XII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2007. március 16–17.

NAGY NYOMÁSON ÉS MAGAS HŐMÉRSÉKLETEN MŰKÖDŐ KÍSÉRLETI REAKTOR ANYAGVÁLASZTÁSA

Varga Péter, Barányi István, Nagyné Halász Erzsébet

Abstract

The material selection of an experimental high-temperature pressure vessel containing hydrogen atmosphere is a really complex task. Pressure vessels are conventionally made of steel. Because of the special requirements a wider range of the available and suitable materials (high-temperature metals and composites) was analysed from the point of view of applicability, mechanical stability, high temperature behaviour etc. Finally it was found that the optimal choice is a hardenable high-temperature steel, according to the technological and other (expenses, etc.) parameters.

Összefoglalás

Egy nagy hőmérsékleten és magas hidrogénnyomáson üzemelő kísérleti reaktor anyagválasztása összetett feladat. A nyomástartó edények hagyományosan acélból készülnek, viszont a különleges körülmények miatt más fémek, illetve összetett anyagok alkalmazását is meg kellett fontolni. Végeredményben kijelenthető, hogy a számításba vett technológiai és egyéb (pl. költségek) paraméterek függvényében a nemesíthető melegszilárd acélok köréből került ki a reaktor optimális anyaga.

1. Bevezetés

A BMF Bánsági Gépezeti Kar Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézete kérte fel tanszékünket (BMF BGK Anyag- és Alakítástechnológiai Tanszék) egy általuk fejlesztett kísérleti reaktor anyagának kiválasztására. A reaktorban hidrogént nyeletnek el szilárd anyagban, magas hőmérsékleten és nyomáson.

2. A kísérleti autokláv funkciója, a technológia paraméterei

A tartály nagynyomású hidrogén atmoszférát kell tároljon magas hőmérsékleten. A kísérleti jellegből adódóan a tartály üzele szakaszos. A tartály térfogata: 2 liter, a nyomásterhelés: 20 MPa, a maximális – számított – ébredő feszültség: 250 MPa, a reaktorban uralkodó hőmérséklet: 600 °C.

3. Az anyagválasztás szempontrendszere

Az anyagválasztás első lépcsőjében az összes anyagcsoportot és a tervezési alapadatokat figyelembe véve szűkítettük a szóbajöhethető anyagok körét.

A 600 °C-os üzemi hőmérséklet kizárja a legfeljebb 300 °C-ig alkalmazható polimerek – és azok kompozitjai – alkalmazását. A belső nyomásból adódóan a tartály falában többtengelyű húzófeszültség

ébred. A tömbi kerámia anyagok rendkívül ridegek, ezért nyomástartó edény anyagának nem jöhetnek szóba. Ezekkel szemben a fémek széles választékot kínálhatnak megoldásként. A megfelelő szilárdság melletti nagy szívósságuk és széles felhasználási hőmérséklet tartományuk teszi őket alkalmassá a feladatra. Az előzőek szerint a társított anyagok közül számításba kell venni a fém mátrixú kerámia erősítésű (MMC) kompozitokat.

A második lépcsőben az előzetesen megfelelőnek ítélt anyagcsoportokon belül tovább pontosítottuk a felhasználható anyagok körét. Most már a pontos technológiai paraméterek figyelembevételével végeztük a szűrést. Ezek a folyamat hőmérséklete és ennek egyéb vonzatai, a hidrogén atmoszféra hatásai, illetve a reaktor üzemének jellege voltak.

A nagyobb hőmérsékleten igénybevett anyagok használhatóságát három tényező határozza meg. A nagy hőmérsékletre jellemző szilárdság, a hősokk állóság, és a magas hőmérsékletű korrózióállóság.

A növekvő hőmérséklettel csökken a szilárdság és egyre inkább előtérbe kerülnek a reológiai folyamatok. A reaktor szakaszos üzeméből fakadóan nem a kúszási jellemzőket vettük figyelembe, a kiválasztás szempontja az anyagok magas hőmérsékletű folyáshatára volt. A fémek hőlökésekkel szembeni ellenállása megfelelő.

Ezek alapján öt csoportra szűkítettük a megfelelő anyagokat: melegszilárd acélötvözetek, titánötvözetek, nikkelötvözetek, kobaltötvözetek, titán mátrixú MMC-k.

3.1 Melegszilárd acélötvözetek

A melegszilárd acélok nem csak ellenállóak a nagyobb hőmérsékleten fokozottan jelentkező oxidációval szemben, hanem jelentős mechanikai terhelést is képesek elviselni.

A hidrogén okozta károsodások nagy szilárdságú acéloknál tűnnek fel. Minél nagyobb a hőmérséklet és a nyomás, annál több és erősebb karbidképző elem ötvözésével lehet a hidrogénnel szembeni ellenállást biztosítani.

A melegszilárd acélok folyáshatára nemesítéssel növelhető, amely egyrészt az alapszövet szilárdságát javítja, másrészt az egyenletes eloszlású karbidok blokkolják a csúszósíkok mozgását.

Az ausztenites szövetű acélok FKK térrácsukból fakadóan szívósak, így ennek, valamint alacsony karbontartalmuknak köszönhetően kevésbé érzékenyek a hidrogén betegséggel szemben.

3.2 Titánötvözetek

A legújabb fejlesztésű titánötvözetek kis sűrűségük mellett az acélokhöz képest magasabb hőmérsékletig ellenállóak az oxidációval szemben és tartják meg szilárdságuk [9]. Kis hőtágulási együtthatójuk miatt hevítéskor és hűtéskor kis termikus feszültségek ébrednek bennük. Magasabb hőmérsékleteken a titán mohón oldja legveszélyesebb szennyezőit (O, N, H.). A hidrogén intersztíciósan oldódva, illetve titánhidrid vegyületet alkotva rideggé teszi, növeli a repedési érzékenységet.

3.3 Nikkelötvözetek

Ellenállóak a korrózióval, a magas hőmérséklettel szemben és nagy szilárdságúak lehetnek. A nikkel szívós FKK rácsa miatt, és 15% Cr ötvözéssel ellenálló lesz az oxidációval szemben 760 °C felett is.

A nikkelötvözetek általában immunisak a hidrogén okozta károsodásokkal szemben, kivéve ha szilárdságukat hidegalakítással vagy hőkezeléssel növelték, illetve ha 10%-nál kevesebb Fe van bennük. Az érzékenység csökken a kisebb szilárdsággal és a növekvő öregítési hőmérséklettel.

Al és Ti együttes ötvözésével szegregációsan nemesíthető, a $\text{Ni}_n(\text{Al}, \text{Ti}) \gamma'$ fázisok magas szilárdságot biztosítanak magas hőmérsékleten, illetve jellemzően szívósak eltérően a többi intermetallikus fázistól.

3.4 Kobaltötvözetek

A kobalt a nikkellel rokon fém. Korrózióállósága kitűnő, szegregációsan nemesíthető ötvözetei nagyobb hőmérsékletig alkalmazhatóak, mint a nikkelötvözetek.

3.5 Titán mátrixú MMC-k

A titán tulajdonságairól már esett szó. A kerámiával erősített kompozitok nagyobb tartalékokkal rendelkeznek, mint a fémek. Adott hőmérsékleten magasabb szilárdsági és szívóssági értékekkel bírnak, és jóval kisebb a hőtágulási együtthatójuk.

Legjellemzőbb képviselőjük a folytonos SiC szálerősítésű titán kompozitok.

4. A tervezés utolsó szakasza

A tartályt forgácsolják és a megfelelő felületi minőség elérése érdekében három szelvényből állítják össze, hegesztéssel.

Mind a nemesíthető, mind az ausztenites melegszilárd acélok kínálnak megfelelő mechanikai tulajdonsággal rendelkező választást ($R_{p0,2}=305$, ill. 365 MPa 600 °C-on [1]). Az ausztenites minőség hegesztése jóval könnyebb, viszont drágább, mint a nemesíthető (2-3 / 5,5-8,5 USD/kg [10]). A nikkelötvözetek hegeszthetősége hasonlóan jó, mint az ausztenites acéloké, folyáshatáruk mintegy 1,5 szerese az acélok hasonló értékének ($R_{p0,2}=573$ MPa [1]), viszont áruk is 2-10 szerese azokénak (13-26 USD/kg [10]). A kobaltötvözetek tulajdonságai ezeket a jellemzőket is felülmúlják, ezt áruk is mutatja (20-110 USD/kg [10]).

MMC-ből egy darabban lehetne elkészíteni a tartályt, mechanikai tulajdonságaik jóval a kívánalmak felettiek ($R_m=1500-2000$ MPa, és 600 °C-ig alig csökken [8]). Áruk 2100-3000 USD/kg [10].

A technológiailag, mechanikailag megfelelő megoldások közül a leginkább költséghatékonyat választottuk, a nemesíthető melegszilárd acélok köréből az X19CrMoNbVN11-1 (1.4913) jelűt.

6. Következtetések

Az optimális anyagválasztáshoz a folyamatnak együtt kell haladnia a gyártmány tervezésének folyamatával, egyre szűkítve a felhasználható anyagok körét. A koncepció kialakításánál valamennyi anyagot figyelembe vevően kell egy előzetes szűrést végezni a feladatnak megfelelően. A közelítő tervezésnél az anyagtulajdonságok, technológiai paraméterek, alakjellemzők, stb. figyelembevételével jelölhető meg az anyagok szűkebb köre. A tervezés részletes szakaszában kell az egyetlen optimális anyagot kijelölni a végső tulajdonságok és szempontok ismeretében.

Irodalom

- [1] Szabadits, Ö. összeállításában: *Acélok, öntöttvasak szabványgyűjtemény*, MSZT Szabványkiadó, Budapest, 2005
- [2] Kisfaludy, A., Réger M., Tóth L.: *Szerkezeti anyagok II.*, BDMF, Budapest, 1995
- [3] Kisfaludy, A., Réger M., Tóth L.: *Szerkezeti anyagok III.*, BDMF, Budapest, 1994
- [4] Gáti J., Kovács M.: *A titán és ipari alkalmazása*, BME, Budapest, 1982
- [5] ASM Handbook, Vol. 1: *Properties and selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, ASM International, USA, 1990
- [6] ASM Handbook, Vol. 2: *Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM International, USA, 1991
- [7] ASM Handbook, Vol. 13: *Corrosion*, ASM International, USA, 1987
- [8] Engineered Materials Handbook Vol. 1: *Composites*, ASM International, USA, 1989
- [9] Blenkinsop P. A.: *Titanium Alloys. Advances in alloys, processes, products and applications*, EUROMAT '93, Párizs, 1993, 161-169 oldal
- [10] Cambridge University Engineering Dept.: *Cambridge Engineering Selector Version 4.5*, Granta Design Ltd., Cambridge, 2004

Varga Péter, intézeti mérnök
BMF BGK AGI Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport
Magyarország, 1081 Budapest, Népszínház u. 8.
+36-1-6665386 / +36-1-6665494
varga.peter@bgk.bmf.hu

Barányi István, tanársegéd
BMF-BGK-GBI
Magyarország, 1081 Budapest, Népszínház u. 8.
+36-1-6665337 / +36-1-6665484
baranyi.istvan@bgk.bmf.hu

Nagyné Halász Erzsébet, főiskolai adjunktus
BMF BGK AGI Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport
Magyarország, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
+36-1-6665386 / +36-1-6665494
nagyne.halasz@bgk.bmf.hu