


További tudományos közlemények

10. M.Rogante, G.F. Ceschini, L. Tognarelli, E. Rétfalvi, V.T.Lebedev: SANS-study of nano-defects in the material of NiCrMoV wheel of the axial compressor of a heavy-duty gas turbine (accepted in Int. J. Eng.Design)
11. V.T. Lebedev, V.I. Didenko, A.N. Lapin, D. Orlova, Gy. Török, E. Rétfalvi: SANS investigation of plastically deformed stainless steel, J. Appl. Cryst. (2003). 36, 629-631E. Rétfalvi, L. Almásy, A. Len, Gy. Török, L. Rosta: Small angle neutron spectrometer of Budapest Research Reactor, In Proc of International Workshop on New Opportunities in single Crystal Spectroscopy with Neutrons, Révfülöp, 2001 p77-78.
-  L. Almásy, A. Len, E. Rétfalvi: On the effective neutron wavelength using a mechanical velocity selector (Physica B, beküldve)
14. E. Rétfalvi, M. Rogante, F. Nicolaie, L. Rosta: SANS study of the microstructural evolution of precipitates in Al 4032 car engine pistons (Physica B, előkészületben)D. Posselt, Jens K. Holm, Gy. Garab, L. Kovacs, Zs. Varkonyi, Z. Gombos, L. Rosta, E. Retfalvi: Small angle studies of Thylakoid Membranes and Thylakoid Membranes Lipids, In proc. of the 4th International Conference on Biological Physics, Kyoto, Japan, 2001

Szerkezeti acélok sugárkárosodásának vizsgálata kisszögű neutronszórással

PhD téziszfűzet

Rétfalvi Eszter

TÉMAVEZETŐK:

Dr. Rosta László MTA-SzFKI

Dr. Sükösd Csaba BME NTI

BME NTI

MTA-SzFKI

2003

A kutatások előzménye

Az erőművi és a kutatóreaktorok szerkezeti anyagai a radioaktív sugárzás hatására mikroszerkezeti változásokon mennek keresztül, amik a makroszkopikus tulajdonságaikat megváltoztatják. Ezek a károsodások jelentősen befolyásolják az adott berendezés élettartamát és üzemeltethetőségét, illetve ezek a tényezők - a biztonsági vonatkozásokon túl - számottevő gazdaságossági kérdésként is felmerülnek. A biztonságosságot elsőrendű szempontként szem előtt tartva kell egy adott erőműnek a lehető legkisebb költségen üzemelni. Mivel az atomerőmű élettartama a költségben meghatározó szerepet játszik, vagyis a befektetés aránytalanul magas az üzemeltetési költségekhez képest, egyértelmű, hogy az élettartamot kell pontosan meghatározni és ha lehetséges, megnyújtani. Ezért fontos tehát, hogy pontos információink legyenek a nukleáris létesítmények kulcsfontosságú egységeit felépítő anyagokban bekövetkező változásokról. Becslések szerint, például az Egyesült Államok erőművi reaktorainak a tervezetthez képest átlag 10 éves élettartam hosszabítása 100 milliárd dolláros megtakarítást eredményezne. hazai vonatkozásban a paksi reaktorok üzemidejének meghosszabítása az energetikai stratégia sarkalatos pontja. ennek a problémának a megoldásához járulhat hozzá a paksi tartályanyagok nanométeres skálájú szerkezeti elemzése.

Hagyományos makroszkopikus tulajdonságokat mérő módszerekkel, főleg mechanikai vizsgálatokkal, a mikroszkopikus szintű változások hatásainak összegét ismerhetjük meg. A kisszögű neutronszerzés alkalmas

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- 1.E. Rétfalvi, Gy. Török, L. Rosta: Small angle neutron scattering study of radiation damage in reactor vessel materials, *Physica B* 276-278 (2000) 843-844
- 2.E. Rétfalvi, Gy. Török, L. Rosta : Anisotropic small angle neutron scattering analysis of thermally aged reactor vessel materials, *Appl Phys A* 74 (2002) [Suppl1], s1415-s1417
3. E. Rétfalvi, L. Rosta: SANS investigation of radiation induced damage of reactor pressure vessel steels, In: *Proc. of Int. Conf. On Experimental Nuclear Physics in Europe*, 1999, Sevilla, Spain
- 4.E. Rétfalvi: Sugárkárosodás vizsgálata neutronszerzéssel (2. Magyar Nukleáris Találkozó Kiadványa, Balatonkenese,1999)
- 5.E. Rétfalvi, Gy. Török, L. Rosta: Small angle neutron scattering study of radiation damage in reactor vessel materials, *ICONE9 Proceedings CD* 2001
- 6.V.T. Lebedev, A.N. Lapin, V.I. Didenko, K.A. Konoplev, D. Orlova, Gy. Török, E. Rétfalvi: Possibilities of strength and damage studies of construction materials by small angle neutron scattering (in Russian); *Proc. 7th Int. Conf. on Materials Issues of Nuclear Power Plant Equipment, St. Petersburg, 17-21 June,2002*; Vol 1, pp219-230
7. honlap a kisszögű neutronszerzésről magyar nyelven: www.kfki.hu/~retfalvi/sans.html
8. www.kfki.hu/~retfalvi/disszertacio.pdf

jellemzők változása között. Ezzel az eredménnyel jóslhatóvá válik az adott acél állapota, aminek a biztonsági számítások elvégzésekor van nagy jelentősége. [6]

Összegzésképpen elmondható, hogy a kísérletek megmutatták, hogy a kisszögű neutronsórás hasznos eszköz a sugárkárosodás vizsgálatában. A nanoszerkezeti jellemzők meghatározása fontos eleme a károsodási mechanizmusok jellemzésének.

Irodalmi hivatkozások listája

[M. Mathon, 1993], M.H.Mathon et al.: SANS study of structural changes in irradiation FeCu dilute alloys, J.Phys.Vol.3.1993

[G.Albertini,1992] G.Albertini et al.:Study of He-bubble growth in MANET steel by small-angle neutron scattering, J.Nuc.Mat.191-194(1992)1327-1330

[M.Große, 1994] M.Große,J.Böhmert,H.W.Viehring: Correlation between volume fraction of radiation-induced precipitates and toughness of Cr-Mo-V alloyed VVER pressure vessel steel, J.Nuc.Mat.211(1994)177-180

arra, hogy az 1-100nm-es mérettartományba eső, vagyis az ún. mikroszkopikus sőt pontosabban fogalmazva, a nanométeres skálájú szerkezeti változásokat kimutassa. A sugárkárosodás hatását tanulmányozhatjuk modell anyagokon [M. Mathon, 1993], illetve valódi reaktoracélokon [G.Albertini,1992][M.Große, 1994], illetve alkatrészekből vett mintákkal, mintasorozatokkal. Mivel a károsodás mértéke, jellege nagymértékben függ az acél ötvöző, illetve szennyező anyag koncentrációjától és a gyártás technológiájától, ezért az adott ötvöző/szennyező szerepének modell anyagokon való vizsgálatát mindenképpen követnie kell a valódi alpanyagból vett minták mérésének. A mintaválasztásnál elsődleges szempont, hogy az a teljes szerkezet állapotát reprezentálja. Mivel az adott szerkezeti elemekre jellemző, hogy magas hőmérsékleten üzemelnek, ezért a hőigénybevétel hatását is tanulmányozni kell, elkülönítve a besugárzás okozta változásoktól.

Célkitűzések

A dolgozatban ismertetett kísérleti munka egyik célja az volt, hogy kidolgozzuk a radioaktív minták mérésének eljárását a Budapesti Kutatóreaktor kisszögű szórásvizsgáló berendezésénél. A másik cél pedig, hogy meghatározzuk a mért nanoszerkezeti jellemzők és a mechanikai tulajdonságok közötti összefüggést a vizsgált anyagokra. Ehhez kapcsolódóan összehasonlíthatóak a valódi körülmények között való besugárzás és a hőkezeléssel való öregítés által okozott mechanikai változások nanoszerkezeti forrásai. A besugárzás utáni lágyító hőkezelés hatásának nanoszerkezeti elemzésével a korábbi mechanikai tesztek eredményeinek megerősítése. A

kísérletek közben felmerült kérdésként az öregített minták nukleáris szórásában tapasztalható anizotrópia okainak felderítése és a kiértékeléshez megfelelő modell felállítása.

Vizsgálati módszerek

A kisszögű neutronszórás olyan szerkezetvizsgáló módszer, amely a 1-100 nm méretű inhomogenitásokról ad méreti, alaki, mennyiségi illetve kémiai minőségi információt. A neutronoknak az anyagmintán való kisszögű szóródása a fényszórással vagy a kisszögű röntgenszórással analóg módon történik és a neutronoknak, mint hullámtermészettel is rendelkező részecskéknek a hullámoptikai leképződésével értelmezhető. Mivel a neutronok spinnel rendelkező részecskék, ezért a minta atomjainak mágneses momentumaival is kölcsönhatásba lépnek. Ezzel a mágneses inhomogenitások is feltérképezhetővé válnak a vizsgált mintában, azaz elkülöníthető a különböző minőségű fázisok, anyagkiválások, illetve üregek.

Új tudományos eredmények

1. A berendezés pontos hullámhossz kalibrációjának a mérési kiértékeléskor van nagy szerepe, hiszen a szórési vektor hibája a hullámhossz bizonytalanságával arányos. A hullámhossz eloszlás valódi félértékszélességének meghatározása pedig nélkülözhetetlen a feloldás függvényével való korrekcióhoz. Az általam számolt, a chopper ablak hatásának figyelembe vételével kapott félértékszélesség magasabb

értéknek adódott az eddig használt eljárással számolthoz képest. Az új eredménnyel javítani lehetett a modell illesztések pontosságán. [7]

2. Megmutattam, hogy a nukleáris és mágneses szórást szétválasztó hagyományos módszert csak kellő körültekintés mellett szabad használni. Vagy a modell függvény illeszkedését kell ellenőrizni, vagy pedig egy előzetes, mágneses tér nélküli mérést kell elvégezni, amiből kiderül az esetleges anizotrópia. Sikerült az adott acélok alakítási anizotrópiáját modellezni és megmutatni, hogy az a mintavétel helyétől függően különböző lehet. Ezen megállapítás segítségével kell a jövőben a minták vételi helyét meghatározni attól függően, hogy a mérés során a reaktorfal átlagára, illetve a fal felületi rétegére vonatkozó sugárkárosodási információt szeretnénk meghatározni. [2]

3. A hosszantartó hőkezeléssel öregített és a besugárzott minták nanoszerkezetének összehasonlításával megmutattam, hogy az öregítő hőkezelés hatása eltérő a besugárzásától. A besugárzás során kisméretű fémkarbid szemcsék keletkeznek viszonylag keskeny méreteloszlással. A hőkezelés hatására pedig nagy méretű és összetételben a Laves fázishoz közel álló ötvözőkiválás történik. [1] [3] [5]

4. A besugárzás után lágyító hőkezelésnek alávetett minták mérésével igazoltam, hogy a mechanikai tulajdonságok javulásával párhuzamosan a nanoszerkezetben is megfigyelhető a kezdeti állapothoz való közeledés. A megfelelő hőkezelési hőmérséklet kiválasztásához a kisszögű szórással kapott eredmények jól használhatóak. [8]

5. Végül, Orowan mechanizmust feltételezve sikerült kapcsolatot teremteni a kisméretű kiválások térfogati hányada és a mért mechanikai

