

# Kazáncsővek vízdoldali korróziójának vizsgálati tapasztalatai

Majoros András\* – Rózsavölgyi Zsolt\*

## Bevezetés

A villamos és hőerőművek kazánjainak több egymással ellentétes követelményt kell egyszerre kielégíteniük. A hatások, a gazdaságosság, a megbízhatóság széles teljesítmény-tartományban, valamint a szigorú környezetvédelmi előírások csak akkor teljesíthetők optimálisan, ha nemcsak az üzemeltetés alatt, hanem már a tervezés során számításba veszik a változó terhelési paramétereket, a berendezések üzem közbeni elhasználódását és károsodási folyamatait. Ebből a szempontból a kazáncsővek vízdoldali korróziója meghatározó tényező, hiszen alapvetően befolyásolja a kazánok élettartamát. A kazánok meghibásodásából adódó leállások több esetben visszavezethetők a tápvíz nem megfelelő kezeltése miatt hosszabb-rövidebb idő alatt bekövetkező korrózióra.

A kazáncsővek vízdoldali korróziója természetes folyamat, melyet a tervezés során az anyagválasztásnál és a szilárdsági számításoknál figyelembe vesznek. Probléma akkor jelentkezik, ha a korrózió gyorsabban, nem az előre várt formában vagy helyeken jelentkezik, és üzemzavarokhoz vezet.

A kazánok szerkezeti anyagainak megválasztásakor a legfontosabb üzemi jellemzők az alkalmazott hőmérséklet és nyomás, valamint a környező közegek állapota. Legnagyobb mennyiségben az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélokat építik be (előmelegítők, hőátadó csövek, forrcsővek, membránfalak), kisebb mennyiségben ötvözött vagy erősen ötvözött acélokat (gyújtókamrák, túlhevítő és újrahevítő vezeték), illetve réz- vagy titánötvözeteket (kondenzátorok, kisnyomású előmelegítők). Mivel az erőmű berendezései több, eltérő típusú anyagból épülnek fel, valamint a bennük lejátszódó folyamatok és üzemelési paraméterek – ennek megfelelően a hőhordozó közeg állapotai – különfélék, ezért a korróziós folyamatok is más-más sebességgel és eredménnyel játszódnak le. A berendezések eltérő üzemelési paraméterei, valamint a kialakuló helyi eltérések miatt nem is lehet a rendszer egészére a technológia szempontjából legjobb vízüzemet alkalmazni, de a korróziós károsodás szempontjából az optimálisra törekedni kell.

Az AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. már hosszabb ideje részt vesz erőműi berendezések állapotfelmérésében és a maradék élettartam meghatározásában. Ezek alapjait a rendszeres roncsolásmentes vizsgálatok (berendezések szemrevételezése, geometriai mérések, roncsolásmentes hibafeltáró vizsgálatok, helyszíni szövetszerkezeti vizsgálat), valamint a széles körű laboratóriumi vizsgálatok (külső és belső felületek állapotának vizsgálata, analitikai vizsgálatok, szilárdsági és technológiai vizsgálatok, a szerkezeti anyagok és a korróziós termékek metallográfiai vizsgálata) adják.

Az aktuális és a korábbi vizsgálati eredmények, az üzemelési és meghibásodási tapasztalatok ismeretében kép alkotható a berendezések állapotáról, a karbantartások állapotfüggően előre tervezhetők, az élettartam meghosszabbítható.

## A korrózió csoportosítása

A korrózió típusai több szempontból osztályozhatók. Ezt a szakirodalom is tükrözi, hiszen kialakulásának okai és megjelenési formái keverednek az egyes elnevezésekben és leírásokban.

Kémiai szempontból a csoportosítás lehet kémiai vagy elektrokémiai. Az első esetben atomi távolságokban játszódik le az oxidáció és a redukció, míg az utóbbinál a folyamat térben jobban elválasztva, elektromos áram keletkezése mellett megy végbe.

A korrózió bekövetkezhet leállás vagy üzemelés közben. Ezt a megkülönböztetést az eltérő környezet indokolja, hiszen a tápvíz összetétele, fizikai és minőségi jellemzői eltérőek a két állapotban.

Más csoportosításban a korrózió lehet általános (felületi jellegű, mely mélységéhez képest viszonylag nagy területre terjed ki) vagy pedig lokális (a felület csak kis részére terjed ki, mélységi irányú). Az előbbi a fém egyenletes elvékonyodását okozza, a jelenség biztonsággal előre tervezhető, determinisztikus, míg a lokális korrózió ezzel szemben szto-

chasztikus jellegű, megjelenési helye és sebessége valószínűségi jelleggel bír. A kazánokban mindkét típusú korrózió előfordulhat, akár egymás mellett is. Több esetben a kettő között elhelyezhető korróziós károsodás alakul ki, amikor a cső belső felületének egy sávjában a korróziós termék megvastagszik, és ugyanakkor alatta jelentős csőfal-elvékonyodás keletkezik.

A korróziós elváltozások megjelenési formái is eltérők. A korróziós termék színe, állapota és kötődése az alapfémhez változó lehet, olyan formákat ölthet, melyek szűkebb értelemben az oxidáció egyik klasszikus megjelenési formájába sem sorolhatók, pl. az eróziós korrózió vagy a feszültségkorrózió. A korróziós elváltozás ritkán fordul elő önmagában, általában más folyamatokkal együtt jelenik meg, pl. fémek öregedéséhez vagy a hő/mechanikai igénybevétel okozta fáradásához kapcsolódóan.

A tápvíz-előkészítési technológia és a hőhordozó közeg kezeltetése (kondicionáltsága) a korróziós folyamatok kialakulása és lejtészdóása szempontjából kulcsfontosságú. A topotaktikus, védő hatású, egybefüggő és sérülésektől mentes oxidréteg (a legtöbb vízüzemi rendszerben a magnetit -  $Fe_3O_4$ ) biztosítja, hogy a fém korróziója minimális legyen. Ennek fenntartásához folyamatosan biztosítani kell a vízüzemi paramétereket, különös tekintettel a tápvíz fajlagos elektromos vezetőképességére, oldott ion- és gáztartalmára, valamint szerves- és szervetlen-anyag-tartalmára. A tápvíz egyes szennyezőanyagai a lokális hibahe-lyeken, az áramlások holt tereiben és a megvastagodott, porózus korróziós termékekben feldúsulhatnak, üzem közben kiválhatnak, az oxidációs folyamatokat gyorsítják. Leállás alatt egy részük visszaoldódhat, a rendszer tömítettségén gázok oldódhatnak be, ezért ekkor is figyelemmel kell kísérni a tápvíz állapotát.

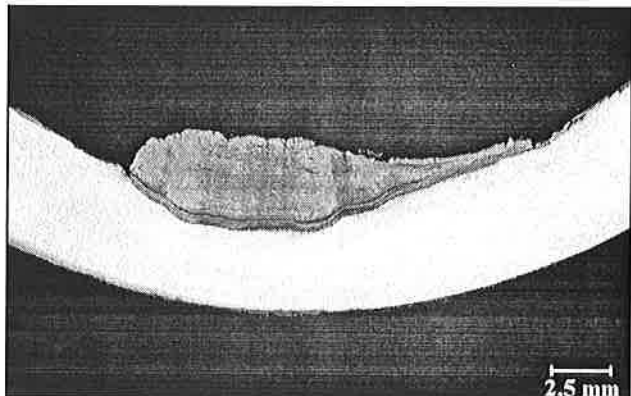
## A korróziós károsodás néhány jellemző megjelenési formája

### Általános korrózió

Az üzemelés közben leggyakrabban kialakuló korrózió. Kiterjedése nagy, felületi jellegű elváltozás. Mélysége változó, előrehaladott állapotban annyira lecsökkenhet a csőfal keresztmetszete, hogy az felszakadáshoz vezethet. Gyakran abban a sávban jelentkezik, ahol nagyobb a hőátvitel, pl. előzőelőgőtető csövek tűztéri oldalán.

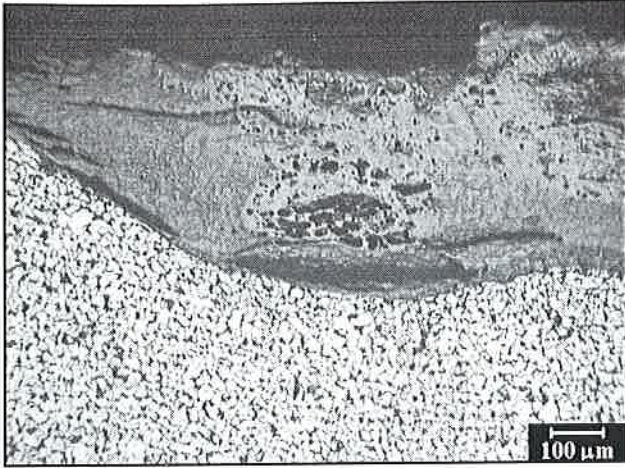
A korróziós termék szerkezete porózus, lemez, ezért a hőhordozó közeget szennyezi. Létrejötté a közeg nem megfelelő kondicionáltsá-gára vezethető vissza, elsősorban a nagy oldott oxigén tartalmára, va-lamint az oldott ionok jelenlétére, a nagy fajlagos elektromos vezetőképességre. A tűztéri csövek gyakori károsodási formája ez a típusú kor-rózió, kialakulásában közrejátszanak a kétfázisú víz-gőz rendszer áram-lási és hűtési viszonyai, illetve a belső felület hibái, egyenetlenségei. A létrejött – fémnél rosszabb hővezetésű – oxidréteg megváltoztatja a hőátadási viszonyokat, növeli a csőfal hőterhelését.

A rendszer leállása alatt is kialakulhat, amennyiben a berendezések nincsenek megfelelően kiszáritva.



1. ábra. A korróziós károsodás metszete

\*AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.

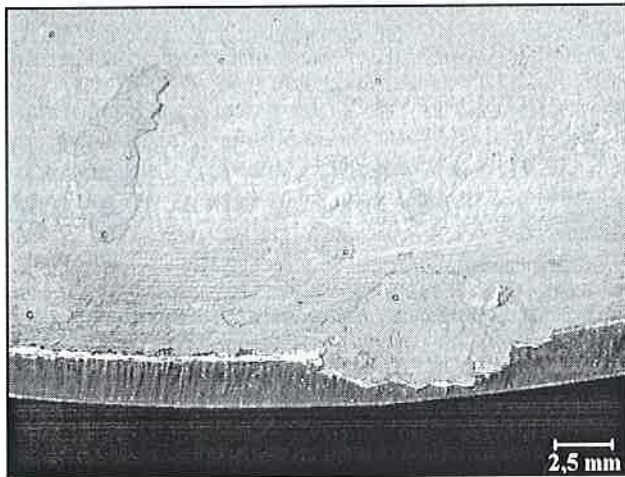


2. ábra. A korróziós termék szerkezete

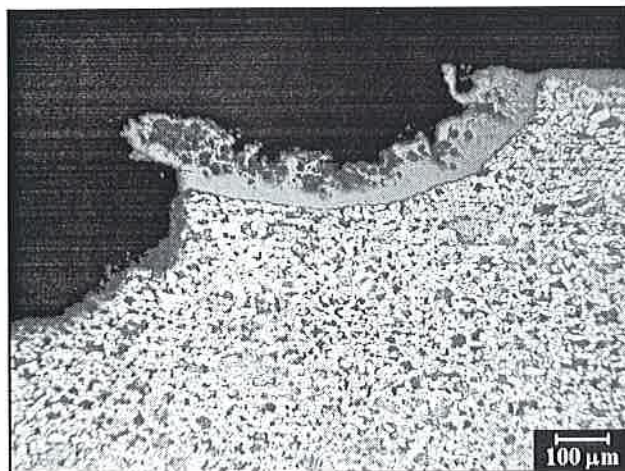
Az 1. és a 2. ábra a korróziós károsodás szerkezetét mutatja egy keresztmetszeti csiszolaton. A kialakult oxidréteg több részből áll: legbelül a fémhez erősen tapadó vékony, tömör réteg látható, amely felett egy jóval vastagabb, porózusabb, repedésekkel teli rész található. A kémiai analízissel ebben a rétegben kimutathatók a tápvízből származó vegyületek származékai és kémiai elemei. Az oxidáció általában a szemcsehatárokról indul ki, hosszan benyúlik az alapfémbe és halad a szemcsék közepe felé.

A megvastagodott, lemezes, porózus szerkezetű korróziós termékkel borított helyek teherbíró képessége kisebb.

A belső oxidréteg fizikai tulajdonságai miatt egyébként is sérülékeny.



3. ábra. Előtűlhevítő csőív lokális korróziója



4. ábra. Lokális korróziós hely keresztmetszete

Mivel a magnetit tömör, rideg, kristályos vegyület, ezért az alapfémnél csak lassabban és kevésbé képes az alakváltozásra, könnyen lepatogzik vagy megrepedezik. Ezekben a helyeken könnyebben kialakul a felület általános korróziója.

#### Lokális korrózió

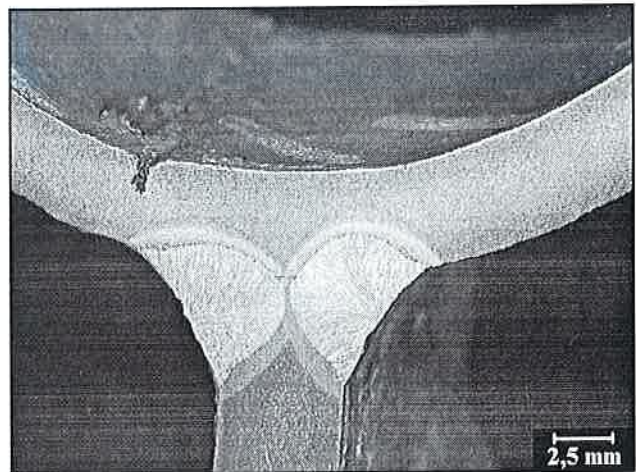
A helyi korrózió jelenségének legfőbb okozója a tápvíz nagy oldottgáz-tartalma, elsősorban az oxigén. A folyamat a fém oldódásával jár, akár néhány hónap üzemidő alatt is átlukadhat a csőfal. Az elváltozás gyakran a közeg áramlása, eróziója által is támogatott, pl. csőívek húzott szálában keletkezik. A létrejött üregeket nem tölti ki oxidációs termék, sőt bizonyos esetekben a belső felületen ki sem alakul a vékony oxidréteg, mert a környezeti állapotok és felületek sem állandóak. Egy ilyen károsodást mutat be a 3. és 4. ábra.

A lokális korrózió kialakulhat állás alatt is, amennyiben a kazán nincs megfelelően kiszáritva. Mélyebb fekvésű helyeken, a függőleges hőcsérelők alsó csőíveiben a maradék kondenzátum összegyűlik, és a környezetből oxigént old magába.

#### Termikus fáradás

A termikus fáradás és a hozzá kapcsolódó korrózió jelensége a berendezés inhomogén hőmérséklet- és terhelés-eloszlására, valamint a többtengelyű feszültségállapot hatására vezethető vissza. A kazán falának merevítése, a csatlakozó acélszerkezetek, bűvönnyílások, esetleg technológiai berendezések csőfalhoz rögzítése gátolja a hőmérsékletkülönbségek hatására bekövetkező alakváltozást, a kialakuló többtengelyű feszültségállapotban az anyag rideg viselkedést mutat. A változó üzemelési paraméterek indukálta ciklikus mechanikai igénybevétel hatására az anyagban repedések keletkeznek, melyekben a korrózió is felgyorsul, tovább gyengítve a szerkezet teherviselő képességét. A cső törését vagy felszakadását nem előzik meg különösebb előjelek, az váratlanul, látványos alakváltozás nélkül következnek be. A membránfalak ún. ablakos törését gyakran ez okozza.

Az 5. ábra egy membránfal merevített sarkából kivágott íves csőszakaszból készült. A belső felületről kiinduló repedés végig követi a gátmez hegesztésének vonalát az alapanyagban. A kazán hátoldalához hegeszteti tartógerendák és a gátmez hegesztése miatt a szerkezetnek ez a része kevésbé volt képes az alakváltozásra, a repedés a vékony csőfal és a merevített rész határán keletkezett.

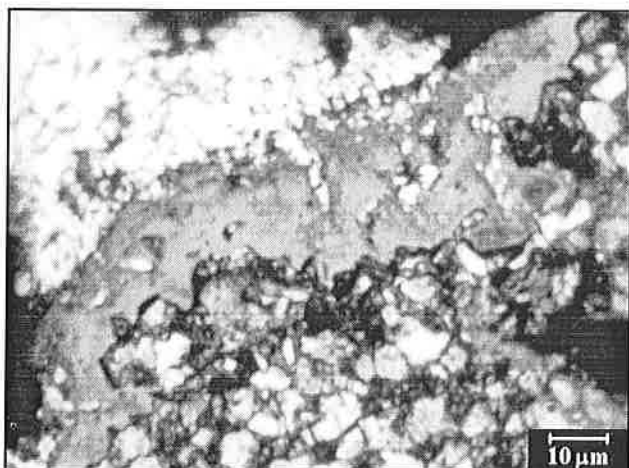


5. ábra. Termikus fáradás okozta repedés metszete

#### Elektrokémiai korrózió

Az elektrokémiai korrózió az energetikai rendszerek minden részében megjelenhet a különböző típusú, eltérő elektródpotenciálú fémek alkalmazása miatt. Az eltérő potenciálú fémek lerakódása és beagyazódása a korróziós termékbe helyi galvánelemet képez. A folyamat elektromos áram keletkezése mellett megy végbe, az elektródok maguk a fémek, míg az elektrólit a hőhordozó közeg. A folyamat a hőcsérelők csővek lyukadásához vezethet.

Legtöbbször a kondenzátorból elhordott és a tápvíz-előmelegítőben vagy gőzfejlesztő rendszerben lerakódott részötvetek az elektrokémiai korrózió fő okozói. A rossz áramlási viszonyok, belső repedések és felületi egyenetlenségek, valamint a megvastagodott, porózus korróziós termékek elősegítik a galvánkorrózió kialakulását (6. ábra).

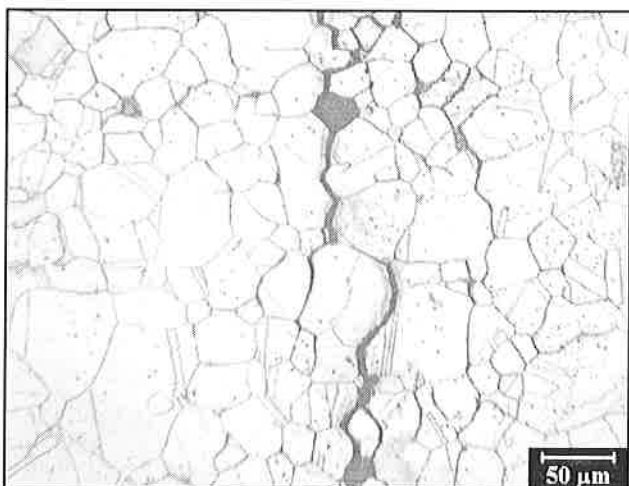


6. ábra. A korróziós termékbe beágyazódott réz szemcsék

**Feszültségkorrózió**

A korrózióálló acélok egyik legelterjedtebb lokális korróziós károsodása a feszültségkorrózió. A jelenség korróziót elősegítő közeg és az anyagban levő húzófeszültség hatására jön létre. Kialakulásához az anyag hajlama, a közeg aktivátorai (Cl<sup>-</sup>, S<sup>-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionok), a kritikusnál nagyobb húzófeszültség, valamint elegendő inkubációs idő szükséges. A keletkezett kristályhatárok menti vagy kristályokon áthaladó repedés jelentősen csökkenti az anyag teherbíró képességét. A folyamat emelt hőmérsékleten, vagy betöményedett korrózió közegben jelentősen felgyorsul.

A 7. ábra egy interkristallin feszültségkorróziós károsodást mutat be.



7. ábra. Feszültségkorróziós repedés korrózióálló acélban

**A korrózió vizsgálati módszerei**

A korróziós károsodás roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokkal vizsgálható. Az utóbbi eset jellemzően a helyszíni diagnosztikát jelenti, célja elsősorban az állapotfelmérés, a cserére szoruló kritikus csőszakaszok kijelölése, míg az előbbi esetben, a laboratóriumi vizsgálatok során a károsodás kiváltó okainak meghatározása kerül előtérbe. A vizsgálatokat mindig a feladatnak megfelelően kell megtervezni, mivel az egyes technológiák más-más információt szolgáltatnak a korrózióról. Nem ritka, hogy az adott területet többfajta eljárással is megvizsgálják.

A roncsolásmentes eljárások közül a legegyszerűbb módszer az endoszkópos vizsgálat, melynek során közvetlenül látható a csőfal belső állapota. A vizsgálat tulajdonképpen egy szemrevételezés, jól dokumentálható, de hátránya, hogy a szonda bevezetésének helyén a rendszer megbontásával jár. A vizsgálat a kialakult korrózió állapotáról átfogó információkat ad.

Az ultrahangos vizsgálat rugalmasan alkalmazható a belső felület vizsgálatára, repedések kimutatására és falvastagság-mérésre. A bevezetett, visszavert és feldolgozott ultrahang jel, valamint az alapzaj tulajdonságaiból következtetni lehet a felületi egyenetlenségekre, a repedések mélységére és a szerkezeti anyag állapotára.

Csőszakaszok vizsgálatára alkalmasabb a külön adó- és vevőfejjel szerelt ún. tandem elrendezés, melynél a cső alakjához illeszkedő betétben vannak a vizsgálófejek. A módszerrel nagy tömegben és gyorsan elvégezhető a vizsgálat, és könnyen kijelölhető a cserélendő csőszakaszok. A módszer alkalmazásához több előkészület, előzetes beállítás szükséges, de információt ad a korrózió jellegéről, kiterjedéséről és mélységéről. Kazánok membránfalainak, csőveinek ellenőrzésére kiválóan alkalmazható eljárás. A szerkezetet több oldalról célszerű megvizsgálni, így a belső hibák által adott indikációk biztosabban elkülöníthetők az egyéb zajoktól.

Az örvényáramos vizsgálat nemcsak csőkötegek és csővégbehegesztések vizsgálatára alkalmazható, hanem nagyobb kiterjedésű belső felületek, pl. tartályok falának ellenőrzésére is használható módszer. Eredményeiből következtetni lehet a csővek, illetve lemezek belső anyagfolytonossági hiányaira (lyukadásokra, repedésekre), a korróziós károsodásra és a szerkezeti anyag állapotára. Előzetes előkészítés és beállítás után a vizsgálat nagy tömegben elvégezhető a karbantartás alatt.

A legtöbb információt a laboratóriumi vizsgálatok szolgáltatják az aktuális állapotról vagy az elváltozásokat kiváltó lehetséges okokról. A korróziós termék analitikai és mikroszkópi vizsgálata széles körben alkalmazható ilyen esetekben.

A kémiai összetétel vizsgálatával meghatározhatók a korróziós terméket felépítő vegyületek, illetve a benne kivált, tápvízből származó alkotóelemek és adalékok maradványai (pl. kondicionáló vegyszerek, keménységokozó Ca- és Mg-sók), de a rendszer más részéből elhordott és lerakódott alkotóelemek (pl. kondenzátorból származó réz) is kimutathatók.

A mikroszkópi vizsgálattal megállapítható az alapfém szövetszerkezeti állapota, a korróziós réteg morfológiája és rétegvastagsága. Mérhető a korróziós üregek, a lyukkorrózió és a repedések mélysége. A metseten gyakran azonosíthatók a korróziós termékbe beágyazódott különböző fémszemcsék, illetve helyi analízis esetén a kialakult vegyületek, melyek az oxidációt kiváltó okokra utalnak.

A laboratóriumi vizsgálatok nemcsak oknyomozásra alkalmazhatók, hanem szabványos, gyorsított eljárásokkal az anyag korróziós hajlama és viselkedése is vizsgálható. A mintát előre meghatározott ideig, adott hőmérsékleten korrózió közeg hatásának teszik ki, majd analitikai és mikroszkópi vizsgálatnak vetik alá. Ilyen módszer pl. a korrózióálló acélok feszültségkorróziós hajlamának vizsgálata, vagy a szénacélok korróziós sebességének meghatározása az adott közegben.

**Összefoglalás**

Vizsgálati tapasztalataink alapján a berendezések élettartamát számos esetben nem a belső anyagszerkezeti változások vagy az öregezési folyamat határozza meg, hanem a korrózió. Ezért fontos, hogy a tápvíz-előkészítési rendszer működtetése fokozott figyelmet kapjon mind az üzemelés, mind a leállítás alatt.

A korrózió természetes folyamat, a rendszer egyensúlyi állapot felé törekvése. A rendellenes, üzemzavart okozó elváltozások legegyszerűbb megelőzési módja, ha a belső felületen védő hatású, vékony, tömör oxidréteget alakítanak ki, és azt folyamatosan fenntartják.

Üzem közben a túlterhelések, az állandósult állapotól eltérő helyzetek, az indítás vagy leállítás folyamata jelentősen befolyásolja a károsodást, melynek sebessége a vízüzési és terhelési paraméterek szigorú betartásával lassítható. A kazán üzemeltetésének hosszabb időre tervezett felfüggesztése esetén a hőátadó csővek belső felületének védelméről gondoskodni kell.

A kazánok élettartamának pontosabb meghatározásához, a károsodási folyamatok részletes megismeréséhez a rendszeres időközönként végzett diagnosztikai jellegű vizsgálatok adnak információkat. Roncsolásos és roncsolásmentes eljárások széles köre alkalmas az állapotfelméréshez, a javítandó berendezések kijelöléséhez. A vizsgálati eredmények alapján meghatározhatók az elváltozás kiváltó okai, illetve a károsodási folyamat lassítható.

**Irodalom**

[1] French, D. N.: Metallurgical Failures in Fossil Fired Boilers (Wiley-Interscience, 1983)  
 [2] Pótsa Emil: Gőzkazánok (Műegyetem Kiadó, 1996)  
 [3] ASM Metals Handbook, Vol. 11: Failure Analysis and Prevention (ASM, 1986)  
 [4] Naumann, F. K.: Failure Analysis, Case Histories and Methodology (Rieder-Verlag, ASM, 1983)