

A FESZÜLTSEGGKORRÓZIÓ BEMUTATÁSA ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

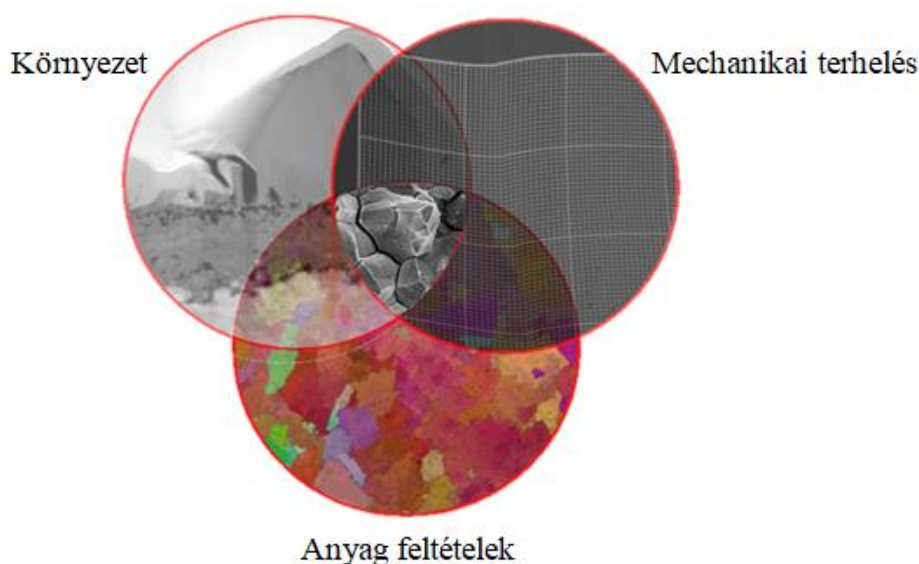
Spisák Bernadett¹, Szávai Szabolcs², Siménfalvi Zoltán³

¹PhD hallgató, ^{2,3} PhD, egyetemi docens

^{1,3} Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, ² Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

1. BEVEZETÉS

A nyomástartó rendszerek biztonságát, funkcionalitását és megbízhatóságát azok teljes élettartama alatt fenn kell tartani. A feszültségkorróziós folyamatok előrejelzési bizonytalanságai még napjainkban is kihívást jelentenek ezen berendezések megbízhatósági valószínűségének meghatározásakor. A nehézséget a jelenség összetettsége és az azt befolyásoló számos tényező természetes bizonytalansága okozza. Három tényező együttes jelenléte szükséges az ilyen típusú repedés kialakulásához. Ezek a környezet, a mechanikai terhelés és az anyag feltételek (1. ábra). Ezen bármely tényező kiküszöbölése vagy bármelyiknek egy küszöbérték alá történő csökkentése gyakorlatilag kizárja a feszültségkorróziós repedés (SCC – stress corrosion cracking) megjelenését [1]. A környezeti tényezők közé sorolhatók a korrozív közeg, az áramlási viszonyok, a hőmérséklet, a pH-érték illetve a radiolízis. A mechanikai terhelések esetén fontos megemlíteni, hogy SCC csak húzófeszültség hatására alakul ki, nyomófeszültség esetén nem. Ezek a terhelések származhatnak üzemi vagy nem üzemszerű statikus és dinamikus terhelésekből, illetve maradó feszültségekből. Az anyag-feltételek közé sorolható többek között a hideg megmunkálás (pl. vágás, hajlítás), a mikro szerkezet, a kémiai összetétele, sugárzásból származó károsodás. A következőkben bemutatjuk a feszültségkorróziós repedés kialakulásának mechanizmusát, valamint a vizsgálatokra vonatkozó eljárásokat.

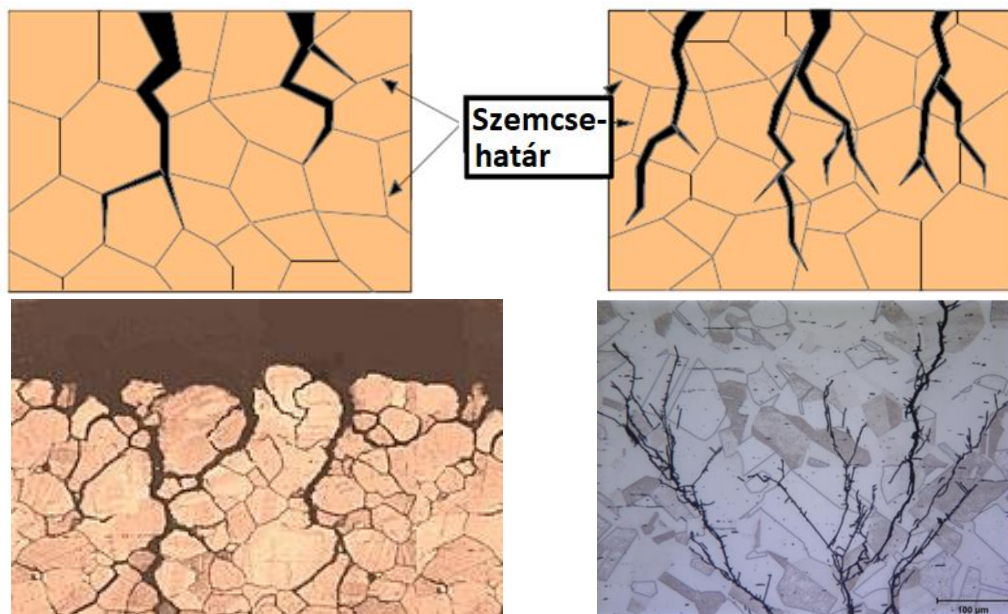


1. ábra

Feszültségkorróziós repedés keletkezéséhez szükséges tényezők [2]

2. FESZÜLTSEGGKORRÓZIÓS REPEDÉS KIALAKULÁSA

A feszültségkorróziós repedésnek két típusát különböztethetjük meg: szemcseközi (IGSCC – intergranular stress corrosion cracking) és a szemcsén átmenő (TGSCC – transgranular stress corrosion cracking) feszültségkorróziós repedés. Az első fajta gyakran ausztenites, korrózióálló acélokban, nikkel alapú ötvözetekben, illetve hegesztési varratok hőhatásövezetében jön létre, míg a szemcsén keresztüli feszültségkorrózió tipikusan klóros környezetben jelenik meg, és elágazódások jellemzik. A feszültségkorróziós repedés terjedése létrejöhet a két előzőleg említett módon, vagy a két eset egymás közötti váltakozásával, vegyesen. A két típus szemantikusan illetve mikroszkópikus képét a 2. ábra szemlélteti.

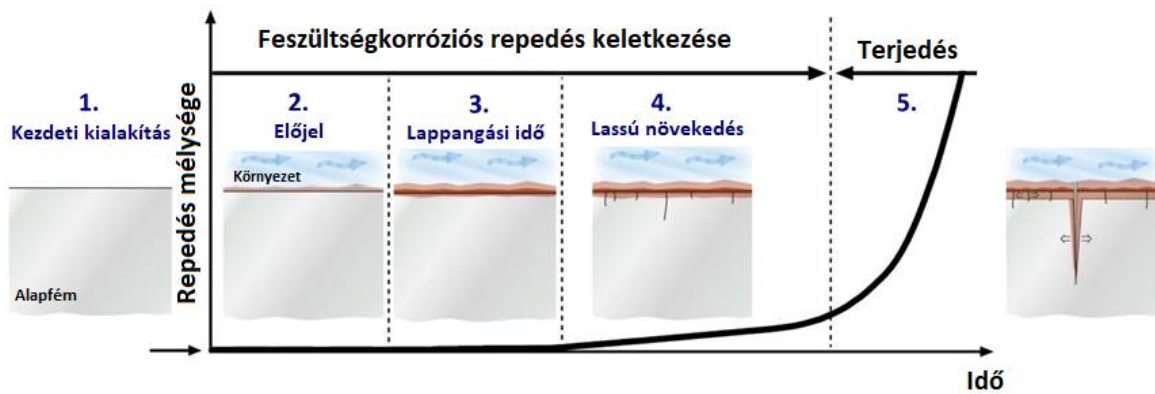


2. ábra

Feszültségkorróziós repedés típusai (bal – IGSCC, jobb – TGSCC) [3][4][5]

A repedés három részre bontható, a keletkezésre a terjedésre illetve a törésre. A 3. ábra a feszültségkorróziós repedés egyes szakaszait mutatja be. Ezeket a következőképpen lehet jellemezni:

1. Kezdeti kialakítás: A működtetés előtti állapot, felület előkészítése mechanika illetve vegyi kezelésekkel
2. Előjel: szükséges feltételek meghatározása (pl. környezet, alapanyag), még nem része a feszültségkorróziós repedésnek
3. Lappangási idő: a feszültségkorróziós repedés első szakasza, a repedés penetrációja még nem észlelhető
4. Lassú növekedés: Sebessége körülbelül a terjedési szakasz sebességének 1/100 illetve 1/10-ével arányos, optikai mikroszkópon már vizsgálható
5. Terjedés

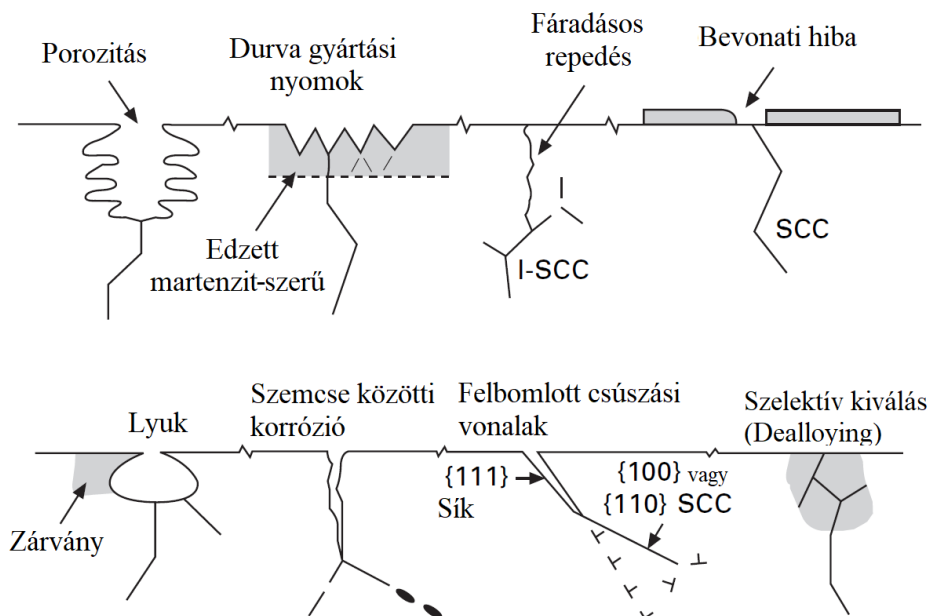


3. ábra

Feszültségkorróziós repedé szakaszai [3]

Számos kialakulási elméletet alapján a repedés kialakulási mechanizmusok sztochasztikus természetűek. Feltételezések alapján az SCC makroszkopikusan sima felületeken lévő felületi szakadásoknál, üregeknél, csúszási bomlásoknál vagy szemcsehatár menti korrózióknál keletkezhet (

4. ábra). Ezek a folytonossági hibák gyártás vagy üzemelés során is kialakulhatnak, és emellett mikroszerkezeti változásokat is okozhatnak, mint például acélokban a martenzites átalakulások. Ha ezek a már meglévő repedések jelen vannak a szerkezetben, akkor az SCC keletkezéséhez még szükséges jellegzetes környezeti körülmények kialakulása.



4. ábra

Repedés kiindulása felületi hibákból [6]

Vannak olyan esetek is, ahol az SCC akár fáradásos repedésből is kiindulhat, például amikor egy enyhe környezetben ciklikus terhelés jött létre, és ezt követően az agresszív környezetben tartós terhelésnek van kitéve a szerkezet. A lyukkorrózió mellett a lokalizált korrózió formái közé sorolható a réskorrózió, a szelektív kiválás (dealloying) illetve a szemcse közötti korrózió, amelyek mind okozhatják az SCC

kialakulását. Ezek mellett a lokális lebomlás csúszási síkok/vonalak mentén is előfordulhatnak, mint például a korrózióálló acéloknál, az oxidfilmek csúszás indukálta törésénél. [6]

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

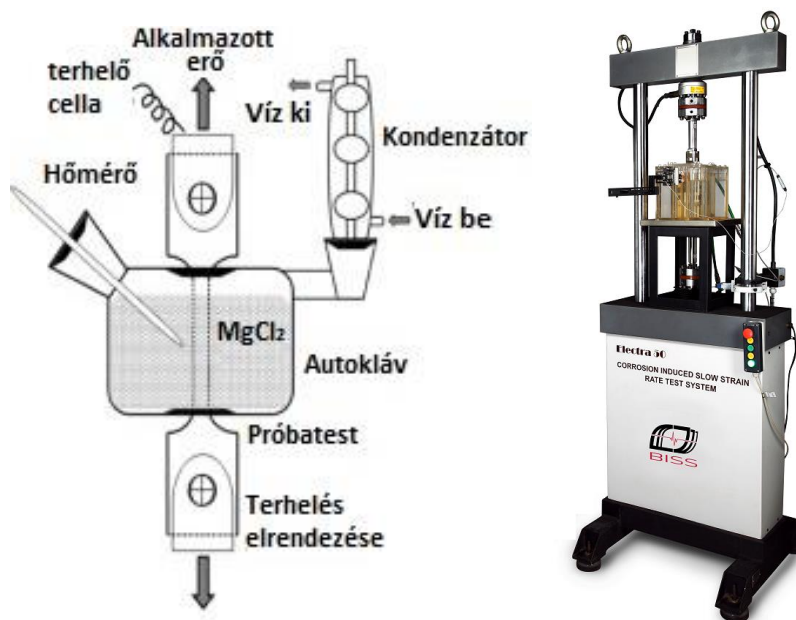
Arra, hogy meghatározható legyen, hogy egy ötvözet mennyire érzékeny a feszültségkorrózióra számos vizsgálati módszer létezik. Ha a cél az, hogy egy adott környezetben az üzemi viselkedést megjósoljuk, vagy a működésben lévő ötvözeteket megfigyeljük, akkor gyakran a feszültségkorróziós repedésről rövid időn belül kell információkat gyűjteni. Ehhez gyorsított vizsgálatokra van szükség, amelyet elérhetünk a környezeti hatás vagy a kritikus vizsgálati paraméterek növelésével. A vizsgálatot a korrozív próbatestek hőmérsékletének vagy koncentrációjának növelésével, valamint elektrokémiai stimulálással lehet felgyorsítani. A vizsgálati idő lecsökkentését előidéző paraméterek közé sorolhatók a nagyobb terhelések, folyamatos alakváltozás illetve az előreperesztés, amely lehetővé teszi a feszültségkorróziós repedésnél lévő repedés-nukleációs szakasz kikerülését. [7]

A feszültségkorróziós próbatesteket két csoportba sorolhatjuk: a sima és az előreperesztett próbatestek. További megkülönböztetések tehetők a terhelési módok között, mint például állandó behajlás (deflection), állandó terhelés, állandó elmozdulás vagy alakváltozási sebesség. A feszültségkorróziós repedés vizsgálata során a felület minősége és a maradó feszültségek is fontos szerepet töltenek be. A feszültségkorróziós repedések képződése nagy mértékben függ a kezdeti felületi reakcióktól. Legfőképpen a sima próbatestek esetén a próbatest felület minősége nagy befolyással van a vizsgálati eredményekre. A sima próbatesteket gyakran felületkezelik. Nagyon fontos azon megmunkálási nyomok vagy karcok elkerülése vagy eltávolítása, amelyek a terhelés irányára merőlegesek. [7]

A sima próbatesteken végzett állandó elmozdulásos vizsgálatok nem igényelnek bonyolult mérési berendezést. Leggyakrabban hajlított-rúd, U-hajlított, C-gyűrű illetve szakító típusú próbatesteket használnak. A különböző hajlított-rúd próbatesteket lemezeknél, tábláknál és lapos extrudált anyagoknál, vagy huzalok és kör keresztmetszetű extrudált anyagoknál alkalmazzák. A próbatestek méretüktől függően számos módon hajlíthatók. A feszültségkorróziós vizsgálatok során mind a próbatest és a terhelésre szolgáló berendezés is ki van téve a vizsgálati környezetnek. A C-gyűrűs próbatesteket általában a különböző termékformákban alkalmazott ötvözetek feszültségkorróziós repedésre való érzékenységének a meghatározására alkalmazzák. Ez a vizsgálat megfelelő a rövid-transzverzális irányú csövek és rudak vizsgálatára. A próbadarabok általában csavar-terhelésűek, ahol az állandó alakváltozást vagy állandó terhelést az ASTM G 338 szabvány alapján választják ki. Konkrét célok esetén, mint például ötvözet fejlesztésénél, nagyszámú feszültségkorróziós próbatestet kell kiértékelni. A szakító próbatestek megfelelhetnek erre a célra, ha a levegőben mért, különböző szakadási tulajdonságokat átvisszük a feszültségkorróziós repedésre (ASTM G 49 szabvány). Amikor a terhelés tengelyirányú, akkor a feszültség minta egyszerű és egyenes,

és az alkalmazott feszültség nagysága pontosan mérhető. A próbatetek mennyiségben terhelhetők a berendezésben, amelynél állandó terhelést, állandó alakváltozást, vagy növekvő terhelést, alakváltozást alkalmazhatunk.[7]

Az állandó terheléses vizsgálatok alatt a terhelés nem változik. A próbateteket önterhelő keretben helyezik el. Ez az eljárás olcsó és kis helyigénnyel rendelkezik. Hátránya az, hogy a a próbatestet elő kell terhelni a környezeti hatásnak való kitétel előtt, ez nem konzervatív eredményekhez vezethet. A terhelést súlyok vagy rugók alkalmazásával hozzák létre. A vizsgálat célja a küszöbfeszültség (amely alatt a feszültségkorróziós repedés nem következik be), illetve a repedésterjedés meghatározása. A vizsgálat időtartama legfeljebb 10 000 óra. A terheléses vizsgálat sematikus rajza az 5. ábra bal oldalán látható. [10]



5. ábra

Bal – Állandó terheléses vizsgálat sematikus rajza; Jobb – SSRT berendezés [8][9]

Az SSRT (Slow Strain Rate Testing) vizsgálat során folyamatosan növekvő nyúlás alkalmazásával a folyamatos képlékeny alakváltozás biztosítása a cél. A vizsgálat elvégezhető sima vagy bemetszett próbatesten is. Az 5. ábra jobb oldalán az SSRT módszernél használt berendezés látható. Az alkalmazott alakváltozási sebesség kicsi. A vizsgálat során leggyakrabban a következőkben felsorolt paraméterek mérését végzik el [10]:

- tönkremenetelhez szükséges idő,
- elért maximális terhelés,
- feszültségkorrózió százalékos eloszlása a törési felületen,
- törési energiát képviselő névleges feszültség határ területe.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A feszültségkorróziós folyamatok előrejelzési bizonytalanságai még napjainkban is kihívást jelentenek az erőműi berendezések megbízhatósági

valószínűségének meghatározásakor. Napjaink ismeretanyaga lehetővé teszi a szerkezetekben kialakuló mezők szimulálását, a beépített anyagok károsodási folyamatának leírását, következésképpen a mindenkori üzemelésre való alkalmasság szintjének értékelését. Ahhoz, hogy a folyamat előrejelzéséhez egy új módszert tudjunk kialakítani szükséges az előzőekben bemutatott ismeretek. A kutatás további részét a próbatestes mérési eredmények átvihetősége valós méretű és komplex geometriájú berendezésekre fogja képezni.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] H.T. Tang: **Materials Reliability Program A Review of Radiation Embrittlement of Stainless Steels for PWRs (MRP-79)** – Revision 1 (1008204) Topical Report, September (2004)
- [2] T. Couvant: **Fundamentals of Stress Corrosion Cracking** Materials Degradation Course for Engineers in the Nuclear Industry (2018)
- [3] C. Guerre: **Stress corrosion cracking of nickel base alloys in PWR primary water** MINOS Workshop, Materials Innovation for Nuclear Optimized Systems December 5-7, 2012, CEA – INSTN Saclay, France
- [4] http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/stress_corrosion_cracking.htm (2019.01.08.)
- [5] <https://www.mee-inc.com/case-studies-list/leaking-chemical-storage-tank/> (2019.01.08.)
- [6] V. S. Raja, T. Shoji: **Stress corrosion cracking, Theory and practice** Woodhead Publishing Limited (2011)
- [7] G. H. Koch **Tests for Stress-Corrosion Cracking** ASM International Advanced Materials & Processes Volume 159, Issue 8, August (2001)
- [8] M. V. Kumar, V. Balasubramanian, S. Rajakumar, S. K. Albert **Stress corrosion cracking behaviour of gas tungsten arc welded super austenitic stainless steel joints** Defence Technology <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.009> (2015)
- [9] <https://www.indiamart.com/proddetail/slow-strain-rate-test-system-16994757791.html> (2019.01.08.)
- [10] W. Dietzel, P. Bala Srinivasan, A. Atrens **Testing and evaluation methods for stress corrosion cracking (SCC) in metals**, Stress Corrosion Cracking Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering, Oldalak 133-166 <https://doi.org/10.1533/9780857093769.2.133>. (2011)