FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

PTS ESEMÉNYEK ELASZTO-PLASZTIKUS VÉGESELEMES VIZSGÁLATA

Tatár Levente

Fekete Tamás

Abstract: PTS (Pressurised Thermal Shock) phenomenon for nuclear reactor pressure vessels is analysed using finite element models with elastic-plastic formulation, with accent on austenitic cladding of the reactor pressure vessel. It was found that the effect of cladding varies greatly in time as embrittlement of the cladding material due to high irradiation occurs.

Bevezetés

Atomerőművek biztonságos működése szempontjából igen jelentős szerepe van a reaktortartály üzemzavar során tanúsított viselkedésének. Üzemzavar esetén ugyanis felléphet az úgynevezett *nyomás alatti hűtés*, melynek lényege, hogy a normális körülmények között viszonylag magas hőmérsékleten ($\approx 250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$) és nyomáson ($\approx 120\text{--}140\text{ bar}$) üzemelő reaktortartályba hirtelen nagy mennyiségű hideg víz kerülhet, mely a tartályfalban nagy tranziens hőfeszültségeket kelt, és ugyanakkor a belső nyomás is megváltozhat. Ezt a jelenséget az angol elnevezés alapján (Pressurised Thermal Shock) a szakirodalomban leginkább PTS néven emlegetik. A reaktortartály fala két, fizikailag eltérő tulajdonságú rétegből áll. A szerkezet teherviselő része ferrites szerkezetű reaktoracélból készül, melyről ismert, hogy a reaktorban üzem közben fellépő neutronsugárzás hatására ridegszik. Az alapanyag ridegedését a biztonsági elemzések során figyelembe veszik. A fal belső felületén ausztenites szövetszerkezetű plattírozás található, melynek elsődleges szerepe az, hogy az alapanyagot a hűtőközeg okozta korróziótól megvédje. Ennek az anyagnak besugárzatlan állapotban alacsony a folyáshatára és nagy mértékű képlékeny alakváltozást képes elviselni. Mivel kifejlesztésekor azt feltételezték, hogy a neutronsugárzás hatására nem ridegszik, hatását a biztonsági számításokban általában nem veszik figyelembe.

Vizsgálataink azt mutatják, hogy a plattírozás hatását igenis figyelembe kell venni, mivel az ausztenites saválló acélnak az alapfémtől jelentősen eltérő a hővezetési tényezője, a hőtágulási együtthatója, ráadásul újabb kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a besugárzás előtti állapotban alacsony folyáshatárú és nagy képlékeny alakváltozásra képes anyag a sugárzás hatására jelentősen ridegedik [1]. Munkánkban azt mutatjuk be, hogy milyen hatása van a plattírozásnak a PTS tranziens során fellépő feszültségeloszlásra, figyelembe véve annak az üzem közbeni neutronsugárzás okozta fokozatos elridegedését.

A PTS számítások gondolatmenete

A PTS analízis alapvetően három fő lépésre tagolható:

- a) hőtani számítás, melyben a tranziens során a tartályban kialakuló hőmérséklet-eloszlásokat állapítjuk meg a hővezetés differenciálegyenleteinek harmadfajú, időfüggő peremfeltételek melletti megoldásával;
- b) szilárdsági számítás, melynek során a falban a hőmérséklet-tranziens és az időfüggő peremfeltételek hatására kialakuló deformáció- és feszültségmezőt határozzuk meg a rugalmasság (ill. képlékenységtan) differenciálegyenlet-rendszereinek megoldásával;
- c) törésmechanikai elemzés, melynek során a falban detektált vagy feltételezett repedések stabilitási kérdéseit elemezzük a tranziens viszonyai közepette.

Dolgozatunkban helyszűke miatt a téma vázlatos ismertetésétől is el kell tekintenünk. Rövid összefoglalót tartalmaz [2]. Ugyancsak terjedelmi okokból vizsgálatunknak csak a hőtani és szilárdsági számítás során kapott eredményeit mutatjuk be.

Az alkalmazott modell

A feladatot végeselemes modellszámításokkal oldottuk meg, melynek során axiálszimmetrikus, izoparaméteres 8 csomópontos elemeket használtunk.

A számítások során feltételeztük, hogy a plattírozás rugalmas-képlékeny anyagtulajdonságokkal rendelkezik. Előzetes kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a tartály plattírozás anyagának szilárdsági jellemzői az öt ért besugárzás nagyságának függvényében változnak. Ez a változás az anyag egyre fokozódó ridegedését jelenti. A jelenséget más néven öregedésnek is nevezzük. A számítások során a tartály 3 féle öregedési (besugárzás előtti, τ_1 idejű besugárzás utáni és $\tau_2 > \tau_1$ idejű besugárzás utáni) állapotának megfelelő modelleket használtunk ami háromféle folyáshatárt és képlékeny folyásgörbét jelent. A görbéket az (1.) ábrán mutatjuk be. Az alapanyag esetén lineárisan rugalmas modellt alkalmaztunk, mert előzetes számításaink kimutatták, hogy abban a tranziensek során fellépő hőfeszültség mindig alatta marad az anyag folyáshatárának. Az elemzések során feltételeztük, hogy a hőtágulási és hővezetési tényező a besugárzás hatására nem változik.

A lehetséges PTS tranziens típusok közül a lehető legveszélyesebbre végeztük el a számításokat, ami igen súlyos és igen kis (gyakorlatilag 0) valószínűséggel előforduló feltételezett üzemi baleset, mely szerint a tartály belső nedvesített felületén a hőmérséklet 30 s alatt lecsökken 265 °C-ról 20 °C-ra, a nyomás pedig gyakorlatilag azonnal lecsökken 12.2 Mpa-ról (122 bar) 0.5 Mpa-ra (5 bar) és ezen a szinten állandósul.

A vizsgálat során a számításokat a plattírozás tulajdonságainak alábbi 5 változatára készítettük el:

1. A plattírozás anyagtulajdonságait megegyezőnek tekintettük az alapanyagéval.
2. Figyelembe vettük a plattírozás és az alapanyag eltérő hővezetési és hőtágulási tulajdonságait, de lineárisan rugalmas számítást végeztünk

3. A plattírozás tulajdonságait az anyag besugárzás előtt érvényes folyásgörbéjével vettük figyelembe, tekintetbe véve a plattírozás és az alapanyag eltérő hővezetési és hőtágulási tényezőjét is.
4. A plattírozás tulajdonságait annak a τ_1 besugárzási idő után érvényes folyásgörbéjével vettük figyelembe, a plattírozás és alapanyag eltérő hővezetési tényezőjét használva.
5. A plattírozás tulajdonságait a τ_2 besugárzási idő után érvényes folyásgörbéjével modelleztük, a plattírozás és alapanyag eltérő hővezetési tényezőjét is figyelembe véve.

1 ábra: A plattírozás anyagának különböző besugárzási időkhöz tartozó folyásgörbéi

Eredmények, következtetések

A tranziens számítások eredményei közül a legjellemzőbbnek tartott, a tranziens 100. s-ra vonatkozó eredményeket mutatjuk be a (2.) (3.) (4.) és az (5.) ábrán.

A (2.) ábra azt mutatja, hogyan alakul a hőmérséklet-eloszlás a szerkezet falában. A fal belső és külső felülete között a hőmérséklet-különbség 215 °C.

A (3.) ábrán a plattírozás elhanyagolásával, a plattírozás lineárisan rugalmas viselkedésének feltételezésével, valamint a plattírozás besugárzatlan állapotában érvényes plastikus tulajdonságainak feltételezésével végzett számítások eredményeit mutatjuk be. Jól látszik, hogy a plattírozás teljes vastagságában megfolyik. A falban fellépő feszültségeket a kétféle lineáris számítás az elasztó-plasztikus számításnál konzervatívabban ítéli meg.

A (4.) ábrán a lineárisan rugalmas számítások eredményeit a plattírozás τ_1 idejű besugárzás után érvényes képlékeny tulajdonságait feltételező kalkulációk eredményeivel vetjük össze. Jól kivehető, hogy az elasztó-plasztikus számítások eredményei a plattírozásban kb. megegyeznek a plattírozás elhanyagolásával végzett számításáival, és a plattírozás teljes vastagságában megfolyik.

Az (5.) ábrán a lineáris számítások eredményeit a plattírozás τ_2 idejű besugárzás után érvényes képlékeny tulajdonságait feltételező kalkulációk eredményeivel hasonlítjuk össze. Jól látszik, hogy ebben az esetben a plattírozás már nem folyik meg teljes vastagságában, és az elasztó-plasztikus számítások eredményei közelebb állnak a plattírozás tulajdonságait figyelembe vevő lineárisan rugalmas számítások eredményei-

hez, mint az azt elhanyagoló számításokhoz. Ez utóbbi számítás a plattírozásban fellépő feszültségviszonyokat alábecsli.

Az eredmények azt mutatják, hogy a reaktortartály plattírozás anyagának az üzemidő során bekövetkező fokozatos elridegedése a tartályfalban PTS tranziensek során fellépő feszültségeket erősen befolyásolja, ezért ezt a hatást a biztonsági elemzések során indokolt figyelembe venni.

2. ábra: Hőmérséklet-eloszlás

3. ábra: Besugárzatlan állapot

4. ábra: τ_1 besugárzási idő.

5. ábra: τ_2 besugárzási idő.

Irodalom:

- [1] Brumovský, M. és mások: Cladding Properties Changes During Operation. In: IAEA SPECIALIST'S MEETING ON IRRADIATION EFFECTS AND MITIGATION, 15-19 September 1997. Vladimir, Russia.
- [2] Fekete T.: Nyomás alatti hősokk tranziensek hatására repedésekre, vastagfalú nyomástartó edényekben. Az V. törésmechanikai szeminárium, Miskolc-Tapolca, 1995. április előadásai. 95-100. old.

Tatár Levente
tud. segédmunkatárs
Központi Fizikai Kutató-intézet AEKI
Budapest, Konkoly Thege M. u. 29-33
e-mail: tatar@sunserv.kfki.hu

Fekete Tamás
tud. munkatárs
Központi Fizikai Kutató-intézet AEKI
Budapest, Konkoly Thege M. u. 29-33
e-mail: fekete@sunserv.kfki.hu