, aby bylo schopné splnit požadavky připravovaných projektů.

Problematika zkoušení v HLM zahrnuje kontrolu a udržení obsahu kyslíku v tekutém médiu na požadované hladině [1]. Velké množství kyslíku je nežádoucí vzhledem k tvorbě oxidů, které jako nečistoty mohou bránit správnému fungování systému. Malé množství naopak vede k rozpouštění oxidické vrstvy a následnému rozpouštění legujících prvků zkoušeného materiálu do tekutého média.

Složení oxidické vrstvy se s hloubkou mění vlivem zkušebního prostředí. Hloubkové profily oxidických vrstev zkoumané v CVR (obr. 1) pomocí emisního spektrometru s doutnavým výbojem (GD-OES) byly vytvořeny postupným odprašování. Intenzita prvků je přímo úměrná jejich koncentraci, avšak nenbylo možné přesně spočítat chemické složení. Vrstva vzniklá při zkoušce na vzduchu byla srovnána s vrstvou vzniklou v HLM prostředí (obě zkoušky při teplotě 400 °C). Vrstva vzniklá na vzduchu obsahuje oxidy Fe a Cr. Vrstva sice vykazuje nižší koncentraci chromu na okraji, ale to může být způsobeno zkreslením vlivem pomalejšího odprašování Cr, nikoli jeho absencí. Od hloubky 0,2 μm vrstva obsahuje železo i chrom. Oxidická vrstva je přibližně 0,14 μm tlustá. Vrstva vytvořená v LBE prostředí má odlišné složení. Nejprve je cca. 0,04 μm tlustá vrstva bez Cr. Poté koncentrace Cr roste a kyslík je stále

přítomen. Z toho vyplývá, že druhá vrstva obsahuje směs Cr-Fe oxidů. Již dříve bylo pozorováno [2], že Cr-Fe vrstvy se formují pod původním povrchem, a to difúzí atomů železa na povrch, kde vytvoří oxidickou vrstvu. Byla snaha najít korelaci mezi koncentrací kyslíku a tloušťkou vrstvy, ale hloubkové profily byly zatíženy příliš velkou nepřesností k dosažení přesných závěrů.

Z pohledu mechanického zkoušení je cílem udržení homogenního HLM prostředí s pomocí plynové regulace s cílem minimalizovat nepřesnosti koncentrace kyslíku a dosažení spolehlivých výsledků. Dalším cílem je zkoušení v HLM prostředí je přesné měření. Průtahoměry pro testování v HLM jsou nedostupné a standardní průtahoměry nejsou pro takové prostředí použitelné a hrozí jejich poškození. Používat data z měření příčnickem je postačující pro informativní měření, ale pro přesné měření při cyklických únavových testech či měření rozevření trhlin je zapotřebí in-situ průtahoměr. Proto CVR přistoupila k vývoji vlastního vybavení.



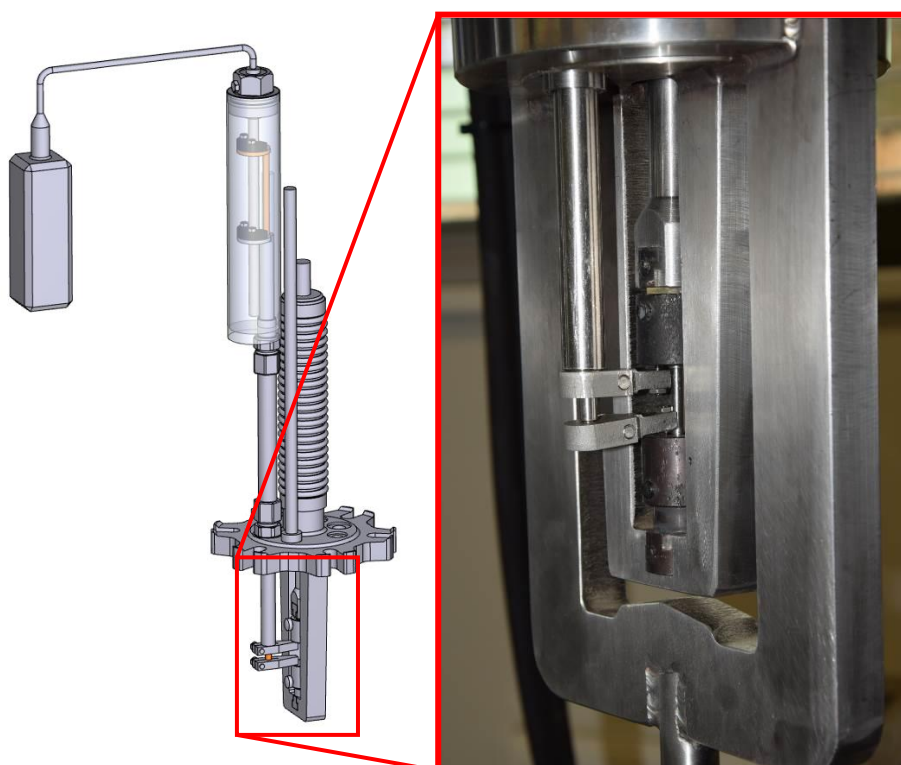
Obr. 1: Oxidické vrstvy na oceli T91 zkoumané GD-OES v CVR na vzduchu (horní) a v eutektiku PbBi (dolní). Vzhledem k nedostatku referenčního materiálu bylo nemožné přístroj kalibrovat pro provedení kvantitativní analýzy, uvedené výsledky nejsou absolutními hodnotami koncentrací

Výsledky

Zkušební systém v současnosti používaný v CVR zahrnuje zkušební celou a regulaci plynů s třemi oximetry na bázi BiO. Vstup plynu je pod úrovní hladiny HLM a pod vzorkem. Původní koncept počítá s cirkulací HLM vlivem probublávání. Měření oximetry ale ukazují na rozptyl v měření obsahu kyslíku s rostoucí vzdáleností od vzorku. K dosažení přesnějších výsledků je třeba vytvořit homogenní prostředí. Pro tento účel byla rozšířena zkušební celou o smyčku s nucenou cirkulací (obr. 2). Směr cirkulace je v uvedeném případě ze dna zkušební cely do smyčky a výstup nad hladinou HLM.



Obr. 2: Zkušební HLM komora s cirkulační smyčkou pro tekutý kov. 1 – zkušební komora, 2 – čerpadlo, 3 – pouzdro pro Mg-pásku, 4 – HLM výpusť.



Obr. 3: HLM extenzometr. Model extenzometru (vlevo), extenzometr připevněný k adaptérům pro uchycení vzorku v řezu modelu zkušební cely (vpravo).

Součástí smyčky je čerpadlo pro nucený oběh HLM. Přidanou částí je vstup pro umístění hořčikové pásky, která snižuje obsah kyslíku mnohem rychleji než používaná směs argon-

vodík. Mg-páska je ale používána jen v případě silně znečištěného HLM. Celý systém je pak uzavřen do topného boxu, aby nedocházelo k zatuhnutí HLM ve smyčce a v systému se udržovala konstantní teplota. Topení je opakovaně odnímatelné kvůli možnosti výměny Mg-pásky případnému čištění okruhu a není na obr. 2 vidět. Čerpadlo má regulované otáčky pro případné sledování vlivu průtoku HLM. Průtok HLM může mít vliv na chování materiálu, ale v tomto případě je jeho přítomnost žádoucí, protože lépe simuluje provozní podmínky.

Řešení pro HLM průtahoměr je uvedeno na obr. 3. Základní konstrukce je standardně využívaný systém „rod-in-tube“. Na rozdíl od zkoušení na vzduchu musí být systém těsný, aby udržel ochrannou atmosféru a neovlivňoval koncentraci kyslíku v HLM. Na druhou stranu musí být elektronika průtahoměru chráněna před teplem ze zkušební komory. Proto je elektronika umístěna mimo zkušební systém a uvnitř jsou umístěny pouze magnetické senzory pro měření vzájemného pohybu a tím požadované deformace. Měřicí body jsou v uvedeném případě na adaptérech držících zkušební vzorek, ale konce průtahoměru jsou modifikovatelné a mohou být uchyceny přímo na vzorek. Průtahoměr je vybaven pružinami, které způsobují malé předpětí mezi trubkou a tyčí a brání tak k nechtěnému uvolnění snímače při zkoušce. Přesnost průtahoměru je závislá na přesnosti použitých magnetických senzorů a geometrii. Pro tento účel může být průtahoměr kalibrován s použitím kalibrátoru před provedením samotné zkoušky.

Závěr

Pro dosažení homogenního prostředí těžkého tekutého kovu byla smyčka vybavena cirkulační smyčkou s možností regulace průtoku, což umožňuje zkoumání vlivu průtoku na materiálové vlastnosti. Extenzometr byl vyroben tak, aby bylo možné udržet ochrannou atmosféru a neovlivnit koncentraci kyslíku v tekutém kovu.

Poděkování

Presentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108. Poděkování patří také společnosti ŠKODA JS a.s., která se podílela na vývoji a která zařízení vyrobila dle požadavků.

Literatura

- [1] NEA OECD (2015): *Handbook on Lead-bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies*. Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development, 2015 NEA No. 7268 ed., Issy-les-Moulineaux, France, pp. 185-200.
<http://www.oecd-nea.org/science/pubs/2015/7268-lead-bismuth-2015.pdf>
- [2] Müller, G., Schumacher, G., Zimmermann, F. (2000): *Investigation on Oxygen Controlled Liquid Lead Corrosion of Surface Treated Steels*. Journal of Nuclear Materials. Vol. 278, No. 1, pp. 85-95. ISSN: 0022-3115