

Válaszok

Vajda Nórának az „Atomerőművi fűtőelemek integritása üzemzavarok és balesetek során” című MTA doktori értékezésemre adott bírálatára

Nagyon köszönöm Dr. Vajda Nórának, az MTA doktorának a dolgozatomról készített részletes bírálatot. Külön köszönöm azokat az elismerő szavakat, amelyekkel eddigi tudományos tevékenységemet és a dolgozatban bemutatott kutatásokat jellemezte.

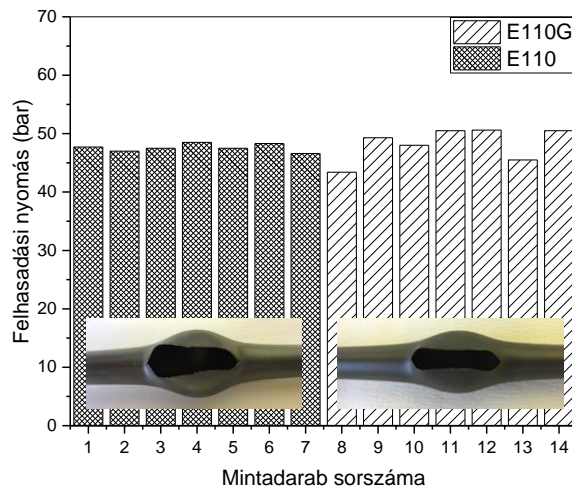
A bírálatában megfogalmazott három kérdésre az alábbi válaszokat kívánom adni.

Kérdés az 1. kutatási témával kapcsolatban: A felhasadási nyomás – hőmérséklet görbék alapján felállítható-e egy egyértelmű minőségi sorrend az orosz E110 és E110G, valamint a nyugati Zircaloy-4 burkolatok között a felhasadás tekintetében vagy a vizsgálati körülmények különbözősége, az eredmények nagy szórása ezt nem teszi egyértelművé?

Ha üzemeltetési szempontokat nézünk, akkor az E110 és E110G ötvözetek sokkal jobb korróziós viselkedést mutatnak a reaktorban, mint a Zircaloy-4 – ezért a nyugati fűtőelemgyártók is áttérnek a nióbium tartalmú ötvözetekre. A burkolat képlékeny sérülése tekintetében azonban nagyon nehéz lenne minőségi sorrendet felállítani a három ötvözet között, mivel a burkolat felhasadását számos tényező befolyásolja. Ezek közül hadd soroljak fel néhányat.

- Nyilvánvalóan fontos az ötvözet mechanikai szilárdsága. Az ónnal ötvözött Zircaloy-4 szakító szilárdsága nagyobb, mint az E110 és E110G ötvözeteké.
- A burkolatban ébredő kerületi feszültség egyenesen arányos a cső átmérőjével és fordítottan arányos a falvastagsággal. A Zircaloy-4 burkolattal ellátott nyugati reaktorokban az átmérő nagyobb, mint az E110 és E110G burkolatot használó VVER reaktorban. Így ugyanakkora nyomáskülönbség esetén a nagyobb átmérőjű csőben – hasonló falvastagság mellett – nagyobb feszültséggel kell számolni.
- A felfúvódást és ezzel együtt a felhasadást korlátozhatják a kazettán belül a szomszédos fűtőelemek. A fűtőelemek kazettán belüli elrendezése, a pálcák közötti távolság a különböző reaktortípusokban nem azonos.
- A felhasadást befolyásolja a burkolat korróziós állapota is. A VVER reaktorokban az E110 és E110G burkolat kevésbé oxidálódik a normál üzemelés során, mint a nyugati PWR reaktorok Zircaloy-4 burkolata. Ennek ugyancsak hatása van arra, hogy a felhasadás milyen nyomáskülönbségnél lép fel.
- A felsorolt különbségek ellenére az azonos körülmények között végzett összehasonlító kísérletekben azt tapasztaltuk, hogy a felhasadási nyomások nagyon hasonlóak a három ötvözet esetében. A Zircaloy-4 és az E110 esetében az eltérő geometria kompenzálja a szakító szilárdságban meglévő különbségeket (a dolgozat 6. ábrája). Az E110 és az E110G minták geometriája a kísérletekben közel azonos volt és a két ötvözet mechanikai tulajdonságaiban csak kismértékű eltérés van (a dolgozat 7. ábrája).

A dolgozatban bemutatott 5. ábrából úgy tűnhet, hogy a felhasadásos kísérleteket jelentős szórás jellemzi. A valóságban az ábrán látható szórást a különböző kísérleti körülmények (pl. hőmérséklet, nyomásnövelési sebesség, előoxidáció mértéke) miatt kapjuk. Egy újabb – a dolgozatban még nem szereplő – mérési sorozat eredményeivel szeretném illusztrálni, hogy az azonos körülmények között vizsgált mintadarabok felhasadása viszonylag szűk nyomástartományban történt. Az I. ábrán 7-7 darab E110 és E110G mintadarab felhasadási nyomása látható. A kísérletekben 0,08 bar/s nyomásnövelési sebességgel 800 °C-on hasadtak fel a burkolatok. Az átlagos felhasadási nyomás 47,9 bar volt, amiktől a legnagyobb és legkisebb értékek (43,4 bar és 50,6 bar) csak 5% és 10%-kal tértek el. Ez nagyon jó reprodukálhatóságnak tekinthető, ha figyelembe vesszük a folyamat összetett jellegét.



I. ábra: E110 és E110G mintadarabok felhasadási nyomása 800 °C-on 0,08 bar/s nyomásnövelési sebesség esetén

Kérdés a 2. kutatási témával kapcsolatban: Az E110G ötvözet esetében a gyűrűroppantásos kísérletek alapján meghatározott rideg-képlékeny átmeneti függvény jól egyezik a fűtőelem-gyártó által megadott 17%-os ECR kritériummal. A korábban használt E110 esetében azonban eltérés van. Mekkora ECR kritériumot lehet meghatározni az E110 burkolatra a gyűrűroppantásos kísérletekből? Mi lehet az eltérés oka?

Az E110 burkolattal végzett gyűrűroppantásos mérések alapján – az oxidáció mértékét, a dolgozatban szereplő (4) egyenletnek megfelelően, az orosz konzervatív oxidációs kinetikai egyenlettel számolva – 5% ECR rendelhető a képlékeny-rideg átmenethez. Szeretném megjegyezni, hogy a fűtőelemek engedélyezése során az orosz fűtőelem-szállító egy más, kevésbé konzervatív módszerrel igazolta a 17%-os oxidációra vonatkozó követelményt: a mintadarabokat először magas hőmérsékleten vízgőzben oxidálták, majd azonnal hideg vízbe tették. A mintadarabok egy része eltört a vizes lehűtés során, míg a kevésbé oxidált minták épek maradtak. A gyártó kísérleti adataival igazolható volt, hogy a 17%-os limit alatt az E110 burkolat megőrizte épségét. Hasonló

kísérleteket korábban az AEKI-ben is végeztünk¹, ezek megerősítették az orosz mérések eredményeit.

Kérdés az 5. kutatási témával kapcsolatban az 5. táblázat alapján: Mi a magyarázata annak, hogy a CODEX-CT-1 kísérletben a cirkónium több hidrogént nyelt el (10 g), mint a CODEX-CT-2 kísérletben (7 g), holott az előbbi kísérletben a H₂ koncentrációnak kisebbnek kellett lennie, mert a H₂ a rendszerből – a nyitott szelepen át - távozni tudott, az utóbbi esetben pedig a légtelenítő szelep zárva volt?

Az elnyelt hidrogén mennyiségét a burkolatban és a kazettafalban közel ötven pozícióban határoztuk meg és ennek alapján kaptuk a kérdésben is említett integrális értéket. Ezek a mérések a köteg lehűlt állapotáról adtak információt.

- Annak ellenére, hogy az első kísérletben a hidrogént folyamatosan kiengedtük, a hidrogénkoncentráció nagyon magas értéket (kb. 80%-ot) ért el a tartályban. Olyan egyensúly állt be a hidrogén keletkezése és a kiáramlása között, ami ilyen magas koncentrációt eredményezett. Az első kísérletben összesen közel háromszor annyi hidrogén keletkezett mint a másodikban.
- A második mérésben a hőmérséklet megszaladt az elárasztás során. Valószínűsíthető, hogy magas hőmérsékleten a korábban elnyelt hidrogén egy része távozott a fémből.

Tehát a CODEX-CT-2 mérésben minden bizonnyal több hidrogént nyelt el a cirkónium mint az CODEX-CT-1 mérésben, de az elárasztás során a hidrogén egy része távozott a burkolatból és a kazettafalból, míg a 140 °C-kal alacsonyabb maximális hőmérsékletű CODEX-CT-2 mérésben a hidrogén kiválása szerényebb mértékű lehetett. Ez az összetett folyamat magyarázhatja, hogy miért nem maradt több hidrogén a mérés végén a CODEX-CT-2 kísérletben, mint a CODEX-CT-1-ben.

Budapest, 2016. február 23.



Hózer Zoltán

¹ Hózer Z, Maróti L, Matus L, Windberg P: Experiments With VVER Fuels to Confirm Safety Criteria, Proceedings of TOPFUEL 2001, Stockholm May 2001.