

A hidrogén okozta károsodások szaknyelvének alapvető terminológiája
Dobránszky J., Bitay E., Katula L., Varbai B.

Accepted for publication in *Anyagvizsgálók Lapja*
Published in 2022

DOI:

A hidrogén okozta károsodások szaknyelvének alapvető terminológiája

Basic terminology in the technical language of hydrogen damage

Dobránszky János^a, Bitay Enikő^b, Katula Levente^c, Varbai Balázs^d

^aEötvös Loránd Kutatási Hálózat, MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport; BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék, tudományos tanácsadó, Dobranszky.Janos@eik.bme.hu

^bSapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, egyetemi tanár, Bitay.Eniko@eme.ro

^cBME Anyagtudomány és Technológia Tanszék, egyetemi docens, katula.levente@gpk.bme.hu

^dBME Anyagtudomány és Technológia Tanszék, adjunktus, varbai.balazs@gpk.bme.hu

Kulcsszavak

terminológia, károsodás, hidrogén, törés, korrózió

Keywords

terminology, damage, hydrogen, fracture, corrosion

Absztrakt

A cikk a nemzetközi, európai és magyar szabványokban megtalálható szakkifejezések bázisán ismerteti a hidrogén okozta károsodások tárgyalásának szaknyelvében használni kívánatos szakkifejezéseket. A munka a szakkifejezések megnevezése és meghatározása mellett indoklásokat és magyarázatokat is tartalmaz, különösen olyan esetekben, ahol a jelenlegi helytelen gyakorlatot ideje lenne végre kijavítani.

Abstract

The article describes the terms that are desirable to use in the technical language for discussing hydrogen damage based on the terms found in international, European and Hungarian standards. In addition to naming and defining technical terms, the work includes justifications and explanations, especially in cases where it would be time to finally correct the current wrong practice.

1. Bevezetés

Az anyagvizsgálók immár öt emberöltővel ezelőtt szakmai szervezetet hoztak létre, amit az a felismerés is hajtott, hogy folyamatosan szükséges alakítani, fejleszteni és összehangolni a szakma nyelvét. Ez a feladat nem csak azért lényeges, mert az anyagvizsgáló eljárássok és az értékelési módszerek fejlődnek, hanem azért is, mert az anyagvizsgálóknak végzettségre, képesítésre, tanúsítványokra lehet szükségük a műszaki biztonság fenntartásában rájuk eső felelősség betöltéséhez. A szakmai feladatok ellátásához pedig alapvető eszköz az erős szaknyelvi megalapozottság.

A szaknyelvi alapokat az oktatási és képzési rendszernek kell kialakítania, majd pedig a továbbképzési, minősítési és tanúsítási rendszereknek fejleszteni, mégpedig a szabványosítási rendszerre építve. Ha ezek a rendszerek nincsenek egymással összehangolva, akkor gyorsan szétesik és zavarossá válik a szaknyelv. Az összhangot természetes módon képesek megalapozni a szabványok. Ehhez azonban nem elég azokat „megszerezni”, és fanyalogni azon, hogy miért nincsenek meg magyarul. Márpedig mára, sajnos, ez a hozzáállás egyre általánosabb szinte az összes mérnöki szakmában.

Ennek a cikknek a szándéka az, hogy elindítson egy olyan közös munkát, amely az anyagvizsgálók szakmai területén, egy adott témakörben, összegyűjtse a legfontosabb szakkifejezéseket; a helyes szaknyelv alapja ugyanis a helyes terminológia.

Jelen esetben, a lapszám témaköréhez illeszkedve, a hidrogén okozta anyagkárosodások szabványos terminológiáját foglaljuk össze.

2. A hidrogén okozta károsodások szabványos terminológiája

A cikkben tehát a terminológiai alapozást végezzük el a hidrogén okozta anyagkárosodásokhoz kapcsolódóan a nemzetközi szabványokban [1]-[20] szereplő szakkifejezéseknek a bemutatásával. Az immár szinte kizárólag nem magyar nyelvű szabványokból származó

szakkifejezéseket és meghatározásukat magyar nyelvre fordítottuk, de megadjuk a kifejezés angol eredetijét is. A tartalmi csoportosítás szintén saját rendszerezési módszertant követ. Az itt összegyűjtött szakkifejezéseken kívül számos más szakkifejezés is létezhet, de azokra nem térünk ki.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a nemzetközi szabványok terminológiai fejezetei teljesen szabadon hozzáférhetők, ezért minden tisztelt olvasót arra biztatunk, hogy máris keresse fel az ISO onlajn keresőjét, és tetszés szerint ellenőrizze – az ott megtalálható, angol nyelvű definíció alapján – az itt közölt magyar fordítások helyességét. Nagyon örvendetes lenne, ha visszajelzéseikkel segítenék a magyar szaknyelvi terminológia pontosítását, fejlesztését.

2.1 Az általános károsodáselmélet alapvető szakkifejezései

károsodás = A szerkezet állapotának változása, ami kedvezőtlenül befolyásolhatja a szerkezet működési jellemzőit [*damage*; ISO 2394:2015, ISO 8930:2021].

tönkremenetel = Egy szerkezet vagy alkatrész képességének elvesztése valamely meghatározott funkciójának végrehajtására [*failure*; ISO 13823:2008, ISO 8930:2021].

repedés = Többé-kevésbé síkbeli, üreges folytonossági hiány az acélban [*crack*; MSZ EN 10229:1999].

megrepedés = Folytonossági hiány formájában bekövetkező károsodás a felületen vagy egy tárgyon belül [*cracking*; ISO 5127:2017]. Célszerű megkülönböztetni magyarul is az angol „crack” és a „cracking” kifejezéseket.

törés = Jelenség, mely akkor következik be, amikor a próbadarab teljes szétválása megtörténik [*fracture*; MSZ EN ISO 6892-1:2020].

képlékeny törés, szívóstörés = Az anyag vagy a szerkezet tönkremeneteli módjának az a típusa, amelyet általában nagymértékű képlékeny alakváltozás előz meg [*ductile fracture*; ISO 14623:2003].

ridegtörés = Katasztrófális tönkremeneteli mód az anyagban vagy a szerkezetben, ami általában előzetes képlékeny alakváltozás nélkül és rendkívül nagy sebességgel

megy végbe [*brittle fracture; ISO 14623:2003*].

rideg repedés = Kb. 300 m/s vagy annál nagyobb sebességgel terjedő repedés ridegtörés miatt [*brittle crack; ISO 20064:2019*].

elridegedés = Az anyag szívósságának súlyos mértékű elvesztése. Az acélokban az elridegedés különféle formái jelentkezhetnek, például: kéktörékenység, megeresztési ridegség, edzési öregedés, szigma-fázis okozta elridegedés, alakítási öregedés, termikus elridegedés, kis hőmérsékleti elridegedés [*embrittlement; ISO 4885:2018*].

hidrogéndiffúzió = A hidrogén terjedése és kölcsönhatása az acél mikroszerkezetében lévő fémtani formációkkal (mikrorepedések, diszlokációk, kiválások, zárványok, szemcsehatárok stb.), amelyek a kötőelem anyagában hidrogéncsapdák területeit képezik; ezek lehetnek nem visszafordítható csapdák (nagy kötési energiák és a hidrogén felszabadulásának kis valószínűsége jellemzi őket) és visszafordítható csapdák (kis kötési energiákkal és a hidrogén könnyebb felszabadulásával jellemezhető) [*hydrogen diffusion; ISO/TR 20491:2019*].

hidrogénkiáramlás = A hidrogén kifelé irányuló vándorlása a kötőelem anyagból, ami a koncentrációgradiens miatt természetes módon, környezeti hőmérsékleten, avagy termikus hajtóerő, pl. kiizzítás, eredményeként megy végbe [*hydrogen effusion; ISO/TR 20491:2019*].

hidrogéncsapda = Mikroszerkezeti hely, ahol a hidrogénatom tartózkodási ideje hosszú a rácspontközi (interstíciós) helyeken való tartózkodási idejéhez képest [*trap; ISO 8044:2020*].

2.2 A hidrogénes károsodásokhoz kapcsolódó, alapvető szakkifejezések

hidrogénes elridegedés = A fém alakíthatósági tulajdonságainak olyan káros változása, amelyet a hidrogénnek való kitettség okozhat [*hydrogen embrittlement (HE); ISO/TR 15916:2015*].

Olyan folyamat, amely a fém szívósságának vagy alakíthatóságának csökkenését okozza a hidrogén elnyelése miatt [*ISO 8044:2020*].

belső hidrogénes elridegedés = A gyártási folyamatokból származó, maradék hidrogén által okozott elridegedés, amely a kötőelemek késleltetett rideg tönkremenetelét okozza terhelés által előidézett és/vagy maradó húzófeszültség hatására.

A hidrogén forrása lehet a hőkezelés (különösen a gázcementálás), a savas tisztítás, a pácolás, a foszfátózás és a galvanizálás [*internal hydrogen embrittlement (IHE); ISO 1891-2:2014*].

környezeti hidrogénes elridegedés = Az üzemenes körülményekből atomos hidrogénként elnyelt hidrogén által okozott elridegedés, amely a kötőelemek késleltetett rideg tönkremenetelét idézi elő húzófeszültség (terhelés által előidézett és/vagy maradó húzófeszültség) hatására.

A hidrogént korróziós folyamatok (pl. a katódos védelem mechanizmusa, a hidrogén által indukált feszültségi korróziós megrepedés) vagy más környezeti források hozhatják létre [*environmental hydrogen embrittlement, EHE; ISO 1891-2:2014*].

hidrogén által előidézett megrepedés, belső szétválás = Síkbeli megrepedés a fémekben ama feszültségek által előidézve, amelyeket a fémbe bediffundáló atomos hidrogén okoz akkor, amikor molekuláris hidrogént képez a hidrogéncsapdákban [*hydrogen-induced cracking, HIC; ISO 8044:2020(en), décohesion interne; ISO 8044:2020(fr)*].

hidrogénes feszültségi megrepedés = Repedési jelenség a fémekben lévő hidrogén jelenléte és a (maradó vagy alkalmazott, vagy mindkét fajta) húzófeszültség miatt.

A hidrogénes feszültségi repedés (HSC) olyan fémek megrepedését írja le, amelyek nem érzékenyek a szulfidos feszültségi korróziós megrepedésre (SSCC), de amelyeket a hidrogén elridegíthet, ha katódként galvanikusan kapcsolódnak egy másik fémhez, amely anódként aktívan korrodálódik. A megrepedésnek erre a mechanizmusára a „galvanikusan előidézett HSC” kifejezést is használták [*hydrogen stress cracking, HSC; ISO 8044:2020*].

Az ISO 15156-1:2020 az SSCC-t SSC-ként jelöli, és megjegyzi, hogy az SSC és a GHSC a HSC egyik formája.

galvanikusan előidézett hidrogénes feszültségi megrepedés = Repedés, amely egy galvánpár katódján fejlődő hidrogén, valamint (maradó és/vagy alkalmazott) húzófeszültség jelenlétében alakul ki egy fémekben [*galvanically induced hydrogen stress cracking, GHSC; ISO 15156-1:2020*].

hidrogén által előidézett feszültségi korróziós megrepedés = A környezeti hidrogénes elridegedés kategóriája, amikor üzemelés közben következik be a tönkremenetel a korróziós folyamatban képződött hidrogén és a terhelés okozta húzófeszültség együttes hatására végbemenő repedési folyamat révén [*hydrogen induced stress corrosion cracking; ISO 1891-2:2014*].

Ezt a károsodásfajtát egyes szakmai dokumentumokban így jelölik: HISCC. Az ISO-szabványok közül csak az ISO/TR 20491:2019-ben szerepel. ekként: hidrogén által segített feszültségi korróziós megrepedés (HaSSC) vagy hidrogén által előidézett feszültségi korróziós megrepedés (HiSSC).

hidrogén által előidézett feszültségi megrepedés = Repedési jelenség a terhelés és a hidrogénes elridegedés kombinációja miatt, amely utóbbit a katódos polarizáció következtében az acél felületénél képződött hidrogén behatolása okoz [*hydrogen-induced stress cracking, HISC; ISO 15589-2:2012*].

feszültség által orientált, hidrogén által előidézett repedés; feszültségi belső szétválás = Szakaszos, kis repedések, amelyek nagyjából merőlegesek a (maradó vagy alkalmazott) főfeszültségre, és amelyek egy „létraszerű” repedéstömböt képeznek, ami összeköti a (néha kicsi) már meglévő HIC-repedéseket.

A megrepedés módja az SSC kategóriájába sorolható; a külső igénybevétel és a hidrogén által előidézett repedések körüli helyi alakváltozás kombinációja okozza. A SOHIC kapcsolódik az SSC-hez és a HIC/SWC-hez. Megfigyelték a hosszvarratos csövek alapanyagában és a nyomástartó edények varratainak hőhatásövezetében.

A SOHIC viszonylag ritka jelenség, amelyet általában a kis szilárdságú, ferrites szövetszerkezetű csőacélokhöz és nyomástartó edény-acélokhöz társítanak [*stress-oriented hydrogen-induced cracking, SOHIC; ISO 15156-1:2020(en), décohésion interne sous contrainte ISO 15156-1:2020(fr)*].

hidrogén által segített megrepedés = Ez a kifejezés nem része a szabványok definiált szakkifejezéseinek, de több fejezetben is szerepel, és ott a hidrogén által előidézett megrepedéssel (HIC) azonosnak jelölik [*hydrogen assisted cracking, HAC; ISO 11114-4:2017, ISO/TR 20491:2019*].

hidrogén által fokozott helyi képlékenység = Ez a kifejezés nem része a szabványok definiált szakkifejezéseinek, de több fejezetben is szerepel [*hydrogen enhanced local plasticity, HELP; ISO/TR 20491:2019*]. Definíciója tehát nincsen de értelmezésének lényege az, hogy a diszlokációk mobilitása és képződési energiája csökken a nagy hidrogéntartalmú területeken (pl. bemesztések, repedéscsúcsok). A képlékenység kellő növekedése ezért ezekre a zónákra összpontosul, ami kedvez a csúszásnak, a korlátozott képlékenység kialakulásának s végül a helyileg képlékeny törésnek.

2.3 Az ASTM F2078-15-ben felsorolt, további, lényeges szakkifejezések

hidrogén gáz okozta elridegedés = Az EHE elkülönült formája, amelyet a nagynyomású hidrogén gáz külső forrásai okoznak; a repedések a külső felületen kezdődnek [*gaseous hydrogen embrittlement, GHE*].

hidrogén által segített feszültségi megrepedés = Repedésterjedés a hidrogén jelenléte következtében, amely folyamat lehet akár IHE, akár EHE, és néha hidrogénes feszültségi megrepedésnek (HSC) is nevezik [*hydrogen-assisted stress cracking, HASC*].

reakciós hidrogénes elridegedés = Visszafordíthatatlan elridegedés, amelyet a hidrogén és a fém stabil hidridet képező reakciója okoz [*reaction hydrogen embrittlement, RHE*].

hidrogénes elridegedésre való érzékenység = Anyagtulajdonság, amelyet a feszültségintenzitási tényező küszöbértékével mérnek a hidrogén által kiváltott feszültségi repedésre; K_{ISCC} , K_{IHE} vagy K_{EHE} . A keménység és a mikroszerkezet függvénye [*susceptibility to hydrogen embrittlement*].

2.4 A korróziós károsodásoknak és vizsgálatoknak a témába vágó szakkifejezései

hólyagosodás = Folyamat, amely a tárgy felületén látható, kidudorodó kupola alakú hibaként jelentkezik, és amely a felszín alatt lokalizált dekohézióból ered.

Bevonatmentes fémnél a hólyagosodást a túlzott belső hidrogénnyomás okozhatja [*blistering; ISO 8044:2020*].

lépcsős megrepedés = Olyan megrepedés, amely összeköti a fém szomszédos síkjain a hidrogén által előidézett repedéseket (HIC).

A kifejezés a repedés megjelenését írja le. A lépcsős repedést előidéző, belső szétválások összekötődése a

repedések közötti helyi alakváltozásnak és a környező acélanyag oldott hidrogén általi elridegedésének a függvénye. A HIC/SWC jelenléte általában a csövek és nyomástartó edények gyártásához használt, kis szilárdságú, lapos acéltermékeknél jellemző [*stepwise cracking, SWC; ISO 8044:2020*].

feszültségi korrózió = A fém korrózióját és alakváltozását együttesen magába foglaló folyamat az alkalmazott vagy a maradófeszültség hatására [*stress corrosion; ISO 8044:2020*].

A szabvány 2003-as, magyar nyelvű szövegében: „Feszültségkorrózió = A fém maradó vagy terhelő feszültsége és a korrózió együttes folyamata”.

feszültségi korróziós megrepedés = Repedési jelenség a feszültségi korrózió miatt [*stress corrosion cracking; ISO 8044:2020*].

A szabvány 2003-as, magyar nyelvű szövegében: „Feszültségkorróziós törés = A feszültségi korrózió következtében létrejött törés”.

ridegítő hatású gázok = Olyan gázok, amelyek a fém repedését okozhatják a feszültség és a hidrogénatomok együttes behatása következtében [*embrittling gases; ISO 11114-4:2017*].

mozgásra képes hidrogénatomok = Hidrogénatomok a kristályrács rácspontközi helyein és a reverzibilis csapdahelyeken [*mobile hydrogen atoms; ISO 17081:2014*].

hidrogénátáramlás = A fém próbatesten áthaladó hidrogén mennyisége területegységenként és időegységenként [*hydrogen flux; ISO 17081:2014*].

2.5 A hidrogén okozta károsodásokhoz kapcsolódó hőkezelések alapvető szakkifejezései

hidrogéneltávolító izzítás = izzítás az A1 hőmérséklet alatt, a hőtartási idő a munkadarab méretétől és a hidrogéntartalomtól függ. Az edzett vagy betétben edzett acéloknál a hidrogént rendszerint 230 és 300 °C közötti hőmérsékleten, néhány órás izzítással távolítják el [*hydrogen removal annealing; ISO 4885:2018*].

hidrogénes elridegedéstől mentesítő hőkezelés = Hőkezelési folyamat, amelyet olyan hőmérséklet-tartományban és annyi ideig végeznek, hogy az alapanyag szövetszerkezete ne módosuljon, pl. ne újrakristályosodjon, de amelynél a bevonatolt alkatrészek elridegedéstől való mentesítése – vagyis az atomos hidrogén elnyelése következtében bekövetkező elridegedésre való érzékenység csökkenése – megvalósítható [*hydrogen-embrittlement-relief heat treatment; ISO 2080:2008*].

kiizzítás = Hőkezelés, amely lehetővé teszi a vasalapú termékben elnyelt hidrogéntől való megszabadulást anélkül, hogy a termék anyagának szerkezete módosulna. Ezt a hőkezelést általában galvanizálást, pácolást vagy hegesztést követően végzik [*baking; ISO 4885:2018(en), déshydrogénation; ISO 4885:2018(fr)*].

kiegétés = A hegesztőanyagok hevítése a varratfém diffúzióképes hidrogéntartalma egy meghatározott szintjének elérése érdekében. A kiegészítést általában a hozaganyag gyártója végzi [*baking; MSZ ISO/TR 25901-1:2020*].

3. Összefoglalás

A hidrogén okozta anyagkárosodások témaköre csak egy szűk területe a mérnöki munkának, de bizonyára kivüláglik a 2. fejezetben összefoglalt szakkifejezésekből, hogy annak, aki erre a területre téved, nem árt visszatérni az alapokhoz, és úgy folytatni a munkát.

Az elmúlt évtizedekben Magyarországon a hidrogén okozta károsodásokkal már viszonylag sokat foglalkoztak azok a szakemberek, akik az érintett iparágak anyagkárosodási és hegeszthetőségi problémáival szembesültek. Érthető módon csak kevesen publikálták az e téren szerzett tapasztalataikat, de az ő közleményeik különösen hasznosak. A közleményeik pontos adatait a Magyar folyóiratok tartalomjegyzékeinek kereshető adatbázisában (MATARKA) [21] meg lehet találni, itt csak a nevüket soroljuk fel [22]-[30]: Berényi László, Rothstädter Endre és Bozsóné Kaptay Veronika, Bacskai Antal, Rácz Zoltán és Dolinka Tamás, Michal Kubica, Kovács Mihály, Szentiványi Ede, Fehérvári Gábor.

Irodalomjegyzék

- [1] ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures
- [2] ISO 8930:2021 General principles on reliability for structures — Vocabulary
- [3] ISO 13823:2008 General principles on the design of structures for durability
- [4] MSZ EN 10229:1999 Az acél hidrogén okozta repedéssel szembeni ellenálló képességének vizsgálata (angol nyelvű)
- [5] ISO 5127:2017 Information and documentation — Foundation and vocabulary
- [6] MSZ EN ISO 6892-1:2020 Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten (ISO 6892-1:2016)
- [7] ISO 14623:2003 Space systems - Pressure vessels and pressurized structures — Design and operation
- [8] ISO 20064:2019 Metallic materials — Steel — Method of test for the determination of brittle crack arrest toughness, Kca
- [9] ISO 4885:2018 Ferrous materials — Heat treatments — Vocabulary
- [10] ISO/TR 20491:2019 Fasteners — Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners
- [11] ISO 8044:2020 Corrosion of metals and alloys — Vocabulary
- [12] ISO/TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems
- [13] ISO 1891-2:2014 Fasteners — Terminology — Part 2: Vocabulary and definitions for coatings
- [14] ISO 15156-1:2020 Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production — Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials
- [15] ISO 15589-2:2012 Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation systems — Part 2: Offshore pipelines
- [16] ISO 11114-4:2017 Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4: Test methods for selecting steels resistant to hydrogen embrittlement
- [17] ASTM F2078-15 Standard Terminology Relating to Hydrogen Embrittlement Testing
- [18] ISO 17081:2014 Method of measurement of hydrogen permeation and determination of hydrogen uptake and transport in metals by an electrochemical technique
- [19] ISO 2080:2008 Metallic and other inorganic coatings — Surface treatment, metallic and other inorganic coatings — Vocabulary
- [20] MSZ ISO/TR 25901-1:2020
- [21] Magyar folyóiratok tartalomjegyzékeinek kereshető adatbázisa <https://matarka.hu/> (letöltés dátuma: 2022.05.12.)
- [22] Berényi László A hidrogénes elridegedés, Gépgyártástechnológia, 1975. (15. évf.) 12. sz. pp. 558.
- [23] Rothstädter Endre, Bozsóné Kaptay Veronika: Inhibitorok hidrogénridegedést gátló hatásának és habzókéességének vizsgálata, Korróziós figyelő: korrózióvédelmi műszaki tudományos folyóirat, 1979 (19.évf.) 1. sz., pp. 11-14.
- [24] Bacskai Antal: Az acélok nagy hőmérsékleti hidrogénes károsodásának diagnosztikája Korróziós figyelő: korrózióvédelmi műszaki tudományos folyóirat, 2008 (48.évf.) 5. sz., pp. 115-119.
- [25] Bacskai Antal: Az ausztenites acélok hidrogén okozta károsodása, Korróziós figyelő: korrózióvédelmi műszaki tudományos folyóirat, 2011 (51.évf.) 6. sz., pp. 141-143.
- [26] Bacskai Antal, Rácz Zoltán, Dolinka Tamás: A hidrogén okozta hólyagosodás, Korróziós figyelő: korrózióvédelmi műszaki tudományos folyóirat, 1988 (28.évf.) 3. sz., pp. 95-97.
- [27] Michal Kubica, Adamiec Piotr: A szimulált hőciklus hatása az x65 és x70 csőacélok hidrogén okozta repedésekkel szembeni érzékenységre, Gép, 2000. (51. évf.) 6. sz., pp.49-51.
- [28] Kovács Mihály: Áttekintés a hidrogén okozta repedésveszély elkerülésére alkalmazott módszerekről, Hegesztéstechnika, 2003. (14. évf.) 4. sz., pp. 24-27.
- [29] Szentiványi Ede De Wet, Hartmut: Hegesztési varratok hidrogén okozta törékenysége, Hegesztéstechnika, 2003. (14. évf.) 3. sz., pp. 50-52.
- [30] Fehérvári Gábor: Hidrogén által okozott repedések keletkezése különböző típusú acélok hegesztett kötéseiben, MAGÉSZ Acélszerkezetek, 2010. (7. évf.) 4. sz. pp. 54-60.