



3.13. sz. útmutató

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

Verzió száma:

3.

(Új, műszakilag változatlan kiadás)

2016. február

Kiadta:

Fichtinger Gyula
az OAH főigazgatója
Budapest, 2016

A kiadvány beszerezhető:
Országos Atomenergia Hivatal
Budapest

FŐIGAZGATÓI ELŐSZÓ

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) az atomenergia békés célú alkalmazása területén működő, önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező országos illetékességű központi államigazgatási szerv. Az OAH-t a Magyar Köztársaság Kormánya 1990-ben alapította.

Az OAH jogszabályban meghatározott közfeladata, hogy az atomenergia alkalmazásában érdekelt szervektől függetlenül ellássa és összehangolja az atomenergia békés célú, biztonságos és védett alkalmazásával, így a nukleáris és radioaktív hulladék-tároló létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok biztonságával, nukleáris veszélyhelyzet-kezeléssel, nukleáris védettséggel kapcsolatos hatósági feladatokat, valamint az ezekkel összefüggő tájékoztatási tevékenységet, továbbá javaslatot tegyen az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megalkotására, módosítására és előzetesen véleményezze az atomenergia alkalmazásával összefüggő jogszabályokat.

Az atomenergia alkalmazása hatósági felügyeletének alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia békés célú felhasználása semmilyen módon ne okozhasson kárt a személyekben és a környezetben, de a hatóság az indokoltnál nagyobb mértékben ne korlátozza a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását. Az alapvető biztonsági célkitűzés minden létesítményre és tevékenységre, továbbá egy létesítmény vagy sugárforrás élettartamának minden szakaszára érvényes, beleértve létesítmény esetében a tervezést, a telephely kiválasztást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemen kívül helyezést és a bezárást, radioaktív hulladék-tárolók esetén a lezárást követő időszakot, radioaktív anyagok alkalmazása esetén a szóban forgó tevékenységekhez kapcsolódó szállítást és a radioaktív hulladék kezelését, míg ionizáló sugárzást kibocsátó berendezések esetén azok üzemeltetését és karbantartását.

Az OAH a jogszabályi követelmények teljesítésének módját az atomenergia alkalmazóival egyeztetett módon, világos és egyértelmű ajánlásokat tartalmazó útmutatókban fejti ki, azokat az érintettekhez eljuttatja és a társadalom minden tagja számára hozzáférhetővé teszi. Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó nukleáris biztonsági, sugárvédelmi, védettségi és non-proliferációs követelmények teljesítésének módjára vonatkozó útmutatókat az OAH főigazgatója adja ki.

Az útmutatók alkalmazása előtt mindig győződjön meg arról, hogy a legújabb, érvényes kiadást használja-e! Az érvényes útmutatókat az OAH honlapjáról (www.oah.hu) töltheti le.

ELŐSZÓ

Az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atv.) tartalmazza.

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló rendelkezéseket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Rendelet) és mellékletei, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban: NBSZ) határozzák meg.

A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések betartása mindazok számára kötelező, akik az Atv. 9. § (2) bekezdése szerinti folyamatos hatósági felügyelet alatt állnak, valamint e törvényben előírt hatósági engedélyhez kötött tevékenységet folytatnak, ilyen tevékenységben közreműködnek, vagy ilyen tevékenység folytatásához engedély iránti kérelmet nyújtanak be. A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések mellett a követelmények közé tartoznak az egyedi hatósági előírások, feltételek és kötelezettségek, amelyeket az OAH a nukleáris létesítmény nukleáris biztonsága érdekében határozatban állapíthat meg.

Az NBSZ-ben foglalt követelmények teljesítésére az OAH ajánlásokat fogalmazhat meg, amelyeket útmutatók formájában ad ki. Az útmutatókat az OAH a honlapján közzéteszi. Jelen útmutató az engedélyesek önkéntes alávetésével érvényesül, nem tartalmaz általánosan kötelező érvényű normákat.

A Rendelet 3. § (4) bekezdése alapján, ha a kérelmező a nukleáris biztonsággal összefüggő engedély iránti kérelmét az útmutatókban foglaltak szerint terjeszti elő, továbbá ha az engedélyes a nukleáris biztonsággal összefüggő tevékenységét az útmutatókban foglaltak szerint végzi, akkor az OAH a választott módszert a nukleáris biztonság követelményei teljesítésének igazolására alkalmasnak tekinti, és az alkalmazott módszer megfelelőségét nem vizsgálja.

Az útmutatókban foglaltaktól eltérő módszerek alkalmazása esetén az OAH az alkalmazott módszer helyességét, megfelelőségét és teljeskörűségét részleteiben vizsgálja, ami hosszabb ügyintézési idővel, külső szakértő igénybevételével és további költségekkel járhat.

Ha az engedélyes által választott módszer eltér az útmutató által ajánlottól, akkor az eltérés indokolása mellett igazolni kell, hogy a választott módszer legalább ugyanazt a biztonsági szintet biztosítja, mint az útmutatóban ajánlott.

Az útmutatók felülvizsgálata az OAH által meghatározott időszakonként vagy az engedélyesek javaslatára soron kívül történik.

A fenti szabályozást kiegészítik az engedélyesek, illetve más, a nukleáris energia alkalmazásában közreműködő szervezetek (tervezők, gyártók stb.) belső szabályozási dokumentumai, amelyeket az irányítási rendszerükkel összhangban készítenek.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	8
1.1. Az útmutató tárgya és célja	8
1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások	8
2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK	9
2.1. Meghatározások	9
2.2. Rövidítések	9
3. A LEHETSÉGES, ÖREGEDÉST OKOZÓ KÖRÜLMÉNYEK AZONOSÍTÁSA	11
3.1. A rendszerek üzemi paramétereit	11
3.2. Üzem mód-változások, igénybevételi ciklusok	12
3.3. A normál üzemitől eltérő üzemmódok	12
3.4. Vízüzemi normák, korróziós igénybevételek	13
3.5. Környezeti körülmények és feltételek	14
3.6. A berendezések környezeti minősítési feltételei	15
4. A RENDSZERELEMEK KONSTRUKCIÓS KIALAKÍTÁSA	16
4.1. Feszültségkoncentrációs helyek	16
4.2. Korróziós zónák	17
4.3. Egyéb öregedési folyamatok fejlődésének feltételei	18
4.4. Vizsgálhatósági feltételek	18
4.5. Monitorozási lehetőségek	18
4.6. Karbantarthatóság, javíthatóság	19
5. ALKALMAZOTT ANYAGOK	20
5.1. Szilárdsági és korróziós jellemzők	21
5.2. Az anyagjellemzők stabilitása	21
5.3. Meghibásodások terjedésével szembeni ellenállás	23
5.4. Anyagok technológizálhatósága	24
5.5. Anyagok összeférhetősége	24
5.6. Az anyagok felhasználásának tapasztalatai	25
6. SZILÁRDSÁGI ELEMZÉSEK	27
7. A RENDSZERELEMEK ÖREGEDÉSÉNEK ELEMZÉSE	28
7.1. A szerelemek lehetséges öregedési folyamatainak azonosítása	28
7.2. Öregedési folyamatok	29
7.2.1. Sugárkárosodás	29

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

7.2.2. Fáradás	29
7.2.3. Termikus öregedés	30
7.2.4. Korrózió	31
7.2.5. Kopás	32
7.2.6. Lazulás	34
7.2.7. Erózió	34
7.2.8. Anyagjellemzők változása	35
7.3. Öregedésre érzékeny helyek	35
7.4. Berendezések öregedésének előzetes értékelése, indikátorok meghatározása	35
7.5. Az öregedés érzékenységvizsgálata, csökkentési lehetőségei	37
8. AZ ÖREGEDÉSKEZELÉS TERVEZÉSI ELŐÍRÁSAI	38
8.1. Gyártási-szerelési előírások	38
8.2. Üzemeltetési előírások	39
8.3. Karbantartásra vonatkozó előírások	39
8.4. Időszakos anyagvizsgálatok és próbák előírásai	40
8.5. Monitorozás	42
8.6. Az öregedési folyamatok jellemzői - értékelési kritériumok	43
MELLÉKLET	
A MEGHATÁROZÓ ÖREGEDÉSI FOLYAMATOK RÖVID ISMERTETÉSE	45

1. BEVEZETÉS

1.1. Az útmutató tárgya és célja

A hatásos öregedéskezelés alapja, hogy az atomerőmű minden egyes életciklus szakaszában [tervezés, építés, üzembe helyezés, üzemeltetés (beleértve az üzemidő-hosszabbítást is), leszerelés] figyelembe vegyék az öregedést és hatásait. Jelen útmutató az öregedéskezelés tervezési szempontjainval foglalkozik. Az üzemeltetés alatti öregedéskezelésre vonatkozó ajánlásokat és a hatósági felülvizsgálat szempontjait a 4.12. sz. útmutató ismerteti.

Jelen útmutató arra vonatkozóan fogalmaz meg ajánlásokat, hogy az egyes rendszerek, rendszerelemek tervezése során miként vegyék figyelembe az öregedési folyamatokat. Az útmutatóban megfogalmazott ajánlások egyaránt alkalmazhatók az új rendszerek, rendszerelemek tervezésekor és a már meglévő rendszerek, rendszerelemek átalakításakor. Átalakítások esetén figyelembe veszik a meglévő, a 4.12. sz. útmutató alapján már elkészített és alkalmazott öregedéskezelési programokat.

1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások

A nukleáris biztonsági követelmények jogszabályi hátterét az Atv. és a Rendelet biztosítja.

2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK

2.1. Meghatározások

Az útmutató az Atv. 2. §-ában, valamint a Rendelet 10. számú mellékletében ismertetett meghatározásokon kívül az alábbi definíciókat tartalmazza.

Rendszerelem:

Egy adott funkció megvalósításában önálló részfunkciót ellátó egység (pl. berendezés, műszer, kábel, csővezeték, építmény, építési szerkezet).

Jelen útmutatóban a rendszerelem-kifejezésbe az építményeket és az építési szerkezeteket is beleértjük.

Romlási folyamat:

A rendszerek és rendszerelemek üzemeltetése, karbantartása és próbái során fellépő igénybevételek és környezeti feltételek hatására végbemenő felhasználódás, melynek következtében a rendszerek és rendszerelemek beépített tartaléka csökkenhet, teljesítményjellemzőik és működési megbízhatóságuk romolhatnak, meghibásodásuk valószínűsége növekedhet.

2.2. Rövidítések

ABOS	Atomerőművi berendezések biztonsági osztályba sorolása
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Amerikai Gépészmérnök Társaság)
CUF	Cumulative Usage Factor (Halmazódó károsodási tényező)
EBJ	Előzetes Biztonsági Jelentés
KKK	Kristályközi korrózió
KTA	Kerntechnische Ausschuss (Német Nukleáris Szabványügyi szervezet)
LOCA	Loss of Coolant Accident (hűtőközeg vesztesés üzemzavar)
PNAE	Pravila i normi v atomnoj energetyike (orosz atomenergetikai előírás gyűjtemény)
SZBV	Szabályzó és biztonságvédelmi rudak a reaktor aktív zónájában

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

VBJ Végleges biztonsági jelentés

VVER Víz-vizes energetikai reaktor

3. A LEHETSÉGES, ÖREGEDÉST OKOZÓ KÖRÜLMÉNYEK AZONOSÍTÁSA

3.1. A rendszerek üzemi paramétereit

Az üzemi technológiai rendszerek üzemi paramétereit a 100% teljesítményhez tartozó termohidraulikai számítások eredményei alapján határozzák meg.

Figyelembe veszik az üzemi közeg:

- a) fajtáját;
- b) nyomását;
- c) hőmérsékletét;
- d) térfogatáramát;
- e) sebességét.

Meghatározzák a rendszerelemek mechanikai terheléseit.

A rendszerparaméterek alapján meghatározzák a berendezések egyes jellemző pontjain uralkodó paramétereket, különös tekintettel az alábbi helyeken fellépő változásokra:

- a) szivattyúk;
- b) hőcserélő felületek;
- c) elzáró szerelvények;
- d) fojtótárcsák;
- e) visszacsapó szelepek;
- f) szabályozó szelepek;
- g) biztonsági szerelvények;
- h) csőelágazások és –szűkítők.

A részlegesen üzemelő részrendszereknél a várható üzemidőt és állásidőt, valamint a hozzájuk tartozó paramétereket megadják.

A biztonsági rendszereknél a normál üzemelés során fennálló készenléti paramétereket normál üzemi paraméterekként határozzák meg.

A ténylegesen várható normál üzemi paraméterek mellett meghatározzák a berendezések szilárdsági és egyéb elemzéseikhez használt méretezési paraméterek értékeit is. Méretezési paraméterként az üzemi közegnek a normál

üzem során legnagyobb igénybevételt kiváltó paramétereit veszik figyelembe.

Az ettől eltérő értékeket indokolni szükséges.

Az öregedési folyamatok elemzése során a méretezési paramétereket használják, azonban a már meglévő rendszerek átalakításakor a méretezési paraméterek esetleges túlzott konzervativizmusának kizárására alkalmazhatók az igazolt, tényleges üzemi paraméterek is.

3.2. Üzem mód-változások, igénybevételi ciklusok

A blokkteljesítmény változással járó terhelésváltozási ciklusok hatását elemzik, kivéve, ha igazolható, hogy a terhelésváltozások által okozott feszültség-változások amplitúdója kisebb a 10^6 ciklusra megengedett feszültség-amplitúdónál.

Elemzik a redundáns részrendszerek leállításakor és indításakor fellépő terhelésváltozások hatását is.

Meghatározzák a kifáradásra érzékeny berendezések és rendszerelemek tervezett élettartama során megengedett és feltételezett igénybevételi ciklusainak számát, azok konzervatív feltételezett paramétereit és halmozódó károsodási együtthatóját (CUF). A CUF tervezett értéke az elemzésre kiválasztott szabvány által megkövetelt biztonsági együtthatók figyelembevételével max. 1,0 lehet.

A kifáradás elemzése során a normál üzemitől eltérő üzemmódok által okozott igénybevételek hatását is figyelembe veszik az elemzésre kiválasztott szabványnak megfelelően.

Az ABOS 1-2. osztályú, kifáradásra érzékeny berendezések tervezett igénybevételi ciklusainak számát és a fáradásra történő ellenőrzése során figyelembe vett igénybevételi paramétereket a biztonsági jelentésben is feltüntetik.

3.3. A normál üzemitől eltérő üzemmódok

Az időszakos túlterheléses próbák terhelései által okozott igénybevételeket a normál üzemitől eltérő üzemmódok között veszik számításba.

A biztonsági rendszerek időszakos próbákra történő indítása, leállítása és a próbaparamétereken történő járatás miatti terheléseket szintén a normál üzemitől eltérő üzemmódok között veszik számításba.

A biztonsági rendszerek éles indulását (beleértve a téves indításokat is) konzervatív feltételezett üzemzavari paraméterekkel veszik figyelembe. A

tényleges események bekövetkezésének elemzésekor azonban megengedhető az esemény során regisztrált paraméterek figyelembe vétele.

Normál üzemitől eltérőként elemzik az olyan rendszerelem-meghibásodások által okozott kiegészítő terheléseket, melyek fellépése esetén a további üzemelés meghatározott ideig engedélyezhető (pl. szerelvények áteresztése, tömítések ellenőrzött szivárgása).

Olyan, ritkán előforduló terheléseket, melyek fellépése esetén az erőmű visszaindítása csak részletes egyedi elemzéseket követően engedélyezhető (pl. LOCA, földrengés), az öregedés tervezői elemzése során nem szükséges figyelembe venni, azonban a ténylegesen bekövetkezett eseményeknek a rendszerelemek öregedésére gyakorolt hatását elemzik.

3.4. Vízüzemi normák, korróziós igénybevételek

Az üzemi közegek kémiai összetételére és megengedett szennyeződéseire vonatkozó normákat elsősorban a hosszú távú, megbízható hőátvitellel és – primerköri hőhordozó esetében - a reaktorfizikai folyamatokkal kapcsolatos elvárásoknak megfelelően határozzák meg.

Az üzemi közegek jellemzőinek megengedett és megkövetelt értékeit a biztonsági jelentésben (EBJ, VBJ) rögzítik.

Az üzemi közegeknek a velük érintkező szerkezeti elemekre gyakorolt hatását elemzik. Ennek során figyelembe veszik:

- a) az üzemi közeg és a szerkezeti elem érintkezési idejét;
- b) az üzemi közeg összetételének megengedett változásait;
- c) az üzemi közeg paramétereinek lokális változásait;
- d) az üzemi közeg paramétereinek üzemmód-függő változásait, valamint
- e) egyes szerkezeti elemek meghibásodásai esetén fellépő olyan paraméter-változásokat, melyek a szerkezeti elemek öregedési folyamatainak lényeges gyorsítását okozhatják.

A korróziós igénybevételek elemzését olyan mértékig végzik el, hogy az input adatot szolgáltatasson:

- a) a szerkezeti elemek falelvékonyodását figyelembe vevő szilárdsági elemzések végrehajtásához;
- b) az üzemi közegben megjelenő korróziós termékek által okozott öregedési folyamatok elemzéséhez.

Megfelelő vizsgálati és monitorozási lehetőségek betervezése esetén megengedhető a falelvékonyodás feltételezett időfüggésének, illetve a hőhordozó előírt minőségi normái betartásának figyelembe vétele.

A vízüzemi normák betartásának ellenőrzési módszerét, gyakoriságát úgy állapítják meg, hogy azok összhangban legyenek a korróziós folyamatok idő-, hely- és üzemmód-függésére vonatkozó elemzések eredményeivel.

3.5. Környezeti körülmények és feltételek

A berendezések és rendszerelemek öregedéskezelésének tervezéséhez meghatározzák minden berendezés felszerelési helyét és az adott helyen uralkodó környezeti viszonyokat, ezen belül különösen az alábbiakat:

- a) a környezeti hőmérséklet;
- b) a relatív nedvességtartalom;
- c) a nyomás;
- d) a kémiai behatások;
- e) a sugárzás;
- f) a vibráció;
- g) a por és mechanikai szennyeződések.

feltételezhető és figyelembe veendő mértékét.

A környezeti paramétereket legalább az alábbi viszonyokra határozzák meg:

- a) normál üzem;
- b) várható üzemi események;
- c) tervezési üzemzavarok.

Meghatározzák az egyes környezeti feltételek fennállásának várható időtartamát.

Elemzik az egyes vizsgált berendezések normál üzemi környezeti feltételeit biztosító segédrendszerek meghibásodásának vagy a teljesítmény csökkenésének következményeit.

A környezeti hőmérséklet megállapításakor figyelembe veszik a berendezés saját hőtermelését, valamint a környezetébe telepített más berendezések hőtermelését is. Ilyen esetekben az okozott hőterhelés jellegzetes térbeli eloszlásának és időbeli váltakozásának hatásait is figyelembe veszik.

A primer kör nyomástartó berendezéseire és csővezetékeinek azon részeire, amelyek nagy neutronsugárzásnak vannak kitéve, felügyeleti programot

dolgoznak ki, ami lehetővé teszi a neutronbesugárzás mértékének meghatározását, ellenőrzését a teljes üzemidő során.

Az öregedés szempontjából jelentős sugárterhelésnek kitett berendezések esetén a várható sugárterhelést sugárzási fajtánként és energiatartományonként határozzák meg.

A környezeti paramétereket - az öregedési folyamatokra kifejtett hatásuktól függően - átlagos, maximális, minimális vagy változási értékükkel vagy változási tartományukkal jellemzik. A változási tartománnyal megadott igénybevételekre – ha a várható eloszlásra nincs jobb becslés – egyenletes eloszlást feltételeznek.

A környezeti paraméterek eredő hatását a technikai vagy más elfogadható eszközökkel ki nem zárt legpesszimistább együttes fellépésükkel veszik figyelembe.

3.6. A berendezések környezeti minősítési feltételei

A berendezések környezeti minősítésének tervezési alapelveit és az ezzel kapcsolatos ajánlásokat a 3.15 sz. útmutató tartalmazza.

4. A RENDSZERELEMÉK KONSTRUKCIÓS KIALAKÍTÁSA

4.1. Feszültségkoncentrációs helyek

A berendezések konstrukciójának kialakítása során a feszültségkoncentrációt okozó megoldásokat általánosságban kerülik.

Ahol ilyen csomópontok kialakítása elkerülhetetlen, ott az alapul választott tervezési szabványban előírt feszültségkoncentrációt csökkentő korlátozókat (minimális lekerekítési sugarak, maximális falvastagság-különbségek, hegesztési varratok kialakítása és elhelyezése stb.) betartják.

Elemzik a tervezési szabványban szereplő számítási módszerek alkalmazhatóságát a kialakított konstrukció megfelelőségének igazolására. Ha a konstrukció nem tartozik bele a számítási módszer érvényességi tartományába, úgy annak megfelelőségét és a tervezett élettartama során várható megbízható működését egyéb módon (egyedi elemzéssel, laboratóriumi kísérletekkel, minősítő vizsgálattal stb.) igazolják.

A feszültségkoncentrációs helyeken végrehajtandó időszakos vizsgálatok és próbák programjának kidolgozásakor igazolják, hogy a vizsgálatok alkalmasak a feszültségkoncentrációs helyeken várhatóan fellépő meghibásodások időben történő felfedezésére. Ennek során figyelembe veszik a geometriai diszkontinuitásoknak a vizsgálhatóságot korlátozó hatását is.

A feszültségkoncentráció hatásának elemzése legalább az alábbi helyekre terjed ki:

- a) bűvónyílások, főosztósíkok karimás kötése;
- b) nagynyomású edények csonkjai, bűvónyílásai;
- c) hengeres köpenyek és fenekek, fedelek összekötő varratai;
- d) gőzfejlesztők primer körüli kollektorai;
- e) szivattyúk háza, tengelye, járó- és vezetőkerekei, csonkjai;
- f) dízelgenerátorok tengelyei, motorblokkjai, dugattyúi, hengerhüvelyei;
- g) szerelvényházak, csonkok, osztósíkok elemei;
- h) szerelvényorsók, zárószervezetek;
- i) csővezetékek karimás kötése, elágazásai, szerelvényekhez, csőátvezetésekhez csatlakozó varratai.

4.2. Korróziós zónák

A konstrukció kialakítása során az üzemi közeg tulajdonságai és paramétereire figyelembe vételével elemzik, hogy a berendezések elemein milyen korróziós zónák jöhetnek létre.

Az elemzés során figyelembe veszik:

- a) a 100% teljesítményhez tartozó;
- b) a részterheléses üzemhez tartozó;
- c) a karbantartási és javítási időszakhoz tartozó, valamint
- d) a teszt- és próbaállapotokhoz tartozó

különböző korróziós feltételeket, illetve azok fennállásának várható időtartamát.

Különös figyelmet fordítanak a feszültségkorrózió feltételeinek elkerülésére, vagy ahol ez nem lehetséges, hatásainak kellő mértékű nyomon követhetőségére.

Elemzik az üzemi közeg összetételének valószínűsíthető megváltozásai, illetve a javítás, karbantartás és üzemelés során bekerülő szennyeződések miatt bekövetkező hatásokat.

Az üzemi közeg kémiai jellemzőinek az azonosított korróziós zónákban való folyamatos vagy időszakos ellenőrzését a tervezés során különös gonddal kezelik úgy, hogy a korróziós igénybevétel szempontjából jelentős paraméterek és jellemzők reprezentatív módon ellenőrizhetők legyenek.

Az azonosított korróziós zónákban a szilárdsági és kifáradási ellenőrzést az élettartam végén várható vagy a megfelelőségi kritériumban meghatározott falvastagság és felületi állapot figyelembe vételével végzik.

Korróziós zónaként legalább az alábbiakat azonosítják:

- a) nagynyomású edények hőpajzzsal védett csőcsonkjai;
- b) normál üzemben vízáramlás nélküli, illetve alacsony áramlási sebességgel jellemezhető környezetek;
- c) osztósíkok és karimák csavarfészkei és a csavaros kötések elemei;
- d) osztósíkok tömítései és a szivárgás-ellenőrző rendszer elemei;
- e) pangó vizekkel érintkező elemek (pl. gőzfejlesztő primer körű csőcsonk környezete);
- f) üzemi közeggel érintkező, ötvözetlen szénacél, illetve gyengén ötvözött acél elemek.

4.3. Egyéb öregedési folyamatok fejlődésének feltételei

Megvizsgálják, hogy a 7. pont szerinti öregedéselemzés során azonosított egyéb öregedési folyamatok hatásai a konstrukció módosításával megszüntethetők vagy csökkenthetők-e.

Ennek során figyelembe veszik az egymásra szuperponálódó folyamatok együttes hatásait.

4.4. Vizsgálhatósági feltételek

Az egyes berendezések lehetséges öregedési folyamatainak a 7. pont szerinti elemzése alapján meghatározzák azokat a romlási tüneteket (öregedési hatásokat), melyek időben történő felfedezésével és megszüntetésével a berendezés meghibásodása, állapotának vagy megbízhatóságának megengedhetetlen mértékű romlása, illetve más romlási folyamatok megengedhetetlen felgyorsulása elkerülhető.

Az azonosított romlási tünetek vagy működési jellemzők alapján a 8.4. pont szerint meghatározzák a megfelelő előrejelzést biztosító

- a) első és időszakos anyagvizsgálatok;
- b) üzembe helyezési és időszakos teljesítményvizsgálatok, próbák;
- c) állapotfelügyeleti tevékenységek, továbbá
- d) üzemelés utáni roncsolásos vizsgálatok

módszereit, terjedelmét, ciklusidejét és értékelési kritériumait.

Az üzemmódok, a vizsgálati körülmények megfelelő kialakítása mellett a konstrukció alkalmas kialakításával biztosítják a szükségesnek mutakozó vizsgálatok elvégezhetőségét.

A konstrukció kialakításánál figyelembe veszik, hogy az időszakos vizsgálatok feltételeinek tervezése során minden esetben biztosítandó az egymást követő vizsgálatok során talált állapotok összevethetősége legalább az öregedési folyamatok szempontjából fontos indikációk terjedelmében.

4.5. Monitorozási lehetőségek

A konstrukció kialakításánál figyelembe veszik a monitorozás kialakíthatóságának feltételeit. Megvizsgálják, hogy a 7. pont szerinti öregedéselemzés során azonosított öregedési folyamatok hatásainak 8.5 pont szerinti monitorozására előirányzott módszerek alkalmasságát a kialakítandó konstrukció támogatja-e.

4.6. Karbantarthatóság, javíthatóság

A tervezés során a várható öregedési folyamatok figyelembe vételével a 8.3 pont szerint meghatározzák a berendezések karbantartásának ciklusidejét és terjedelmét.

A konstrukciót úgy alakítják ki, hogy a berendezés beépítési helyén biztosíthatók legyenek a karbantartási feltételek (hozzáférés, sugárzási viszonyok stb.).

A konstrukció kialakításánál a lehetséges mértékig figyelembe veszik a javíthatósági szempontokat is.

Amennyiben a rendszerelem várható élettartama rövidebb a blokk tervezett üzemidejénél, akkor a konstrukció kialakításakor figyelembe veszik a cserélhetőséget, felújíthatóságot is.

5. ALKALMAZOTT ANYAGOK

3.3.2.4000. *„A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor vizsgálni kell a várható öregedési folyamatokat és azok hatásait. Igazolni kell – a „0” állapot és az öregedési folyamatok lehetséges bizonytalanságainak figyelembevételével –, hogy az alkalmazott szerkezeti anyagok öregedési folyamatai a tervezett élettartam során nem gátolják a rendszereket, rendszerelemeket a biztonsági funkcióik teljesítésében.”*

A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor olyan szerkezeti anyagokat alkalmaznak, amelyek:

- a) kipróbáltak, megfelelnek a tervezési és környezeti feltételeknek;
- b) minőségi osztályuk, jellemzőik igazoltan megfelelnek a tervezésnél alkalmazott szabvány vagy tervezői specifikáció által megadott határértéknek;
- c) a neutronsugárzásnak kitett ABOS 1. biztonsági osztályba sorolt rendszerelemek esetén anyagtulajdonságainak változása a lehető legkisebb és ellenőrizhető;
- d) romlási folyamataik az adott körülmények között és közegben ismertek, az öregedés a tervezett élettartamon belül a funkcióteljesítést nem korlátozza.

3.3.2.0900. *„A tervezés során a szerkezeti anyagok kiválasztásakor, az anyag- vagy termékszabványoknak megfelelően, meg kell határozni az ellenőrzéseket, anyagvizsgálatokat és a bizonylatolás követelményeit.*

3.3.2.1000. *Új anyagok és gyártási módszerek esetén minősítési eljárást kell lefolytatni, amely alapján a felhasználás céljának és követelményeinek való megfelelés igazolható.”*

3.3.2.1200. *„A tervezés során a szerkezeti anyagokkal kapcsolatban be kell tartani az alábbi követelményeket:*

- a) *hegesztendő ausztenites öntvények esetén a delta-ferrit tartalmat korlátozni és ellenőrizni kell,*
- b) *a nehezen vizsgálható ausztenites öntvények alkalmazása esetén elemezni kell a termikus öregedéssel szembeni ellenállást,*
- c) *rézötvözetek alkalmazása a tápvíz-, főgőz- és kondenzátum-rendszer üzemi közegeivel érintkező rendszerelemekben nem megengedett,*
- d) *gőz- és nagysebességű vízrendszerekben eróziós korrózióknak ellenálló anyagokat kell alkalmazni, továbbá*

- e) *vízüzemi közeggel érintkező szénacél rendszerelemek esetén az általános korróziós folyamatokra a szilárdsági elemzésekben meghatározott falvastagság tartalékot kell előírányozni.*

5.1. Szilárdsági és korróziós jellemzők

3.3.2.0700. *„A tervezés során az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével bizonyítani kell, hogy*

- a) *a szerkezeti anyagok szilárdsági tulajdonságai az öregedés hatása ellenére megfelelnek a TA1-4 üzemállapotokra számított maximális terheléseknek az üzemállapotra előírt biztonsági tartalékok figyelembe vételével, amennyiben az adott üzemállapotban az érintett rendszerelem biztonsági funkciókat lát el; és*
- b) *a kritikus szerkezetekben a törésmechanika követelmények is teljesülnek.*

Az öregedési folyamatok elemzése során a kiválasztott anyag időben változó mechanikai tulajdonságainak, a feltételezett TA1-4 üzemállapotokra számított maximális terheléseknek, illetve a feszültségeknek, valamint az anyagokban feltételezett, megengedhető hibáknak az egymásra hatását elemzik.

A tervezés során meghatározzák:

- a) az anyagtulajdonságok várható romlását az üzemelés során;
- b) a feltételezett hibák várható növekedését;
- c) a TA1-4 üzemállapotokra számított üzemi terhelések változását

annak érdekében, hogy a berendezés biztonságos és megbízható üzemeltetésének feltételei a tervezett élettartam során biztosíthatók legyenek.

Az elemzést a berendezések üzemelése, karbantartása és készenléti állapota során várhatóan fellépő környezeti feltételek és más, öregedést okozó körülmények figyelembe vételével, az öregedési folyamatok egymásra hatásának feltételezésével végzik.

Az anyagok korróziós jellemzőit az üzemi közeg kiválasztott összetételének, illetve az előírányozott üzemmódok paramétereinek figyelembe vételével, szakirodalmi adatok, mértékadó felhasználási tapasztalatok vagy egyedi kísérletek alapján határozzák meg, ennek hiányában megfelelő időszakos ellenőrzési programot irányoznak elő.

5.2. Az anyagjellemzők stabilitása

A berendezések acélanyagainak kiválasztásakor különös gonddal elemzik:

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

- a) a termikus öregedés;
- b) a besugárzás;
- c) a ciklikus és dinamikus terhelés, valamint
- d) az agresszív környezet

hatására bekövetkező anyagtulajdonság-változás feltételeit. De emellett az anyag kiválasztáskor tekintettel vannak a beépítés környezetében várható valamennyi öregedési folyamatra is.

A magas hőmérsékleten (250°C feletti tartományban) tartósan üzemelő acélszerkezetekhez a termikus ridegedésnek ellenálló anyagot választanak.

A besugárzás miatti károsodást, illetve az anyagtulajdonságok megváltozását a reaktortartálynál, különösen az aktív zónával szembeni öv és varrat esetében fontos figyelembe venni, de a fenti jelenségeket és hatásokat a reaktortartályon belüli berendezéseknél is elemezik.

Az anyagjellemzőknek a változó igénybevételek hatására történő megváltozását azoknál a rendszerelemeknél elemzik, melyek ciklikus és dinamikus igénybevétele viszonylag nagy.

Figyelembe veszik, hogy az agresszív (korrozív, erózió, abrazív stb.) környezet a rendszerelemek felületi minőségére, súlyosabb esetben geometriai méreteire fejt ki negatív hatását.

A tervezés során tisztázzák a szabályzatban deklarált anyagtulajdonságok érvényességi tartományát.

Nem acélszerkezetek esetében az anyagjellemzők stabilitásának vizsgálata az öregedéssel szembeni ellenálló képesség egyik kulcseleme. Tervezés során elsősorban az alábbi rendszerelemek anyagtulajdonságainak változásának figyelembe vétele érdemel említést:

- a) nyomástartó berendezések nikkal és egyéb, nem acélból készült tömítőgyűrűi;
- b) nem nyomástartó elemek;
- c) záró és tömítő alkatrészek;
- d) tömszelencék;
- e) tömítő anyagok;
- f) kenőanyagok;
- g) kábelek;
- h) korrózióvédő bevonatok;

- i) villamos szigetelőanyagok;
- j) dekontaminálhatóságot biztosító bevonatok;
- k) nehézbeton szerkezetek;
- l) hőhatásnak kitett vasbeton szerkezetek.

5.3. Meghibásodások terjedésével szembeni ellenállás

3.3.2.0800. „A tervezés során az anyagkiválasztáskor be kell tartani a katasztrofális meghibásodás elleni kritériumokat. Vizsgálni kell az összes jellemző törési mechanizmust az érintett rendszerelemeknél.”

A tervezés során az élettartamot korlátozó romlási folyamatok elemzésével bizonyítják, hogy a kritikus szerkezetekben a törésmechanikai megfelelési követelmények is teljesülnek.

A tervezés során meghatározzák az anyagokban üzembevétele előtt fellelhető hibák terjedésével szembeni ellenállás megbízhatóságát.

Meghatározzák az egyes hibafajták azon kritikus méretét, amely fölött a meghibásodás terjedésének felgyorsulásával kell számolni.

Meghatározzák az öregedésből eredő romlási folyamatok egymást gyorsító hatásának jellegét és mértékét.

Meghatározzák a különböző üzemmódok azon paramétereit, melyek katasztrofális hibakeletkezéshez, illetve a meglévő hibahelyek gyors növekedéséhez vezethetnek.

Kidolgozzák a hibahelyek - fentiekben említett - gyors növekedésének megakadályozását biztosító intézkedéseket.

Fentiek hiányában kidolgozzák a hibahelyek monitorozásának és a szükséges megelőző tevékenységek időben történő megvalósításának módját.

Kiemelt figyelmet fordítanak az alábbi hibaterjedések elkerülésére:

- a) reaktortartály, térfogatkiegyenlítő tartály, és gőzfejlesztő tartály ridegtörése;
- b) stabil és instabil repedésterjedés nyomástartó berendezések és csővezetékek határfelületein;
- c) szivárgást okozó meghibásodások felnyílása;
- d) szivárgó üzemi közeg eróziós hatásai;
- e) helyi korróziós folyamatok (KKK, feszültségkorrózió stb.) felgyorsulása.

5.4. Anyagok technológizálhatósága

A szerkezeti anyagokat úgy választják ki, hogy a berendezés konstrukciós kialakításához szükséges technológiai műveletek megfelelő minőségben elvégezhetőek legyenek.

A technológizálhatóság ellenőrzése kiterjed a gyártás, szállítás, tárolás, szerelés, üzembe helyezés és üzemeltetés során megkövetelt technológiai műveletek elvégezhetőségére.

Különös gondot fordítanak az időszakos karbantartás feltételeinek (szét- és összeszerelhetőség) biztosítására, illetve az általuk okozott igénybevétel (különösen: karbantartási kopás) elviselésére.

Utóbbi alapelv hangsúlyosan érinti:

- a) a karimás kötéseket;
- b) a menetes csatlakozásokat és
- c) a szorosan illesztett mechanikai elemeket.

A technológizálhatóság vizsgálata hangsúlyos szerepet kap a cserélhetőség és a javíthatóság feltételeinek biztosításakor. Az ilyen műveletekhez szükséges, kiegészítő technológiai eljárásokat (előmelegítés, utólagos hőkezelés stb.) határoznak meg.

5.5. Anyagok összeférhetősége

Az egymással érintkező szerkezeti elemek kiválasztásánál elemzik az ötvöző és szennyező anyagok diffúziójából eredő káros hatásokat.

A szerkezeti elemeket úgy választják ki, hogy azok erózió- és korrózióállósága az üzemi közeg agresszivitásával arányos legyen.

Üzemi közeggel érintkező szerkezeti elemek kiválasztásakor ügyelnek az elektrokémiai folyamatok elkerülésére.

Korlátozzák a karbantartáshoz, anyagvizsgálatokhoz, illetve egyéb célra használt segédanyagok esetében a káros korróziós folyamatokat indító szennyezők tartalmát.

A karimás kötésekben használt tömítőanyagokat úgy választják ki, hogy azok ne indíthassanak káros korróziós folyamatokat a karimák elemeiben.

Vizsgálják a szerkezeti elemek hőszigeteléséhez használt anyagoknak és a védendő elemek anyagának összeférhetőségét.

Korrozív, agresszív környezetben üzemelő szerkezeteknél a külső felület és a környezet víz, gőz, sav, lúg stb. szennyeződésének egymásra hatását is vizsgálják.

Radioaktív közeggel üzemelő vagy ilyen szennyeződés veszélyének kitett elemek dekontaminálására olyan receptura használatát irányozzák elő, melynek alkalmazása nem okozza az elemek károsodását.

Az anyagok kiválasztásánál figyelembe veszik, hogy a szorosan illesztett, magas hőmérsékleten üzemelő elemek esetében a hőtágulás mértékének eltérése egyik elemnél sem okozhat meg nem engedett terhelést. Hasonlóképpen biztosítják, hogy a szűk résen át közlekedő, folyadékkal feltöltött (feltöltődött) terekbe bezárt közeg gyors hőmérséklet-emelkedése miatt bekövetkező folyadék-hőtágulás se okozzon szerkezeti túlterhelést.

Hegesztett szerkezetek alap- és hozaganyagainak összeférhetőségét a gyakorlatban igazolt anyagpárosítások alkalmazásával biztosítják.

Egymással nem kellően összeférhető anyagok alkalmazásának szükségessége esetén gondoskodnak a veszélyeztetett elem különleges védelméről (közbenső elem alkalmazása, plattírozás, anódvédelem stb.).

5.6. Az anyagok felhasználásának tapasztalatai

Szerkezeti elemek gyártásához általában a tervezési szabályzat által meghatározott anyagfajtákat irányozzák elő az ugyanott hivatkozott szabványok műszaki követelményeinek kielégítésével.

A szerkezeti elemek anyagát annak figyelembe vételével választják ki, hogy a tervezett igénybevételek nem haladhatják meg a kiválasztott anyagok biztonságos alkalmazhatóságának határait.

A fentiek nem teljesülése esetén az alkalmazott anyagok alábbi tulajdonságainak megfelelőségét igazolják, a tervezett igénybevételek függvényében:

- a) szakítószilárdság;
- b) folyáshatár;
- c) fajlagos nyúlás;
- d) fajlagos kontrakció;
- e) fajlagos egyenletes elvékonyodás;
- f) kúszás;
- g) tartamszilárdság;
- h) ciklikus szilárdság;

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

- i) kritikus ridegtörési hőmérséklet;
- j) a kritikus ridegtörési hőmérséklet változása öregedés, kifáradás és sugárzás hatására;
- k) a képlékenységi tulajdonságok időbeli változása;
- l) az anyag ellenállása általános és helyi korróziófajtákkal szemben;
- m) erózióállóság;
- n) erózió-korrózió állóság;
- o) kopásállóság.

Az anyagjellemzőket a tervezett igénybevételeknek megfelelő terjedelemben, a nyomás, hőmérséklet és egyéb igénybevételi paraméterek biztonsági tartalékkal figyelembe vett változási tartományában határozzák meg.

A tervezés során az anyag kiválasztáskor betartják a katasztrofális meghibásodás elleni követelményeket, figyelembe véve a 6. fejezet szerinti törésmechanikai elemzések eredményeit is.

Az anyagok felhasználási tapasztalataként nem atomerőművi alkalmazások tapasztalata is figyelembe vehető, ha igazolják, hogy a felhasználás során fellépett igénybevételek lefedik a tervezéskor figyelembe vett várható igénybevételi tartományt.

6. SZILÁRDSÁGI ELEMZÉSEK

A rendszerelemek szilárdsági méretezését olyan szabványok vagy szabályzatok alapján végzik, amelyeknek az alkalmazott anyagokkal, a gyártással és a létesítéssel szemben támasztott követelményeit is ki tudják elégíteni.

A méretezést az üzemi, a normál üzemittől eltérő és az üzemzavari helyzetekre is szükséges elvégezni az igénybevételektől függően az alapul választott szabványok vagy szabályzatok szerinti terhelési esetekre.

Az elemek méretezése során felméri az elemek élettartama alatt várható romlási folyamatok miatt bekövetkező változásokat, és az elemek ellenőrző számítását az élettartam végi állapotra is elvégzik.

Vizsgálják az összes jellemző törési mechanizmust az érintett rendszerelemeknél.

Meghatározzák az élettartam végén való biztonságos üzemeltetés érdekében beépítendő tartalékokat.

Amennyiben az elemzés alapjául választott szabványok vagy szabályzatok ezt lehetővé teszik, az elemek biztonsági tényezői az élettartam függvényében állapíthatók meg.

Meghatározzák azokat az üzemviteli korlátozásokat, melyeket az üzemidő előrehaladtával be kell tartani.

A szilárdsági elemzéseket úgy dokumentálják, hogy az lehetővé tegye az élettartam során felmerülő, korábban figyelmen kívül hagyott igénybevételek élettartam-csökkentő hatásának elemzését és a méretezési számítások teljes felülvizsgálatát.

Ilyen felismert igénybevételek lehetnek:

- a) csővezetékekben keletkező hőrétegződés;
- b) csővezetési rendszerekben keletkező vízütések;
- c) szivattyúk megnövekedett vibrációja, kavitációja;
- d) szerelvények áteresztéséből, alkatrészek meghibásodásából eredő helyi mechanikai és hőfeszültségek;
- e) betonszerkezetek nem megengedett hőmérsékleti igénybevételei;
- f) szivattyúk és dízelgenerátorok segédrendszereinek meghibásodása miatti paraméter-eltérések.

7. A RENDSZERELEMÉK ÖREGEDÉSÉNEK ELEMZÉSE

A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszerelemekre kidolgozzák az öregedéskezelés előírásait. Az előírásokat kiterjesztik:

- a) a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek öregedési helyeinek és az azokon várható öregedési folyamatok azonosítására;
- b) az öregedési folyamatok várható előrehaladásának becslésére.

7.1. A rendszerelemek lehetséges öregedési folyamatainak azonosítása

A rendszerelemek öregedési folyamatainak fejlődési lehetőségeit az előző pontokban ismertetett tervezési szempontok (a teljes tervezett üzemidejük során várhatóan felmerülő igénybevételek, a kiválasztott konstrukció, az azonosított feszültségkoncentrációs helyek, a korróziós zónák stb.) alapján határozzák meg.

Az öregedési folyamatok felmérésénél teljes körűsége abból a megfontolásból törekednek, hogy az élettartam elemzése során az egymásra szuperponálódó folyamatok együttes hatásai megbízhatóan meghatározhatók legyenek.

Az öregedéselemzés a továbbiakban a karbantartási, az időszakos vizsgálati és az üzemeltetési stratégia kidolgozásához is bemenő adatokat szolgáltat.

Az öregedési folyamatok azonosítása a berendezések tervezésekor kezdődő, a teljes életcikluson áthúzódó tevékenység.

Az öregedési folyamatok kezdeti azonosítását a 3-6. pontokban ismertetettek figyelembe vétele mellett az ipari gyakorlat, más atomerőművek üzemeltetési és karbantartási tapasztalatai, valamint az adott öregedési folyamatot kezelő tudományág és műszaki szakterület aktuális eredményei alapján, mérnöki megítéléssel végzik.

Az öregedési folyamatok azonosításának felülvizsgálatát és módosításait alapvetően a saját üzemelési és felülvizsgálati tapasztalatok és kiegészítőleg az iparági külső információk felhasználásával hajtják végre. Az erre vonatkozó ajánlásokat a 4.12 sz. útmutató tartalmazza.

Elemzik az öregedési folyamatok reálisan várható, illetve a lehetséges legrosszabb következményeit is, különösen a biztonságra gyakorolt hatást illetően.

Az öregedéskezelési intézkedésekre a lehetséges és a várható következmények figyelembe vételével tesznek javaslatot.

7.2. Öregedési folyamatok

Az alábbi alpontok az öregedéselemzés során a különböző öregedési folyamatoknál figyelembe veendő szempontokat ismertetik. Az egyes romlási folyamatok rövid ismertetését a melléklet tartalmazza.

7.2.1. Sugárkárosodás

Intenzív, nagy energiájú sugárzásnak kitett rendszerelemek sugárkárosodásának várható lefolyását és következményeit az alábbiak figyelembe vételével elemzik:

- a) a rendszerelemeket érő várható gamma- és neutron-sugárzás fluens és spektrális összetétele;
- b) a szerkezet üzemi hőmérséklete a besugárzás során;
- c) a szerkezeti anyagok kémiai összetétele és megengedett szennyezőanyag-tartalma;
- d) az anyagok üzembevétele előtti mechanikai tulajdonságai;
- e) a mechanikai tulajdonságok várható változásai, ezen belül különösen a kritikus ridegtörési hőmérséklet várható alakulása;
- f) a sugárkárosodás tényleges előrehaladásának monitorozásához szükséges eszközök és eljárások, valamint
- g) a biztonságos üzemeltethetőség fenntartásának és bizonyításának feltételei.

7.2.2. Fáradás

Az atomerőművi blokk várható üzemeltetési jellemzőiből kiindulva meghatározzák az egyes berendezések és szerkezeti elemeik által elviselendő igénybevételi ciklusok számát és paramétereit a 3.1-3.3 pontokban leírt sajátosságok figyelembe vételével.

A rendszerek tervében olyan mérési, archiválási lehetőségeket irányoznak elő, melyek a tényleges igénybevételi ciklus paramétereit rögzíteni tudják.

A fáradás elemzését a rendszerparaméterek konzervatív feltételezésével, romlási helyenként végzik el.

A kifáradás elemzésénél külön kezelendők a kis- és a nagyciklusú fáradás esetei.

A kifáradásra több fontos szabvány közli az egyes anyagok kifáradási görbéit (ASME, KTA, PNAE stb.). Ezek a görbék laboratóriumi próbatesteken végzett fárasztóvizsgálatok eredményeit tükrözik, amelyek – elsősorban a felület

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

eltérő állapota miatt – lényegesen különbözhetnek a reális, fárasztó hatásnak kitett rendszerelemek viselkedésétől. Másrészt: a konstruktőrök az egyes romlási helyek pontos feszültségi viszonyainak ismerete híján igen konzervatív, egyszerűsítő feltételezéseket tesznek.

A fáradás elemzésének kiinduló adataként az alapul választott szabványok vagy szabályzatok által jóváhagyott jellemzőket (kifáradási görbéket) veszik figyelembe.

A ténylegesen üzemelő rendszerelemek felületi állapotának és üzemi körülményeinek a laboratóriumi próbatestektől való eltérése miatt - közvetett módszerként - a szabályzatokban közölt biztonsági együtthatókat alkalmazzák.

Magas kifáradási együtthatóval jellemezhető ($CUF > 0,4$) szerkezeti elemeknél az alábbiak elemzése célszerű:

- a) terhelési állapot: húzás, nyomás, csavarás;
- b) terhelési szint: főfeszültségek, feszültségamplitúdók;
- c) az anyagok mechanikai tulajdonságai;
- d) az anyagok inhomogenitásai: megengedhető felszíni és térfogati hibák;
- e) a szerkezeti elem felületi minősége;
- f) maradó feszültségek nagysága és iránya;
- g) környezeti feltételek (hőmérséklet, páratartalom, korrózió agresszivitás).

Azon berendezéseknél, ahol az üzemmód-változással járó kisciklusú fárasztó igénybevételek mellett az alkatrészek forgásából, vibrációból, az üzemi közeg áramlása miatt ébredő rezgésekből, lengésekből és nyomásingadozásból, vagy más okból következően nagyciklusú fárasztó igénybevétellel kell számolni, ott a két hatást együttesen elemzik.

7.2.3. Termikus öregedés

Auszténites acélöntvények alkalmazása esetén az elem leendő üzemi hőmérséklete és az öntvény ferrittartalma függvényében elemzik a termikus öregedési folyamat kifejlődésének feltételeit.

Szükség esetén a ferrittartalmat korlátozzák, illetve előirányozzák a termikus öregedési folyamat esetleges kifejlődésének vizsgálatát.

Hegesztéssel és hidegalakítással készítendő vastag falú termékek esetén a termikus öregedés hatásánál szerepet játszó maradó feszültségek leépítését biztosító hőkezelést irányoznak elő.

Különös figyelmet fordítanak az átmeneti (tranzien) varratok, a varrattalálkozások és a hibahelyek hegesztéssel történő javítás utáni termikus ridegedési feltételeinek elkerülésére.

A műanyagok (tömítések, villamos szigetelések stb.) termikus öregedésének hatásait is elemzik.

7.2.4. *Korrózió*

Az alkalmazott szerkezeti anyagok, üzemi közegek és üzemeltetési feltételek mellett többféle, az öregedéssel összefüggő korróziós folyamatot is vizsgálnak.

Az öregedés egyéb folyamataival való kölcsönhatás vizsgálatához a korróziós folyamatokat az alábbiak szerint célszerű csoportosítani:

- a) feszültség nélküli (általános, helyi és szelektív) korrózió;
- b) feszültséggel párosuló korrózió (feszültségkorróziós repedés, korróziós fáradás);
- c) közegáram miatti korrózió (eróziós korrózió).

Az általános korróziót az üzemi közeggel érintkező, ötvözetlen és gyengén ötvözött acélelemek belső felületén és korrozív környezet esetén a nem védett külső felületeken vizsgálják.

Törekednek az egyenletes, passzív magnetit réteg kialakítására, és külön elemzik azokat a helyeket, ahol a passzív réteget üzemviteli vagy karbantartási okok miatt rendszeresen meg kell bontani.

Elemezni szükséges az általános korrózióból származó korróziós termékek hatását a rendszer egyéb elemeinek öregedésére.

A lokális korrózió tipikus esetei: a helytelen anyag kiválasztásból eredő elektrokémiai korrózió és a korróziós közeg feldúsulásából keletkező helyi korróziós zóna, illetve a konstrukció előnytelen kialakításából eredő réskorrózió. A helyi korrózió fajtákat megfelelő tervezéssel el lehet kerülni. Ha ez üzemviteli, szilárdsági, konstrukciós vagy más ok miatt nem lehetséges, akkor megfelelő monitorozást, illetve javítást vagy cserét irányoznak elő.

A szelektív korrózió (pl. transzkrisztallin vagy kristályközi korrózió) az acélban található egyes elemeket támadja helyileg és az anyag mélységében. Tervezés során a korrozív közeg kizárásával vagy megfelelően védett (stabilizált állapotú) acélfajták alkalmazásával védekeznek ellene.

A mechanikai terheléssel együtt járó feszültségkorrózió négy feltétel együttes megjelenése esetén károsít:

- a) feszültségkorrózióra érzékeny anyag;

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

- b) elegendően nagy húzófeszültségek;
- c) az alkalmazott anyag számára agresszív környezet (szénacélra nitritek, szulfidok, ausztenites acélra kloridok, rézre ammónia);
- d) a reakcióhoz szükséges idő.

A tervezés során a fenti négy feltétel közül legalább az egyiket megbízhatóan kizárják.

Az alakváltozás miatti korrózió megjelenését gyengén ötvözött ferrites acélból készült, nagytisztaságú vizet szállító csővezetéseken elemzik akkor, ha

- a) a víz hőmérséklete magas ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- b) a víz oxigéntartalma nem elhanyagolható ($>50\text{ ppb}$);
- c) a mechanikai feszültségek hatására lassú alakváltozás ($\sim 10^{-4}\text{ s}^{-1}$) indul meg;
- d) a vízáramlás lassú, vagy nincs vízáramlás.

A korróziós fáradás a fáradás korrozív közegben felmerülő minősített esete. A korróziós fáradás nem igényli egy küszöbértéknél nagyobb feszültség jelenlétét. Jellemző előfordulási helyein (szivattyúk tengelye, mozgó alkatrészek, vagy üzemi közeg áramlása következményeként rezgő csővezetékek, hőmérsékleti tranziensek által érintett alkatrészek) elemzik:

- a) a korrozív környezet jellemzőit (pH, hőmérséklet, oxigéntartalom);
- b) a terhelés formáját és frekvenciáját;
- c) az acél kéntartalmát.

Szükség esetén a korróziós fáradás vizsgálatát vagy monitorozását irányozzák elő.

Az eróziós-korrózió az áramló közeg által folyamatosan eltávolított passzív réteg miatt megnövekedett sebességű általános korrózió.

Nagy sebességű ($v > 1,0\text{ m/s}$) közegáramlás esetén, gyengén ötvözött (2%-nál kisebb krómtartalmú) acélvezetékek könyökeinél, T-elágazásainál az eróziós-korróziót vizsgálják.

Ha az üzemi közeg lúgos kémhatása ($\text{pH} \geq 9,5$) nem biztosítható, akkor az eróziós-korrózió folyamatok megfelelő monitorozását irányozzák elő.

7.2.5. Kopás

A berendezések tervezett üzemmódjától és karbantartási technológiájától függően a tervezés során többféle kopási mechanizmus elemzése válik szükségessé. Ezek közül vizsgálandó:

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

- a) a hideghegedéses (adhéziós) kopás;
- b) a meleghegedéses (olvadási) kopás;
- c) az oxidációs kopás;
- d) a fáradásos felületi kopás;
- e) az illesztési (fretting) kopás;
- f) az abrázíós kopás és
- g) a karbantartási kopás elkerülésének, illetve csökkentésének módja.

Adhéziós kopás szempontjából a nagy adhéziós hajlamú ferrites és ausztenites acélból készült, nagy erővel összepréselődő, egymáshoz képest kis sebességgel elmozduló felületeket elemzik (pl. szerelvények zárószerkezetei, kis sebességű hajtások elemei, szerkezeti elemek megvezetői).

Az adhéziós kopás csökkentésére megfelelő anyagpárokat alkalmaznak, vagy megfelelő kenést biztosítanak. A kenés megbízhatóságát különösen átmeneti üzemmódokban (indulás, leállítás) elemzik.

Az olvadási kopást elsősorban az átmeneti üzemmódok és a forgógépek segédrendszereinek (kenés, csapágyhűtés) meghibásodása esetére elemzik. Az elemzés kiterjed az olvadási kopás magas hőmérséklete által okozott egyéb romlási folyamatok vizsgálatára is.

Az oxidációs kopás elkerülését nagy hőmérsékleten üzemelő forgógépek és ritkán üzemelő vagy csak próba céljából, időszakosan elindított, biztonsági rendszerekbe beépített forgógépek esetén vizsgálják.

A fáradásos felületi kopás kialakulásának feltételeit sokszor ismétlődő, jelentős terhelést viselő mozgó alkatrészek ellenőrzik (szerelvények hajtásai, SZBV-hajtások stb.).

Az abrázíós kopás elkerülésére meghatározzák a súrlódó felületek közé kerülő üzemi közeg, hűtőközeg vagy kenőanyag szükséges tisztasági normáit, illetve kidolgozzák a tisztítás vagy a csere lehetőségét.

Az illesztési kopás szorosan illeszkedő, kis amplitúdójú, nagy frekvenciájú rezgőmozgást végző elemeken jelentkezik (pl. járókerekek illesztése szivattyú tengelyeken, gőzfejlesztő hőcserélő csövek illesztése a távtartókban, turbinalapátok illesztései). Tervezés során elsősorban a monitorozás vagy időszakos vizsgálatok feltételeit elemzik.

A karbantartási kopás elsősorban a gyakran (1-4 évente) szétszerelésre kerülő karimás és csavaros kötések, szorosan illeszkedő vagy az üzemelés so-

rán összetapadó elemek (osztósíkok, fedelek, búvónyílások) jellemző romlási folyamata.

A szerelési segédanyagok megválasztása, a szét- és összeszerelési technológia és segédeszközök gondos megtervezése, a szükséges szét- és összeszerelések számának csökkentése és a megfelelő cserélhetőség biztosítása képezheti elemzés tárgyát az öregedéskezelési program tervezése során.

7.2.6. Lazulás

A lazulás elsősorban csavaros kötések, tömítések, tömszelencék, alátétek öregedésének a kísérőjelensége.

A csavaros kötések lazulását az anyák megfelelő elfordulás elleni védelmével, illetve utánhúzással kompenzálják.

A csavarszárok esetleges kúszása miatti lazulást a magátmérő és az anyagtulajdonságok megfelelő kiválasztásával lehet elkerülni.

A tömítések, tömszelencék, alátétek lazulása esetére olyan szerkezeteket alakítanak ki, melyek az utánhúzást egyszerűen megoldhatóvá teszik.

Ezen elemeknél figyelmet fordítanak a tömítőelemek megfelelő anyag kiválasztására és a szükséges cserék egyszerű és megbízható végrehajthatóságára is.

A lazulás elemzésekor az annak következtében kialakuló szivárgás, illesztési kopás és más, öregedést okozó jelenségek azonosítását is elvégzik.

7.2.7. Erózió

Az eróziós romlási folyamat elemzését elsősorban nagy sebességgel áramló üzemi közegek irányváltásainak környezetében végzik el. Ilyenek pl.:

- a) szivattyúk hidraulikai részei;
- b) csővezetékek ívei és elágazásai;
- c) gyorsan áramló közegbe benyúló mérő- és egyéb eszközök (mérőperem, fojtótárca, hőmérő védőhüvely stb.);
- d) elzáró és szabályozó szerelvények zárószerkezete;
- e) geometriai diszkontinuitások helyei (szűkítők, hegesztési varratok belső élélőkészítése és varratgyökök stb.).

A tervezés során az eróziós folyamatok várható előrehaladását a lehetséges mértékig csökkentik (erózióálló anyagok, erózióvédő terelők, az üzemi közeg tisztasági követelményei és tisztítási lehetőségei, a geometriai diszkontinuitások csökkentése stb.).

Elemzik az erózió miatt az üzemi közegbe kerülő anyagok hatását.

Elemzik az erózió hatását:

- a) a mérőelemek állapotára és elvárható pontosságára;
- b) a fojtó- és szabályozóelemek előirányzott paramétertartására;
- c) a szivattyúk jelleggörbéjének állandóságára;
- d) a falvastagság-csökkenés miatti szilárdsági tartalék csökkenésre.

7.2.8. *Anyagjellemzők változása*

Elsősorban nemfémes (tömítő, kenő, hőszigetelő, korrózióvédő, elektromos szigetelő) anyagok esetében elemzik az anyagjellemzők várható változása és annak hatása a belőlük készült elemek funkciójának megbízható ellátására.

Ennek során elemzik azon környezeti paramétereket, melyek bizonyos határértékeken túl ezen anyagok jellemzőinek gyors megváltozását okozzák.

Meghatározzák azon elemzési és vizsgálati feltételeket, melyek alapján az ilyen anyagokból készült rendszerelemek beépítési helyüknek megfelelő alkalmassági minősítést megkaphatják.

Meghatározzák azon környezeti paramétereket, melyek betartása biztosítja e rendszerelemek minősített állapotának fenntartását.

Egyedileg vizsgálják ezen elemek megbízható és biztonságos működéséhez tartozó élettartamot, és kidolgozzák a megfelelő cserék feltételeit.

7.3. Öregedésre érzékeny helyek

Az 7.2. pontban elemzett öregedési folyamatok kialakulásának feltételeit az 3-6. pontokban bemutatott szempontok alapján, a kiválasztott szerkezeti anyagok tulajdonságai, az igénybevételi paraméterek, az üzemeltetési körülmények és a konstrukciós sajátosságok figyelembe vételével vizsgálják.

Az elemzés alapján meghatározzák azokat a helyeket, amelyek öregedésre érzékenyek lehetnek. Az azonosított öregedésre érzékeny környezetekben valamennyi felmerülő romlási folyamat jellemzőit elemzik.

Szükség esetén módosítják a konstrukciót vagy a kiválasztott anyagot.

7.4. Berendezések öregedésének előzetes értékelése, indikátorok meghatározása

Az atomerőművi berendezések és rendszerelemek megbízható és biztonságos üzemeltethetőségének minimális időtartamára vonatkozó adatokat a

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

tervezés során az atomerőművi blokk tervezett üzemidejével összhangban állapítják meg.

3.3.2.0100. „Meg kell határozni az atomerőmű tervezett élettartamát és azt, hogy mely biztonsági vagy fizikai gát funkciót teljesítő rendszerelem élettartama határozza meg, vagy korlátozza ezt az élettartamot.”

Megkülönböztetik a blokk tervezett üzemidejével megegyező (vagy annál hosszabb) élettartamra tervezett berendezéseket azoktól, melyek egyszeri vagy többszöri cseréjét a blokk üzemideje során előirányozzák.

3.3.2.0200. „Az élettartamot korlátozó degradációs folyamatok elemzésével bizonyítani kell, hogy a nem cserélhető rendszerelemek és a nem cserélendő passzív biztonsági és fizikai gát funkciót megvalósító rendszerelemek élettartama legalább olyan hosszú, mint az atomerőmű egészére meghatározott tervezett élettartam, figyelembe véve a teljes élettartam során várható terheléseket és öregedési folyamatokat a szükséges tartalékokkal.

3.3.2.0300. Meg kell határozni, hogy milyen feltételek mellett teljesíthetők a tervezett élettartam alatt a nukleáris biztonsági követelmények.

3.3.2.4100. A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor a választott szerkezeti anyagok tulajdonságainak az öregedési folyamatok következtében bekövetkező változását értékelni kell. Meg kell határozni a rendszerek, rendszerelemek megengedett élettartamát, integrált üzemidejét, igénybevételének ciklusszámát.”

A berendezések egyes elemeire vonatkozóan minden azonosított romlási folyamat kapcsán megállapítják azokat a kritériumokat, melyek a még megfelelő üzemeltetési feltételeket biztosítják.

Aktív funkciót ellátó berendezéseknél elfogadható az egész berendezésre vagy rendszerre jellemző teljesítmény-paraméterek meghatározása.

A passzív berendezések állapotára, illetve az aktív berendezések (rendszerek) teljesítményére vonatkozó megfelelőségi kritériumokat olyan tartalékokkal írják elő, hogy a felülvizsgálati/engedélyezési ciklusidő figyelembe vételével meghatározott időtartamú, jövőbeni biztonságos és megbízható üzemeltetés feltételei teljesüljenek.

Az öregedés mennyiségileg becsülhető és mennyiségileg nem becsülhető előrehaladású, egymásra ható folyamatok összessége.

A lehetséges mértékig meghatározzák azokat a mennyiségi és minőségi indikátorokat, melyek az öregedési folyamat előrehaladását jelzik.

Megjelölik azokat az öregedési folyamatokat, melyek létezése a tervezés idején ismert, de az előrehaladásuk értékelése további kutatás-fejlesztési tevé-

kenységeket igényel. Intézkedéseket irányoznak elő arra az esetre, ha ezen tevékenységek nem megnyugtató eredményre vezetnek.

7.5. Az öregedés érzékenységvizsgálata, csökkentési lehetőségei

Az azonosított, öregedést kiváltó folyamatok és körülmények alapján meghatározzák azon környezeti és folyamat-paramétereket, melyek az egyes romlási helyeken érvényesülő öregedési folyamatokat különösen befolyásolják.

Ezen belül meghatározzák azon feltételeket, melyek teljességgel kizárják egyes öregedési folyamatok kifejlődését, különös tekintettel azon kémiai, mechanikai, sugárzási és egyéb igénybevételekre, melyek egy-egy öregedési folyamat nem megengedett mértékű felgyorsulását okozzák.

A fenti vizsgálat alapján kiválasztják az öregedési folyamatok kritikus tényezőit.

Megvizsgálják a kritikus tényezők csökkentésének lehetőségeit és feltételeit.

Meghatározzák azokat az üzemviteli, karbantartási és felülvizsgálati eljárásokat, melyek:

- a) biztosítják a rendszerelem megbízható és biztonságos üzemeltetését, ugyanakkor
- b) optimalizálják a rendszerelem öregedésének lassítására, illetve szükség szerinti cseréjére irányuló erőfeszítéseket.

Az öregedési folyamatok érzékenységvizsgálata, az érintett rendszerelem várható élettartamának meghatározása és lassítása nem öncélú tevékenység, ezért biztosítják, hogy az mindenkor összhangban legyen az erőmű kiválasztott élettartam-gazdálkodási stratégiájával.

Ugyanakkor ilyen stratégia hiányára vagy esetleges megváltoztatására tekintettel minden esetben célszerű a könnyen (kevés anyagi, termelés kiesési és sugárdózis ráfordítással) megvalósítható öregedésllassító intézkedéseket előírni.

Az érzékenységvizsgálatoknál és az öregedéscsökkentési intézkedések megvalósításánál különös súllyal mérlegelik a rendszerelemek megbízható javításának, illetve cseréjének lehetőségét is.

8. AZ ÖREGEDÉSKEZELÉS TERVEZÉSI ELŐÍRÁSAI

Az öregedéselemzés eredményeként a tervező az öregedési folyamatok és azok hatásainak kezelésére meghatározza a szükséges tervezői előírásokat, amelyek kiterjednek a gyártásra, szerelésre, üzemeltetésre, az öregedési folyamatok kezeléséhez szükséges adatok, módszerek megadására, az elvárt karbantartási, felügyeleti, próba- és monitorozási tevékenységre, valamint az öregedési és állapotromlási folyamatok lassítására, kedvezőtlen hatásainak csökkentésére szolgáló intézkedések meghatározására és a kapcsolódó megfelelőségi kritériumokra is.

Biztosítják, hogy a tervezés során meghatározott öregedéskezelési rendszer összhangban legyen a rendszerelemek minősítésével és a minősített állapot fenntartását szolgáló programokkal is.

8.1. Gyártási-szerelési előírások

A berendezések és rendszerelemek tervezésekor olyan technológiai és minőségbiztosítási előírásokat dolgoznak ki, melyek biztosítják

- a) az alkalmazott gyártási és szerelési technológiák nem rontják a beépített anyagok és féltermékek öregedési folyamatokkal szembeni ellenálló képességét;
- b) a kialakítandó felületek lehetővé teszik mind a szükséges vizsgálatok elvégzését, mind az üzemelés során fellépő, öregedést okozó igénybevételekkel szembeni hatékony ellenállást;
- c) a gyártás-szerelés során bennmaradó hibák pontosan azonosíthatók és időszakos vizsgálattal ellenőrizhetőségét.

Meghatározzák a gyártási-szerelési sorrendet, az alkalmazható segédeszközöket és segédanyagokat, a gyártás-szerelés során először, majd az üzemeltetés során időszakosan elvégzendő vizsgálatok és teljesítménypróbák módszereit, terjedelmét, ciklusidejét és megfelelőségi kritériumait.

A gyártmányokon az előírányzott vizsgálatokhoz és próbákhoz szükséges rögzítő, csatlakozó és egyéb vizsgálati helyeket alakítanak ki.

Lehetőség szerint a tervezés idején még kifejlesztés alatt álló vizsgálati módszerek végrehajtásának feltételeit is előírányozzák.

Különös gonddal tervezik meg az üzemeltetés során végrehajtandó, roncsolásos vizsgálatokhoz szükséges próbatestek biztosítását.

Az üzembe helyezés során elvégzendő próbákhoz szükség esetén provizóriumokat terveznek. Megvizsgálják a provizóriumok időszakos próbákhoz való felhasználhatóságát.

8.2. Üzemeltetési előírások

Az atomerőmű üzemeltetésének alapvető feltételeit és korlátait a biztonság mindenkori érvényesülésének alapján választják meg.

Ugyanakkor ezeket a korlátozásokat és feltételeket úgy állapítják meg, hogy azok összhangban legyenek a berendezések és rendszerelemek öregedésének elemzésénél felhasznált adatokkal.

A normál üzemi, figyelmeztető, védelmi és üzemzavari paraméterek közül megjelölik azokat, melyek betartása a berendezések öregedésének előrehaladása szempontjából fontos, illetve túllépésük az öregedési folyamatok felgyorsulásának ellenőrzését igényli.

Az indításokra, leállításokra és más átmeneti üzemmódokra vonatkozó megengedett változási sebességek mellett célszerű meghatározni az öregedési folyamatok érdemi lassítását eredményező, "kímélő üzemmódok" előírásait is.

Az üzemeltetési utasításokban a megbízható és biztonságos üzemvitelhez szükséges mérésjelzés-archiválási funkciók mellett a berendezések öregedési folyamatainak monitorozásához, beleértve a 3.2 pont szerint meghatározott megengedhető üzemmód-változások, igénybevételi ciklusok figyeléséhez szükséges tevékenységeket is megadják.

Meghatározzák az egyes alkatrészek meghibásodására utaló tüneteket.

8.3. Karbantartásra vonatkozó előírások

Meghatározzák a berendezés beépítési helyén biztosítandó karbantartási feltételeket (hozzáférés, sugárzási viszonyok, karbantartási eszközök biztosítása stb.).

A karbantartási programokat úgy alakítják ki, hogy a karbantartások közötti biztonságos és megbízható üzemelés mellett az öregedési, romlási folyamatok nem tervezett felgyorsulása elkerülhető legyen.

Meghatározzák a biztonsági rendszerek karbantartás miatt üzemképtelen berendezéseinek és rendszerlemeinek megfelelő tartalékolási szükségleteit.

Meghatározzák az öregedési folyamatok által érintett rendszerelemek javításának lehetőségeit és korlátait.

A javíthatóság és az öregedési folyamatok összevetésével meghatározzák a rendszerelemek szükséges mértékű tartalékolását.

Azon rendszerelemeknél, melyek várható élettartama rövidebb a blokk tervezett élettartamánál, elemzik a legalább azonos minőségű csere lehetőségeit.

Figyelembe veszik a típusberendezések hasonló elemeinek csereszabotosságát és a csere kapcsán elvégzendő ellenőrzések és próbák végrehajtását.

Amennyiben egy berendezés valamely eleme kellő biztonsággal nem cserélhető, úgy kidolgozzák a komplett tartalék berendezés cseréjének feltételeit.

A karbantartási módszerek meghatározzák azt a szét- és összeszerelési sorrendet, amely az alkatrészek sérülését megakadályozza, illetve a karbantartási kopást minimalizálja.

Csavarkötések meghúzási értékeit úgy határozzák meg, hogy szükséges szorítóerő biztosítása mellett a csavarszárok és más terhelt elemek indokolatlan igénybevétele minimalizálható legyen.

A karbantartási utasításokban olyan szerelőeszközöket irányoznak elő, melyek az ütészerrű, illetve káros helyi hőfeszültségekkel járó szerelési módszereket kizárják.

Meghatározzák az ellenőrzésre kerülő tulajdonságok megfelelőségi kritériumait.

Meghatározzák az időszakos karbantartások során összehasonlítható méretek és egyéb jellemzők terjedelmét, ezek ellenőrzésének és az eredmények archiválásának módját.

Meghatározzák a karbantartáshoz használható segéd- és hozaganyagokkal szemben támasztott követelményeket.

Meghatározzák a karbantartás idejére ideiglenes felületvédelemmel ellátandó elemeket.

Előzetesen meghatározzák a karbantartáshoz igényelt tartalékalkatrész-felhasználás normatíváit.

A korábbi alkalmazási tapasztalat alapján meghatározzák a jellemző meghibásodásokat és elhárításuk módját.

8.4. Időszakos anyagvizsgálatok és próbák előírásai

A tervező összeállítja a berendezések időszakos vizsgálatára és próbáira vonatkozó programot.

A program kiterjed a vizsgálatok és próbák terjedelmére, módszerére, ciklusidejére, a dokumentálási előírásokra és a megfelelőségi kritériumokra.

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

A program a berendezés biztonsági osztályba sorolásán kívül figyelembe veszi:

- a) az egyes romlási helyeken várható öregedési folyamatok előrehaladásának mértékét;
- b) az öregedési folyamatok érzékenységét a normál üzemi paraméterektől való eltérésekre;
- c) a rendszerelem beépített tartalékait;
- d) egyéb öregedéskezelési módszerek (elméleti elemzések, monitorozás, állapotfelügyelet, stb.) rendelkezésre állását és megbízhatóságát;
- e) az adott romlási helyen fellépő öregedési folyamatok várható, illetve legrosszabb következményeit.

A primer kör nyomástartó berendezéseinek és csővezetékeinek azon részeire, amelyek nagy neutronsugárzásnak vagy más öregedési folyamatnak vannak kitéve, az alkalmazott anyagokban végbemenő öregedési folyamatok ellenőrzése érdekében felügyeleti programot dolgoznak ki és meghatározzák a program végrehajtásához kapcsolódó előírásokat is.

Az anyagvizsgálati módszereket úgy választják ki, hogy azok alkalmasak legyenek az öregedési folyamatok megbízható előrejelzésére.

Az időszakos próbák és teljesítményvizsgálatok programjában meghatározzák mindazon paramétereket, melyek időszakos ellenőrzése a biztonsági funkció ellátásának bizonyításához szükséges.

A biztonsági rendszer technológiai sémáját és műszerezését úgy tervezik meg, hogy az időszakos próbát teljes terhelésen végre lehessen hajtani, vagy részterheléses próba előirányozása esetén az eredmények megbízhatóan extrapolálhatók legyenek.

Azon berendezéseknél, melyek tömörsége biztonsági funkciót lát el, vagy más berendezések gyorsított öregedési folyamatait hivatott megakadályozni, egyedi tömörségvizsgálatokat irányoznak elő.

Komplex tömörségi próbák esetén igazolják azok alkalmasságát, illetve egyedi szivárgásdetektorok alkalmazását irányozzák elő.

A tervben elemzik a vizsgálati és próbaállapotok által okozott öregedési folyamatok hatásait, és ezeket összevetik a próbáknak köszönhető megbízhatóság növekedéssel. A vizsgálatok és próbák ciklusidejét és végrehajtási módszereit fentiek figyelembe vételével optimalizálják.

Ha valamely romlási folyamat fejlődésének előrejelzésére a technika aktuális szintjén megfelelő eljárás nem áll rendelkezésre, akkor:

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

- a) az adott romlási folyamat elegendően alacsony sebességének igazolásával;
- b) a feltételezhető romlás mértékének megfelelő tartalék beépítésével;
- c) a vizsgált romlási folyamat lehetséges biztonsági következményeinek elhárítására alkalmas eszközök beépítésével, és kiegészítőleg,
- d) a technika fejlődésével megvalósuló vizsgálati lehetőségek előirányzásával;
- e) ciklikus újraminősítéssel

támasztják alá az üzemeltetés kellő biztonságát és megbízhatóságát.

Az időszakos vizsgálatok, feltételeinek tervezése során minden esetben biztosítják, hogy az egymást követő vizsgálatok során talált állapotok összevethetőek legyenek legalább az öregedési folyamatok szempontjából fontos indikációk tekintetében.

Hasonló indikációk és romlási tünetek kimutatására alkalmas alternatív vizsgálati módszerek közül a vizsgálat érzékenysége, megbízhatósága és végrehajtásának körülményei alapján döntenek.

Az időszakos vizsgálatok kritériumait úgy határozzák meg, hogy a kimutatott tartalékok és az azonosított öregedési folyamatok figyelembe vételével igazolható legyen a berendezés jövőbeni biztonságos üzemeltetése az előirányzott vizsgálati ciklusidő végéig. Ennek hiányában a vizsgálati ciklusidőt a szükséges mértékig csökkentik, vagy biztosítják az öregedési folyamat monitorozását.

8.5. Monitorozás

Az öregedési folyamatok előrehaladása monitorozásának egyik alapelve a nyomás, a hőmérséklet, a vízkémiai és a környezeti paraméterek mérésén, illetve - tranziens üzemmódokban - ezek változásának mérésén, illetve a mért értékek öregedéskezelési megfontolásoknak megfelelő kiértékelésén alapul.

Ha az üzemviteli-biztonsági megfontolásokból beépített mérő-jelző-archiváló rendszerek öregedés monitorozására való felhasználása nem elég hatékony, akkor kiegészítő monitorozási lehetőségekről gondoskodnak.

Meghatározzák a monitorozó-rendszerek különböző jelzéseihez, illetve a mért értékek kiértékelési eredményeihez kapcsolódó intézkedéseket, beleértve a 3.2 pont szerint meghatározott megengedhető üzemmód változások, igénybevételi ciklusok monitorozása során talált eltérések kezeléséhez tartozókat is.

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

Ideiglenes monitorozó-rendszerek is alkalmazhatók, melyeket az üzembe helyezés során vagy az üzemeltetés kezdeti időszakában az öregedés szempontjából fontos paraméterek részletes kimérésére használnak. Ez esetben elemezni kell a kapott eredmények érvényességi tartományát más rendszerekre, blokkokra, üzemállapotokra stb.

Ahol a lehetséges öregedési folyamatok az időszakos vizsgálatokkal nem kellően ellenőrizhető meghibásodásokhoz vezethetnek, ott kiegészítő monitorozó-rendszerekről gondoskodnak. Ilyenek lehetnek:

- a) „loose part” monitorozó-rendszerek - leszakadt és az üzemi közegbe kerülő elemek zajának azonnali kimutatására;
- b) szivárgásjelző rendszerek - különböző karimás kötések szivárgásainak jelzésére;
- c) LBB (Leak Before Break) monitorozó-rendszerek - vizsgálat céljából nem hozzáférhető vagy teherbíró képességük határához közel üzemelő rendszer elemek meghibásodásának jelzésére;
- d) rezgésmonitorozó-rendszerek - a rezgésnövekedést okozó romlási folyamatok, illetve a romlási folyamatok felgyorsulását okozó, megnövekedett rezgések jelzésére.

Az öregedést monitorozó rendszereket úgy tervezik, hogy azok kezelése az üzemviteli személyzet számára indokolatlan többlet terhelést ne jelentsen.

A monitorozási funkciót úgy valósítják meg, hogy az semmilyen mértékben ne gátolja az üzemi műszereket és ellenőrző rendszereket az üzemi és biztonsági funkciójuk ellátásában.

A monitorozandó állapot vagy folyamat jellegétől és biztonságra gyakorolt hatásától függően a monitorozó-rendszer kiépítése lehet eseti, időszakos vagy folyamatos, a kiépítés terjedelme pedig lehet 100%-os (minden érintett berendezésre kiterjedő), vagy mintavételes. Utóbbi esetben igazolják a mintakiépítés eredményeinek átvihetőségét hasonló rendszer elem öregedésének kezeléséhez.

8.6. Az öregedési folyamatok jellemzői - értékelési kritériumok

3.3.2.4200. „A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszer elemekre a tervezés során egyértelmű működési mutatókat, kritériumokat kell meghatározni, öregedési folyamataik, üzemben tarthatósági feltételeik és maradék élettartamuk meghatározásához.”

Az atomerőművi berendezések tervezése során meghatározzák azon kritériumokat, melyek az öregedés miatti romlási folyamatok figyelembe vétel-

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

vel még biztosítják a berendezésektől, rendszerektől elvárt funkció teljesítését és a funkcióképességhez minimálisan megkövetelt biztonsági tartalékot.

Az öregedési folyamatok összetettsége és azok egymásra hatása miatt az egyes részfolyamatokat az alábbiak szerint csoportosítják:

- a) vannak mennyiségileg jellemezhető és mennyiségileg nem jellemezhető folyamatok;
- b) a vizsgálhatóság szempontjából vannak folyamatosan ellenőrizhető és csak időszakosan ellenőrizhető folyamatok;
- c) vannak egyedi okból támadó romlási folyamatok, és vannak olyanok, melyek megjelenése közös okú, a hasonló rendszerelemeken is várható romlásra utal.

Fenti sajátosságok figyelembe vételével rendszerelemenként és romlási helyenként elvégzik az adott romlási helyen várható öregedési folyamatok elemzését, és megadják azokat a mérlegelési szempontokat, melyek a rendszerelem jövőbeni működőképességének és megbízhatóságának mérnöki megítéléséhez szükségesek.

Az értékelési kritériumok olyan biztonsági tartalékot vesznek figyelembe, amely az adott rendszerelem esetleges meghibásodásának legvalószínűbb és legrosszabb biztonsági következményével is összhangban van.

MELLÉKLET

A MEGHATÁROZÓ ÖREGEDÉSI FOLYAMATOK RÖVID ISMERTETÉSE

ACÉLANYAGOK

Gyorsneutron-sugárzás hatására fellépő ridegedés:

A sugárkárosodás a reaktortartályt érő igénybevételek közül a legjelentősebb. A nagy energiájú neutron- (és gamma-) sugárzás az anyag kristályrácsában okoz változásokat. Ez a tartályfal szempontjából meghatározó igénybevétel. Ez a romlási folyamat a reaktortartálynak az aktív zóna magasságában elhelyezkedő részét és az ugyanitt található 5/6 sz. varratot érinti, míg a távolabbi alkatrészeknél (csonkzóna, tömítések) a sugárkárosodás elhanyagolható.

A fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságaira a neutronsugárzás az összetételtől és a rácsszerkezettől függően fejt ki a hatását. Az ötvözött acélokban a kivált kemény fázisok és a nem egyensúlyi szerkezet miatt nagy a diszlokáció-sűrűség. Ezért az ötvözött acéloknál kis dózisu besugárzás hatására is a szilárdság növekedése és a képlékenység csökkenése a jellemző.

A reaktortartályfalban a sugárzás hatására bekövetkező ridegedés következtében az alapanyag, illetve a varratfém kritikus ridegtörési hőmérséklete fokozatosan emelkedik az üzemi hőmérsékletek tartományának irányában. Az ilyen anyagok esetében ugyanakkor a rácsban könnyen elmozdítható és egyben nagy nukleáris hatás-keresztmetszetű elemek atomjai már a besugárzás kezdeti fázisában elmozdulnak, beékelődnek, és további elmozdításuk már jelentős többletenergiát igényel, így a nagy besugárzási fluensek tartományában telítődési effektus lép fel (a kritikus ridegtörési hőmérséklet növekedési üteme a nagy besugárzási fluensek tartományában már minimális).

Termikus ridegedés:

A termikus ridegedés magas hőmérsékleten (250 °C feletti tartományban) tartósan üzemelő acélszerkezetekben megfigyelhető öregedési folyamat. Termikus ridegedés következtében az acél keménységének és szilárdsági tulajdonságainak növekedése figyelhető meg a szívóssági tulajdonságok jelentős romlása mellett: az acél ridegebbé válik, a repedés keletkezési hajlama megnő.

Fáradás:

A fáradás progresszív, folyamatos lokális anyagszerkezet-változás, amely minden, változó terhelésnek vagy deformációs igénybevételnek kitett rend-

szerelemben fellép. A folyamatos, lokális anyagszerkezet-változás jellege kumulatív, lokális repedések kialakulásához vezethet.

A fáradás folyamata szakaszokra bontható annak alapján, hogy milyen jellegű változások történnek az anyagban. A változások jellege és mértéke egyrészt a szerkezeti elemekben ébredő feszültségtől (a ciklikus terhelés okozta feszültségamplitúdótól), másrészt a terhelési ciklusoktól függ. Az adott anyagra jellemző ún. küszöb -(threshold) feszültség amplitúdónál kisebb terhelés esetén kezdetben csak csúszási felületek jönnek létre, melyek növekvő ciklusszám esetén csak nagy felbontással látható mikrorepedésekké alakulhatnak. E repedések azonban nem terjednek, feltéve, hogy a feszültségamplitúdó nem változik meg.

A küszöbfeszültség amplitúdó feletti terhelés esetén a kis repedések összekapcsolódnak, és látható módon tovább terjednek. Ha az ismétlődő terhelések hatására a repedés hossza elér egy kritikus értéket, az instabil repedés-terjedés megindul, majd törés következhet be. Nagyobb feszültségamplitúdó esetén a repedés gyorsabban terjed.

A fáradással szembeni érzékenység jellemzésére a fentiek alapján jól használható a feszültségamplitúdó és a törést okozó ciklusszám összefüggése. Ezt kísérleti úton állapítják meg nagyszámú próbatest állandó - egytengelyű - feszültség vagy nyúlás amplitúdójú ismétlődő terhelésével. A töréshez vezető ciklusszám nagyságrendjétől függően beszélhetünk kis-, illetve nagyciklusú fáradásról. Az orosz, illetve amerikai előírások tartalmazzák olyan empirikus görbéket, amelyek megadják egy-egy anyagra vonatkozó terhelési ciklusszám-feszültségamplitúdó kapcsolatát.

A kisciklusú fáradást általában a 10^6 -nál kisebb ciklusszám esetén repedéskeletkezést okozó folyamatok esetére értelmezik.

Anyagjellemzők változása:

Az anyagjellemzők hosszan tartó üzemelés alatti megváltozása gyűjtőfogalom, amely széles értelmezésben magában foglalja az acélananyagok önálló öregedéskezelési programként tárgyalt sugárkárosodását, a termikus öregedést, és bizonyos értelemben a fáradást is. A jelen öregedés-kezelési útmutató az anyagjellemzők változásai közül az önállóan nem tárgyalt anyagtulajdonság-változások kezelésével foglalkozik, melyek a főberendezések különféle tömítéseinek károsodásait jelentik.

Kopás:

Egymással érintkező, relatív mozgást végző szerkezeti elemek felületein bekövetkező elváltozás, ami általában anyagleválással jár együtt.

A kopás feltétele:

- kopási elempár,
- alaptest,
- ellentest,
- rendszerint közbenső anyag,
- viszonylagos elmozdulás,
- normálirányú erőhatás (Fn).

Közbenső anyag:

- kenőanyag: kenőolaj, kenőzsír, szilárd és gáznemű, ill. egyéb kenőanyag,
- szennyeződés,
- kopástermék.

A kopás alapfolyamatai:

- érdességi csúcsok lenyíródása,
- alakváltozások a rugalmas tartományban,
- alakváltozások a képlékeny tartományban (maradó alakváltozás),
- molekuláris erőhatások (adhézió),
- felhevülés a mikrojeometria tartományban,
- fizikai vagy kémiai anyagváltozások (pittingesedés, oxidáció, reakciós termékek koptató hatásai).

Kopási típusok:

A hideghegedéses (adhéziós) kopás során az egymáshoz képest relatív mozgást végző felületek között rövid időtartamú adhézió vagy tapadókötések következményeként az egyik felületről a másikra anyagátvitel jöhet létre. Ebben az esetben a jellemző igénybevétel a nagy normálerő és a kis elmozdulási sebesség.

Meleghegedéses (olvadási) kopás. Súrlódáskor a felmelegedés 800...900 °C, de néha a felületi réteg hőmérséklete elérheti az 1500 °C-ot is.

A súrlódási hő hatására a felületi réteg kilágyul, a szakítószilárdsága, folyáshatára és keménysége csökken, a részleges megolvadás következtében felszíni hibák jelentkezhetnek, az egymással fémesen érintkező részek között adhézió és ennek következtében a relatív elmozduláskor anyagátvitel is létrejöhethet.

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

Oxidációs kopás. A nagy felületi hőmérséklet következtében és oxidációt előidéző környezetben nagy az oxidáció sebessége. A képződött oxidréteg elvben csökkentheti a kopás sebességét, a valóságban azonban a mechanikai-kémiai felületi erózió együttes hatása következtében általában növeli.

Abrázios kopás. A súrlódó felületek közé került szennyezők vagy a kopás során a felületekről levált szilárd részecskék, az ún. kopástermékek mikrobarázdálás és mikroforgácsolás következtében fellépő anyagleválása következménye a kopás.

A fáradásos felületi kopás jellemzője a sokszor ismétlődő legördülés (gördülő súrlódás) következtében keletkező mikrorepedések az érintkező felület alatt. Ezek vezetnek be a felületrészek kitöredezését, amely helyi gödrösödéssre vezet. Pikkelyszerű károsodások is keletkezhetnek.

A fretting (illesztési) kopásra jellemző, hogy rendszerint korrózióval társul. Nyugalmi állapotban lévő illesztett vagy összeszorított felületeken lép fel. A fretting korróziót a legtöbbször helyi adhézió és fémátvitel vezeti be, de a felületkifáradás is szerepet játszhat. Mikroszkopikusan kicsiny kopásrészek képződnek, a levegőn oxiddá alakulnak, s a legtöbb fém, ill. fémkombináció esetében az ilyen oxid abrazív hatást fejt ki azon az anyagon, amelyből származik. A kopásrészek színe acélon és vason vörös, alumíniumon és ötvözetein fekete.

A kopás nemcsak üzemeltetés során fellépő jelenségek hatására következhet be, hanem a vizsgálatokhoz, illetve karbantartáshoz történő szét- és összeszerelés során is.

A kopás a rendszerelemeken különböző okból, különböző megjelenési formában megnyilvánuló öregedési folyamat. A kopási folyamatok öregedés kezelése ezért rendszerelem specifikusan, a megnyilvánulási formáktól függően változik.

Erózió:

Az erózió elsődlegesen az üzemi közeg nagy sebességű áramlási helyeit hátróló, illetve hirtelen irányváltozást okozó rendszerelemeken fellépő, anyagelhordással járó öregedési folyamat. Az erózió hatását növelik az üzemi közegben fellelhető szilárd szennyeződések.

Lokális korrózió:

A *lokális korrózió* olyan károsodási folyamat, amely valamely rendszerelem általános környezetének kis területre kiterjedő jelentős eltérése miatt alakul ki.

Elektrokémiai (galván) korrózió keletkezik mindenkor, amikor két különemű fém vagy fémrész, fázis érintkezik, így közöttük elektromos kontaktus keletkezik, és felületüket elektrolitként ható folyadék fedi. Ilyenkor a nagyobb potenciálú, ún. anódos anyagrészből a kontaktuson át negatív töltésű elektronok áramolnak a kisebb potenciálú, ún. katódos anyagrész felé.

A *feszültségkorrózió* az elektrokémiai korrózióknak az a fajtája, amelynél az anódos anyagrész oldását, pusztulását a kétféle anyagrész érintkezési helyén valamilyen húzófeszültség olyan keskeny felületre koncentrálja, hogy a megtámadott anyagrész mélyébe hatoló rés, hajszálrepedés keletkezik. A feszültségkorrózió jellege tehát az, hogy nagyon kevés a korróziós terméke, és hogy a megindult repedés rohamosan mélyül, rövid idő alatt az anyag teljes vastagságán átérő repedéssé fokozódhat.

*Kristályközi korrózió*nak nevezzük azt a jelenséget, amikor egy polikristályos fém oldódása a szemcsék határai mentén fokozott mértékben következik be. A fém ennek hatására már viszonylag rövid idő alatt, csekély fémmennyiség kioldódása után krisztalitokká eshet szét.

Kísérletileg bebizonyították, hogy az acél kristályközi korrózióra érzékennyé válik, ha a szemcsehatárok mentén karbidok válnak ki. Ez akkor lehetséges, ha a körülmények a szénnek a határzónák mentén való feldúsulását lehetővé teszik. Újabban nem zárják ki annak a lehetőségét sem, hogy a szénen kívül más ötvöző, illetve szennyező elemek is léteznek, melyek kristályközi belső adszorpció útján ezen határfázisok oldódását meggyorsítják.

Helyi mikrokorrózió a transzkrisztallin korrózió, amelynek esetében a korróziós roncsolódás nem a szemcsék határain, hanem azokon keresztülvágva megy végbe.

Kontaktkorrózió akkor következik be, ha a korróziós közeg két vagy több különböző elektrokémiai tulajdonságú fémmel érintkezik oly módon, hogy azok egymással fémes érintkezésben vannak. Ebben az esetben a fémek ún. makroszkopikus lokálelemet alkotnak. E lokálelem áramot termel, és az áthaladt áram hatására megnő annak a fémnek a korróziósebessége, amely az elemben anódosan viselkedik.

Pontkorrózió: Bizonyos szerkezetekben a fém felületén egyidejűleg léteznek nagy korróziósebességgel oldódó és gyakorlatilag korróziómentes területek. Az aktív-passzív tulajdonságú fémek (Fe, Cr, Ni, Ti, korrózióálló acélötvözetek) felületének nagy része megfelelő elektrolit összetétel esetén passzív állapotban van, ezzel szemben a felület lényegesen kisebb részén a fém aktív állapotban oldódik.

Az öregedési folyamatok figyelembe vétele a tervezés során

Ezek a helyek alacsony potenciálú, aktív, nem szellőzött, viszonylag savas pH-jú bemélyedések. A gödör belsejében a pH 3-4 körüli érték. Fe_3O_4 és FeCl_2 keletkezése mellett a gödörfenék potenciálja -0,3, illetve -0,5 V körül van, amelyet a differenciális szellőzés, a pH és a nagyobb klorid koncentráció együttesen hoz létre. A bemélyedést $\text{Fe}/\text{OH}/_3$ -ból álló réteg borítja, és az egésztest pozitívabb potenciálú, levegőzött, lúgos zóna veszi körül. Az Fe_2O_3 -mal befedett felület pH-ja 8 és az elektródpotenciál +0,2 V. A folyamat tehát egy olyan korróziós cella keletkezését eredményezi, amelynél differenciális szellőzési áramok haladnak az aktív, levegővel nem érintkező mélyedés és a passzív, szellőzött felület között, mégpedig 0,5-0,7 V potenciálkülönbség mellett.

A pontkorróziós folyamat kiindulási pontjai lehetnek a nemfémes zárványok, a fémszerkezeti hibák és a fémfelület passzív rétegének helyi hiányosságai.

Réskorrózió: A pontkorrózióhoz hasonló folyamatok játszódhatnak le a szerkezetekben konstrukciós megfontolásokból alkalmazott rések esetén is. A résekben lejátszódó korróziós folyamatokban meghatározó szerepet játszik a rések mérete. A résnek ugyanis elég tágnak kell lennie ahhoz, hogy az üzemi közeg vagy a környezetben lévő pára bejuthasson a belsejébe, ugyanakkor olyan szűknek, hogy benne pangó közeg alakuljon ki. A korrózióknak legkedvezőbb feltétele általában mintegy 0,5 mm szélességű résméretetek mellett alakulnak ki.

Általános felületi korrózió:

Az általános felületi korrózióra való hajlam a szén- és gyengén ötvözött acélból készült rendszerelemek közös jellemzője. Az általános korrózió sebessége és egyéb jellemzői jelentős mértékben függenek az alábbi körülményektől:

- az alapanyag kémiai összetétele,
- üzemeltetési körülmények (normál üzem, készenléti állapot, átrakások, stb.),
- a környezet jellemzői (hőmérséklet, nedvességtartalom, savas- és lúgos gőzök jelenléte, stb.)

Bórsav korrózió:

A fővízkör hűtőközegében és az azt kiszolgáló rendszerek üzemi közegében oldott bórsav a fővízkör és a csatlakozó rendszerek korrózióálló acélból készült szerkezeti elemeit nem károsítja. Ugyanakkor az üzemi közeg szivárgásával járó meghibásodások, ill. átrakáskor végrehajtott műveletek során bekövetkezett események alkalmával a bórsav alacsonyan ötvözött vagy szé-

szénacél felületekkel érintkezhet, melyeken jelentős korróziós folyamatokat indíthat el. A program célja egyrészt a fővízkör és az azt kiszolgáló, bórsavas üzemi közeggel működő rendszerek kismértékű tömörtelenségeinek feltárása, másrészt a bórsavszivárgások által e rendszereket határoló, illetve annak környezetében található szénacél elemeken okozott korrózió nyomainak detektálása, mértékének meghatározása és a szükséges intézkedések megtétele.

A bórsav korrózió nem klasszikus értelemben vett, az üzemeltetésből származó igénybevételek által okozott romlási folyamat, hanem a meghibásodásokból és egyéb nem tervezett üzemviteli eseményekből következő egyedi károsodás.

Mikrobiológiai korrózió

A mikrobiológiai korrózió esetében bakteriális tevékenységek okozzák az anyag károsodását. A megtapadó baktériumok biofilmréteget alkotnak az alapanyagon. A baktériumsejtek savas anyagokat bocsátanak ki, melyek kölcsönhatásba lépnek az alapanyaggal, és megkötnek fémionokat. A jellemzők, amelyek a mikrobiológiai korrózió kialakulását és növekedését befolyásolják: hőmérséklet, nyomás, pH, vízminőség és oxigéntartalom.

Eróziós-korrózió

A szénacél, illetve ferrit-perlit acél komponensek adott környezeti üzemi viszonyok között hajlamosak az eróziós-korrózió jelenségére.

A folyamatot vegyi erózióknak is szokták nevezni. A károsodás előjelzés nélküli. Nem előzi meg szivárgás, és a nyomástartó favastagság megengedhetetlen mértékű elfogyása miatt hirtelen és ezért igen veszélyes tönkremenneteli módokkal jellemezhető.

Az eróziós-korrózió folyamatát befolyásoló főbb tényezők:

- a vezetékek geometriai kialakítása,
- a közeg hőmérséklete,
- a közeg sebességek (lokális, globális),
- a pH értéke,
- az oxigéntartalom,
- a szénacél anyagok ötvözőanyag tartalma, különös tekintettel a króm tartalomra.

VASBETON**Fagyás-olvadás ciklusok:**

Az ismétlődő fagyás-olvadás ciklusok során a beton pórusaiba és repedéseibe víz jut be, amely megfagy, így a víznél nagyobb térfogatú jég nyomást fejt ki a betonra. A fellépő nyomás a betonfelületen kiüregesedést, pikkelyesedést, lemezes leválásokat eredményezi, és elősegíti a repedések kialakulását is. A folyamat elsősorban a nagy vízszintes felületű elemeket veszélyezteti. A külső alapoknál a földfelszín alatti, de fagyhatár feletti részeknél a föld általában elegendő védelmet biztosít a károsodás ellen. A betonfelületre felvitt bevonatokkal és burkolatokkal a kialakuló károk nagymértékben csökkenthetők.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, repedésképződés.

Koptatás és kavitáció:

A koptatást az áramló közeg által szállított szilárd részecskék okozzák. A nagysebességű vízáramlásnál (pl. sarkok környezetében) kialakulhat kavitációhoz hasonlóan a koptatás is kiüregesedést, pikkelyszerű leválásokat eredményez a felületen. Bevonattal, burkolattal lehet hatékonyan védekezni a károsodások ellen. Kisebb mértékben az alapok föld alatti felületénél is felléphet koptató hatás, amennyiben a talajvíz mozgásban van.

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

Hőhatás:

A vasbeton szerkezeteknél a magasabb hőmérséklet okozta károsodások kb. 70°C hőmérsékletig elhanyagolható mértékűek, a hőnek lokálisan (pl. csőátvezetések környezetében) kitett helyeknél pedig kb. 93°C hőmérséklet is megengedhető bármilyen védelem nélkül. A fentieknél magasabb hőmérsékletnek kitett szerkezeteknél már vizsgálni, elemezni kell a hatásokat, mert itt már az anyagjellemzők értékeinek olyan mértékű változása kezdődhet meg, amely nem hanyagolható el. Hosszú ideig tartó 150°C környéki hőmérsékletnél a betonfelületen lemezes leválások és helyenként repedések alakulhatnak ki.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

Agresszív kémiai hatás:

A betonok bázikus vegyi jellegűek (pH>12,5), ezért a savak a károsodásukat okozhatják. A kellő tömörségű és kis vízáteresztő képességű betonok a gyenge savas hatásokkal szemben ellenállóak. A vízáteresztő képesség 0,35-0,45 közötti víz-cement tényezővel, kis szemcséjű adalékanyagokkal, 3-4%

közötti pórusterfogattal és hosszú utókezeléssel csökkenthető. Az 5.5-nél kisebb pH értékű savas oldatok, az 500mg/kg-nál töményebb klóros oldatok és az 1500mg/kg-nál töményebb szulfátos oldatok már károsítják a beton-szerkezeteket.

A jellemző öregedési hatások: anyagfogyás, anyagtulajdonság-változás.

A betonacélok és az acélbetétek korróziója:

A korrózió mértékét a környezeti hatások mellett a beton tulajdonságai, a cement és az adalékanyag minősége jelentős mértékben befolyásolják. Amennyiben a korrózió kialakul, a betonban húzófeszültségek ébrednek, amelyek hatására repedések, leválások és rozsdafoltok alakulnak ki, lecsökken a beton és a betonacél közötti tapadás mértéke is. A jobb minőségű beton, a kis vízáteresztő képesség és a megfelelő betonfedés javítja a betonacélok és az acélbetétek korrózióvédelmét.

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

Adalékanyag-alkáli reakciók:

Amennyiben az adalékanyagok nem megfelelőek, mert bizonyos ásványi összetevőket, főként só fajtákat tartalmaznak, ezek az összetevők vegyi reakcióba lépnek a portlandcementtel. E reakciók eredményeképpen a beton tágul, a felületén és a belsejében repedések keletkeznek. Az adalékanyagok helyes megválasztására ezért kiemelt figyelmet kell fordítani. A megfelelő anyagokból szakszerűen kevert és bedolgozott, valamint utókezelt betonnál az ilyen, belső okokra visszavezethető vegyi reakciók nem jellemzőek.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

Zsugorodás:

A beton kötése közben a felesleges víz elpárolog. A betonban maradó vízben kapilláris feszültségek keletkeznek, mialatt a beton szárad és zsugorodik. Ha a keletkező feszültség eléri a húzási határt, a beton megreped. A zsugorodás már az utókezeléskor elkezdődik, az első évben kb. 90%-a lejátszódik, és a folyamat kb. a huszadik évben fejeződik be.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

Egyenlőtlen süllyedés:

A süllyedés folyamata már az építés közben elkezdődik és mértéke, időtartama a terhelés nagyságától és az altalajtól, valamint a környezeti körülményektől, így a talajvízszint mozgásától is függ. Öregedési szempontból jelentős különbség van az egyenletes és az egyenlőtlen süllyedés között. Az előbbinél rendszerint nem keletkeznek a megengedettnél nagyobb repedések, míg az egyenlőtlen süllyedések gyakran a káros repedések megjelené-

sének a fő okát képezhetik. A süllyedéseket folyamatosan vizsgálni kell, mert a repedéseket értékelni és kezelni szükséges.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

Radioaktív sugárzás:

Az igen erős neutron sugárzás megnöveli az adalékanyag szemcsék méretét, párologtatja a betonban lévő vizet és felmelegíti a betont. Az erős gamma sugárzás csökkenti a cement kötő képességét, szintén hőt termel és párologtatja a betonban lévő vizet. A magas hőmérséklet és a víztartalom csökkenése, az utóbbi hatására kialakuló repedések csökkentik a beton nyomó-, húzó- és hajlítószilárdságát és rugalmassági modulusát is. A fellépő károk a sugárzás erősségétől függenek, az általánosan elfogadott határértékek a következők: neutron sugárzásra 10^{19} n/cm², ha a neutronok által bevitt energia nagyobb, mint 1 MeV; gamma sugárzásra $1,0 \times 10^8$ Gy.

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

Fáradás:

A vasbetonszerkezeteknél a fáradással kapcsolatos terheléseket rendszerint nagy ciklusszám és kis amplitúdók (pl. rezgő gépek, csővezetékek alapjainál, tartószerkezeteinél) vagy kis ciklusszámok és nagy amplitúdók (pl. daruk tartószerkezeteinél) jellemzik. A vasbeton az ismétlődő igénybevételekkel szemben általában jó ellenállóképességet mutat, bizonyos rezgéstípusoknál és terhelés értékeknél azonban mikrorepedések alakulnak ki a beton és a betonacél érintkezési felületeinél, amelyek továbbterjedve nagyobb repedések kialakulásához és a mechanikai tulajdonságok romlásához vezethetnek. Ezt a megfelelő tervezéssel, kivitelezéssel kell megelőzni.

A jellemző öregedési hatás: repedésképződés.

Kálciumhidroxid kilúgozódás:

A betonba beszivárgó, ill. azon átszivárgó víz a beton különböző összetevőinek, elsősorban a kálciumhidroxidnak a lassú kioldódásához vezethet. Ha a folyamat hosszú ideig tart, növekszik a beton légtérfogata és vízáteresztő képessége, amely a romlási folyamatot erősíti és csökkenti a beton szilárdságát. Az oldott sók kristályos formában jelennek meg a beton felületén (a beton „kivirágzik”). Ez rendszerint inkább esztétikai, mint szerkezeti probléma, amely viszont egyértelműen jelzi a kioldódást. A jó minőségű, jól tömörített, kis légpórus tartalmú beton viszonylag jól ellenáll a kioldódásnak.

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.

Kúszás:

A kúszás a tartós terhek hatására bekövetkező, időben növekvő alakváltozás az azonos teherből keletkező pillanatnyi alakváltozáshoz képest. A túlzott mértékű alakváltozások repedésképződéshez vezethetnek. A kúszás mértéke a beton minőségétől és a környezettől is függ, jelentős része a szerkezet üzembe helyezését követő néhány évben lejátszódik. Lényeges, hogy a feszített vasbeton szerkezeteknél a feszítőerőt a vonatkozó, mértékadó előírások, szabványok alapján határozzák meg. A feszítés nélküli vasbeton szerkezeteknél a megfelelő tervezés és kivitelezés esetén a kúszás nem okoz károsodást.

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.

BEVONATOK**Mechanikai, kémiai hatásokra kialakuló folyamatok, felhólyagosodás, lehámlás, lepergés:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

Sugárzással, magas hőmérséklettel, mikrobiológiai hatással kapcsolatos folyamatok:

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

TÖMÍTÉSEK**Mechanikai hatások:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

Sugárzással, magas hőmérséklettel, kémiai, mikrobiológiai hatással kapcsolatos folyamatok:

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, anyagtulajdonság-változás.

TŰZGÁTAK**Kopás, felületi anyagleválás:**

A jellemző öregedési hatás: anyagfogyás.

Vibráció, zsugorodás, elmozdulás:

A jellemző öregedési hatások: repedésképződés, réteges leválás, a védendő felületről való leválás.

Kémiai hatásra, sugárzásra kialakuló folyamatok:

A jellemző öregedési hatás: anyagtulajdonság-változás.